

**ANALISIS RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA FLORES
BACK ARC THRUST FAULT MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

SKRIPSI

Oleh :
NISA HANIFAH
NIM.17640003



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

HALAMAN PENGAJUAN

**ANALISIS RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA FLORES
BACK ARC THRUST FAULT MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

SKRIPSI

Diajukan Kepada :

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh :

**NISA HANIFAH
NIM. 17640003**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA FLORES
BACK ARC THRUST FAULT MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE*

SKRIPSI

Oleh:
Nisa Hanifah
NIM. 17640003

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 9 Desember 2021

Pembimbing I



Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si
NIP. 19860504 201903 1 009

Pembimbing II



Dr. Erna Hastuti, M.Si.
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Muhammad Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002





HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA FLORES *BACK ARC THRUST FAULT* MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE DIFFERENCE*

SKRIPSI


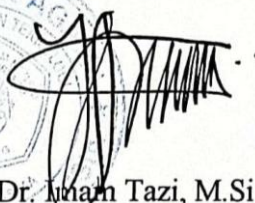
Oleh:
Nisa Hanifah
NIM. 17640003

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 9 Desember 2021

Ketua	:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP.196505041 99003 1 003	
Anggota 1	:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP.196912312 00604 1 003	
Anggota 2	:	<u>Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota 3	:	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nisa Hanifah

NIM : 17640003

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : *Analisi Relokasi Hiposenter Gempabumi di Zona Flores Back Arc Thrust Fault Menggunakan Metode Double Difference*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 13 Desember 2021
Yang Membuat Pernyataan



Nisa Hanifah
NIM. 17640003

MOTTO

“BARANGSIAPA BERANI MEMAKSA DIRI UNTUK
BISA DAN BERUSAHA, MUSTAHIL TAKKAN
BERHASIL “

“ مَنْ جَدَّ وَجَدَ “

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya sebagai tanda terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala perjuangan, kasih sayang, dan cinta yang telah dicurahkan kepada saya selama ini. Dan juga kepada seluruh keluarga saya yang selalu memberi bantuan semangat dan doa sehingga saya bisa sampai pada tahapan ini.

Tak lupa saya ucapkan terimakasih kepada diri saya sendiri yang sudah mampu melawan segala bentuk kemalasan sehingga dapat melewati seluruh proses hingga saat ini dengan penuh semangat dan pantang menyerah.

Kemudian kepada seluruh dosen-dosen Fisika UIN Malang yang telah mengajarkan berbagai ilmu dan pengalamannya selama ini. Semoga ilmu-ilmu tersebut dapat bermanfaat bagi saya di kemudian hari.

Tak terlupa saya ucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menyusun skripsi ini.

Selanjutnya kepada seluruh teman-teman Fisika 17 yang senantiasa menemani saya dalam melewati seluruh proses perkuliahan baik dalam keadaan senang maupun susah. Terimakasih sudah banyak membantu saya dan selalu memberi semangat untuk terus melanjutkan perjuangan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal ini dengan baik. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah SAW yang telah menuntun manusia dari zaman kegelapan hingga zaman terang-benderang. Proposal skripsi yang telah penulis susun berjudul **“Analisis Relokasi Hiposenter Gempabumi di Zona Flores *Back Arc Thrust Fault* Menggunakan Metode *Double Difference*”**

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan proposal skripsi ini dengan baik. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan membimbing dengan baik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Satrio Happrobo, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing dari BMKG Tretes Pasuruan yang telah senantiasa memberikan bantuan bimbingan dan bantuan dari awal hingga selesainya skripsi ini.
6. Dr. Erna Hastuti, M.Si selaku dosen pembimbing integrasi yang telah meluangkan waktunya dan senantiasa memberikan masukan yang sangat membantu dalam penelitian ini.
7. Seluruh dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mendidik dan membimbing dengan baik.

8. Teristimewa kedua orang tua saya yang telah mendukung sepenuhnya serta limpahan kasih sayang yang tak terhingga.
9. KH. Yahya Jafar dan Ibu Ny. Hj. Syafiyyah Fattah pengasuh PPP. Al-Hikmah Al-Fathimiyyah yang saya hormati dan takdimikan yang telah mengajarkan nilai-nilai kehidupan.
10. Teman-teman fisika angkatan 2017 yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.
11. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyusun skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua bantuan dengan kebaikan yang berlimpah baik di dunia maupun di akhirat. Penulis berharap semoga skripsi ini sedikit banyak memberi manfaat bagi pembaca dan penulis terutama dibidang geofisika. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif agar tulisan ini menjadi lebih baik lagi.

Malang, 25 Juni 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusuan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Masalah	8
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Sistem Tektonik	9
2.1.1 Teori Tektonik Lempeng	9
2.1.2 Zona Flores	14
2.1.3 Kondisi Tektonik Flores	15
2.1.4 Flores <i>Back Arc Thrust Fault</i>	17
2.2 Gempabumi	20
2.2.1 Klasifikasi Gempabumi	22
2.2.2 Parameter Gempabumi	25
2.3 Gelombang Seismik	28
2.3.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	28
2.3.2 Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>)	31
2.4 Metode Relokasi Hiposenter	33
2.4.1 Persebaran Hiposenter Gempabumi	35
2.4.2 Metode <i>Double Difference</i>	37
2.4.3 Algoritma Metode <i>Double Difference</i>	39
2.5 Gempabumi di Dalam Al-Qur'an	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	46

3.2 Alat dan Bahan Penelitian	46
3.3 Tahapan Penelitian	49
3.3.1 Seleksi Data.....	49
3.3.2 Konversi Data.....	50
3.3.3 Pengolahan Data.....	52
3.3.4 Uji Validasi	57
3.3.5 Analisis Hasil	58
3.3.6 Interpretasi.....	58
3.4 Diagram Alir Langkah Penelitian	59
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Hasil Relokasi Hiposenter Gempabumi	60
4.2 Persebaran Hiposenter Gempabumi Setelah Relokasi	63
4.3 Histogram Residual	70
4.4 Analisis Sebaran Hiposenter	73
4.5 Gempabumi Dalam Perspektif Al-Qur'an	81
BAB V PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi Lempeng Di Seluruh Dunia.....	12
Gambar 2.2	Batas Lempeng Divergen	13
Gambar 2.3	Batas Lempeng Konvergen (Zona Subduksi)	13
Gambar 2.4	Batas Lempeng Transform	15
Gambar 2.5	Satuan Tektono-Struktural Kepulauan Nusa Tenggara.....	17
Gambar 2.6	Lokasi Flores <i>Back Arc Thrust Fault</i>	19
Gambar 2.7	Sumber Gempabumi.....	22
Gambar 2.8	Ilustrasi Pergerakan Medium Gelombang P.....	30
Gambar 2.9	Ilustrasi Pergerakan Medium Gelombang S.....	31
Gambar 2.10	Ilustrasi Pergerakan Gelombang <i>Rayleigh</i>	33
Gambar 2.11	Ilustrasi Pergerakan Gelombang Love	34
Gambar 2.12	Peta Sebaran Hiposenter Sebelum Relokasi.....	37
Gambar 2.13	Peta Sebaran Hiposenter Setelah Relokasi.....	38
Gambar 2.14	Ilustrasi Algoritma Metode <i>Double Difference</i>	39
Gambar 3.1	Katalog Gempa Sebelum Proses Seleksi.....	52
Gambar 3.2	<i>IDLE</i> Editor Dengan Skrip Konversi	53
Gambar 3.3	Data Gempa Dengan Ekstensi .pha	54
Gambar 3.4	Ilustrasi Parameter Yang Digunakan.....	55
Gambar 3.5	Pengolahan Data Pada <i>Ph2dt</i> Dengan <i>Cygwin</i>	56
Gambar 3.6	Proses Relokasi Gempa Dengan <i>Hypodd</i> Pada <i>Cygwin</i>	58
Gambar 4.1	Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi	63
Gambar 4.2	Peta Episenter Gempabumi Setelah Relokasi	65
Gambar 4.3	Distribusi Gempa (a) Episenter (b) Hiposenter Sebelum Relokasi .	66
Gambar 4.4	Distribusi Gempa (a) Episenter (b) Hiposenter Sebelum Relokasi .	67
Gambar 4.5	Distribusi Gempa (a) Episenter (b) Hiposenter Setelah Relokasi .	69
Gambar 4.6	Distribusi Gempa (a) Episenter (b) Hiposenter Setelah Relokasi	70
Gambar 4.7	Histogram Residual Sebelum Relokasi	73
Gambar 4.8	Histogram Residual Setelah Relokasi	74
Gambar 4.9	Diagram Kompas.....	76
Gambar 4.10	Diagram Rose	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Gempa Berdasarkan Magnitudo	21
Tabel 3.1 Model Kecepatan <i>PREM</i>	51
Tabel 4.1 Sudut dan Jarak Pergeseran Hiposenter Gempabumi Setelah Relokasi	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Data Katalog Gempabumi BMKG	93
Lampiran II Data Stasiun Pengamat Gempabumi.....	103
Lampiran III HypoDD.loc.....	108
Lampiran IV HypoDD.reloc	117
Lampiran V HypoDD.sta	123
Lampiran V HypoDD.res	123
Lampiran VI Bukti Konsultasi	129

ABSTRAK

Hanifah, Nisa. 2021. **Analisis Relokasi Hiposenter Gempabumi di Zona Flores *Back Arc Thrust Fault* Menggunakan Metode *Double Difference***. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing : (I) Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

Kata Kunci : Gempabumi, Relokasi Hiposenter, *Double Difference*, Flores *Back Arc Thrust*.

Pulau Nusa Tenggara menjadi salah satu pulau dengan tingkat kerawanan seismik yang sangat tinggi karena adanya aktivitas pertemuan lempeng Indo-Australia dan adanya sebuah struktur tektonik sesar naik belakang busur kepulauan atau yang lebih dikenal dengan Flores *back arc thrust*. Salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi yang dapat dilakukan adalah relokasi hiposenter. Relokasi hiposenter akan diperlukan untuk memperoleh hiposenter yang lebih akurat yang dibutuhkan untuk analisis seismisitas, kondisi tetonik, struktur kecepatan, atau zona sesar. Algoritma *Double Difference* mampu meningkatkan keakurasian posisi hiposenter menggunakan data waktu tempuh antara pasangan gempa yang memiliki jarak lebih dekat daripada jarak keduanya ke suatu stasiun pengamat tanpa menggunakan koreksi stasiun.

Dari hasil analisis yang dilakukan posisi hiposenter setelah direlokasi mengalami pergeseran jarak maksimum sebesar 8 km dan pergeseran sudut $0 - 45^\circ$ yang didominasi ke arah utara. Selain itu sebaran gempa dengan magnitudo besar dan kedalaman dangkal didominasi oleh gempa-gempa yang berada di bagian utara busur kepulauan Nusa Tenggara.

ABSTRACT

Hanifah, Nisa. 2021. **Analysis Of Earthquake Hypocenter Relocation In The Flores Back Arc Thrust Fault Zone Using The Double Difference Method.**
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.
Supervisors : (I) Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si (II) Erna Hastuti, M.Si

Keywords: Earthquake, Hypocenter Relocation, Double Difference, Flores Back Arc Thrust.

Nusa Tenggara Island is one of the islands with a very high level of seismic vulnerability due to the activity of the meeting of the Indo-Australian plate and the presence of a tectonic structure of the fault up behind the archipelagic arc or better known as the Flores back arc thrust. One of the earthquake disaster mitigation efforts that can be done is the relocation of the hypocenter. Hypocenter relocation will be necessary to obtain more accurate hypocenters required for seismicity analysis, tectonic conditions, velocity structures, or fault zones. The Double Difference Algorithm is able to increase the accuracy of the hypocenter position using data on travel time between earthquake pairs that have a closer distance than the distance between them to an observer station without using station corrections.

From the results of the analysis, the hypocenter position after being relocated experienced a maximum distance shift of 8 km and an angle shift of $0 - 45^\circ$ which was dominated to the north. In addition, the distribution of earthquakes with large magnitudes and shallow depths is dominated by earthquakes located in the northern part of the Nusa Tenggara archipelago.

مستخلص البحث

حنيفة، نساء. ٢٠٢١. تحليل نقل هيبوسنتر الزلزالي في ولاية فلوريس بيك أرج ترويس باستخدام طريقة دوبل ديفرنس. قسم الفيزياء. كلية علوم الطبيعية والتكنولوجية. جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج المرشد: (١) أحمد لطفين، الماجستير (٢) آرنا هستوتي، الماجستير.

الكلمة المفتاحية: الزلزالي، ريلوكاسي هيبوسنتر، دوبل ديفرنس، فلوريس بيك أرج تروس.

صارت جزيرة نوسا تنجكار إحدى من جزائر بدرجة تعريض الزلزالي عاليا لأن فيها توجد نشاط إلقاء لوحة الإندونسي-أستراليا وتوجد هيكل التكتوني للصدع المتصاعد خلف قوس الجزيرة أو مشهورة بفلوريس بيك أرج تروس. أحد جهود التخفيف من آثار الزلزال التي يمكن القيام بها هو ريلوكاسي هيبوسنتر. ستعمل ريلوكاسي هيبوسنتر لنيل هيبوسنتر على الأصح التي تحتاج لتحليل سئسميسيتاس، حال التكتونية، هيكل السرعة، أو ولاية سيسار. تقدر ألعارتما دوبل ديفرنس تقديم تصحيح موقع هيبوسنتر باستخدام نتيجة وقت بيانات وقت السفر بين أزواج الزلازل الأقرب من المسافة بينهما إلى محطة مراقبة بدون استخدام تصحيحات المحطة من نتائج التحليل التي قد عملت أن موقع هيبوسنتر بعد وجود ريلوكاسي مصيب تحول المسافة الأقصى بمقدار ٨ كيلومترات وتحول الزاوية ٠ - ٤٥ التي تهيمن إلى الشمال. وغيرها توقيع الزلزالي بضخامة كبيرة وعمق ضخ القوسي تهيمن بزلازل التي تقوم في جزء الشمال. جزيرة نوسا تنجكارا

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu negara berbentuk kepulauan yang terletak pada pertemuan antara tiga lempeng tektonik aktif dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Selain itu, terdapat sembilan lempeng kecil yang saling bertemu dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang sangat kompleks. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan Indonesia sebagai salah satu wilayah yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Gempabumi sendiri merupakan suatu fenomena bergoncang atau bergetarnya bumi akibat pergerakan atau pergeseran batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan didalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi atau gelombang seismik sehingga efek yang ditimbulkan dapat dirasakan hingga permukaan bumi (Sunarjo dkk, 2012).

Fenomena pergerakan lempeng yang menyebabkan adanya gempa bumi ini telah dibahas di dalam Al-Qur'an dalam QS. An-Naml ayat 88 yang berbunyi :

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي لَيْسَ أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ هُوَ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ (٨٨)

Artinya : “ Dan engkau melihat gunung-gunung, yang engkau kira tetap di tempatnya padahal ia berjalan (seperti) awan berjalan. (Itulah) ciptaan Allah yang mencipta dengan sempurna segala sesuatu. Sungguh, Dia Maha Teliti apa yang kamu kerjakan “ (QS. An-Naml [27] : 88).

Dijelaskan dalam Terjemahan Tafsir Jalalain (2007) bahwa gunung-gunung yang bagi sebagian besar orang dianggap selalu diam di tempatnya saat terjadinya tiupan malaikat Israfil, sebenarnya gunung-gunung tersebut mengalami pergerakan yang diibaratkan seperti hujan yang tertiup angin. Namun pergerakan

tersebut sangat lambat karena saking besarnya, kemudian akan jatuh ke bumi lalu hancur lebur menjadi abu bagaikan bulu-bulu yang berterbangan. Seperti itulah kuasa Allah SWT yang mampu membuat tiap-tiap sesuatu rapih dan kokoh. Sungguh Allah Maha teliti atas perbuatan maksiat yang dilakukan oleh musuh-Nya dan perbuatan taat apa yang dilakukan oleh kekasih-Nya.

Menurut pandangan Alfred Wegener seorang ilmuwan asal Jerman, benua-benua pada permukaan bumi menyatu pada masa-masa awal bumi, tetapi bergeser ke arah yang berbeda-beda sehingga terpisah ketika bergerak saling menjauhi. Pergerakan ini telah diukur dan berkecepatan 1 hingga 5 cm per tahun. Lempengan-lempengan tersebut terus-menerus bergerak dan menghasilkan perubahan pada geografi bumi secara perlahan. Teori tektonik lempeng menjelaskan bahwa pergerakan lempeng bumi tersebut disebabkan oleh arus konveksi dari dalam bumi. Dimana, arah pergerakan lempeng dapat bersifat divergen maupun konvergen. Pergerakan tektonik lempeng ini juga menjadi salah satu penyebab terjadinya gempa bumi selain akibat adanya letusan gunung api (Kayal, 2008).

Gempabumi menjadi salah satu bencana yang memiliki potensi berbahaya terhadap aktivitas manusia. Hal ini dikarenakan gempa bumi merupakan suatu fenomena yang belum bisa diprediksi kapan akan terjadi dan seberapa besar kekuatannya, sehingga perlu adanya kewaspadaan bagi setiap orang dalam menghadapi fenomena ini. Selain belum bisa diprediksi secara akurat bencana ini juga dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan yang sangat fatal terhadap berbagai infrastruktur bahkan dapat menelan korban jiwa.

Pulau Nusa Tenggara menjadi salah satu pulau dengan tingkat kerawanan seismik yang sangat tinggi karena adanya aktivitas pertemuan lempeng. Selain itu, Nusa Tenggara juga rawan terhadap gempa karena adanya sebuah struktur tektonik sesar naik belakang busur kepulauan atau yang lebih dikenal dengan *back arc thrust*. Struktur ini terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap lempeng Samudera Indo-Australia. *Back arc thrust* membujur di laut Flores sejajar dengan busur kepulauan Bali dan Nusa Tenggara dalam bentuk segmen-segmen (Ndeo dkk, 2017).

Flores *back arc thrust fault* atau sesar segmen barat yang membujur dari timur laut Bali sampai dengan utara Flores ini sudah terbukti nyata beberapa kali menjadi penyebab beberapa gempa mematikan karena ciri gempanya yang dangkal dengan magnitudo besar. Berdasarkan data BMKG, sebagian besar gempa terasa hingga gempa merusak yang mengguncang Bali, NTB, dan NTT disebabkan oleh sesar ini. Flores *back arc thrust fault* juga dikenal sebagai generator gempa-gempa merusak yang akan terus-menerus mengancam untuk mengguncang busur kepulauan. Sesar ini sangat populer pada akhir tahun 1992 yang menyebabkan gempa Flores dan diikuti gelombang pasang Tsunami yang menewaskan 2.100 orang. Gempabumi dangkal akibat dari aktivitas Flores *back arc thrust fault* juga terjadi pada 29 Juli 2018 yang berkekuatan 6,4 SR pada kedalaman 24 km. Gempa ini mengakibatkan 20 korban meninggal dunia, 401 korban luka-luka, dan sekitar 10.000 rumah mengalami kerusakan. Selain itu, sesar ini juga menjadi penyebab terjadinya gempa susulan Lombok berkekuatan 7 SR pada 5 Agustus 2018. Gempa ini mengakibatkan tsunami kecil pada empat titik lokasi, yakni di Desa Carik setinggi 13,5 cm, Desa Badas 10 cm, Desa

Lembar 9 cm, dan Desa Benoa 2 cm. Beberapa faktor diatas menunjukkan akan pentingnya upaya mitigasi gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* secara sistematis, terorganisir, dan bertanggungjawab terhadap gempabumi merupakan salah satu fenomena alam yang belum bisa diprediksi secara pasti kapan akan terjadi dan berapa kekuatannya. Salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi yang dapat dilakukan adalah relokasi hiposenter atau teknik perhitungan ulang terhadap model kecepatan gelombang gempa yang ada didalam lapisan bumi. Relokasi hiposenter akan diperlukan untuk memperoleh hiposenter yang lebih akurat yang dibutuhkan untuk analisis seismisitas, kondisi tetonik, struktur kecepatan, atau zona sesar (Nabila, 2020). Selain itu, setelah dilakukan relokasi hiposenter peta persebaran hiposenter pada irisan penampang vertikal akan lebih bervariasi dan tidak banyak berada pada kedalaman 10 km saja serta lebih dapat menggambarkan pola tektonik dan subduksi. Hal ini disebabkan oleh otomatisasi penentuan kedalaman gempabumi oleh perangkat lunak Seiscomp3 yang digunakan BMKG. Apabila hasil analisis kedalaman tidak terpusat dengan baik, maka software Seiscomp3 secara otomatis akan membuat kedalaman kejadian gempabumi tersebut pada kedalaman 10 km atau dikenal dengan *fix depth* (Azizah dkk, 2019).

Penelitian mengenai relokasi hiposenter gempabumi sebelumnya telah dilakukan oleh Shinta dkk (2020) dengan judul studi relokasi hiposenter *aftershock* gempabumi Yogyakarta 2006. Penentuan hiposenter awal dilakukan menggunakan program *Geiger Adaptive Damping* (GAD) dengan menerapkan metode SED. Hasil pola persebaran hiposenter gempabumi membentuk tiga buah *cluster* yang sejajar dengan sesar Opak, penelitian ini juga menemukan adanya

rambatan energi di sepanjang zona lemah sesar Opak dari sesar aktif di bagian timur pada waktu pengamatan yang lebih panjang. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Rahmasari (2014) dengan judul relokasi hiposenter gempa bumi utama dan gempa bumi susulan menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) di Bali. Pada relokasi ini, model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan global IASP91 yang mampu memperhitungkan lapisan diskontinuitas hingga kedalaman 20 dan 35 km. Hasil relokasi pada gempabumi ini mengalami perubahan hiposenter gempa dengan nilai koreksi stasiun $RMS = 0,017$ serta menunjukkan sebaran gempa susulan menuju arah timur laut.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Azizah dkk (2019) dengan judul relokasi hiposenter gempabumi dan model struktur kecepatan 1 dimensi gelombang P dengan menggunakan metode *Coupled-Velocity-Hypocenter* di daerah Sulawesi Tengah dan sekitarnya. Pada penelitian kali ini data gempa tektonik yang digunakan adalah hasil analisis dari BMKG pusat mulai November 2009 hingga Maret 2018 dengan kriteria nilai azimuth gap $\leq 190^\circ$ dan jumlah fase stasiun tiap kejadian gempa berjumlah lebih dari 10 fase gelombang P. Hasil relokasi menghasilkan perubahan kedalaman yang bervariasi dan sebagian dari hasil relokasi mendekati sesar dengan V_p hasil akhir pada kedalaman 9 km lebih lambat dibandingkan V_p inisial.

Nugraha *et.al* (2018) juga melakukan penelitian terkait relokasi hiposenter di busur Sunda. Penelitian ini menggunakan data berupa katalog gempa yang diperoleh dari BMKG dan digabungkan dengan data waktu kedatangan dari *International Seismological Center* (ISC). Datanya berasal dari 436 stasiun

seismik di jarak lokal, regional, dan teleseismik. Mereka membatasi data gempa hanya pada lokasi-lokasi yang memiliki azimuth gap kurang dari 210° dan memiliki setidaknya 10 *arrival time*. Inversi dilakukan dengan 20 iterasi, dan 6111 gempa berhasil direlokasi. Hasilnya terjadi pengurangan residual waktu tempuh yang signifikan, dimana persentil ke-95 dari sisa waktu tempuh katalog BMKG adalah 2,5 detik dan hasil relokasi 1,14 detik. Pergeseran pusat gempa rata-rata 8,8 km, sedangkan rata-rata perubahan kedalaman gempa 7,6 km. Arah relokasi di wilayah Sumatera secara dominan tegak lurus dengan Pulau Sumatera.

Pada penelitian sebelumnya penentuan hiposenter dilakukan dengan menggunakan metode umum *Geiger Adaptive Damping* (GAD) dan memiliki kualitas yang kurang baik karena error yang disebabkan oleh struktur kecepatan yang tidak termodelkan, padahal dalam mempelajari aktivitas kegempaan dan tektonik di suatu wilayah, penentuan parameter hiposenter gempabumi secara akurat sangatlah penting. Sehingga, metode relokasi hiposenter yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *double difference*. Metode *double difference* merupakan salah satu metode relokasi hiposenter relatif yang pertama kali diperkenalkan oleh Felix Waldhauser dan Ellsworth pada tahun 2000 dan implementasi dari metode ini adalah *software* hypoDD yang dibuat untuk memudahkan perhitungan relokasi hiposenter (Dari dan Sabarani, 2016). Prinsip dari metode ini menganggap bahwa pada setiap gempa bumi yang berpasangan, yaitu dua gempa yang memiliki jarak hiposenter yang sangat kecil dibandingkan jarak terhadap stasiun, *raypath* kedua gempa dapat dianggap mendekati sama. Dengan demikian, selisih waktu tempuh antara kedua gempa yang terekam pada satu stasiun yang sama dianggap hanya sebagai fungsi jarak antara kedua

hiposenter. Sehingga kesalahan model kecepatan dapat diminimalkan tanpa menggunakan koreksi stasiun. .

Berdasarkan pemaparan diatas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “ Analisis Relokasi Hiposnter Gempabumi di Zona Flores *back arc thrust fault* Menggunakan Metode *Double Difference*”. Harapan dari relokasi hiposenter gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* menggunakan metode *double difference* ini mampu menunjukkan perubahan lokasi hiposenter yang lebih akurat dari data katalog gempabumi sebelumnya dengan validasi banyaknya residual waktu tempuh gelombang setelah relokasi yang mendekati nol. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi seismisitas yang lebih detail terkait Flores *back arc thrust fault* dari distribusi data gempabumi yang sudah direlokasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana relokasi atau perubahan hiposenter gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* menggunakan metode *double difference* ?
2. Bagaimana sebaran hiposenter gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* antara sebelum dan sesudah direlokasi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui relokasi atau perubahan hiposenter gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* menggunakan metode *double difference*
2. Untuk mengetahui sebaran hiposenter gempabumi di zona Flores *back arc thrust fault* antara sebelum dan sesudah direlokasi

1.4 Batasan Masalah

1. Wilayah yang diteliti berada pada titik koordinat $115,67^{\circ}$ - $125,04^{\circ}$ BT dan $7,28^{\circ}$ - $8,20^{\circ}$ LS.
2. Data gempabumi yang digunakan merupakan data gempabumi periode 20 April 2009 - 31 Januari 2017. Data gempa yang digunakan memiliki magnitudo yang berada pada kisaran 4-6 SR dan terletak pada kedalaman 0 - 70 km.
3. Metode yang digunakan metode *double difference*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Segi Akademik
 - a. Menambah pemahaman terhadap relokasi hiposenter gempabumi, khususnya dengan menggunakan metode *double difference*
 - b. Memberikan kontribusi di bidang penelitian yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya
2. Segi Masyarakat

Memberikan informasi mengenai posisi hiposenter yang lebih akurat kepada masyarakat untuk mitigasi bencana dalam pra pemetaan kerawanan

gempabumi. Sehingga, masyarakat lebih waspada terhadap gempabumi yang belum bisa diprediksi secara pasti kapan akan terjadi dan berapa kekuatannya

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tektonik

Sistem tektonik berkaitan erat dengan adanya pergerakan lempeng. Menurut Noor (2018) sistem tektonik merupakan suatu sistem yang melibatkan pergeseran litosfir, dimana litosfer akan terpecah menjadi suatu mosaik dari lempeng-lempeng yang terpisah. Lempeng-lempeng tersebut memisahkan diri sehingga akan saling bertabrakan maupun berpapasan satu sama lainnya. Sistem ini berada pada zona subduksi, zona patahan, maupun berada sepanjang zona sesar.

2.1.1 Teori Tektonik Lempeng

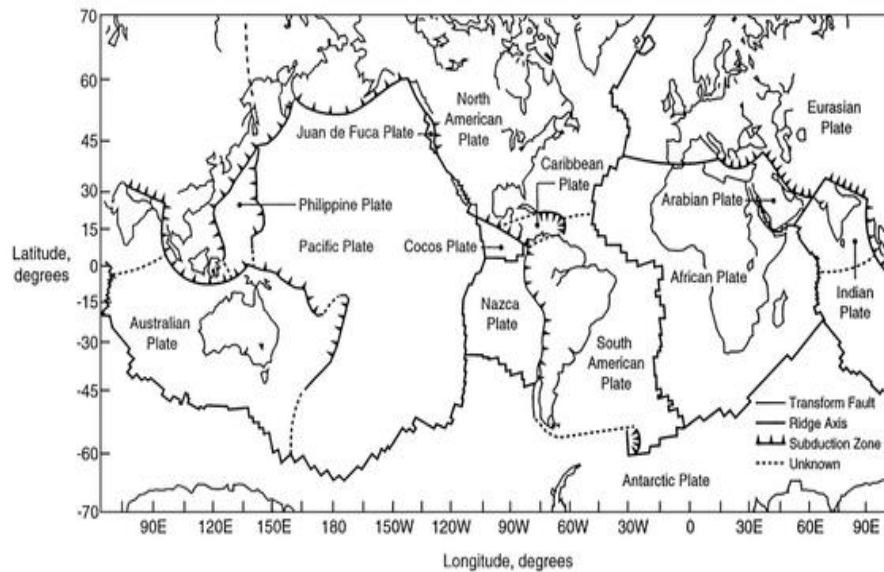
Istilah tektonik, berasal dari bahasa Yunani *tektonikos* yang merujuk pada sebuah bangunan atau konstruksi. Sedangkan dalam ilmu geologi, tektonik merupakan suatu kajian dari formasi maupun deformasi kerak bumi yang dihasilkan dalam skala yang sangat besar.

Teori terkait tektonik lempeng berkembang di akhir tahun 1960. Teori ini menggabungkan gagasan yang sebelumnya telah ada, yaitu apungan benua (*continental drift*) dan *seafloor spreading*. Pada awal tahun 1900, seorang ahli meteorologi Jerman, Alfred Wegener, mencatat Amerika Selatan, India, Antartika, dan Australia memiliki batuan Paleozoik yang hampir identik. Dari gagasan tersebut Wegener kemudian menyatakan bahwa dunia dahulu terdiri dari satu benua besar bernama Pangea, hal ini didasarkan bahwa batuan identik dari beberapa negara akan lebih mudah dijelaskan asalnya daripada posisi benua saat ini yang tersebar luas ke segala arah (Bolt, 1978). Menurut teori ini, bagian

luar bumi merupakan kulit yang tersusun atas lempeng-lempeng tektonik yang saling bergerak. Di bagian atas disebut lapisan litosfer yang merupakan bagian kerak bumi yang tersusun dari material kaku. Lapisan ini memiliki ketebalan 80 km di daratan dan 15 km dibawah samudera (Afnimar, 2009).

Gerakan lempeng tektonik berlangsung secara berkelanjutan atau terus menerus. Pergerakan ini diakibatkan adanya arus konveksi pada mantel. Namun tidak hanya arah konveksi, ada mekanisme lain yang turut mengendalikan pergerakan lempeng tektonik, yaitu *ridge push*, *slab pull*, *slab subduction*, *mantle plume*, dan *hot spots*. Pergerakan lempeng ini sangat lambat, sehingga tidak dapat dilihat dengan pengamatan langsung. Lempeng mengalami pergeseran dengan rata-rata 0,5-3 inci (2-8cm) setiap tahunnya. Saat proses pergerakannya, lempeng ini dapat saling bertumbukan sehingga memicu adanya gempa bumi pada batas-batas lempeng. Ketika ada suatu pergerakan pada patahan yang terjadi bisa hanya beberapa inci atau hingga beribu kilometer, dan dekat dengan permukaan atau pada kedalaman yang cukup dalam (Trueit, 2003).

Secara umum, terdapat 13 lempeng yang terbentuk akibat pergerakan lempeng. Lempeng ini meliputi lempeng besar maupun kecil. Untuk lempeng mayor (besar) terdiri dari lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, lempeng India-Australia, lempeng Afrika, lempeng Amerika Utara, lempeng Amerika Selatan, dan Lempeng Antartika serta beberapa lempeng minor (kecil) seperti lempeng Nasca, lempeng Arab, lempeng Karibia, lempeng *Phillippines*, lempeng Scotia, dan lempeng Cocos.

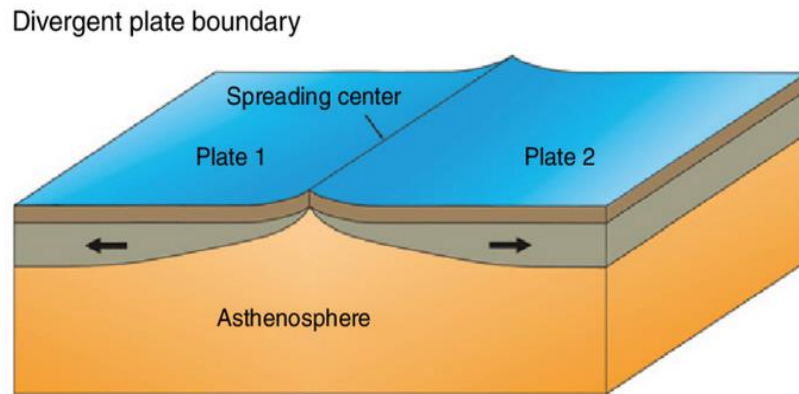


Gambar 2.1 Distribusi Lempeng di Seluruh Dunia (Turcotte, 2014)

Lempeng bergerak relatif satu sama lain sepanjang batas lempeng. Berdasarkan tipe pergerakan lempeng tektonik di perbatasan lempeng, lempeng tektonik dibagi menjadi tiga tipe, yaitu :

1. Batas lempeng divergen

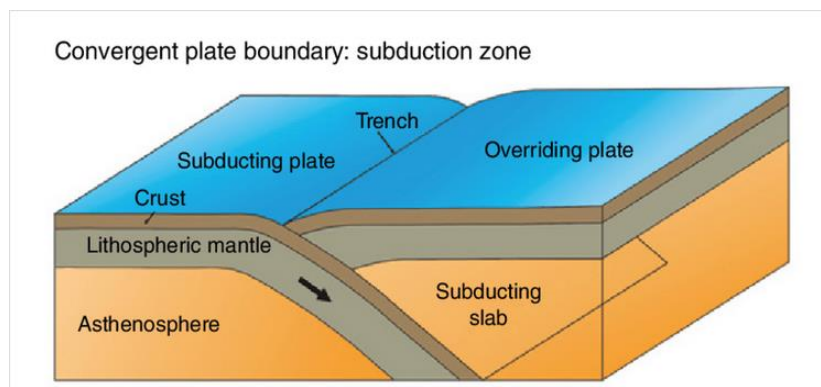
Batas lempeng divergen adalah batas antar lempeng yang saling menjauh satu dan lainnya. Pemisahan ini disebabkan karena adanya gaya tarik (*tektional force*) yang mengakibatkan naiknya magma ke permukaan dan membentuk material baru berupa lava yang kemudian berdampak pada lempeng yang saling menjauh dan membentuk sebuah ngarai yang dalam (Noor, 2009). Contoh yang paling terkenal dari batas lempeng jenis divergen adalah Punggung Tengah Samudera (*Mid Ocean Ridges*) yang berada di dasar Samudera Atlantik, disamping itu contoh lainnya adalah difting yang terjadi antara Benua Afrika dengan Jazirah Arab yang membentuk laut merah.



Gambar 2.2 Batas Lempeng Divergen (Duarte, 2016)

2. Batas lempeng konvergen

Batas lempeng konvergen adalah batas antar lempeng yang saling mendekat satu sama lain. Ketika lempeng samudera bertemu dengan lempeng benua, lempeng samudera akan menujam (subduksi) dan ketika 2 lempeng benua bertemu maka akan membentuk sistem rangkaian pegunungan (Lutgens, 2012).



Gambar 2.3 Batas Lempeng Konvergen (Zona Subduksi) (Duarte, 2016)

Batas lempeng konvergen dapat berupa batas subduksi (*subduction*) atau batas obduksi (*obduction*).

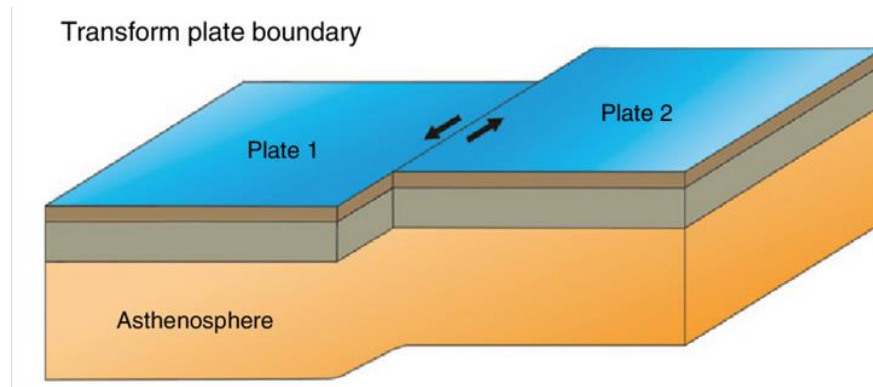
- a. Zona Subduksi (*Subduction Zone*) adalah batas lempeng yang berupa tumbukan lempeng dimana salah satu lempeng menyusup kedalam perut

bumi dan lempeng lainnya terangkat ke permukaan. Contoh batas lempeng konvergen dengan tipe subduksi adalah kepulauan Indonesia sebagai bagian dari lempeng benua Asia Tenggara dengan lempeng Samudera Hindia-Australia di sebelah selatan Sumatera-Jawa-NTB dan NTT. Batas kedua lempeng itu berupa suatu zona subduksi yang terletak di laut berbentuk palung (trench) yang memanjang dari Sumatera, Jawa, hingga ke Nusa Tenggara Timur. Kepulauan Filipina juga merupakan hasil subduksi antara lempeng, yaitu lempeng Filipina dan lempeng Samudra Pasifik (Noor, 2009).

- b. Zona Obduksi (*Obduction Zone*) adalah batas lempeng yang merupakan hasil tumbukan lempeng benua dengan benua yang membentuk suatu rangkaian pegunungan. Contoh batas lempeng obduksi adalah pegunungan Himalaya yang merupakan hasil tumbukan lempeng Benua India dengan lempeng Benua Eurasia (Noor, 2009)

3. Batas lempeng transform

Batas transform adalah batas antar lempeng yang saling berpapasan dan saling bergeser satu dan lainnya sehingga menghasilkan suatu sesar mendatar jenis *strike slip fault*. Ketika lempeng saling berpapasan, gempa akan terjadi sepanjang patahan dimana besarnya tergantung panjang patahan dan memotong lempeng benua atau lempeng samudera (Plummer, 2013). Contoh batas lempeng jenis transform adalah patahan San Andreas di Amerika Serikat yang merupakan pergeseran lempeng Samudera Pasifik dengan lempeng Benua Amerika Utara.



Gambar 2.4 Batas Lempeng Transform (Duarte, 2016)

2.1.2 Zona Flores

Flores merupakan salah satu pulau di wilayah Indonesia Timur, termasuk dalam jajaran kepulauan Nusa Tenggara yang diantaranya termasuk pulau Timor dan Sumba. Secara Fisiografi Pulau Flores terletak diantara busur Sunda di bagian Barat dan Busur Banda di bagian Timur serta perbatasan antara Cekungan Flores di utara dan Cekungan Savu di selatan. Secara geologi kepulauan ini terletak di pusat Busur Banda yang merupakan busur magmatik dengan ciri utamanya adalah morfologi gunung api aktif dengan sejumlah gunung yang tampak jelas karena masih aktif hingga saat ini diantaranya adalah Gunung Ine Rie, Ambulombo, Ranakah, Lewotobi, Egon, Ine Lika, dan Kelimutu. Tatanan geologi pulau Flores bagian utara sangat rumit, tersusun oleh batuan berumur tersier seperti batuan beku, klastika gunung api, dan batuan sedimen, sedangkan bagian selatan terdapat gunung api aktif. Busur Banda terbentang dari Bali ke arah timur Sumbawa, Flores, dan pulau-pulau kecil timur Flores serta melengkung ke arah utara menyerupai sendok (Rahardiawan, 2016).

Pulau ini memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia yang berkaitan dengan aktivitas benturan lempeng (*plate collision*) akibat pergerakan Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Selain

itu aktivitas kegempaan di wilayah ini juga disebabkan oleh fenomena sesar busur naik belakang kepulauan atau yang lebih dikenal dengan Flores *back arc thrust* yang telah terbukti mengakibatkan gempa bumi merusak yang mengguncang Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur dengan ciri gempa berpusat di darat dengan kedalaman dangkal dan magnitudo besar. Mayoritas dari aktivitas kegempaan di wilayah ini sebenarnya tidak disebabkan oleh penyusupan lempeng namun didominasi oleh Fenomena *back arc thrust* ini.

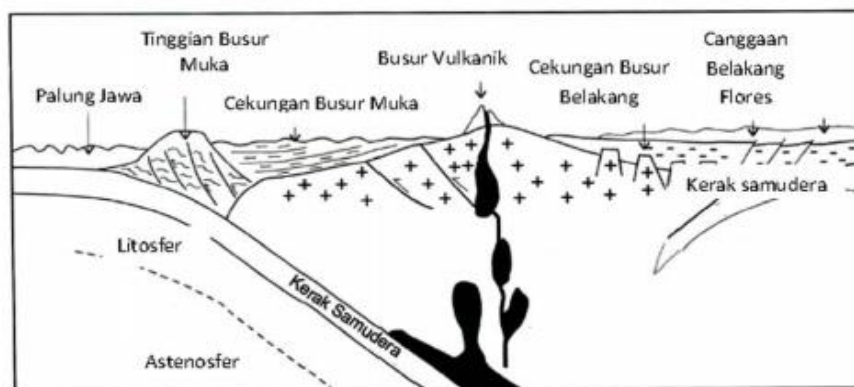
Zona subduksi Lempeng Indo-Australia di selatan Indonesia diperkirakan telah aktif sejak zaman oligosen akhir dengan kecepatan subduksi 70 mm/tahun dengan arah hampir ortogonal di Palung Jawa (Curry, 2005). Namun, kecepatan relatif ini menurun menjadi 15 mm/tahun di sepanjang *Timor Trough* sebagai konsekuensi dari perkembangan *back arc thrust* yang menahan pergerakan ke utara dari litosfer Australia.

2.1.3 Kondisi Tektonik Flores

Nusa Tenggara merupakan daerah perbatasan busur Kepulauan Sunda Kecil dan busur kepulauan Banda yang terbentuk akibat rotasi lempeng *counterclockwise* dari posisi awalnya yang berarah timur-barat. Rotasi busur banda berakhir di pertemuan tiga lempeng di laut Banda. Letak kepulauan Nusa Tenggara yang berada pada pertemuan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, ditandai adanya palung lautan (*oceanic trough*) pada batas pertemuan kedua lempeng tersebut (Darman, 2000) disebelah selatan Pulau Timor yang dikenal dengan *Timor Through*. Daerah ini termasuk dalam jalur Pegunungan Mediteranian (*TransAsiatic*). Secara tektonik, rangkaian gunung ini akibat

subduksi lempeng Indo-Australia. Berdasarkan teori tektonik lempeng, kepulauan Nusa Tenggara dapat dibagi menjadi empat tektonik-struktur, yaitu :

1. *Back Arc Unit/* Unit Belakang Busur : Laut Flores, yang dikenal dengan *Back Arc Thrust*
2. Unit Busur Dalam : Rangkaian kepulauan vulkanik Bali, Lombok, Sumbawa, Komodo, Flores, Adonora, Solor, Romben, Pantar, Alor, Kambing dan Wetar.
3. *Outer Arc Unit/* Unit Depan Busur : Non vulkanik *island*, Dana, Raijua, Sawu, Roti, Seamu dan Timor, Savu Thrust yang berada di selatan Sumbawa atau di dekat pulau Timor diduga berkaitan dengan struktur sesar naik belakang busur kepulauan (*back arc thrust*) yang berada di utara Sumbawa yang diidentifikasi adanya zona diskontinuitas lateral sepanjang jalur penujaman lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang berarah ke utara.
4. *Fore Arc Unit/* Unit Depan Busur : terletak antara busur dalam dan busur luar



Gambar 2.5 Satuan Tektono-Struktural Kepulauan Nusa Tenggara (Rangin dan Silver, 1990)

Kepulauan NTT dan sekitarnya merupakan bagian dari kerangka sistem tektonik Indonesia dan termasuk dalam jalur gunung api aktif yang berdekatan

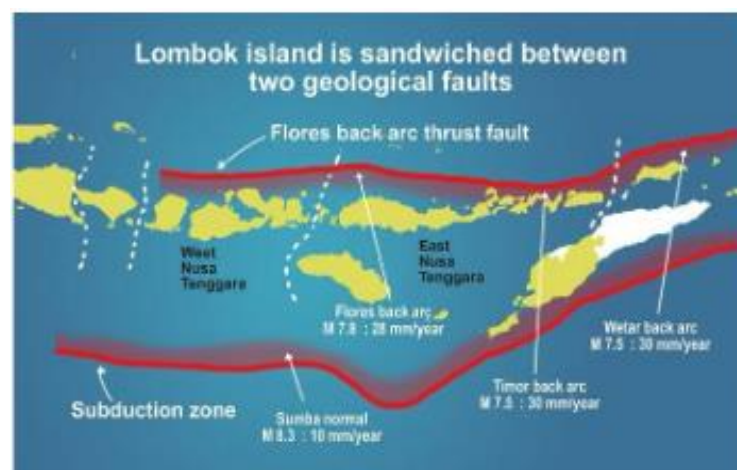
dengan zona tumbukan lempeng. Pergerakan lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia mengakibatkan daerah-daerah NTT sebagai daerah yang memiliki tingkat kegempaan cukup tinggi di Indonesia berkaitan dengan aktivitas benturan lempeng (*plate collision*). Pergerakan lempeng ini menimbulkan struktur-struktur tektonik yang merupakan ciri-ciri sistem subduksi yaitu Benioff Zone, palung laut (*oceanic trench*), punggung busur luar (*outer arc ridge*), cekungan busur luar (*outer arc basin*), dan busur pegunungan (*volcanic arc*).

Kegempaan di bagian Jawa meluas hingga kedalaman 600 km. Hal ini menunjukkan subduksi kerak *sub-ocean* milik lempeng Australia atau Papua Nugini dibawah Busur Banda dan penghentian vulkanisme pada Pliosen Awal. Tektonik ini berlawanan dengan Timor yang menunjukkan tabrakan Timor dengan Alor dan Wetar, setelah semua kerak samudera masuk ke zona subduksi. Ukuran pulau-pulau dari jajaran gunung api ini secara bertahap semakin kecil ke arah timur dari Jawa terus ke Bali, Lombok, Sumbawa, Flores, Wetar ke Banda. Penurunan ini terlihat di sebelah timur Pulau Wetar yang kemungkinan mencerminkan jumlah kerak samudera masuk ke dalam zona subduksi. Hal ini menyiratkan gerakan *dip-slip* ke arah barat Pulau Wetar dan *strike-slip* ke arah timur. Kemungkinan lain bahwa busur vulkanik sebelah timur Pulau Wetar berumur lebih muda dan busur vulkanik awal bertumbukan dengan tepi benua Australia

2.1.4 Flores Back Arc Thrust Fault

Selain kerawanan seismik akibat aktivitas benturan lempeng, kawasan Alor dan Flores juga sangat rawan karena adanya sebuah struktur tektonik sesar

naik busur belakang kepulauan yang populer dikenal sebagai *back arc thrust*. Menurut Daryono (2011) Flores *Back Arc Thrust* ini merupakan sebuah struktur geologi yang terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap Lempeng Samudera Indo-Australia dan telah terjadi sejak jutaan tahun yang lalu. Lempeng Indo-Australia menujam ke bawah Busur Bali dan Nusa Tenggara sehingga terbentuklah respon tektonik yang ada di Lempeng Eurasia. Respon tektonik terhadap penujaman lempeng ini berupa patahan naik Flores yang jalurnya sangat dekat dengan pesisir utara Bali, pesisir utara Lombok, Sumbawa, dan Flores. Fenomena tumbukan busur *benua (arc-continent collision)* diduga sebagai pengendali mekanisme deformasi sesar naik ini. *Back arc thrust* membujur di laut Flores sejajar dengan kepulauan Bali dan Nusa Tenggara dalam bentuk segmen-segmen, terdapat segmen utama maupun segmen minor (Daryono, 2011).



Gambar 2.6 Lokasi Flores *Back Arc Thrust Fault* (Prasetyo, 2019)

Patahan belakang busur Flores pertama kali dilaporkan oleh Hamilton (1979) berdasarkan beberapa profil refleksi dari Lamont Doherty. Kemudian Silver et al., (1986) memperkirakan bahwa patahan di sisi Barat berlanjut sampai ke Cekungan Bali yang terletak di Utara Pulau Bali atau yang biasa dikenal

sebagai sesar sungkup belakang busur Flores (*Flores Back Arc Thrust*) . Sesar ini terjadi sebagai reaksi terhadap tekanan yang timbul pada busur Kepulauan Nusa Tenggara karena adanya tumbukkan antara busur tersebut dengan dorongan Lempeng Indo-Australia (Daryono, 2011). Fenomena ini juga dapat digunakan sebagai suatu model yang ideal dari tahap awal pembalikan, dimana kerak samudera cekungan Flores menujam ke Selatan di bawah busur vulkanik. Hal ini berlawanan dengan subduksi ke arah Utara kerak benua Australia (*Australian continental crust*) sepanjang palung dalam Timor (*Timor Trench*) (McCaffrey, 1988).

Fenomena sesar naik belakang busur ini sangat menarik untuk diteliti dan dikaji mengingat sangat aktifnya dalam membangkitkan gempa-gempa tektonik di kawasan ini selain itu fenomena ini terbukti nyata beberapa kali menjadi penyebab gempa mematikan dan merusak karena karakteristiknya yang dangkal dengan magnitudo besar. *Flores back arc thrust* juga dikenal sebagai generator gempabumi merusak yang akan terus mengancam Bali, Lombok, Sumbawa, dan Flores. Sesar ini sangat populer pada akhir tahun 1992 yang menyebabkan gempa Flores dan diikuti gelombang pasang Tsunami yang menewaskan 2.100 orang. Gempabumi dangkal akibat dari aktivitas *Flores back arc thrust* juga terjadi pada 29 Juli 2018 yang berkekuatan 6,4 SR pada kedalaman 24 km. Gempa ini mengakibatkan 20 korban meninggal dunia, 401 korban luka-luka, dan sekitar 10.000 rumah mengalami kerusakan. Selain itu, sesar ini juga menjadi penyebab terjadinya gempa susulan Lombok berkekuatan 7 SR pada 5 Agustus 2018. Gempa ini mengakibatkan tsunami kecil pada empat titik lokasi, yakni di Desa Carik setinggi 13,5 cm, Desa Badas 10 cm, Desa Lembar 9 cm,

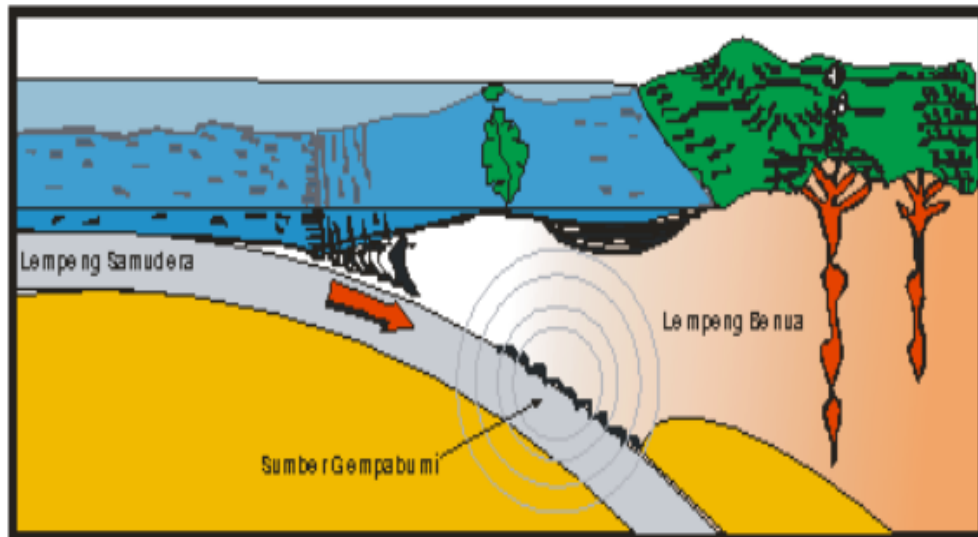
dan Desa Benoa 2 cm. Segmentasi sesar bagian timur memang dikenal (sesar naik Wetar/Wetar thrust) yang membujur dari utara pulau Alor hingga pulau Romang. Struktur ini juga tak kalah berbahaya dari Flores *back arc thrust* dalam mendorong gempa yang kuat.

1.2 Gempabumi

Gempabumi (*earthquake*) adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi atau gelombang seismik. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan korban jiwa (Sunarjo, 2012). Pada daerah tertentu, frekuensi terjadinya gempabumi lebih tinggi dari daerah lainnya, hal ini dibuktikan dari hasil rekaman seismograf (Heller, 1962). Teori yang menjelaskan bagaimana gempabumi terjadi atau mekanisme terjadinya gempabumi dikenal sebagai "*Elastic Rebound Theory*" atau teori elastis pegas yang diusulkan oleh Henry Fielding Reid (Pawirodikromo, 2012).

Proses terjadinya gempabumi diawali dengan lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar ketika bertumbukan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak tersebut akan menyebabkan penumpukkan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya di zona-zona ini akan terjadi tekanan, tarikan, dan geseran.

Pada saat elastisitas lempeng terlampaui, maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan gerakan partikel ke segala arah yang disebut dengan gelombang gempabumi.



Gambar 2.7 Sumber Gempabumi (Pawirodikromo, 2012).

Peristiwa terjadinya gempabumi terdiri dari tiga fase yang disebut siklus gempa. Fase pertama merupakan tahapan awal gempa yang disebut *interseismic*. Pada tahap ini, energi terakumulasi di beberapa bagian lempeng. Fase kedua akibat *coseismic* dimana energi yang terakumulasi dilepaskan dalam bentuk gempa ketika energinya melebihi kekuatan dari zona *locking* (zona energi berkumpul). Fase ketiga atau fase terakhir dimana pada fase ini sisa energi gempa terlepas secara perlahan hingga kembali ke kondisi keseimbangan awal. Pada fase ini, terlepasnya sisa energi terjadi dalam kurun waktu yang lama

Gempabumi sangat sulit dan kompleks untuk diprediksi, kapan bencana tersebut akan terjadi dalam hitungan yang sangat detail. Kejadian gempa-gempa besar yang pernah terjadi di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir, mengisyaratkan bahwa upaya preventif belum dilakukan dengan baik sehingga dampak dari korban masih tinggi. Upaya preventif perlu dilakukan berupa upaya

mitigasi bencana baik secara struktural maupun non-struktural, kesiapsiagaan, kedaruratan yang tangguh dalam menghadapi bencana gempa suatu saat nanti (Naryanto, 2008).

1.2.1 Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi dapat dilasifikasikan menjadi beberapa jenis. Jenis ini didasarkan dari nilai magnitudo, penyebab, episenter, hiposenter, dan sekuen.

Pada tahun 1964, Hagiwara mengklasifikasikan tipe gempa berdasarkan magnitudo. Klasifikasi gempa tersebut, yaitu :

Tabel 2.1 Tipe Gempa Berdasarkan Magnitudo

Magnitudo (M)	Klasifikasi
$M > 8$	Gempa sangat besar
$7 \leq M < 8$	Gempa besar
$5 \leq M < 7$	Gempa sedang
$3 \leq M < 5$	Gempa kecil
$1 \leq M < 3$	Gempa mikro
$M < 1$	Gempa ultra mikro

Menurut Howell (1959), gempabumi berdasarkan penyebabnya diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Gempabumi tektonik

Gempabumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik secara mendadak yang mempunyai kekuatan dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar. Pada gempabumi ini terjadi robekan tiba-tiba pada saat aliran plastik, adanya elastik *rebound* dan perlipatan. Gempabumi ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana

alam di bumi, getaran gempabumi yang kuat mampu menjalar keseluruhan bagian bumi.

2. Gempabumi vulkanik

Pada gempabumi ini terjadi letusan yang diakibatkan oleh tekanan dibawah permukaan, adanya proses kristalisasi, *tension cracking*, intrusi magma, *stopping* dan *stopping flow*. Jika keaktifannya semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan yang juga akan menimbulkan gempabumi. Gempabumi ini biasa terjadi sebelum gunung api meletus.

3. Gempabumi benturan

Dimana gempa akibat terjadinya ledakan di permukaan. Ledakan ini diakibatkan oleh meteor besar yang jatuh ke bumi dan ditandai juga dengan runtuhnya gua-gua, serta terjadinya longsor.

Berdasarkan jarak sumber terhadap stasiun, gempabumi dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe, yaitu (Kayal, 2008) :

1. Gempabumi teleseismik

Gempabumi ini merupakan suatu gempa yang terekam dengan jarak yang sangat besar pada stasiun. Berdasarkan konvensi internasional, suatu gempa yang memenuhi syarat disebut sebagai gempa teleseismik ketika jarak episenter dari gempa melebihi 1000 km. Dari gempabumi ini dapat diketahui informasi struktur interior bumi. Amplitudo dari gempa teleseismik bervariasi dari yang hampir tidak tampak hingga amplitudo sangat besar.

2. Gempabumi regional

Gempabumi regional terjadi pada rentang jarak 500 km hingga 1000 km dari stasiun perekam. Gempabumi ini memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gempabumi teleseismik. Dari gempabumi regional ini dapat diketahui informasi data gelombang seismik untuk kerak dan mantel bumi.

3. Gempabumi lokal

Gempabumi ini terjadi dengan jarak antar stasiun gempa dan episenter hanya beberapa ratus km. Dari gempabumi lokal ini dapat dilakukan studi mengenai struktur geologi atau struktur kecepatan interior bumi seperti kerak dan mantel bagian atas. Gempabumi lokal ini dicirikan dengan sinyal yang memiliki “ekor” semakin mengecil. Gempabumi ini sering dikarakteristikkan dengan onset yang impulsif dan frekuensi yang tinggi.

Menurut Fowler (2005), berdasarkan hiposenternya gempabumi dibagi menjadi tiga tipe, yaitu :

1. Gempabumi dangkal (*shallow earthquake*), memiliki kedalaman fokus gempabumi kurang dari 70 km
2. Gempabumi sedang (*intermediate earthquake*), memiliki kedalaman fokus gempabumi kurang dari 300 km
3. Gempabumi dalam (*deep earthquake*), memiliki kedalaman fokus gempa bumi lebih dari 300 km (estimasi sekitar 450 km)

Berdasarkan kejadiannya, gempabumi dapat terbagi menjadi tiga kelompok, gempa tersebut adalah :

1. Gempabumi awal (*foreshock*), gempabumi awal merupakan gempabumi yang terjadi sebelum gempabumi utama.

2. Gempabumi susulan (*aftershock*), gempabumi susulan adalah sekuen gempa yang mengikutu setelah terjadinya gempa utama
3. *Earthquake swarm*, gempabumi ini dapat terjadi tanpa adanya gempa utama. Gempabumi ini merupakan gempabumi yang terklaster dalam ruang dan waktu.

1.2.2 Parameter Gempabumi

Setiap kejadian gempabumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non-manual akan menjadi data bacaan fase (*phase reading data*). Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis sehingga menjadi parameter gempabumi (Waluyo, 1992).

Menurut Waluyo (1992) secara umum parameter gempabumi terdiri dari :

a. *Origin Time*

Waktu kejadian gempabumi (*origin time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (*stress*) yang berbentuk penjalaran gelombang gempabumi dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

b. Episenter

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempabumi. Tempat inilah yang mendapat getaran paling keras dan tentunya mengalami kerusakan yang paling besar. Lokasi episenter dibuat dalam sistem koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

c. Hiposenter

Hiposenter adalah pusat gempa bumi, yaitu tempat terjadinya perubahan lapisan batuan atau dislokasi didalam bumi sehingga menimbulkan gempa bumi. Kebanyakan gempa bumi yang terjadi pusatnya terletak dekat permukaan bumi pada kedalaman rata-rata 25 km, dan berangsur ke bawah tidak lebih dari 700 km. Gempa bumi dangkal cenderung lebih kuat daripada gempa bumi dalam, oleh sebab itu gempa bumi dangkal lebih banyak menyebabkan kerusakan.

d. Magnitudo

Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograf. Magnitudo menggunakan skala Richter (SK). Magnitudo dibagi lagi menjadi empat, yaitu :

1. Magnitudo Lokal (M_L)

Magnitudo lokal pertamakali diperkenalkan oleh Richter diawal tahun 1930-an dengan menggunakan data kejadian gempa bumi di daerah California yang direkam oleh Seismograf Wood-Anderson. Menurut Richter dengan mengetahui jarak episenter ke seismograf dan mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya gempa bumi yang terjadi. (Fowler, 2005).

2. Magnitudo Body (M_B)

Dikarenakan penggunaan amplitudo lokal sangat terbatas untuk jarak tertentu maka dikembangkan tipe magnitudo yang dapat digunakan

secara luas. Salah satunya yaitu M_B atau magnitudo body (*Body-Wave Magnitudo*). Magnitudo ini didefinisikan berdasarkan catatan amplitudo dari gelombang P yang menjalar melalui bagian dalam bumi. Selain M_B adalagi yang disebut M_b , M_b digunakan untuk periode panjang sedangkan m_b untuk periode pendek.

3. Magnitudo Permukaan (M_s)

Selain magnitudo body, ada juga magnitudo permukaan (*Surface-Wave Magnitudo*). Magnitudo tipe ini didapatkan sebagai hasil pengukuran terhadap gelombang permukaan (*surface waves*). Untuk jarak $D > 600$ km seismogram periode panjang (*long-period seismogram*) dari gempa bumi dangkal didominasi oleh gelombang permukaan.

4. Magnitudo Momen (M_w)

Magnitudo momen didapatkan dari momen seismik. Perhitungan dengan magnitudo momen lebih dapat dipercaya. Jika dibandingkan dengan magnitudo gelombang badan dan magnitudo gelombang permukaan. Magnitudo momen dikembangkan karena magnitudo gelombang badan dan permukaan memberikan nilai yang lebih kecil dari nilai sebenarnya untuk gempa bumi yang sangat besar. Hal ini dikarenakan m_b dan M_s bergantung pada frekuensi dari gelombang seismik. Sementara, semakin besar kejadian gempa, semakin kecil frekuensi gelombang dengan amplitudo terbesar dan seismometer akan kehilangan sensitifitas pada frekuensi terendah. Oleh karena itu, untuk menghitung besarnya gempa, digunakan gelombang dengan frekuensi rendah (Fowler, 2005).

e. Intensitas Gempabumi (MMI)

Intensitas gempabumi adalah ukuran kerusakan akibat gempabumi berdasarkan hasil pengamatan efek gempabumi terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan pada tempat tertentu. Skala intensitas menunjukkan kerusakan akibat getaran pada lokasi kerusakan. Intensitas merupakan fungsi dari magnitudo, jarak dan kekuatan, dan kondisi geologis/batuan setempat, dinyatakan dalam skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*).

1.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi, akibat ada lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba. Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu gelombang badan (*body-wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

1.3.1 Gelombang badan (*body-wave*)

Gelombang badan (*body-wave*) merupakan gelombang yang menjalar dalam medium yang elastik ke seluruh bagian dalam bumi. Berdasarkan gerak partikelnya, gelombang badan dapat dibedakan atas gelombang P dan gelombang S (Susilawati, 2008).

1. Gelombang P

Gelombang primer atau gelombang P merupakan gelombang yang memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Oleh karena itu, gelombang P akan dicatat pertama kali

dibandingkan gelombang yang lain oleh sebuah alat yang bernama seismometer. Bentuk penjalaran gelombang P adalah berupa gelombang longitudinal dengan arah gelombang yang sejajar dengan arah penjalarnya. Gelombang P dapat merambat di berbagai medium seperti medium padat, cair, dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P ditunjukkan pada persamaan dibawah ini (Afnimar, 2009) :

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

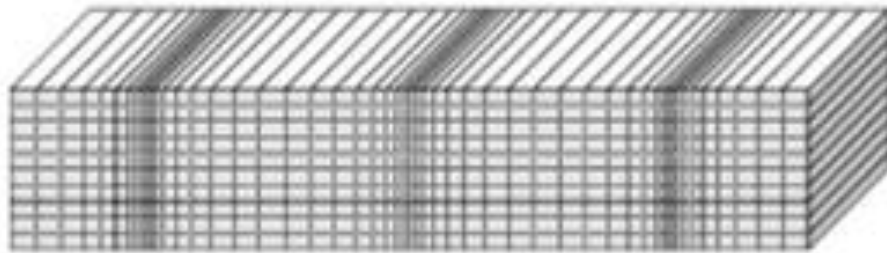
Dimana :

v_p : Kecepatan gelombang P

λ : Konstanta Lamé

μ : Modulus geser

ρ : Densitas batuan



Gambar 2.8 Ilustrasi Pergerakan Medium Gelombang P (Shearer, 2009)

2. Gelombang S

Gelombang S atau gelombang sekunder adalah gelombang seismik yang hanya merambat di permukaan bumi. Bentuk penjalaran gelombang ini berupa gelombang transversal yang memiliki arah tegak lurus dengan arah

penjalarannya. Berbeda dengan gelombang P, gelombang S memiliki waktu perambatan yang lebih lama sehingga akan tercatat setelah gelombang P pada seismometer. Gelombang S tidak dapat merambat pada medium cair.

Persamaan dari kecepatan gelombang S yaitu :

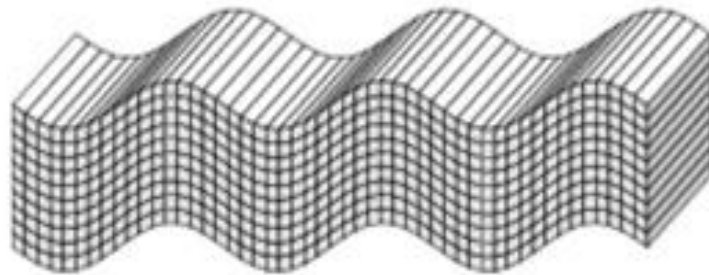
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

Dimana :

v_s : Kecepatan gelombang S

μ : Modulus geser

ρ : Densitas batuan



Gambar 2.9 Ilustrasi Pergerakan Medium Untuk Gelombang S (Shearer, 2009)

Perbandingan antara cepat rambat gelombang P dan cepat rambat gelombang S menghasilkan suatu konstanta yang disebut dengan rasio Poisson (sebuah besaran tidak berdimensi dimana rasio ini merupakan besaran yang menyatakan karakteristik dari suatu batuan) dengan hubungannya dapat dituliskan persamaan dibawah ini (Maryanto, 2016) :

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{2(1 - \varphi)}{(1 - 2\varphi)}} \quad (2.3)$$

Dimana :

v_p : Kecepatan gelombang P

v_s : Kecepatan gelombang S

φ : Rasio Poisson

1.3.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan jenis gelombang seismik yang medium perambatannya berada di permukaan bumi. Semakin masuk ke dalam bumi, maka amplitudo gelombang permukaan ini akan semakin melemah. Kecepatan gelombang permukaan juga selalu tergantung pada frekuensi. Hal ini berarti bahwa semakin besar kecepatannya maka akan semakin kecil frekuensinya dan penetrasi kedalamannya semakin dangkal, begitu juga sebaliknya. Gelombang permukaan ini terbagi menjadi dua tipe yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love (Afnimar, 2009).

1. Gelombang Rayleigh

Interferensi gelombang-gelombang pantul P dan SV (gelombang S dengan arah vertikal) yang sudut datangnya melebihi sudut kritis akan mengakibatkan terbentuknya gelombang rayleigh dengan gerakan partikel medium ketika dilewatinya berupa bentukan elips (Afnimar, 2009). Persamaan kecepatan gelombang Rayleigh adalah sebagai berikut (Telford, 1990) :

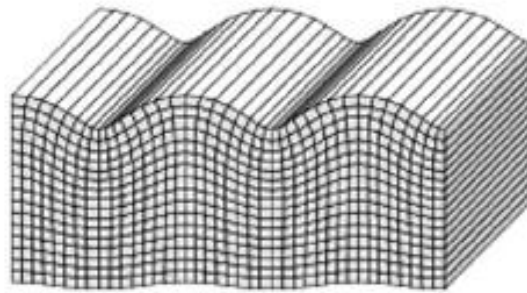
$$v_R = 0,9194 (v_s) \quad (2.4)$$

Dimana :

v_R : Kecepatan gelombang Rayleigh (0,9194)

v_s : Kecepatan gelombang S

Gelombang Rayleigh atau *groundroll* adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai elips karena menjalar di permukaan, amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Gelombang Rayleigh merambat sepanjang permukaan dengan gerakan partikel *elliptical retrograde* dan berubah menjadi *prograde* jika kedalamannya melewati suatu titik dimana sudah tidak ada gerakan. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudonya yang besar dan frekuensi rendah.



Gambar 2.10 Ilustrasi Pergerakan Gelombang Rayleigh (Shearer, 2009)

2. Gelombang Love

Akibat adanya suatu interferensi gelombang-gelombang pantul P dan SH (gelombang S dengan arah horizontal) pada lapisan dekat permukaan bumi maka terbentuklah gelombang Love dengan gerak partikel medium yang menyerupai bentukan gelombang SH, namun nilai amplitudonya berkurang terhadap kedalaman (Afnimar, 2009). Nilai dari kecepatan gelombang Love adalah sebagai berikut (Susilawati, 2008) :

$$v_R < v_L < v_S \quad (2.5)$$

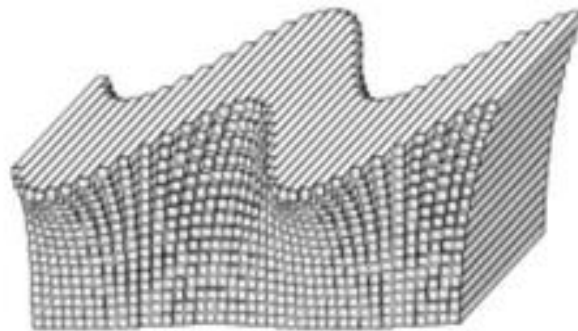
Dimana :

v_R : Kecepatan gelombang Rayleigh (0,9194)

v_L : Kecepatan gelombang Love

v_s : Kecepatan gelombang S

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikelnya mirip dengan gelombang S. Kecepatan penjarannya bergantung pada panjang gelombang dan bervariasi di sepanjang permukaan. Pergerakan partikel gelombang Love sejajar dengan permukaan tetapi tegak lurus dengan arah rambatnya. Gelombang Love lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan lebih dulu sampai pada seismograf (Maryanto, 2016).



Gambar 2.11 Ilustrasi Pergerakan Gelombang Love (Shearer, 2009)

2.4 Metode Relokasi Hiposenter Gempabumi

Relokasi hiposenter gempabumi adalah proses melakukan perhitungan ulang atau mengoreksi stasiun terhadap posisi hiposenter gempabumi menjadi lebih baik dan akurat. Penentuan hiposenter gempabumi umumnya menggunakan metode penentuan hiposenter tunggal yang dimana masih mengandung kesalahan akibat struktur kecepatan yang tidak termodelkan (Soehamimi, 2008). Mulai dari teknik

dengan linierisasi sampai teknik probabilistik, dari metode kejadian tunggal (*single event*) hingga kejadian *multiple*, dari lokasi absolut hingga lokasi relatif. (Husen, 2010). Lokasi gempa bumi akan digambarkan dengan referensi global seperti garis lintang, garis bujur, dan kedalaman ketika metode yang dipakai dalam penentuan lokasi gempa menggunakan metode absolut. Lokasi absolut ini masing-masing mengandung ketidakpastian atau tingkat akurasi yang rendah. Hal ini dikarenakan masih adanya pengaruh jarak sumber ke stasiun, jumlah stasiun dan geometri, rasio *signal-to-noise*, dan ketepatan dari model kecepatan yang digunakan dalam perhitungan waktu tiba.

Akurasi dari lokasi absolut hiposenter ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk diantaranya tipe dan banyak gelombang seismik yang terekam pada stasiun, geometri stasiun pengamat yang ada, akurasi pembacaan waktu tiba serta pengetahuan tentang struktur kecepatan gelombang seismik (Gomberg, 1990). Untuk skala lokal, faktor geometri pada prinsipnya bisa diperbaiki dengan menambah jumlah stasiun pengamat, sedangkan faktor kesalahan model kecepatan dan akurasi pembacaan waktu tiba membutuhkan analisis yang lebih lanjut. Model kecepatan bawah permukaan umumnya tidak bisa ditentukan dengan pasti karena keterbatasan data yang ada dan kompleksitas struktur bawah permukaan. Pendekatan model sederhana bawah permukaan yang tepat dapat diperlukan untuk dapat menentukan posisi hiposenter dengan baik.

Beberapa metode yang digunakan untuk menentukan hiposenter yaitu metode manual (metode lingkaran). Metode ini kurang dapat diandalkan karena kualitas penentuannya tergantung pada ketelitian penggambaran lingkaran. Metode lainnya yaitu metode relative (metode *single event determination*, *joint*

hypocenter determination dan *double difference*) termasuk metode terbaik dikarenakan mampu memberikan solusi yang meminimalkan *root mean square* RMS) (Kayal, 2008).

Lokasi relatif menghitung hiposenter dari sekelompok gempabumi yang dikembangkan oleh Douglas (1967), metode ini dinamakan *Joint Hypocenter Determination*. Prinsipnya, lokasi relatif ini dihitung dengan mendiferensialkan lokasi absolut. Namun Pavlis (1992) menunjukkan bahwa ketika posisi relatif dihitung dengan cara diferensiasi dapat menyebabkan bias dikarenakan informasi yang tidak cukup tentang kecepatan struktur.

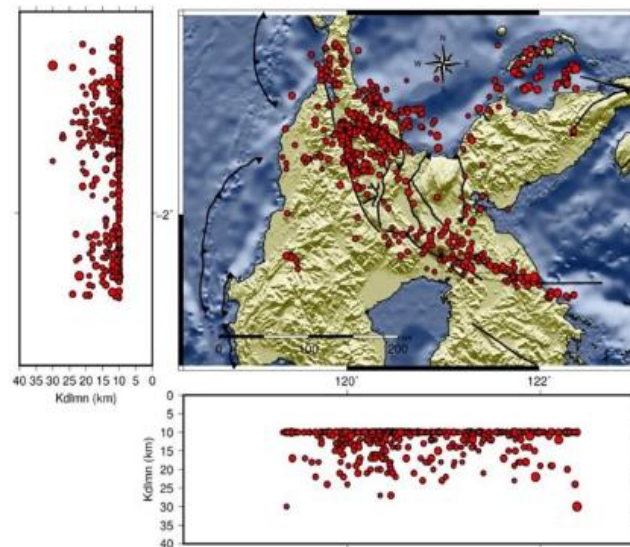
Untuk mereduksi kesalahan dari struktur kecepatan yang tidak diketahui, teknik lokasi relatif dikembangkan dimana perhitungan lokasi dihitung secara langsung dari beda waktu tempuh. Waldhauser mengembangkan algoritma untuk penentuan lokasi hiposenter gempabumi dimana efek terkait struktur kecepatan yang tidak termodelkan dapat dihilangkan sehingga meningkatkan keakuratan posisi hiposenter. Algoritma ini telah diuji oleh Waldhauser dan Ellsworth pada tahun 2000 (Waldhauser, 2000). Menggunakan data gempabumi dibagian utara Hayward Fault California, hasilnya menunjukkan bahwa terbentuk dua kluster gempabumi di wilayah tersebut yang sebelum dilakukan relokasi tidak terlihat dan adanya perubahan dari distribusi hiposenter gempa yang acak menjadi sebaran fokus.

2.4.1 Persebaran Hiposenter

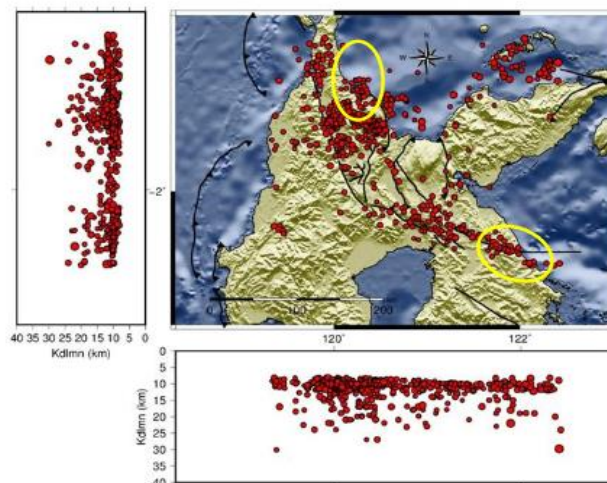
Sebelum dilakukan relokasi hiposenter biasanya peta sebaran hiposenter pada irisan penampang vertikal banyak berada di kedalaman 10 km, tetapi ketika sudah direlokasi persebaran hiposenter di kedalaman 10 km akan lebih

bervariasi. Hal ini disebabkan oleh otomatisasi penentuan kedalaman gempabumi oleh perangkat lunak Seiscomp3 yang digunakan BMKG. Apabila hasil analisis kedalaman tidak terpusat dengan baik, maka Seiscomp3 tersebut secara otomatis akan membuat kedalaman kejadian gempabumi tersebut pada kedalaman 10 km atau dikenal dengan *fix depth* (Azizah, 2019). Selain itu hal tersebut dilakukan untuk menyederhanakan proses iterasi yang dilakukan dan meningkatkan koefisien waktu.

Setelah dilakukan relokasi hiposenter, kedalaman gempa akan lebih menyebar keluar dari *fixed depth*. Menurut (Yusuf, 2016) episenter gempa yang terelokasi memiliki kecenderungan berkumpul di suatu wilayah, dan perubahan lokasi episenter setelah direlokasi cenderung ke arah yang tidak tentu/acak, namun untuk gempa yang berdekatan episenternya cenderung berkumpul pada satu titik yang saling mendekat.



Gambar 2.12 Peta Sebaran Hiposenter Sebelum Relokasi (Azizah, 2019)



Gambar 2.13 Peta Sebaran Hiposenter Setelah Relokasi (Azizah, 2019).

Dari gambar diatas dapat dilihat perbedaan antara distribusi hiposenter setelah di relokasi yang lebih bervariasi baik secara vertikal maupun horizontal. Dari pergeseran tersebut diharapkan dapat diperoleh posisi hiposenter yang lebih akurat ditandai dengan berkurangnya nilai residual waktu tempuh yang mendekati nol. Selain itu posisi hiposenter yang lebih akurat ini dapat digunakan dalam studi tektonik dan mitigasi bencana alam.

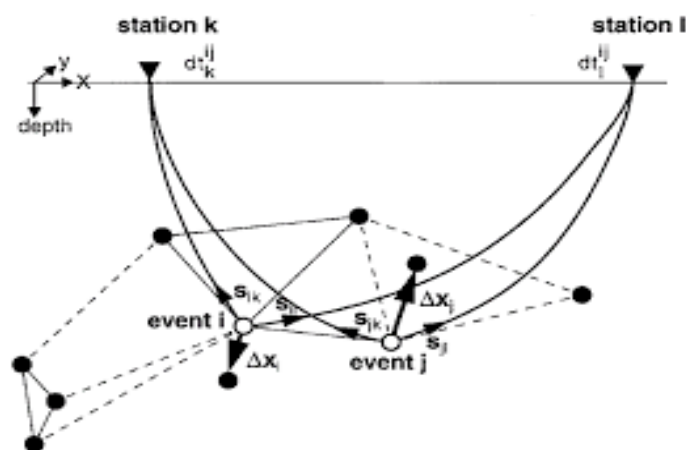
2.4.2 Metode *Double Difference*

Metode *double difference* merupakan metode relokasi hiposenter relatif yang diperkenalkan oleh Felix Waldhauser dan Ellsworth pada tahun 2000 dan implementasi dari metode ini adalah *software* hypoDD versi 1.0-03/2001 yang dibuat untuk memudahkan perhitungan relokasi hiposenter (Dari, 2016). Metode ini menggunakan data waktu tempuh antara pasangan gempa ke suatu stasiun pengamat.

Prinsip dari metode ini menganggap bahwa jika jarak pisah hiposenter antara dua gempa memiliki jarak yang relatif kecil dibandingkan dengan jarak gempa terhadap stasiun dan panjang skala heterogenitas kecepatan, maka kedua

gempa tersebut memiliki lintasan gelombang (*raypath*) yang sama di sepanjang hampir seluruh lintasan menuju stasiun pengukur. Sehingga kesalahan model kecepatan dapat diminimalkan tanpa menggunakan koreksi stasiun (Waldhuser, 2000).

Syarat utama dari metode *double difference* yaitu jarak antara kedua hiposenter gempabumi yang akan direlokasi harus lebih kecil daripada jarak antara masing-masing hiposenter terhadap stasiun. Namun, metode ini pada perhitungannya tidak membutuhkan gempabumi utama (*master event*) sehingga dapat digunakan untuk merelokasi gempabumi dalam jumlah yang besar sekaligus dengan sebaran jarak hiposenter yang besar pula.



Gambar 2.14 Ilustrasi Algoritma Metode *Double Difference* (Waldhuser, 2000)

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi relokasi hiposenter menggunakan metode *double difference*. Lingkaran hitam dan putih merupakan hiposenter gempabumi yang terhubung dengan *event* lain disekitarnya, baik dari data *cross-correlation* (garis hitam) atau katalog (garis hitam putus-putus). Gempa i dan j terekam pada stasiun yang sama (k dan l) dengan selisih waktu dt_k^{ij} dan dt_l^{ij} . Lintasan penjalaran gelombang kedua gempabumi tersebut dianggap serupa

yang ditunjukkan oleh $s^{ik}, s^{il}, s^{jk},$ dan s^{jl} . Sementara Δx_i dan Δx_j menunjukkan vektor relokasi gempa bumi i dan j dengan memperhatikan perlambatan yang dialami oleh gelombang kedua gempa bumi tersebut.

Pada kasus tersebut, selisih waktu tempuh dari dua gempa yang teramati pada suatu stasiun diperkirakan independen terhadap heterogenitas kecepatan dan kekeliruan dari model kecepatan struktur yang digunakan. Dengan demikian, hal ini dapat menjadi keterangan tambahan yang memberikan informasi spasial antara kedua gempa dengan akurasi tinggi.

2.4.3 Algoritma Metode *Double Difference*

Fungsi *arrival time* T , untuk sebuah gempa i , menuju stasiun seismik k , dapat diekspresikan menggunakan teori sinar (*ray theory*) sebagai integral lintasan sepanjang sinar, dengan :

$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (2.6)$$

Dimana :

τ^i : Waktu kejadian (*origin time*) dari gempa ke- i

u : Medan kelambatan (*slowness*)

ds : Elemen panjang lintasan

Akibat hubungan nonlinier antara waktu tempuh dengan lokasi gempa, ekspansi Taylor (Geiger, 1912) umumnya digunakan untuk melinearisasi persamaan (2.6) sehingga diperoleh :

$$\frac{\Delta T_k^i}{\partial m} \Delta m^i = r_k^i \quad (2.7)$$

Dengan

$$r_k^i = (T_k^{obs} - T_k^{cal})^i \quad (2.8)$$

Dimana :

T_k^{obs} : Waktu perambatan gelombang yang terukur oleh stasiun pengukuran

T_k^{cal} : Waktu gelombang teoritik

Δm^i : Elemen dari hiposenter yaitu *latitude*, *longitude*, kedalaman, dan waktu terjadinya gempa bumi (Δx^i , Δy^i , Δz^i , dan $\Delta \tau^i$)

Seperti pada prinsip metode *Double Difference* yang telah disebutkan sebelumnya, maka dibutuhkan pasangan gempa yang terdiri atas dua gempa dalam melakukan relokasi sehingga persamaan (2.8) akan menjadi sebagai berikut :

$$\frac{\partial T_k^{ij}}{\partial m} \Delta m^{ij} = dr_k^{ij} \quad (2.9)$$

dr_k^{ij} dapat diuraikan menjadi residual antara selisih waktu tempuh observasi dan kalkulasi pasangan *event* gempa yang kemudian disebut dengan persamaan *Double Difference* yang terdapat pada persamaan (2.10). Nilai waktu tempuh observasi sendiri dapat diperoleh dari data *cross-correlation* atau data katalog. Persamaan ini kemudian dapat dimasukkan kedalam persamaan (2.9) dimana Δm diuraikan menjadi perubahan empat parameter hiposenter.

$$dr_k^{ij} = (T_k^i - T_k^j)^{obs} - (T_k^i - T_k^j)^{cal} \quad (2.10)$$

Asumsi bahwa vektor kelambatan konstan hanya dapat berlaku untuk dua gempa yang memiliki jarak cukup dekat. Persamaan umum yang berlaku untuk dua gempa i dan j diperoleh dengan mengambil selisih antara persamaan (2.10) dan menggunakan vektor kelambatan yang sesuai, sehingga :

$$\frac{\partial T_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial T_k^j}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (2.11)$$

Atau jika ditulis secara lengkap,

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial T_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial T_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i - \frac{\partial T_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial T_k^j}{\partial y} \Delta y^j \\ - \frac{\partial T_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta \tau^j = dr_k^{ij} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Pada relokasi hiposenter, perubahan empat parameter hiposenter pada persamaan (2.12) merupakan nilai yang harus dihitung. Untuk memperolehnya, maka dilakukan inversi menggunakan persamaan berikut :

$$WGm = Wd \quad (2.13)$$

Dimana :

G : Matriks M X 4N (M = jumlah observasi *double difference* ; N = jumlah gempa), sedangkan empat menunjukkan jumlah parameter hiposenter yang digunakan

W : Matriks nilai pembobotan yang digunakan dalam perhitungan waktu tempuh kalkulasi

d : Vektor data yang berisi *double difference*

m : Matriks empat parameter hiposenter

Setiap persamaan akan dibobotkan dalam matriks diagonal W . W adalah pembobotan apriori berdasarkan kualitas *picking* tiap *event* dengan nilai dari 0 dan 1. Waktu tiba gelombang P dan S dibobotkan secara sama (Aswad, 2010).

2.5 Gempabumi di dalam Al-Qur'an

Bumi merupakan planet terbesar kelima dari sembilan planet yang ada di tata surya. Bentuknya mirip dengan bola bundar, dengan keliling sekitar 12.743 km. Bumi terdiri dari beberapa lapisan yang secara garis besar dibagi menjadi 3 bagian. Bagian paling atas disebut kerak bumi, dibawahnya terdapat mantel, dan di bagian paling dalam disebut inti bumi. Pembagian ini didasarkan pada analisa gelombang gempa dan setiap bagian-bagian tersebut memiliki sifat fisis yang berbeda-beda.

Bumi seringkali mengalami gejala-gejala ilmiah yang terkadang tidak sesuai dengan kebiasannya atau biasa disebut dengan bencana alam. Salah satu bencana alam yang sering terjadi yaitu gempabumi. Ilmu geologi mendefinisikan gempabumi sebagai sebuah fenomena getaran yang terjadi di kerak bumi, hal ini juga dikuatkan dengan fakta bahwa batuan di permukaan bumi tidaklah seluruhnya kaku sebagaimana bebatuan yang sering terlihat. Apabila tanah (bumi) mendapatkan tegangan di luar batas elastisitasnya maka akan menimbulkan perpecahan (*capture*) hingga patahan geologi (*geological fault*) (Kayal, 2008).

Konsep tektonik lempeng yang berkembang cepat sejak tahun 1967 dan memiliki implikasi terhadap seluruh aspek geologi termasuk gempabumi, gunung api, hingga perkembangan cekungan hidrokarbon maupun endapan mineral mengatakan bahwa bumi bagian atas terdiri dari lempengan-lempengan litosfer yang terdiri dari kerak bumi dan mantel bagian atas yang mengapung dan

bergerak di atas bagian mantel yang disebut astenosfer. Lempeng-lempeng litosfer bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Pada tempat-tempat saling bertemu, pertemuan lempeng ini akan menimbulkan gempa bumi (Afnimar, 2009).

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki kegempaan sangat aktif, karena terletak pada pertemuan Lempeng Tektonik Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik serta Lempeng kecil Filipina (Sunarjo dkk, 2012). Apabila lempeng-lempeng tersebut bertemu, maka akan terjadi tekanan (beban) yang terus menerus, dan apabila lempengan tidak bisa menahan tekanan tersebut, maka lepaslah beban yang telah terkumpul ratusan tahun itu, dan dikeluarkan dalam bentuk gempa bumi, sebagaimana firman Allah SWT dalam QS. Al-Zalzalâh ayat 1-4 yang berbunyi :

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا (١) وَأُخْرِجَتِ الْأَرْضُ أَنْفَاقَهَا (٢) وَقَالَ الْإِنْسَانُ مَا لَهَا (٣) يَوْمَئِذٍ تُحَدِّثُ أَخْبَارَهَا (٤)

Artinya : “ Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat, dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandungnya), dan manusia bertanya, “Apa yang terjadi pada bumi ini?”, pada hari itu bumi menyampaikan beritanya “ (QS. Al-Zalzalâh [99]: 1-4).

Menurut tafsir Al-Misbah (Shihab, 2012) guncangan yang dimaksud pada ayat pertama adalah guncangan yang bergerak dan bergetar dari bagian bawah hingga menimbulkan gempa yang dahsyat. Seluruh manusia yang ada di bumi keheranan dengan keadaan ini (guncangan yang dahsyat), dimana sebelumnya bumi begitu tenang dan kokoh. Dengan kata lain, keadaan di bumi menjadi sebaliknya. Saat itu bumi akan mengalami sebuah gempa yang sangat dahsyat. Gempa ini mampu mengeluarkan semua orang mati yang terkandung didalamnya dari kalangan orang-orang terdahulu dan orang-orang setelahnya.

Beban berat yang dikeluarkan dalam bentuk gempa bumi merupakan proses geologi yang berjalan bertahun-tahun. Begitu seterusnya, setiap selesai beban dilepaskan, kembali proses pengumpulan beban terjadi. Proses geologi ini dapat direkam, baik secara alami maupun dengan menggunakan peralatan geofisika ataupun geodesi. Sebagai contoh adalah gempa-gempa yang terjadi beberapa puluh atau ratusan tahun yang lalu, peristiwa pelepasan beban direkam dengan baik oleh terumbu karang yang berada dekat dengan gempa. Pada masa modern, pelepasan energi ini terekam oleh peralatan seismograf (pencatat gempa) maupun peralatan geodesi yang disebut GPS (*Global Position System*) (Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an dkk, 2018).

Dalam QS. Al-Waqi'ah ayat 1-4 Allah SWT berfirman :

إِذَا رُجَّتِ الْأَرْضُ رَجًا (٤) وَيُسَّتِ الْجِبَالُ بَسًا (٥) فَكَانَتْ هَبَاءً مُنْبَثًا (٦)

Artinya : “ *Apabila bumi diguncangkan sedahsyat-dahsyatnya. Dan gunung-gunung dihancurluluhkan sehancurnya* “ (QS. Al-Waqiah : 14-6).

Ayat ini menjelaskan betapa dahsyatnya bencana yang akan terjadi di hari kiamat nanti, salah satunya adalah gempa bumi. Bumi yang dihuni oleh seluruh makhluk Allah ini terdiri dari lapisan-lapisan batuan yang bertumpuk-tumpuk tidak teratur sehingga membentuk rongga geologi. Rongga inilah yang sejak dahulu, bahkan sampai sekarang menjadi pusat terjadinya gempa berskala besar. Hal ini dimungkinkan karena rongga-rongga ini berada di bawah pengaruh daya tarik menarik yang sangat kuat dan terjadi saat lapisan-lapisan ini terbelah. Maka apabila kekuatan ini tidak seimbang akibat faktor eksternal lainnya, akan terjadi hentakan yang sangat kuat dan mengakibatkan terjadinya guncangan yang dapat menghancurkan permukaan bumi terdekat dari pusat gempa. Semua itu akan terjadi jika Allah telah berkehendak (Shihab, 2012)

Penjelasan mengenai proses terjadinya gempa bumi juga dijelaskan dalam QS. Al-Haqqah ayat 14 yang berbunyi :

وَمُحِلَّتِ الْأَرْضُ وَالْجِبَالُ فَدُكَّتَا دَكَّةً وَاحِدَةً (١٤)

Artinya : “ Dan diangkatlah bumi dan gunung-gunung, lalu dibenturkan keduanya sekali benturan “ (QS. Al-Haqqah : 14).

Ini merupakan salah satu gambaran tentang kedahsyatan hari kiamat. Dimana gunung-gunung akan diangkat dan dilepaskan dari pasaknya, lalu kemudian saling dibenturkan di langit, lalu ditabrakkan ke bumi hingga hancur seluruhnya. Dan disini Allah menyebutkan dengan lafazh *Addakku* yang artinya : membenturkan sesuatu dengan yang lainnya dengan benturan yang sangat keras dan menyebabkan benda tersebut hancur lebur (‘Asyur, 1982).

Kata *wahumilati* dalam ayat tersebut memiliki arti “Dan diangkatlah ke atas” menunjukkan bahwa bumi memiliki lapisan kerak berupa lempeng tektonik yang bergerak ke atas. Hal ini terjadi karena adanya tekanan pada lempeng bumi dari arah yang berlawanan secara terus menerus sehingga menyebabkan lempeng tersebut patah. Patahan lempeng tersebut ada yang menjam kedalam bumi dan ada yang terangkat ke atas sehingga membentuk gugusan gunungapi di permukaan bumi. Dan gempa bumi dapat terjadi oleh aktivitas patahan atau deformasi batuan lempeng tektonik dan juga letusan gunungapi (Djamil, 2004).

Dalam bidang kegempaan, gempa bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng atau gempa bumi tektonik memiliki resiko yang jauh lebih besar daripada gempa bumi vulkanik yang disebabkan oleh aktivitas gunung api. Hal ini dikarenakan gempa bumi tektonik ini lebih banyak menimbulkan kerusakan di bumi karena pergerakannya yang sangat kuat dan cepat. Sehingga studi terkait gempa bumi tektonik ini banyak sekali dilakukan mulai dari mempelajari aktivitas-

aktivitas tektonik di suatu wilayah hingga digunakan sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-September di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisia (BMKG) Stasiun Geofisika Kelas II Tretes, yang beralamat di Jalan Sedap Malam Mlaten Pandaan, Pasuruan. Daerah penelitian berada di zona Flores *back arc thrust fault* tepatnya pada koordinat $115,57^{\circ}$ - $125,04^{\circ}$ BT dan $7,28^{\circ}$ - $8,20^{\circ}$ LS.

1.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Perangkat lunak (*Software*) yang digunakan untuk mengolah data katalog gempa bumi pada penelitian ini adalah :

- a. *Cygwin*

Cygwin merupakan kumpulan GNU yang memungkinkan untuk menjalankan perintah Linux di sistem Windows. Pada penelitian ini *Cygwin* digunakan untuk menjalankan perintah kode program *hypoDD*.

- b. *IDLE*

IDLE adalah lingkungan pengembangan terpadu untuk bahasa pemrograman Python. Mempunyai 2 mode utama yaitu mode editor untuk menuliskan kode Python dan mode interaktif untuk menjalankan perintah. Konversi data katalog dilakukan dengan perangkat *IDLE*.

c. Program komputer *hypoDD*

Program komputer ini mengimplementasikan algoritma *Double-Difference* yang berisikan source code, panduan pemakaian, dan beberapa data contoh yang dapat dipakai pengguna.

d. *Notepad++*

Notepad++ adalah editor source code dan pengganti *Notepad* dengan beberapa bahasa yang bekerja pada sistem *Windows*. Perangkat lunak ini digunakan untuk mengubah kode-kode program pada *hypoDD* dan GMT.

e. *Generic Mapping Tool* (GMT)

GMT adalah perangkat lunak yang terdiri dari kumpulan perangkat untuk menggambarkan peta geografis dan kartesian. Hasil dari GMT dapat berupa plot x-y sampai dimensi 3D. GMT pada penelitian ini digunakan sebagai pembuat peta hiposenter gempa bumi.

f. *Ms. Excel*

Perangkat lunak ini digunakan untuk perhitungan uji validasi relokasi gempa bumi dalam bentuk histogram residual waktu tempuh.

g. MATLAB

MATLAB adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal yang digunakan untuk pemrograman, komputasi dan visualisasi. Pembuatan diagram kompas menggunakan kode program yang dijalankan dengan MATLAB.

h. *GeoRose*

GeoRose adalah sebuah *software* yang digunakan untuk *plotting* data struktur dalam *rose* diagram dan stereonet. Pada penelitian ini *GeoRose* digunakan untuk membuat diagram *rose*.

i. *Gsview*

Gsview adalah perangkat untuk membuka berbagai dokumen seperti Postscript, PDF, XPS, CBZ, JPEG, dan PNG. Hasil kode program GMT (peta kejadian gempa bumi) berupa dokumen dengan ekstensi *.ps* dapat dilihat dengan perangkat ini.

2. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

- a. Data katalog gempa bumi BMKG dari program *SeisComp3* yang tersedia di BMKG Pandaan dan berisi informasi mengenai parameter hiposenter (lintang, bujur, kedalaman) dan waktu tiba gelombang-P dan gelombang-S.
- b. Data lokasi stasiun yang tersedia di BMKG Pandaan. Data ini berupa informasi jaringan stasiun, nama stasiun, lintang, dan bujur.
- c. Data model kecepatan gelombang yang dipakai adalah model *Preliminary Reference Earth Model (PREM)*. Model kecepatan diperlukan pada penelitian ini karena perhitungan waktu tempuh kalkulasi dilakukan pada setiap lapisan yang dilalui gelombang hiposenter menuju stasiun sehingga dibutuhkan informasi mengenai lapisan terkait yang dapat ditunjukkan oleh nilai kecepatannya.

Tabel 3.1 Model Kecepatan PREM

No.	Kedalaman Lapisan (km)	Kecepatan Gelombang-P (km/s)
1	0.0	1.45
2	3.0	5.80
3	15.0	6.80
4	24.4	8.11
5	71.0	8.08
6	171.0	8.02
7	220.0	7.99
8	271.0	8.66
9	371.0	8.85
10	400.0	9.13
11	471.0	9.50
12	571.0	10.01

1.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dari pengolahan data katalog gempabumi hingga hasil akhir berupa data gempabumi yang telah direlokasi beserta peta persebarannya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pembahasan dibawah ini.

1.3.1 Seleksi Data

Data yang digunakan merupakan data katalog gempabumi yang berisi informasi hiposenter (ID gempa, *origin time*, lintang, bujur, kedalaman, residual rms) serta waktu tiba gelombang-P dan gelombang-S. Seleksi data dilakukan berdasarkan koordinat sesuai dengan batas daerah penelitian dan mode penentuan waktu tiba gelombang. Hal ini dikarenakan pada data katalog ini masih terdapat kejadian gempabumi yang masih tidak masuk pada daerah batas

penelitian. Kejadian gempabumi yang letak koordinatnya tidak masuk daerah penelitian akan dihapus. Untuk mode penentuan waktu tiba gelombang, kejadian gempa yang memiliki mode otomatis maka akan dihapus. Hal ini untuk menghindari adanya data yang ganda (otomatis dan manual), selain itu juga untuk mengurangi tingkat kesalahan pada waktu tiba gelombang, dimana mode secara otomatis memungkinkan adanya kesalahan pada waktu tiba gelombang-P dan gelombang-S.

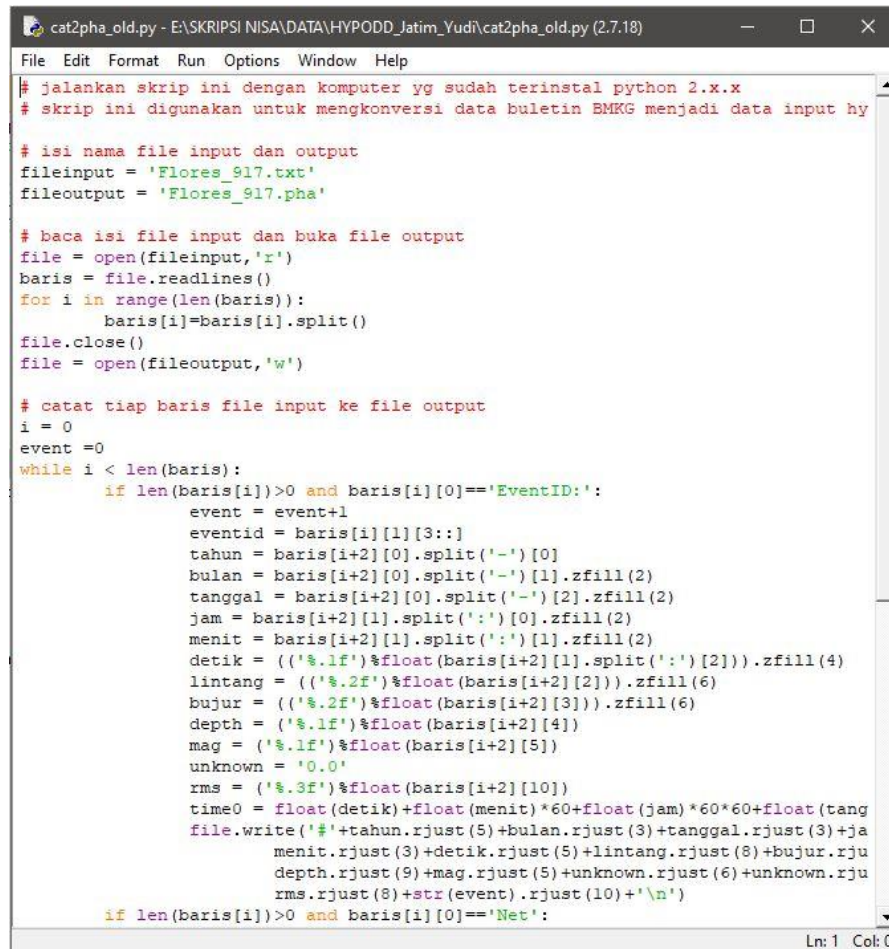
EventID	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	Type	Mag smaj	smin	az	rms	cPhase	Region
bmg2009hrjv	2009-04-20	04:42:03	-10.65	116.35	25	4.4	MLv	7.31	2.17	267	0.921	11	South of Sumbawa, Indonesia
bmg2009hxik	2009-04-23	10:51:21	-7.84	117.28	279	4.9	MLv	32.07	1.73	76	1.136	28	Bali Sea

Gambar 3.1 Katalog Gempa Sebelum Proses Seleksi

1.3.2 Konversi Data

Data katalog yang didapatkan dari BMKG masih dalam format .txt. Format data *text document* ini dikonversi menjadi format *phase file* dengan ekstensi .pha sebagai bahan masukan pada *ph2dt*. Konversi data ini dilakukan dengan *IDLE* yang menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Untuk menjalankan proses konversi ini dibutuhkan perangkat yang sudah terpasang

Python. Gambar 3.2 merupakan *IDLE* dalam mode editor dimana terdapat skrip yang nantinya akan dijalankan untuk mengubah format data.



```

cat2pha_old.py - E:\SKRIPSI NISA\DATA\HYPODD_Jatim_Yudi\cat2pha_old.py (2.7.18)
File Edit Format Run Options Window Help
# jalankan skrip ini dengan komputer yg sudah terinstal python 2.x.x
# skrip ini digunakan untuk mengkonversi data buletin BMKG menjadi data input hy

# isi nama file input dan output
fileinput = 'Flores_917.txt'
fileoutput = 'Flores_917.pha'

# baca isi file input dan buka file output
file = open(fileinput, 'r')
baris = file.readlines()
for i in range(len(baris)):
    baris[i]=baris[i].split()
file.close()
file = open(fileoutput, 'w')

# catat tiap baris file input ke file output
i = 0
event = 0
while i < len(baris):
    if len(baris[i])>0 and baris[i][0]=='EventID:':
        event = event+1
        eventid = baris[i][1][3:]
        tahun = baris[i+2][0].split('-')[0]
        bulan = baris[i+2][0].split('-')[1].zfill(2)
        tanggal = baris[i+2][0].split('-')[2].zfill(2)
        jam = baris[i+2][1].split(':')[0].zfill(2)
        menit = baris[i+2][1].split(':')[1].zfill(2)
        detik = (('%.1f'%float(baris[i+2][1].split(':')[2])).zfill(4)
        lintang = (('%.2f'%float(baris[i+2][2])).zfill(6)
        bujur = (('%.2f'%float(baris[i+2][3])).zfill(6)
        depth = ('%.1f'%float(baris[i+2][4]))
        mag = ('%.1f'%float(baris[i+2][5]))
        unknown = '0.0'
        rms = ('%.3f'%float(baris[i+2][10]))
        time0 = float(detik)+float(menit)*60+float(jam)*60*60+float(tang
        file.write('#'+tahun.rjust(5)+bulan.rjust(3)+tanggal.rjust(3)+ja
        menit.rjust(3)+detik.rjust(5)+lintang.rjust(8)+bujur.rju
        depth.rjust(9)+mag.rjust(5)+unknown.rjust(6)+unknown.rju
        rms.rjust(8)+str(event).rjust(10)+'\n')
    if len(baris[i])>0 and baris[i][0]=='Net':

```

Gambar 3.2 *IDLE Editor* Dengan Skrip Konversi

Setelah skrip diatas dijalankan, hasil keluaran data memiliki ekstensi .pha. Pada Gambar 3.3 merupakan kejadian gempa dengan format baru. Adapun format penulisannya yaitu tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo, error horizontal, error kedalaman, nilai RMS, dan ID. Untuk nilai error baik horizontal maupun kedalaman diatur menjadi 0 karena nilainya tidak diketahui. Untuk baris selanjutnya yaitu nama stasiun, nilai waktu tempuh absolut kejadian gempa ke stasiun, nilai pembobotan, dan fase

gelombang (gelombang-P atau gelombang-S). Nilai pembobotan ini terdiri dari 2 nilai, dimana 1 artinya terbaik dan 0 artinya buruk.

```

E:\SKRIPSI NISA\DATA\HYPODD_Jatim_Yudh\Flores_917.pha - Notepad++
File Edit Search View Encoding Language Settings Tools Macro Run Plugins Window ?
hypoDD reloc dt.ct gempa2015.dat batbat.bat teks.dat FGA17.bat hypoDD.loc hypoDD.res
1 # 2009 04 20 04 42 03.0 -10.65 116.35 25.0 4.4 0.0 0.0
0.921 1
2 IGBI 33.70 1.000 P
3 KHK 36.50 1.000 P
4 DNP 36.60 1.000 P
5 SRBI 44.00 1.000 P
6 GMJI 55.90 1.000 P
7 IGBI 62.50 1.000 S
8 DNP 65.50 1.000 S
9 SWJI 80.30 1.000 P
10 BKSI 94.70 1.000 P
11 GMJI 100.40 1.000 S
12 KBKI 104.30 1.000 P
13 # 2009 04 23 10 51 21.0 -07.84 117.28 279.0 4.9 0.0 0.0
1.136 2
14 KHK 43.10 1.000 P
15 SRBI 46.50 1.000 P
16 BYJI 55.70 1.000 P
17 WSI 58.40 1.000 P
18 KAPI 61.60 1.000 P
19 BLJI 62.10 1.000 P
20 BKSI 63.10 1.000 P
21 GMJI 64.00 1.000 P
22 SPSI 72.10 1.000 P
23 KBKI 73.20 1.000 P
24 MJSI 74.10 1.000 P
25 MMRI 75.90 1.000 P
26 KRK 76.20 1.000 P
27 BBKI 77.70 1.000 P
28 FWJI 81.20 1.000 P
29 TTSI 82.90 1.000 P
30 SWJI 83.10 1.000 P
31 PCJI 89.30 1.000 P
32 SMKI 107.80 1.000 P
33 LUWI 122.40 1.000 P
length : 2.983.707 lines : 88.350 Ln : 1 Col : 1 Pos : 1 Windows (CR LF) UTF-8 INS

```

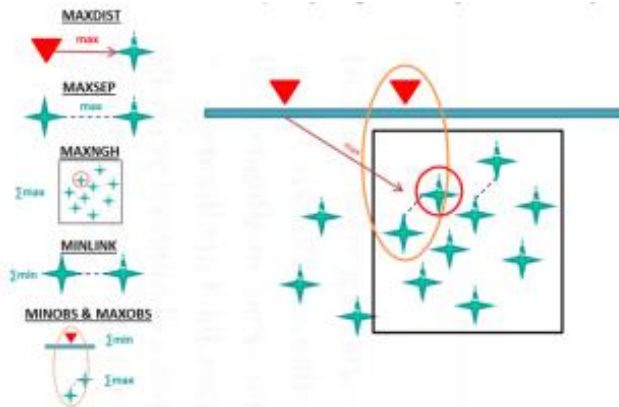
Gambar 3.3 Data Gempa Dengan Ekstensi .pha

1.3.3 Pengolahan Data

1. Pengolahan Data pada *ph2dt*

Pengolahan data pada *ph2dt* dilakukan dengan tujuan untuk membentuk pasangan gempa berdasarkan parameter yang dimasukkan. Masukan pada *ph2dt* dibagi menjadi 3, yaitu *ph2dt.inp* yang berisi parameter untuk mengontrol program ketika dijalankan *Cygwin*, data katalog waktu tempuh, dan data lokasi stasiun. Data katalog waktu tempuh diperoleh dari data waktu tiba gelombang yang sebelumnya telah dikonversi dan data lokasi stasiun dengan ekstensi. *dat*. Pada *ph2dt.inp* dilakukan pengisian terhadap

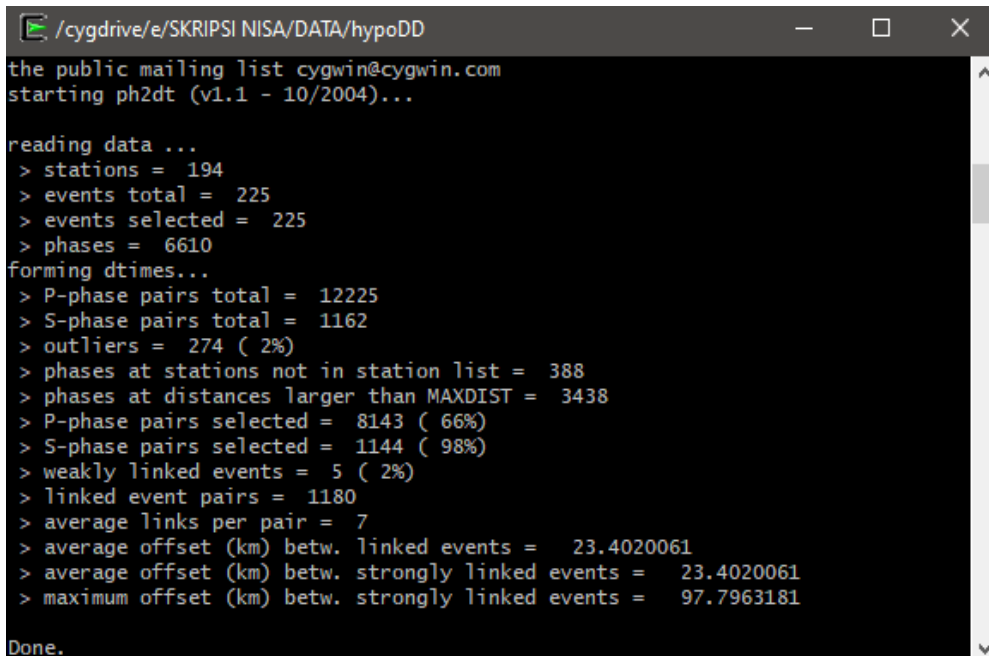
data stasiun, data waktu tempuh, dan parameter. Parameter pada *ph2dt.inp* terdiri dari **MINWIGHT** (minimum pembobotan dengan rentang 0-1), **MAXDIST** (jarak maksimum antara pasangan gempa dengan stasiun), **MAXSEP** (jarak pisah hiposentral maksimum antara pasangan-pasangan gempa). **MAXNGH** (jumlah maksimum dari *neighbors* per gempa), **MINLINK** (jumlah minimum hubungan tetangga yang dapat dipasangkan), **MINOBS** (jumlah minimum *link* yang disimpan), dan **MAXOBS** (jumlah maksimum *link* yang disimpan).



Gambar 3.4 Ilustrasi Parameter Yang Digunakan

Hasilnya *ph2dt* akan memberikan *outliers* (jumlah pasangan-pasangan gempa yang dianggap lemah), gempa yang berpasangan serta informasi jumlah fase gelombang. Hasil keluaran dari pengolahan ini yaitu *dt.ct* yang berisi waktu tempuh gempabumi yang berpasangan, *event.dat* berisi ringkasan dari semua gempa, dan *event.sel* berisi ringkasan dari gempa yang terpilih. Pada proses ini juga dapat diketahui bahwa jumlah fase dan stasiun sebelum digunakan akan berubah bergantung pada parameter penentuan pasangan gempa yang digunakan, apabila terdapat fase gelombang yang tidak dapat berpasangan atau stasiun yang tidak dapat menunjukkan gempa,

maka fase gelombang dan stasiun tersebut dianggap tidak memenuhi parameter yang digunakan.



```

/cygdrive/e/SKRIPSI NISA/DATA/hypoDD
the public mailing list cygwin@cygwin.com
starting ph2dt (v1.1 - 10/2004)...

reading data ...
> stations = 194
> events total = 225
> events selected = 225
> phases = 6610
forming dtimes...
> P-phase pairs total = 12225
> S-phase pairs total = 1162
> outliers = 274 ( 2%)
> phases at stations not in station list = 388
> phases at distances larger than MAXDIST = 3438
> P-phase pairs selected = 8143 ( 66%)
> S-phase pairs selected = 1144 ( 98%)
> weakly linked events = 5 ( 2%)
> linked event pairs = 1180
> average links per pair = 7
> average offset (km) betw. linked events = 23.4020061
> average offset (km) betw. strongly linked events = 23.4020061
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 97.7963181
Done.

```

Gambar 3.5 Pengolahan Data Pada *Ph2dt* Dengan *Cygwin*

Ada dua hal yang harus diperhatikan dari tampilan diatas, yaitu *outliers* dan *weakly linked events*. Semakin kecil nilai presentase *outliers* maka semakin bagus data yang dimiliki. Begitu juga dengan *weakly linked events*, semakin kecil nilai presentasinya maka *error*-nya akan semakin kecil.

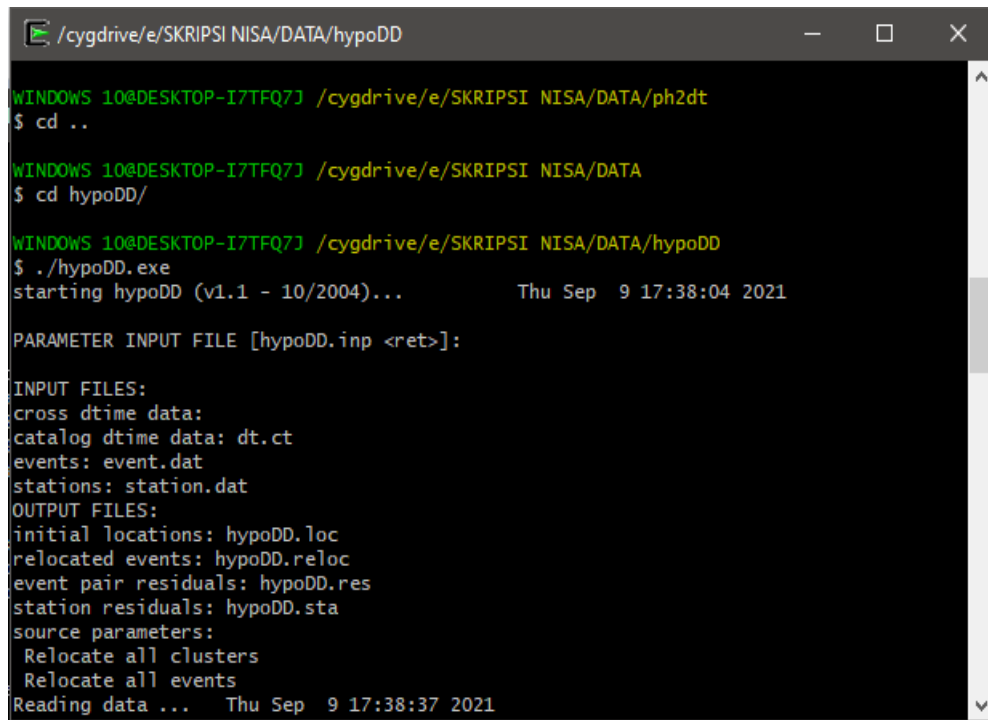
Jika setelah *running* dan nilai presentasinya masih besar, maka harus mengedit kembali file *ph2dt.inp*. Pada umumnya, jika nilai presentase pada *weakly linked events* besar maka yang perlu diubah adalah *MAXSEP* serta *MAXDIST* pada file *ph2dt.inp*.

2. Relokasi Data dengan hypoDD

Pengolahan selanjutnya yaitu relokasi gempabumi menggunakan algoritma *double difference hypoDD*. Pada proses ini masukan yang digunakan terbagi

menjadi tiga macam, yaitu *hypoDD.inp* yang berisi parameter untuk mengontrol program ketika dijalankan *Cygwin*, data katalog waktu tempuh (*dt.ct*) data hiposenter awal (*event.dat*), model kecepatan dan data lokasi stasiun. Pada *hypoDD* dilakukan pengisian masukan, keluaran, dan parameter di *hypoDD.inp*, sama seperti pada *ph2dt.inp*. Parameter ini terdiri dari **IDAT** (tipe data ; 1 = cross corellation , 2 = data katalog, dan 3 = data cross corellation dan katalog), **IPHA** (tipe fase gelombang ; 1 = gelombang P, 2 = gelombang S, dan 3 = gelombang P dan S), **DIST** (jarak maksimum antara sentroid gempa dan stasiun), **OBSCC & OBSCT** (jumlah minimum link untuk membentuk klaster dari data katalog dan data cross), **ISTART** (lokasi inisial), **ISOLV** (solusi *least square*) , **NSET** (pengaturan jumlah iterasi yang akan diberikan), pembobotan data untuk iterasi, model kecepatan (**NLAY, RATIO, TOP, dan VEL**), **CID** (nomor indeks klaster gempa yang akan di relokasi), dan **ID** (ID gempa yang akan direlokasi dimana jika ingin merelokasi semua gempa maka kolom ini dikosongkan).

Pada proses ini akan dilakukan proses perhitungan waktu tempuh kalkulasi pada setiap lapisan kecepatan yang dimiliki oleh model kecepatan yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan rasio V_p dan V_s (V_p/V_s) sebesar 1,73. Kemudian, inversi seperti yang dijelaskan pada algoritma sebelumnya dilakukan agar perubahan hiposenter yang diperlukan dapat diperoleh untuk menentukan hasil relokasi gempabumi.



```

/cygdrive/e/SKRIPSI NISA/DATA/hypoDD
WINDOWS 10@DESKTOP-I7TFQ7J /cygdrive/e/SKRIPSI NISA/DATA/ph2dt
$ cd ..
WINDOWS 10@DESKTOP-I7TFQ7J /cygdrive/e/SKRIPSI NISA/DATA
$ cd hypoDD/
WINDOWS 10@DESKTOP-I7TFQ7J /cygdrive/e/SKRIPSI NISA/DATA/hypoDD
$ ./hypoDD.exe
starting hypoDD (v1.1 - 10/2004)... Thu Sep 9 17:38:04 2021

PARAMETER INPUT FILE [hypoDD.inp <ret>]:

INPUT FILES:
cross dtme data:
catalog dtme data: dt.ct
events: event.dat
stations: station.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sta
source parameters:
Relocate all clusters
Relocate all events
Reading data ... Thu Sep 9 17:38:37 2021

```

Gambar 3.6 Proses Relokasi Gempa Dengan *HypoDD* Pada *Cygwin*

Pada proses ini terdapat satu parameter yang harus diperhatikan, yakni nilai *CND*. Untuk menghasilkan data yang bagus, batasan *CND* harus berada pada rentang 40-80. Jika setelah *dirunning* nilai *CND* nya tinggi, maka nilai *DAMP* pada file *hypoDD.inp* harus ditambah nilainya, dan sebaliknya jika nilai *CND* nya rendah atau dibawah rentang 40-80, maka nilai *DAMP* pada file *hypoDD.inp* harus dikurangi nilainya. Nilai *DAMP* (*damping*) digunakan untuk meredam perubahan hiposenter yang terlalu besar atau tidak stabil.

Hasil keluaran dari program ini terdiri dari 4 file, yaitu *hypoDD.loc* (informasi gempa awal), *hypoDD.reloc* (informasi gempa hasil relokasi), *hypoDD.sta* (informasi residual dari stasiun) dan *hypo.res* (informasi data residual dari pengolahan hasil iterasi terakhir). Untuk analisis selanjutnya, yang digunakan hanyalah *hypoDD.loc* dan *hypoDD.reloc*.

3. Pemetaan Lokasi Gempabumi

Pemetaan gempabumi menggunakan GMT dilakukan untuk mengetahui distribusi gempa berdasarkan gempa sebelum dan sesudah direlokasi dalam sebuah peta dengan tujuan untuk melihat letak pergeseran hiposenter gempabumi. Serta dilakukan *slice* atau pemotongan menjadi beberapa bagian untuk melihat pergeseran hiposenter gempabumi secara lebih jelas.

4. Pembuatan Diagram

Pada tahapan selanjutnya dilakukan pembuatan diagram kompas dan diagram *rose*. Dimana diagram kompas berfungsi untuk mengetahui arah dan jarak pergeseran gempa setelah relokasi. Sementara diagram *rose* digunakan untuk mengetahui interval sudut pergeseran gempa. Bahan masukan dari pembuatan diagram ini berasal dari informasi lintang dan bujur dari data gempabumi sebelum dan setelah direlokasi.

1.3.4 Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk meninjau tingkat akurasi dari hasil relokasi hiposenter. Dimana tingkat akurasi terbaik ditunjukkan oleh nilai residual waktu tempuh yang berada pada frekuensi nilai residual mendekati nol ($t_{obs} \approx t_{cal}$). Sebagaimana persamaan :

$$dr_k^{ij} = (T_k^i - T_k^j)^{obs} - (T_k^i - T_k^j)^{cal} \quad (3.1)$$

Validasi ini dilakukan dengan membuat sebuah histogram nilai residual waktu tempuh gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi.

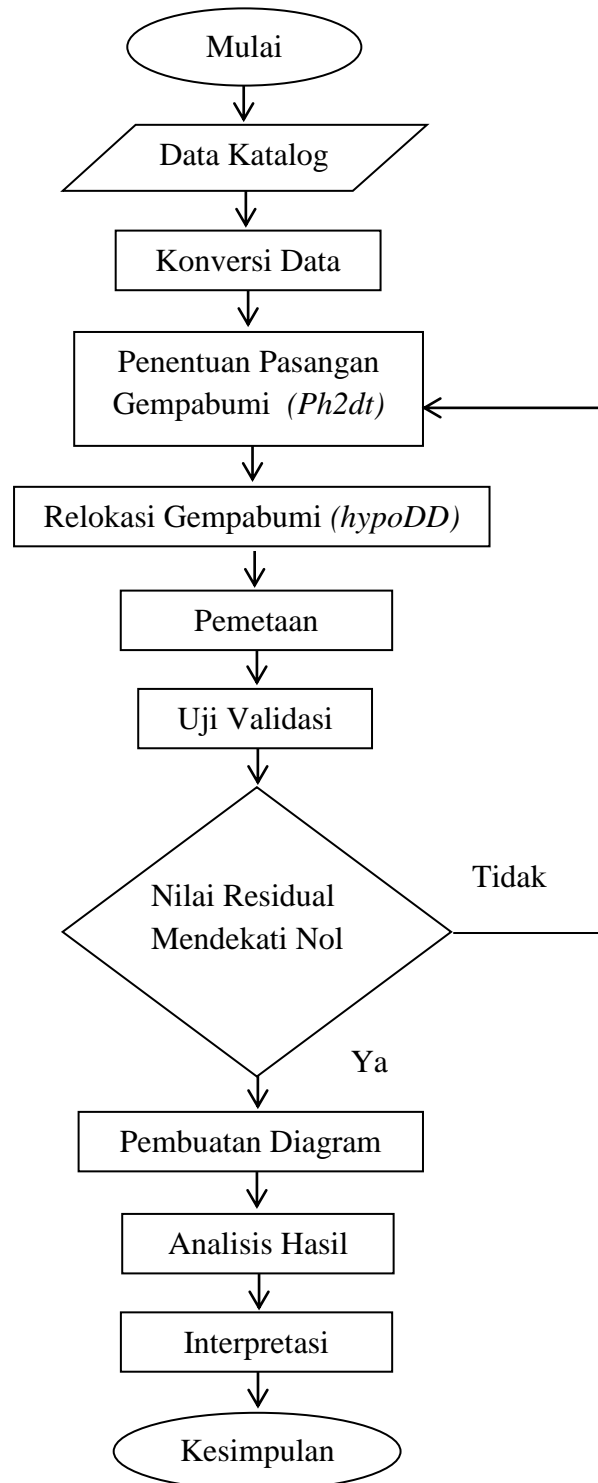
1.3.5 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan setelah diperoleh hasil dari pengolahan data hiposenter gempa bumi pada tahap sebelumnya. Proses ini dilakukan dengan menganalisis sebaran hiposenter yang meliputi perubahan secara vertikal (kedalaman) maupun horizontal (episenter) serta perbedaan jumlah gempa sebelum dan sesudah di relokasi.

1.3.6 Interpretasi

Pada proses interpretasi data dilakukan pembahasan mengenai hasil analisis dengan data terkait yang digunakan sebagai pendukung penelitian. Sehingga, diperoleh penafsiran yang lebih luas serta dapat menjelaskan secara lebih rinci tidak hanya mengenai perubahan sebesar hiposenter tetapi juga dihubungkan dengan keadaan tektonik di zona subduksi lokasi penelitian.

1.4 Diagram Alir Langkah Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

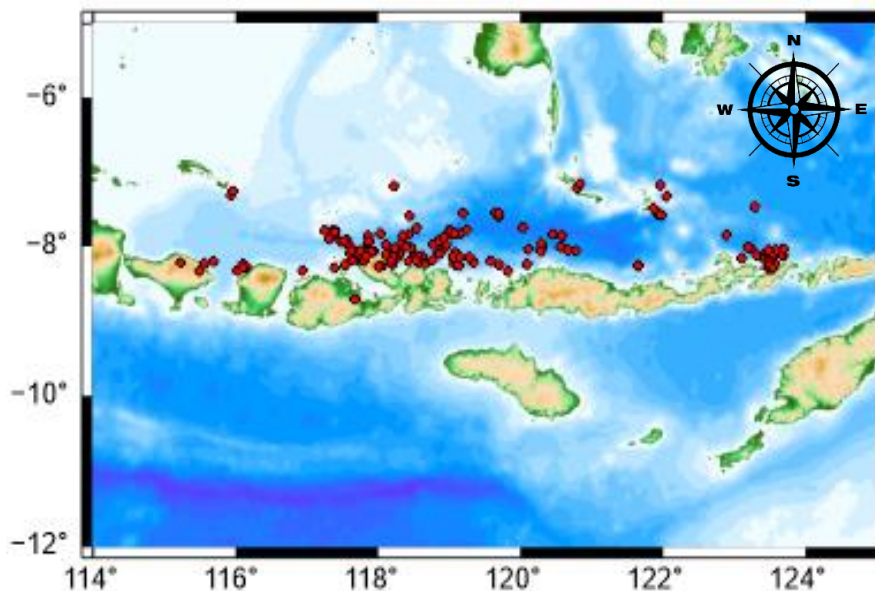
1.1 Hasil Relokasi Hiposenter Gempabumi

Dalam melakukan proses pengolahan data dengan menggunakan *software hypoDD* digunakan prinsip *trial and error*. Untuk mendapatkan posisi hiposenter yang lebih akurat diberikan beberapa input pada program *hypoDD* agar menghasilkan kriteria parameter yang sesuai dengan hasil yang diharapkan. Penelitian ini menggunakan data kejadian gempabumi di Zona Flores *back arc thrust fault* dan sekitarnya mulai dari tanggal 20 April 2009 hingga 31 Januari 2017. Data kejadian gempabumi awal yang digunakan sebanyak 3373 kejadian gempa dengan 194 stasiun pengamat gempa. Data gempa tersebut kemudian diseleksi berdasarkan posisi koordinat gempa, magnitudo, serta kedalaman gempa.

Posisi gempa yang digunakan pada penelitian ini berada pada koordinat $115,57^{\circ}$ - $125,04^{\circ}$ BT dan $7,28^{\circ}$ - $8,20^{\circ}$ LS yaitu pada gempa-gempa yang dianggap merusak yang memiliki kedalaman dangkal yaitu kedalaman 0 – 70 km dibawah permukaan tanah serta memiliki magnitudo mulai 4 hingga 6 SR. Gempabumi merusak adalah gempabumi yang mempunyai kekuatan besar, dangkal, dan mengakibatkan kerusakan di daerah sekitarnya (Soehaimi, 2008). Selain itu, menurut Daryono (2020) Gempabumi yang memiliki kekuatan < 5 SR juga dapat menimbulkan kerusakan apabila kedalaman sumber gempanya dangkal.

Dari hasil seleksi data hanya 225 data yang kemudian akan dilakukan relokasi. Sebelum direlokasi data gempabumi akan dipetakan menggunakan *GMT*, dimana gempa ditunjukkan oleh bulatan warna merah yang menunjukkan gempa

dangkal, kuning gempa menengah, dan hijau gempa dalam. Dikarenakan data gempa yang digunakan hanya gempa-gempa dangkal saja sehingga gempa hanya ditunjukkan dengan bulatan warna merah.

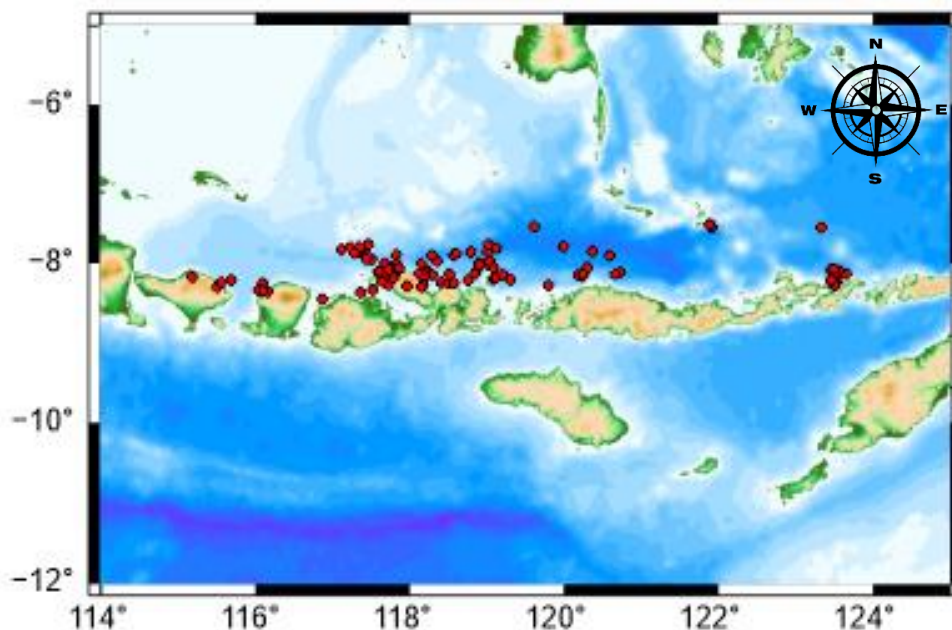


Gambar 4.1 Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi

Data gempa yang berjumlah 225 kemudian dilakukan relokasi. Namun sebelum direlokasi data gempabumi tersebut harus dikonversi ke dalam format yang baru, yaitu dari format .txt menjadi format .pha sebagai masukan pada pengolahan selanjutnya pada *ph2dt*. Proses relokasi melewati 2 tahapan. Pertama pada *ph2dt* dan kedua pada *hypoDD*. *Ph2dt* menganalisis data fase gelombang untuk penurunan selisih waktu tempuh gelombang terhadap pasangan gempa dengan mengelompokkan gempabumi yang berkaitan berdasarkan parameter yang diberikan. Parameter-parameter tersebut meliputi MINWIGHT (minimum pembobotan dengan rentang 0-1) dengan nilai 0, MAXDIST (jarak maksimum antara pasangan gempa dengan stasiun) sebesar 500 km, MAXSEP (jarak pisah hiposentral maksimum antara pasangan-pasangan gempa) sebesar 100 km kemudian MAXNGH (jumlah maksimum dari *neighbors* per gempa) dengan nilai

8, MINLINK (jumlah minimum hubungan tetangga yang dapat dipasangkan) dengan nilai 1, MINOBS (jumlah minimum *link* yang disimpan) dengan nilai 1, dan MAXOBS (jumlah maksimum *link* yang disimpan) sebesar 194. Pada akhir proses pengolahan akan tampil kotak berupa informasi *outliers* atau data yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data (*time series*) (Muafiry, 2008) , jumlah pasangan gempa yang dianggap lemah dan sebagainya.

Untuk melanjutkan ke proses pengolahan selanjutnya, sebisa mungkin *outliers* bernilai kecil. Hal ini dikarenakan gempa yang dianggap *outliers* (gempa dengan waktu tunda yang lebih besar dari perkiraan waktu tunda untuk pasangan gempa) akan dihapus. Selain itu *weakly linked events* yang dihasilkan juga harus memiliki nilai yang kecil. Hasil keluaran *ph2dt* kemudian menjadi masukan dalam pengolahan *hypoDD*. *HypoDD* merelokasi hiposenter gempa dengan mendiferensiasikan data waktu tempuh gelombang yang didapatkan dari *ph2dt*. *HypoDD* bekerja dengan prosedur iterasi, dimana pada setiap iterasi turunan parsial, lokasi, pembobotan data akan diperbaharui yang bergantung pada nilai misfit saat inversi, dengan tujuan meminimalkan nilai residual antara selisih waktu tempuh gelombang hasil observasi dengan hasil kalkulasi. Pada akhir pengolahan akan tampil keluaran berupa informasi kerja dari *hypoDD*. Pada keluaran ini dilihat nilai *CND* yang merupakan indikasi kondisi dari persamaan *double difference*. Pada buku panduan *hypoDD* yang disusun oleh Waldhauser (2000), nilai *CND* yang kecil mengindikasikan damping yang terlalu besar, dan nilai *CND* yang besar mengindikasikan damping yang terlalu kecil. Nilai damping yang diberikan dikatakan tepat ketika nilai *CND* berada diantara 40-80.



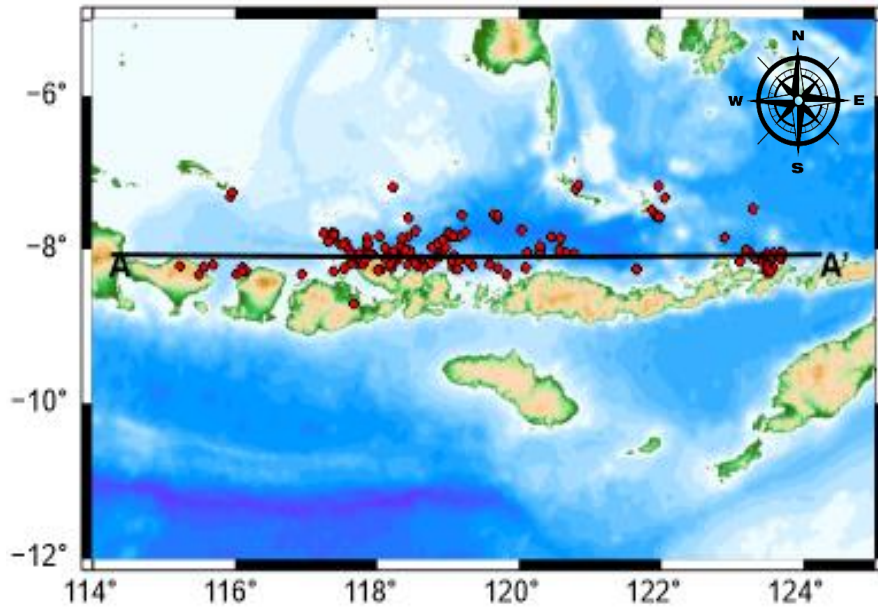
Gambar 4.2 Peta Episenters Gempabumi Setelah Relokasi

Terdapat perbedaan pada jumlah gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi. Jika sebelum relokasi kejadian gempa berjumlah 225 gempa, maka setelah relokasi kejadian gempa berkurang menjadi 154 gempa. Hal ini dikarenakan pada saat proses pengolahan, *ph2dt* menghilangkan kejadian gempa yang dianggap *outliers*. Begitu juga pada *hypoDD* yang menghilangkan gempa yang menjadi *airquakes* pada setiap iterasi. *Airquakes* merupakan hiposenter gempa yang berada diatas permukaan. Hal ini terjadi ketika pasangan gempa yang berada dekat permukaan memiliki kontrol vertikal *offset* gempa yang buruk. Awalnya gempa berjumlah 225 kejadian dan setelah proses relokasi pada *hypoDD* menjadi 154 kejadian gempa. Dengan demikian, hasil relokasi *double difference* seringkali memiliki jumlah kejadian gempabumi lebih sedikit dibandingkan dengan sebelum relokasi.

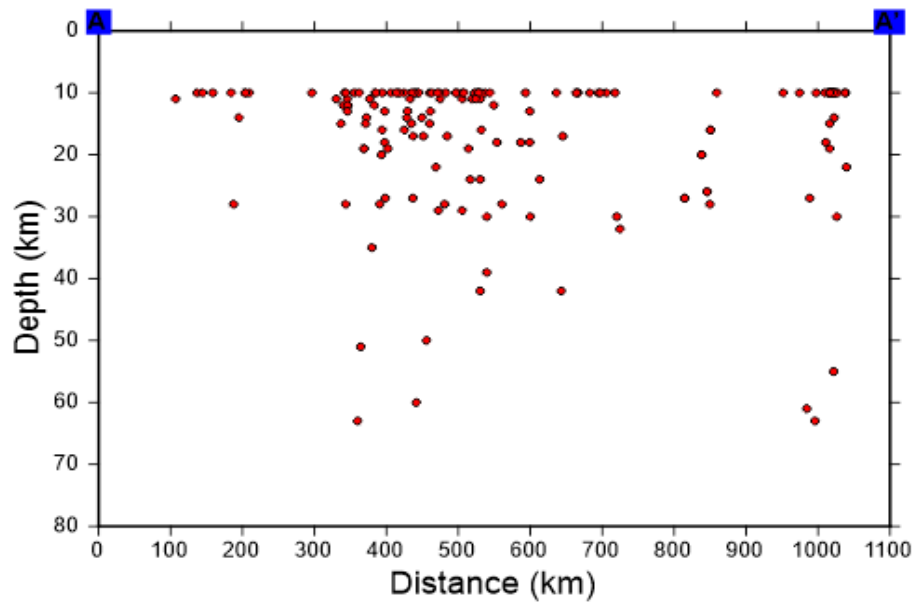
1.2 Persebaran Hiposenter Gempabumi Setelah Relokasi

Selanjutnya untuk melihat perbedaan sebelum relokasi dan setelah relokasi

melalui penampang melintang dilakukan *slice* (irisan). Dari penampang melintang ini dapat terlihat pergeseran lintang dan bujur serta kedalaman dari gempabumi sebelum dan setelah dilakukan relokasi secara lebih jelas.



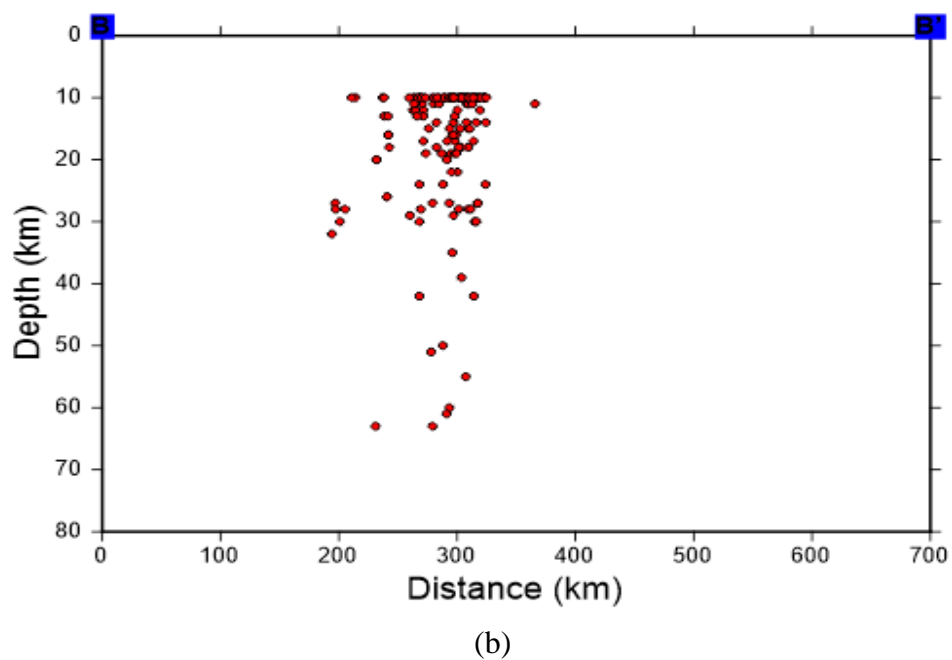
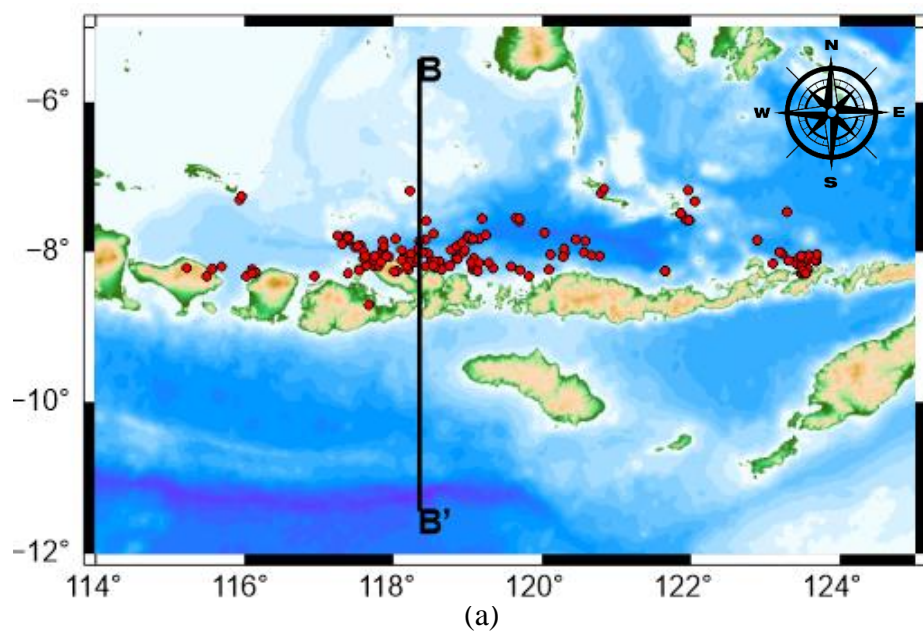
(a)



(b)

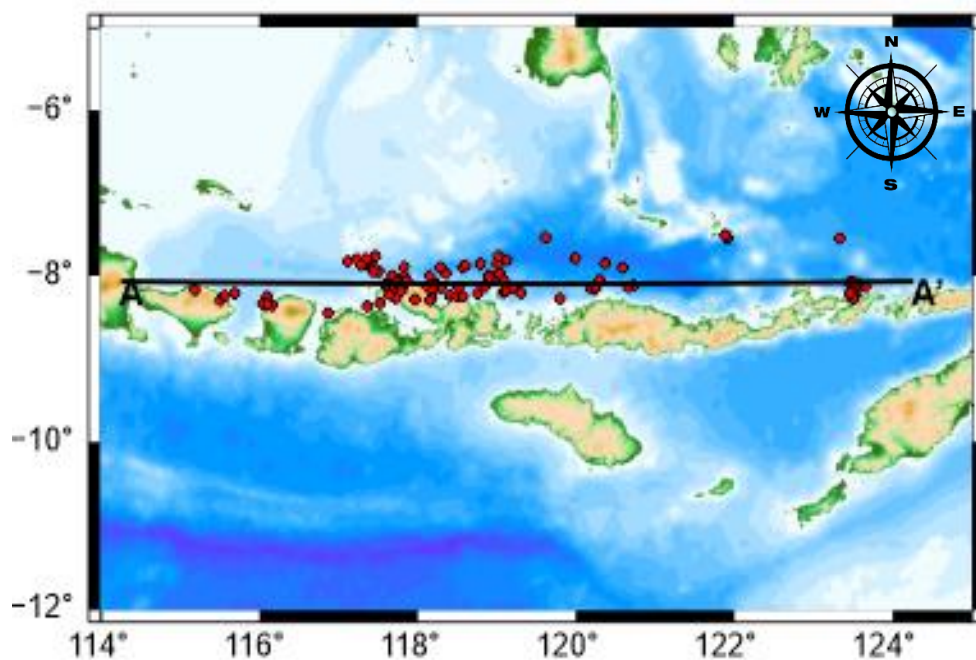
Gambar 4.3 Distribusi Gempabumi (a) Episenter (b) Hiposenter Sebelum Relokasi.

Gambar diatas merupakan distribusi hiposenter gempa bumi sebelum direlokasi. Irisan melintang A-A' berarah dari barat ke timur dengan posisi koordinat titik A 8.07° LS dan 114.25° BT, dan titik A' pada 8.07° LS dan 124.26° BT. Kemudian untuk melihat posisi hiposenter dari arah yang berbeda, yaitu utara ke selatan dilakukan *slice* (iris) dengan titik yang berbeda seperti pada gambar dibawah ini.

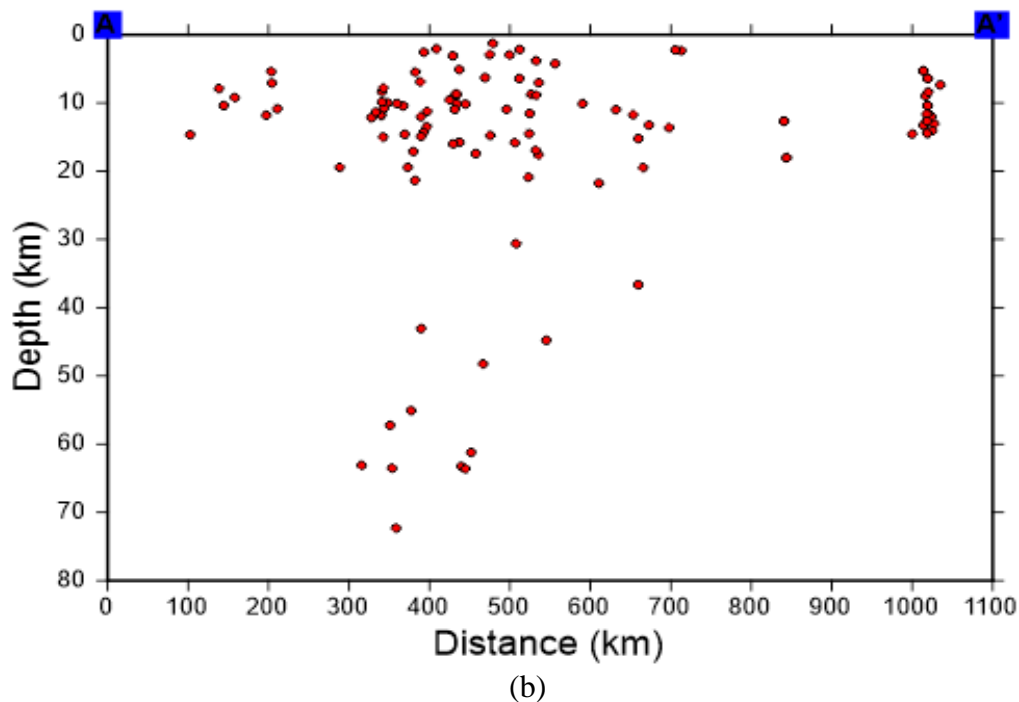


Gambar 4.4 Distribusi Gempabumi (a) Episenter (b) Hiposenter Sebelum Relokasi.

Gambar diatas merupakan distribusi hiposenter gempabumi sebelum direlokasi dengan irisan pada titik yang berbeda dengan sebelumnya. Irisan B - B' berarah dari utara ke selatan dengan posisi koordinat titik B 5.42° LS dan 118.35° BT, dan titik B' pada 11.45° LS dan 118.35° BT. Dari kedua gambar irisan A - A' dan B - B' tersebut dapat dilihat bahwa persebaran hiposenter gempabumi terlihat membentuk garis lurus pada kedalaman dangkal. Hal ini disebabkan oleh otomatisasi penentuan kedalaman gempabumi oleh perangkat *Seiscomp3* yang digunakan BMKG. Apabila hasil analisis kedalaman tidak terpusat dengan baik, maka *seiscomp3* tersebut secara otomatis akan membuat kedalaman kejadian gempabumi tersebut pada kedalaman 10 km atau dikenal dengan *fixed depth* (Azizah, 2019). Hal ini juga dilakukan untuk menyederhanakan proses iterasi yang dilakukan dan meningkatkan koefisien waktu.

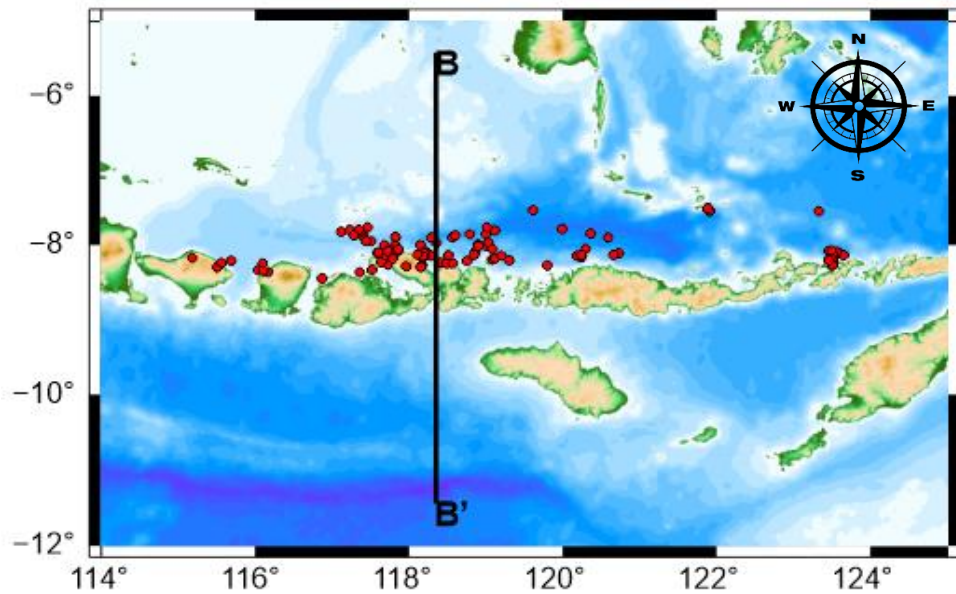


(a)

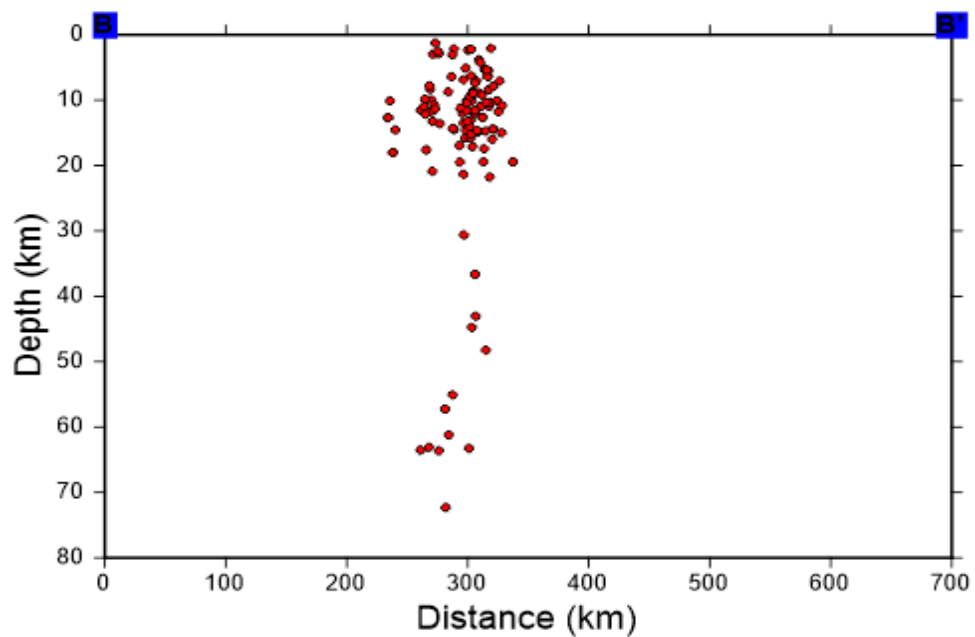


Gambar 4.5 Distribusi Gempabumi (a) Episenter (b) Hiposenter Setelah Relokasi

Kemudian pada gambar 4.5 merupakan peta persebaran hiposenter gempabumi setelah direlokasi pada penampang A – A' . Pola persebaran episenter baik sebelum maupun setelah relokasi sekilas memang terlihat sama, hal ini dikarenakan gempabumi di kawasan ini sangat kompleks dan memiliki jarak yang relatif kecil. Tetapi sebenarnya jika dianalisis lebih dalam melalui irisan penampang melintang persebaran gempabumi setelah direlokasi mengalami perubahan. Gambar diatas merupakan gambar penampang melintang A – A', untuk lebih jelas melihat perubahan dari hasil relokasi kemudian juga dilakukan irisan (*slice*) pada penampang yang berbeda yaitu dari arah utara ke selatan seperti halnya pada gempa sebelum relokasi di pembahasan sebelumnya yaitu pada posisi koordinat titik A 8.07° LS dan 114.25° BT, dan titik A' pada 8.07° LS dan 124.26° BT.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Distribusi Gempabumi (a) Episenter (b) Hiposenter Setelah Relokasi.

Dari kedua Gambar diatas terlihat bahwa gempabumi yang sebelumnya banyak berada pada kedalaman *fixed depth* sebelum direlokasi terlihat lebih menyebar dan tidak membentuk garis lurus. Persebaran gempabumi juga didominasi oleh gempabumi dangkal dibawah kedalaman 30 km yang terlihat

memenuhi sisi barat hingga timur. Hal ini sesuai dengan pemaparan dari McCaffrey (1987) yang menyatakan bahwa Gempabumi di kawasan Flores *Back Arc Thrust* didominasi oleh gempabumi dengan kedalaman dangkal, dimana kedalaman dari gempabumi di Flores *Back Arc Thrust* rata-rata berada pada kisaran 30 kilometer dibawah permukaan tanah.

Persebaran hiposenter gempabumi setelah relokasi pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 juga menunjukkan gempa yang lebih mengumpul dan membentuk dua buah kluster di bagian timur yaitu disekitar pulau Nusa Tenggara Timur dan juga di bagian barat disebelah utara Pulau Nusa Tenggara Barat dan sekitarnya jika dilihat dari episenternya. Kluster gempa disekitar pulau Nusa Tenggara Barat juga memiliki distribusi hiposenter gempa didominasi dibagian utara dan semakin dalam ke arah barat seperti membentuk sebuah penujaman pada irisan penampang melintang A – A’.

Kemudian pada distribusi hiposenter gempabumi yang kedua, yaitu arah irisan penampang B – B’ membentuk sebuah penujaman lurus yang sangat terfokus dan distribusinya saling mendekat pada satu wilayah. Gempa-gempa tersebut kemungkinan berada di sekitar Flores *Back Arc Thrust Fault* yang diduga bersumber dari sesar naik tersebut.

Persebaran hiposenter gempabumi tersebut dapat dikaitkan dengan kondisi tektonik Pulau Nusa Tenggara dan sekitarnya, dimana terdapat Flores *Back Arc Thrust* dibagian utara Pulau Bali, Lombok, dan Flores. Pranantyo dan Cummins (2019) menyatakan bahwa Sesar Flores atau Flores *Back Arc Thrust* merupakan sumber aktivitas seismik yang sering terjadi di daerah Nusa Tenggara dan sekitarnya. Sesar ini terbentuk akibat desakan balik Lempeng Eurasia terhadap

Lempeng Indo-Australia dengan kemiringan yang landai dan memanjang. Zona subduksi tersebut menjadi sumber gaya dorong horizontal yang membentuk sesar ini, sehingga bagian Flores *Back Arc Thrust* yang terdekat dari pendorong akan mudah untuk digerakkan dan memiliki gaya gesek yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian yang lebih jauh. Dorongan tersebut menyebabkan bagian tubuh Lempeng Eurasia terdorong keatas di sepanjang utara Bali, Lombok, hingga Flores. Jenis pergerakan sesar ini adalah sesar naik atau *thrust fault* yang dapat memicu tsunami (Ratuluhain , 2021).

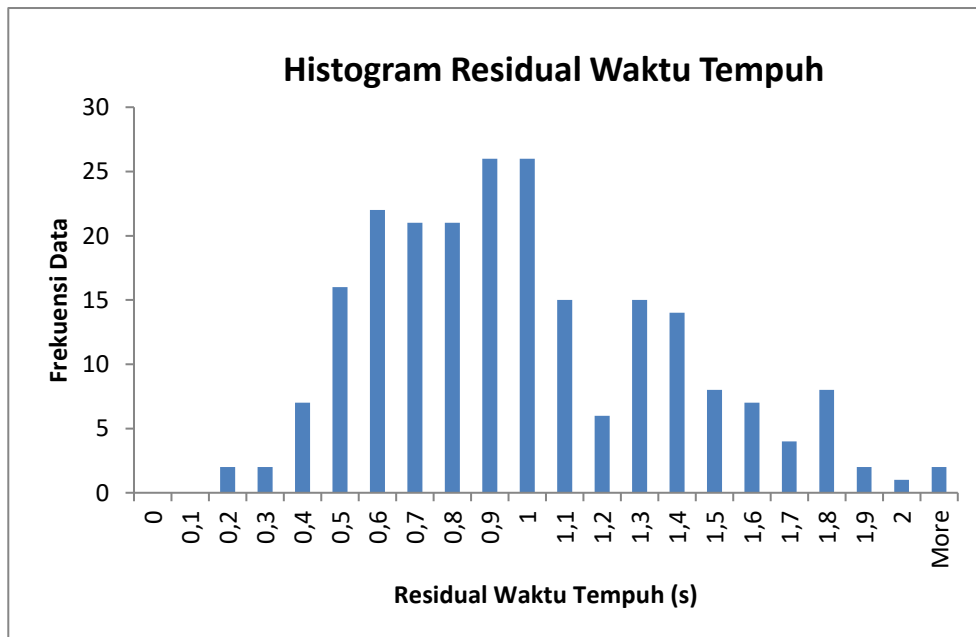
Hasil relokasi hiposenter seluruh *event* menggunakan metode *double difference* bertujuan tidak hanya untuk memperoleh lokasi hiposenter yang lebih akurat, namun juga dapat digunakan untuk mengetahui keterkaitan gempa-gempa di sekitar *main event* terutama gempa susulannya yang telah dimanfaatkan dalam proses relokasi hiposenter *main event* itu sendiri. Berdasarkan hasil relokasi ini juga dapat diketahui gempa-gempa yang memiliki karakter sama sehingga pola seismisitas tertentu maupun detail struktural yang lebih baik dapat ditunjukkan. Selain itu, pada penelitian ini juga digunakan parameter model kecepatan gelombang PREM untuk menghitung waktu tempuh kalkulasi yang dihitung pada tiap lapisan yang dilalui oleh gelombang sehingga nilai kecepatan tiap lapisan akan mempengaruhi perhitungan yang dilakukan.

1.3 Histogram Residual

Nilai residual merupakan selisih antara waktu tempuh observasi dan kalkulasi yang telah diperoleh dari aplikasi metode *double difference*. Perangkat lunak *hypoDD* memiliki prinsip mengurangi nilai residual tersebut secara iteratif dalam inversi yang dilakukan selama proses relokasi hiposenter sehingga diperoleh

pembaharuan lokasi dari *event* terkait. Oleh karena itu, nilai residual dapat digunakan sebagai validasi yang menguji tingkat keakuratan hasil relokasi hiposenter.

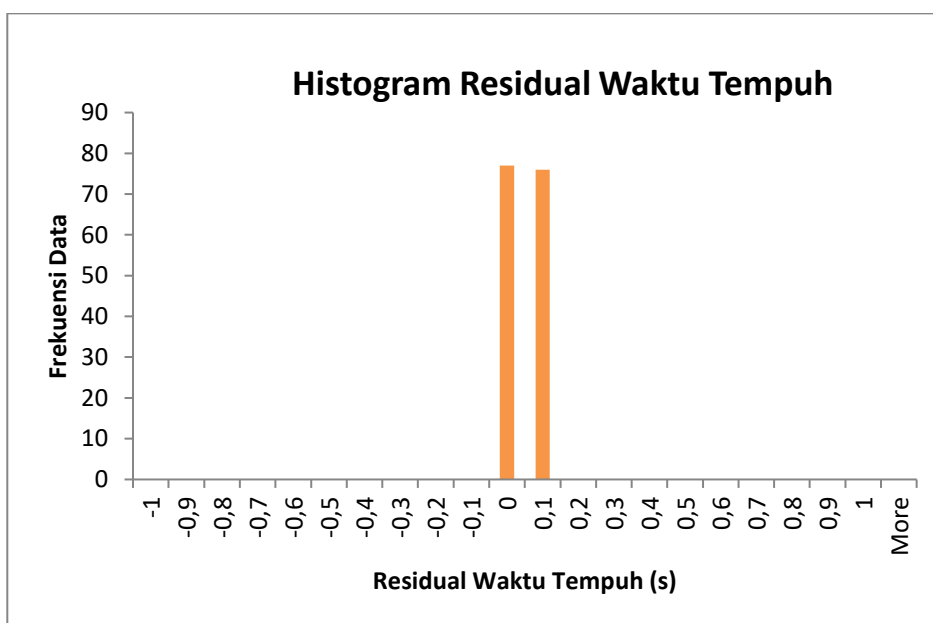
Akurasi hasil relokasi dapat dilihat dengan membuat histogram nilai rms residual waktu tempuh. Hal ini dianalisis dari frekuensi gempa yang memiliki nilai rms mendekati nilai nol. Semakin nilai rms residual waktu tempuh dari gempa mendekati nilai nol, maka waktu tempuh hasil kalkulasi semakin mendekati waktu tempuh observasi, yang artinya letak gempa akan mendekati letak gempa sebenarnya. Informasi nilai RMS residual rata-rata sebelum relokasi dapat diperoleh dari data katalog gempa bumi yang dimiliki, sementara nilai rms residual rata-rata setelah relokasi dapat diperoleh dari *output hypoDD*. Sehingga histogram residual bertujuan untuk melakukan analisis terhadap kecocokan data lapangan dan mode parameter matematis yang digunakan.



Gambar 4.7 Histogram Residual Sebelum Relokasi

Gambar 4.7 merupakan histogram rms residual waktu tempuh dari gempa sebelum dilakukan relokasi. Histogram menunjukkan nilai residual yang dihasilkan dari gempa sebelum relokasi (*gempa loc*) berkisar dari 0.2 hingga > 2 s. Frekuensi data paling tinggi terletak pada nilai residual 0.9 – 1 s dengan frekuensi sekitar 25 data. Gempa bumi sebelum relokasi dapat dikatakan masih kurang baik, hal ini ditunjukkan dengan masih adanya gempa yang memiliki nilai residual > 2 s.

Histogram rms residual waktu tempuh gempa setelah relokasi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 Nilai residual yang dihasilkan setelah dilakukan proses relokasi berada pada rentang 0 - 0,1 s dengan frekuensi data 80 dan 70 data. Dari histogram ini dapat dilihat bahwa gempa hasil relokasi dikatakan lebih baik karena nilai residual yang dimiliki < 1 s.



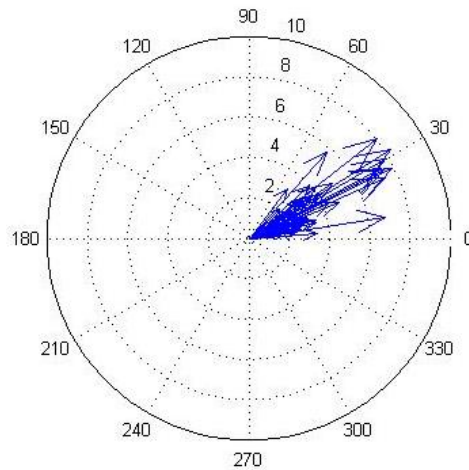
Gambar 4.8 Histogram Residual Waktu Tempuh Setelah Direlokasi

Berdasarkan kedua diagram diatas dapat dilihat bahwa gempa sesudah direlokasi tidak memiliki nilai rms residual diatas 0.2 s sedangkan gempa

sebelum relokasi memiliki nilai rms residual hingga > 2.0 s. Dari histogram yang dibandingkan, terdapat kenaikan frekuensi data gempa pada gempa setelah direlokasi dimulai dari nilai 0-0.1 s dan mengalami penurunan frekuensi pada nilai -0.1 s dan 0.2-0.3 s. Hal ini menunjukkan nilai rms residual mendekati nol pada gempa hasil relokasi menggunakan metode *double difference* memiliki frekuensi data yang lebih banyak daripada gempa sebelum relokasi. Berdasarkan nilai rms residual yang didapatkan, maka gempa yang direlokasi menggunakan metode *double difference* pada penelitian ini menghasilkan perubahan posisi hiposenter yang lebih baik dan mendekati posisi hiposenter yang sebenarnya.

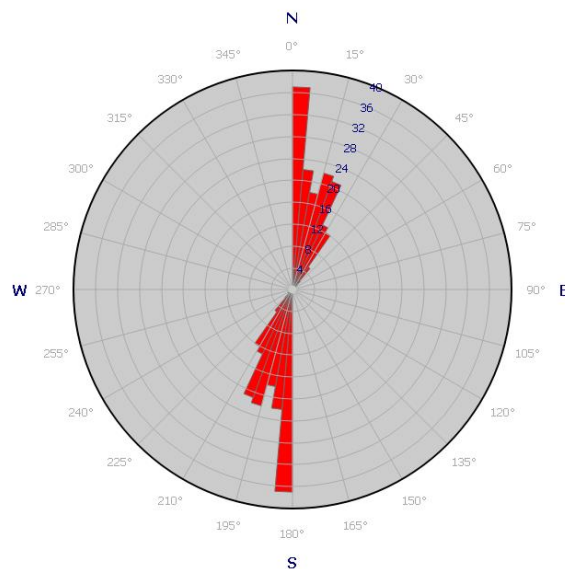
1.4 Analisis Sebaran Hiposenter Gempabumi

Informasi lebih rinci mengenai pergeseran kejadian gempabumi dapat diketahui melalui diagram kompas dan diagram rose. Penggambaran dengan kedua diagram ini untuk menunjukkan pola pergeseran hiposenter secara lebih sederhana. Diagram kompas menunjukkan informasi detail mengenai pergeseran lokasi gempabumi berupa arah dan jarak pergeseran setelah dilakukannya relokasi. Diagram berbentuk lingkaran dengan skala luar berupa skala derajat untuk menunjukkan arah pergeseran dan skala dalam dengan angka menunjukkan jarak pergeseran.



Gambar 4.9 Diagram Kompas

Dari gambar diatas dapat dilihat skala jarak menunjukkan angka yang dimulai dari 0 sampai 10 km. Pergeseran gempabumi pada penelitian ini memiliki kecenderungan ke arah utara dan timur laut. Dari tanda panah juga dapat dilihat bahwa pergeseran paling banyak berada pada gempa dengan pergeseran 0 - 4 km meskipun ada beberapa gempa yang memiliki pergeseran lebih dari 4 km.



Gambar 4.10 Diagram Rose

Diagram selanjutnya yaitu diagram rose yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 Diagram ini menunjukkan interval sudut perubahan arah relokasi gempa dengan skala yang berada di luar lingkaran dan jumlah gempabumi yang ditunjukkan

dengan skala di bagian dalam. Pada diagram tersebut terlihat pergeseran hiposenter setelah relokasi terbanyak terdapat pada arah utara dengan kecenderungan interval sudut perubahan berada diantara 0° - 52° . Arah pergerakan tersebut menunjukkan struktur penyebab terjadinya gempabumi yaitu Flores *Back Arc Thrust Fault*.

Tabel 4.1 Sudut dan Jarak Pergeseran Hiposenter Gempabumi Setelah Relokasi

Lat 1	Long 1	Depth	Lat 2	Long 2	Depth	Sudut Pergeseran	Jarak (km)
-8,060	118,260	60	-8,127	118,244	63	4	0,069
-8,010	118,940	24	-8,015	119,008	14	1	0,068
-8,090	118,840	29	-8,088	118,862	31	0	0,022
-7,940	118,840	11	-7,997	118,898	6	3	0,081
-7,980	118,960	11	-7,971	119,030	9	1	0,071
-7,870	118,710	15	-7,858	118,788	3	1	0,079
-7,810	117,200	54	-7,826	117,118	63	1	0,084
-7,930	118,850	10	-8,016	118,901	2	5	0,100
-7,830	119,070	24	-7,853	119,001	21	1	0,073
-7,840	118,430	10	-7,902	118,563	3	4	0,147
-7,850	118,430	18	-7,876	118,600	1	1	0,172
-7,780	119,240	12	-7,808	119,115	18	2	0,128
-8,140	118,970	23	-8,100	118,917	20	2	0,066
-8,080	118,200	27	-8,119	118,218	70	2	0,043
-8,070	117,940	10	-8,086	117,853	13	1	0,088
-7,920	117,560	51	-7,952	117,506	72	2	0,063
-7,960	118,330	14	-7,975	118,353	61	1	0,027
-8,140	118,280	10	-8,098	118,223	16	3	0,071
-8,000	118,230	54	-8,059	118,195	67	3	0,069
-8,090	118,250	10	-8,101	118,220	5	1	0,032
-8,070	118,250	15	-8,100	118,245	10	2	0,030
-8,100	118,290	10	-8,147	118,290	10	3	0,047
-8,200	118,430	15	-8,239	118,406	17	2	0,046
-8,110	118,510	10	-8,208	118,471	5	6	0,105
-8,050	118,180	12	-8,130	118,160	8	5	0,082
-8,090	118,140	14	-8,138	118,144	9	3	0,048
-8,030	118,230	10	-8,109	118,191	10	5	0,088
-7,790	118,970	36	-7,725	118,957	43	4	0,066
-8,060	117,760	17	-8,170	117,745	6	6	0,111
-8,120	118,510	22	-8,251	118,488	48	8	0,133
-7,940	117,480	10	-7,847	117,407	10	5	0,118

-8,250	116,110	12	-8,073	119,771	4	34	3,665
-8,230	116,070	10	-8,004	117,815	14	24	1,760
-8,240	116,100	10	-7,903	118,286	64	24	2,212
-8,020	119,810	10	-8,087	117,781	7	19	2,030
-7,960	117,860	18	-8,175	117,801	17	12	0,223
-8,010	118,390	50	-7,815	117,339	12	10	1,069
-8,280	116,110	23	-8,078	117,785	12	29	1,687
-8,040	117,820	20	-7,930	117,568	10	7	0,275
-8,180	116,060	10	-7,948	117,438	57	18	1,397
-8,180	117,830	18	-7,910	118,114	10	16	0,392
-7,800	117,400	12	-7,837	117,347	8	2	0,065
-8,080	117,830	16	-7,765	117,461	64	18	0,485
-7,940	117,670	10	-7,849	117,337	12	5	0,345
-7,930	117,520	63	-8,217	118,753	11	20	1,266
-7,850	118,180	10	-7,538	119,612	10	18	1,466
-7,790	117,360	10	-7,712	119,605	31	11	2,246
-7,840	117,370	28	-8,162	118,192	9	18	0,883
-7,860	117,340	12	-8,155	118,183	9	17	0,893
-8,190	118,760	10	-8,278	119,796	22	22	1,040
-7,550	119,640	10	-7,867	117,368	11	17	2,294
-7,750	119,650	31	-7,833	117,342	29	7	2,309
-8,100	118,150	13	-8,175	119,071	5	15	0,924
-8,140	118,200	15	-7,936	117,565	3	13	0,667
-8,330	119,820	24	-8,269	117,721	5	44	2,100
-7,850	117,390	11	-8,061	117,856	11	12	0,512
-7,890	117,420	33	-8,131	118,110	10	14	0,731
-8,210	119,070	11	-8,125	117,877	7	20	1,196
-8,000	117,600	19	-8,136	118,845	16	16	1,252
-8,190	117,740	10	-8,055	119,083	17	20	1,350
-8,070	117,900	19	-7,895	117,822	3	10	0,192
-7,660	115,120	13	-8,151	117,700	17	10	2,626
-8,110	118,110	16	-7,786	118,599	7	18	0,587
-8,090	117,870	15	-8,176	117,788	43	5	0,119
-8,100	118,860	10	-7,841	117,453	15	14	1,431
-8,090	119,080	16	-8,368	117,359	15	34	1,743
-7,860	117,860	13	-8,199	119,086	4	20	1,272
-8,120	117,730	12	-8,193	119,085	9	22	1,357
-7,780	118,590	20	-8,180	119,118	7	22	0,662
-8,200	117,800	28	-8,451	116,868	19	27	0,965
-7,860	117,480	10	-8,250	118,568	15	23	1,156
-8,290	117,390	12	-8,274	118,168	11	18	0,778
-8,190	119,070	11	-8,003	117,676	55	20	1,406
-8,150	119,050	10	-8,003	118,147	3	13	0,915

-8,260	119,130	10	-8,172	118,177	8	19	0,957
-8,280	116,150	10	-8,145	117,235	9	22	1,093
-8,330	116,020	14	-7,813	117,438	49	28	1,509
-8,330	116,940	10	-7,766	119,013	12	25	2,148
-8,210	118,560	11	-8,290	119,142	2	13	0,587
-8,240	118,200	10	-8,039	117,552	10	15	0,678
-8,080	117,700	35	-8,234	117,639	19	9	0,166
-7,980	118,110	10	-8,097	117,962	16	7	0,189
-8,290	116,100	10	-8,187	117,787	15	33	1,690
-8,130	118,230	10	-8,194	117,842	37	8	0,393
-8,060	117,290	10	-8,213	118,675	7	22	1,393
-7,980	117,470	31	-7,820	118,753	18	8	1,293
-7,800	119,010	11	-7,832	117,364	8	3	1,646
-8,260	119,220	10	-8,110	117,587	10	28	1,640
-8,220	115,220	11	-8,104	117,602	15	33	2,385
-8,000	117,600	11	-8,141	118,510	6	13	0,921
-8,190	117,630	14	-8,334	117,516	10	9	0,184
-8,100	117,980	18	-7,807	119,065	12	16	1,124
-8,200	115,690	10	-8,146	119,201	45	36	3,511
-8,140	117,830	10	-8,085	117,719	21	4	0,124
-8,220	117,860	29	-8,299	118,150	16	8	0,301
-8,170	118,690	10	-7,802	117,228	12	19	1,508
-7,800	118,730	13	-8,289	117,961	2	27	0,911
-7,820	117,370	10	-8,209	119,303	4	20	1,972
-8,100	117,600	19	-7,798	117,348	10	17	0,393
-8,060	117,620	15	-7,872	117,281	11	11	0,388
-8,130	118,550	10	-7,545	121,913	18	4	3,413
-8,250	117,540	10	-7,512	121,883	13	24	4,405
-7,810	119,010	27	-8,054	120,295	19	12	1,308
-8,150	119,150	39	-7,789	119,989	11	20	0,913
-8,060	117,750	10	-8,278	120,885	19	36	3,143
-8,200	118,180	11	-8,113	120,725	2	33	2,546
-7,790	117,250	11	-8,134	120,659	2	13	3,426
-8,270	118,010	10	-7,904	120,587	14	26	2,603
-8,150	119,280	18	-8,086	120,175	5	13	0,897
-8,330	115,490	10	-8,336	120,452	36	33	4,962
-8,230	115,560	10	-7,850	120,361	13	22	4,816
-7,810	117,390	13	-8,167	120,240	37	16	2,872
-7,900	117,310	15	-8,147	120,182	12	19	2,883
-7,580	121,970	16	-8,135	120,242	15	20	1,815
-7,490	121,860	20	-8,144	120,252	11	26	1,736
-8,160	123,530	16	-7,545	121,913	18	24	1,730
-8,290	123,530	10	-7,512	121,883	13	30	1,822

-8,200	123,490	10	-8,269	123,528	15	4	0,079
-8,250	123,500	10	-8,246	123,509	10	0	0,010
-8,290	123,540	10	-8,234	123,512	6	3	0,063
-8,060	123,480	10	-8,193	123,501	13	8	0,135
-8,020	120,300	10	-8,273	123,505	14	34	3,215
-7,750	120,030	10	-8,211	123,460	5	15	3,461
-8,170	120,850	10	-7,550	123,328	15	11	2,554
-8,060	120,770	10	-8,105	123,582	13	26	2,812
-8,050	120,660	10	-7,960	123,686	12	17	3,027
-7,470	123,290	63	-8,137	123,550	12	38	0,716
-8,130	123,680	10	-8,136	123,547	12	2	0,133
-7,860	120,580	10	-8,138	123,652	7	17	3,085
-8,030	123,760	10	-8,125	123,486	9	6	0,290
-8,090	120,220	10	-8,098	123,559	14	27	3,339
-8,120	123,560	10	-8,083	123,461	13	3	0,106
-8,170	123,520	10	-8,139	123,514	12	2	0,032
-8,110	123,670	10	-8,077	123,496	12	3	0,177
-8,100	123,430	18	-8,239	123,517	8	8	0,164
-8,050	123,580	10	-8,269	123,528	15	13	0,225
-8,140	123,470	10	-8,246	123,509	10	6	0,113
-8,230	123,540	14	-8,234	123,512	6	1	0,028
-8,170	123,420	10	-8,193	123,501	13	2	0,084
-8,340	120,390	24	-8,273	123,505	14	52	3,116
-7,840	120,450	10	-8,211	123,460	5	20	3,033
-8,040	120,110	17	-8,272	116,090	8	32	4,027
-8,180	123,480	15	-8,314	116,080	14	24	7,401
-8,240	120,090	42	-8,251	116,093	5	41	3,997
-8,070	120,280	10	-8,364	116,094	12	37	4,196
-8,090	120,300	10	-8,248	116,082	10	31	4,221
-7,580	121,970	16	-7,582	115,122	20	9	6,848
-7,490	121,860	20	-8,365	116,163	11	48	5,764
-8,160	123,530	16	-8,339	116,039	12	27	7,493
-8,290	123,530	10	-8,347	116,103	7	28	7,427
-8,200	123,490	10	-8,175	115,179	15	32	8,311
-8,250	123,500	10	-8,215	115,685	9	30	7,815
-8,290	123,540	10	-8,298	115,504	8	38	8,036
-8,060	123,480	10	-8,244	115,559	10	26	7,923

Untuk melihat lebih detail sudut dan pergeseran gempabumi setelah direlokasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 diatas. Pada tabel tersebut ditampilkan perubahan hiposenter yang dihitung berdasarkan garis bujur dan lintang antara

gempabumi sebelum dan setelah di relokasi. Pada perhitungan sudut pergeseran gempabumi digunakan rumus segitiga bola yaitu (Fauzi, 2017) :

$$\Delta = \text{Arc Cos} (\text{Sin}(\text{Lat } 2) \times \text{Sin}(\text{Lat } 1) + \text{Cos}(\text{Lat } 2) \times \text{Cos}(\text{Lat } 1) \times \text{Cos} (\text{Long } 2 - \text{Long } 1)) \quad (4.1)$$

Sementara pada perhitungan jarak pergeseran gempabumi dihitung menggunakan rumus dibawah ini sehingga diperoleh hasil pergeseran dari masing-masing titik hiposenter :

$$D = \sqrt{(\text{Lat } 2 - \text{Lat } 1)^2 + (\text{Long } 2 - \text{Long } 1)^2} \quad (4.2)$$

Selain pergeseran sudut dan jarak pada tabel 4.1 diatas juga ditampilkan informasi terkait perubahan kedalaman gempabumi antara sebelum dan sesudah direlokasi, dimana gempa-gempa dengan kedalaman *fixed depth* pada data gempabumi sebelum direlokasi terlihat banyak berubah pada kedalaman dibawah 10 km meskipun tidak semuanya.

Berdasarkan hasil relokasi *double difference*, persebaran gempabumi yang terjadi di zona Flores *Back Arc Thrust* tepatnya pada koordinat 115,57 ° - 125,04 ° BT dan 7,28 ° - 8,20 ° LS dengan periodewaktu mulai 20 April 2009 hingga 31 Januari 2017 didominasi oleh gempa di bagian utara pulau Nusa Tenggara Barat hingga Nusa Tenggara Timur yang memanjang dari barat ke timur sesuai arah dan bentuk perpanjangan dari Flores *Back Arc Thrust*. Gempabumi yang mendominasi merupakan gempabumi dangkal yang ditandai dengan bulatan berwarna merah dengan kedalaman < 30 km dan banyak terdistribusi di wilayah laut. Sedangkan untuk gempabumi dengan kedalaman yang lebih dalam yaitu > 30 km pada peta terlihat hanya nampak di bagian utara pulau Nusa Tenggara Barat sebagaimana pada penelitian yang dilakukan oleh Naryanto (2008) bahwa sebaran-sebaran

gempa yang lebih dalam di kawasan ini tampak lebih terkonsentrasi di sebelah utara busur kepulauan.

Menurut analisis dari Naryanto (2008) distribusi gempa dangkal di wilayah ini pada umumnya berhubungan dengan pelepasan *stress* batuan yang terjadi didalam zona subduksi lempeng dan aktivitas patahan aktif. Aktivitas gempabumi di pesisir selatan NTT ini lebih banyak berkaitan dengan aktivitas subduksi lempeng, sedangkan gempa dangkal yang terjadi di kawasan Pulau – pulau Lombok, Flores, Alor, dan Wetar lebih banyak dikendalikan oleh aktivitas patahan aktif yang ada di sebelah utaranya yaitu Flores *Back Arc Thrust Fault*. Namun hal ini masih pendugaan dikarenakan penentuan sumber secara pasti perlu dibuktikan lebih lanjut dengan pemantauan gempabumi regional maupun lokal dan neotektonik secara lebih akurat.

Gempabumi di sekitar zona Flores *Back Arc Thrust Fault* menunjukkan konvergensi utara-selatan. Dicitrakan dengan arah slip vektor utara, dengan estimasi patahan naik condong 30° ke selatan. Hasil penting dari analisa mekanisme gempabumi yang dilakukan oleh pakar geodinamika menunjukkan bahwa kegempaan utama berasal dari mekanisme murni patahan naik, dengan proyeksi horisontal slip vektor semuanya berarah utara 10° . Adanya kegempaan dangkal ini merupakan suatu bukti untuk menjelaskan fenomena pembalikan sistem busur, dalam hal ini Flores *Back Arc Thrust Fault* menyerupai suatu sistem penujaman konvensional (Marwanta, 2005).

Fenomena tumbukan busur benua oleh banyak pakar dipercaya sebagai salah satu pengendali mekanisme deformasi berupa patahan naik, khususnya patahan naik Flores (Flores *Back Arc Thrust Fault*) di busur belakang sistem pojok timur

busur Sunda. Mekanisme lainnya yang lebih minor adalah adanya tumbukkan dari morfologi *Roo Rise* dengan sistem Parit Jawa di selatan Bali.

Kedalaman gempabumi yang dangkal terhadap bidang sesar berpotensi menimbulkan kerusakan yang berat. Bidang sesar tersebut memiliki panjang yang mencapai laut, sehingga walaupun episenter teridentifikasi di darat, hal ini berpotensi memicu datangnya tsunami yang disebabkan oleh dorongan bidang sesar tersebut.

1.5 Gempabumi Dalam Perspektif Al-Qur'an

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini gempabumi merupakan suatu fenomena alam yang seringkali terjadi di muka bumi ini. Di dalam Al-Qur'an dan Hadits kejadian gempabumi dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab namun semua itu tentunya dapat terjadi atas kehendak Allah SWT. Kejadian gempa juga merupakan tanda-tanda kecil hari kiamat yang masih terjadi dan akan terus berlanjut bahkan semakin kuat. Sebagaimana Hadits Nabi Muhammad SAW yang diriwayatkan oleh Abu Hurairah :

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ قَالَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ لَا تَقُومُ السَّاعَةُ حَتَّى يُقْبَضَ الْعِلْمُ وَتَكْثُرَ الزَّلَازِلُ وَيَتَقَارَبَ الزَّمَانُ وَتَظْهَرَ الْفِتْنُ وَيَكْثُرَ الْهَرْجُ وَهُوَ الْقَتْلُ الْقَتْلُ حَتَّى يَكْثُرَ فِيكُمْ الْمَالُ فَيَفِيضَ

Artinya : “ *Dari Abu Hurairah, dia berkata, Nabi SAW bersabda, "Tidak akan terjadi hari kiamat kecuali setelah hilangnya ilmu, banyak terjadi gempa, waktu seakan berjalan dengan cepat, timbul berbagai macam fitnah, Al haraj - yaitu pembunuhan- dan harta melimpah ruah kepada kalian."* (HR. Bukhari)

Dalam Kitab *Fath Al-Bari*, Ibnu Hajar Al-Asqalani (2000) menjelaskan banyaknya gempa bumi itu harus memenuhi dua syarat yaitu menyeluruh dan konsistensi atau terus menerus. Memang, telah terjadi banyak gempa di muka

bumi ini baik Utara, Timur, atau Barat, tetapi yang dimaksud banyak dalam hadits di atas adalah menyeluruh dan terus menerus.

Sebagaimana penjelasan di atas gempa bumi merupakan suatu kejadian yang pasti akan terjadi dan akan terus menerus terjadi. Gempabumi dapat terjadi tentunya atas kehendak Allah SWT dimana didalamnya pasti mengandung hikmah yang sangat luar biasa, karena Allah tidak pernah menciptakan segala sesuatu apapun di dunia ini tanpa adanya hikmah yang dapat diambil. Sebagaimana firman Allah SWT di QS. Al-Imran ayat 91 yang berbunyi :

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هٰذَا بٰطِلًا
سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ (١٩١)

Artinya : “ (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka “ (QS. Al-Imran : 191)

Dalam terjemahan Tafsir Ibnu Katsir (2002) QS. Al-Imran ayat 191 dijelaskan bahwa sesungguhnya dalam segala hal yang diciptakan Allah SWT terkandung pelajaran bagi orang yang berakal, jika ia menggunakan akal pikirannya. Dan sesungguhnya Allah SWT sangat mencela orang yang tidak mau mengambil pelajaran dari makhluk-Nya yang menunjukkan kepada Dzat-Nya, sifat-sifat-Nya, syariat-Nya, takdir-Nya, dan tanda-tanda kebesaran-Nya. Salah satu hikmah yang dapat dijadikan contoh atas penciptaan Allah yang sangat luar biasa terdapat di surat An-Nahl ayat 16 yang berbunyi :

وَالْقٰمِيْنَ فِي الْاَرْضِ رٰوٰسِيْ اَنْ يَّمِيْدَ بِكُمْ وَاَهْرٰا وَسُبٰلًا لِّعَلَّكُمْ تَهْتَدُوْنَ (١٥)

Artinya : “Dan Dia menancapkan gunung di bumi agar bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk “ (QS. An-Nahl : 15).

Allah SWT mengawali firman-Nya dengan menyebut gunung. Pada ayat tersebut terdapat redaksi *Rawasi* yang merupakan bentuk jamak dari kata *Rasiyah* yang berarti tetap. Maksudnya, Allah menciptakan gunung di muka bumi agar dapat menciptakan keseimbangan alam sehingga bumi tidak mudah goncang karena getaran gempa akibat pergeseran lempeng bumi dan makhluk hidup terutama umat manusia dapat hidup dengan nyaman (Al-Tabari, 2009)

Menurut Muhammad Ibn Jarir Al-Tabari dalam Kitab *Jami' al-Bayan 'An Ta'wil Ay al-Qur'an* (2009) keberadaan sungai-sungai di muka bumi yang mengalir dari satu tempat ke tempat lain bertujuan sebagai sarana penghidupan bagi umat manusia baik sebagai sarana transportasi maupun tempat mencari bahan makanan. Begitu pula adanya penciptaan jalan-jalan sebagai sarana bagi umat manusia agar mendapat kemudahan dalam bepergian dan melangkah mencari karunia Allah yang ada di bumi. Sehingga pada akhir ayat Allah SWT. menjelaskan tujuan penciptaan-Nya agar manusia mendapatkan petunjuk berupa menggunakan potensi akalnya untuk mengelola ciptaan Allah agar tidak tersesat.

Hal yang patut direnungkan adalah gempabumi yang seringkali menyebabkan bencana dan merenggut banyak korban jiwa juga dapat menimbulkan gelombang seismik yang memiliki manfaat lain. Gempabumi menyebarkan gelombang seismik ke seluruh penjuru bumi dan pantul-memantul dari satu sisi ke sisi lain sehingga memberikan informasi tentang isi bumi, ketebalan lapisan bumi, komponen-komponen yang ada didalamnya. Sungguh tidak ada yang sia-sia dari ciptaan Allah, tergantung pada manusia bagaimana supaya dapat mengambil manfaat serta faedahnya (Guiderdoni, 2004).

Sehingga dapat dikatakan bahwa meskipun banyak orang menganggap gempa bumi hanya menimbulkan kerugian karena dapat memporak-porandakan tempat tinggal dan sumber kehidupan manusia namun disisi lain gempa bumi dapat memberikan manfaat di bidang pembelajaran di bidang kegempaan, seismologi, bahkan menjadi sumber data bagi mitigasi bencana. Salah satunya hasil riset yang dilakukan oleh Jaxybulatov dkk (2014) dengan memanfaatkan sinyal gempa yang berhasil menggambarkan keadaan bawah permukaan di bawah danau Toba. Selain itu Waldhauser (2000) juga memanfaatkan data fase gelombang gempa bumi sebagai identifikasi zona patahan Hayward di California melalui proses relokasi seperti yang dilakukan pada penelitian kali ini pada wilayah yang berbeda yaitu kawasan zona Flores *back arc thrust fault*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil relokasi hiposenter gempa bumi di Zona Flores *back arc thrust fault* menggunakan metode *double difference* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Relokasi hiposenter gempa bumi di Zona Flores *back arc thrust fault* terbukti mengalami pergeseran meskipun relatif kecil, hal ini dibuktikan dengan adanya pergeseran pada diagram rose dan diagram kompas yang digunakan untuk menampilkan seluruh pergeseran secara lebih sederhana dimana pergeseran gempa bumi paling banyak mengarah ke utara dengan jarak maksimum sebesar 8 km dan interval sudut perubahan berada sekitar 0°- 52°. Dari hasil perbandingan antara sebelum dan sesudah relokasi diketahui bahwa selain mengalami pergeseran posisi gempa bumi juga mengalami perubahan kedalaman yang didominasi dengan kedalaman 0 – 30 km.
2. Sebaran hiposenter gempa bumi di Zona Flores *back arc thrust fault* setelah di relokasi terlihat lebih menyebar pada gempa-gempa di kedalaman *fixed depth*. Sebaran hiposenter gempa bumi dengan magnitude besar dan kedalaman dangkal didominasi oleh gempa dibagian utara busur kepulauan Nusa Tenggara Barat yang memiliki distribusi hiposenter gempa semakin dalam ke arah barat seperti membentuk sebuah penujaman.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan lokasi gempabumi dengan jarak yang cukup jauh seperti pada zona *megathrust* agar perpindahan hiposenter gempabumi lebih terlihat dengan jelas, serta perlu adanya perbaikan dan penyempurnaan dalam proses pengolahan maupun analisis data sehingga diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar, 2009. *Sesimologi*. Bandung : ITB.
- Al-Asqalani, Ibnu Hajar. 2000. *Fath Al-Bari bi Syarh Sahih Al-Bukhori*. Qohiroh : Dar At-Taqwa
- Al-Qur'anul Karim. 2016. *Mushaf Al-Qur'an Al-Fatih Tafsir Perkata Kode Arab*. Jakarta : Insan Media.
- Al-Tabari, Muhammad Ibn Jarir. 2009. *Jami' Al-Bayan 'An Ta'wil Ay Al-Qur'an*. Jakarta : Pustaka Azzam.
- Aswad, Sabrianto. 2010. *Relokasi Gempa Vulkanik Gunung Guntur Menggunakan Algoritma Double Difference*. Karya Tulis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Azizah, L. N., Tjahjono, A., & Sabtaji, A. 2019. Relokasi Hiposenter Gempa Bumi dan Model Struktur Kecepatan 1 Dimensi Gelombang P dengan Menggunakan Metode Coupled Velocity – Hypocenter di Daerah Sulawesi Tengah dan Sekitarnya. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.15408/fiziya.v2i1.9514>.
- Bolt, B. A. 1978. *Earthquakes a primer*. USA : W. H. Freeman and Company.
- Curry, J. R. 2005. Tectonics and history of the Andaman Sea region. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(1), 187–232. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.001>.
- Dari, A. W., & Sabarani, A. Z. 2016. *Relokasi Hiposenter Gempabumi Sumatera Barat Menggunakan Metode Double Difference (DD)*. 8(Dd), 17–24.
- Darman, H., dan F. H. Sidi. 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Jakarta : Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Daryono. 2011. *Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Bali berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar*. Artikel Kebumihan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Djamil. 2004. *Al-Qur'an dan Lautan*. Bandung : PT. Mizan Pustaka.
- Douglas, A. 1967. *Joint Hypocenter Determination*. *Nature*. 215, 47-48.
- Duarte, J. C., & Schellart, W. P. 2016. Introduction to Plate Boundaries and Natural Hazards. *Plate Boundaries and Natural Hazards, September*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/9781119054146.ch1>.

- Fowler, C. M. R. 2005. *The Solid Earth An Introduction to Global Geophysics*. Cambridge : Cambridge University.
- Geiger, L. 1912. *Probability Method for the Determination of Earthquake Epicenters from the Arrival Time Only*. Bull : St. Louis Univ.
- Gomberg, J. S., Shedlock, K. M., & Roecker, S. W. 1990. The effect of S-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation. *Bulletin - Seismological Society of America*, 80(6 A), 1605–1628.
- Guiderdoni, B. 2004. *Membaca Alam*. Bandung : PT. Mizan Pustaka.
- Hagiwara, T., Karakama, I., Kayano, I., & Kaminuma, K. 1964. Foreshocks, aftershocks and an earthquake swarm detected by the micro-earthquake observation. *Bull Earthquake. Res. Inst.* Vol(41):659–680.
- Hamilton, W., .1979. *Tectonics of The Indonesia Region*, Geological Survey, Professional Paper 1078, Washington.
- Heller, Robert. 1962. *Geology and Earth Sciences Sourcebook*. USA : Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Howell, Jr., B.F., 1959. *Introduction to Geophysics*. McGraw-Hill.
- Husen, S., dan J. L. Hardebeck. 2010. *Earthquake Location Accuracy*. Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis.
- Jaxybulatov, K, N. M. Shapiro, I. Koulakov, A. Mordret, M. Landès, C. Sens Schönfelder. 2014. *A Large Magmatic Sill Complex beneath The Toba Caldera*. Science, sciencemag.org. 10.1126/science.1256785.
- Kayal, J.R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India : Capital Publishing Company.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, Badan Litbang dan Diklat Kementrian Agama RI, dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) . 2018. *Penciptaan Bumi Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta : Gedung Bayt Al-Qur'an dan Museum Istiqlal.
- Lutgens, F. K., E. J. Tarbuck, dan D. Tasa. 2012. *Essentials of Geology*. New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Marwanta, B. 2005. *Kajian dan Analisis Gempa Alor Nusa Tenggara Timur 12 November 2004*. Alor : BPPT.
- Maryanto, Sukir. 2016. *Seismik Vulkanologi*. Malang : UB Media.

- McCaffrey, R. 1988. Active Tectonics of The Eastern Sunda and Banda Arcs. at Department. *Geophysics*, 93(88).
- Nabila, Afviya. 2020. *Relokasi Hiposenter Gemoa Lombok 17 Maret 2019 Menggunakan Metode Double Difference*. Skripsi. Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi Program Studi Teknik Geofisika Universitas Pertamina. Jakarta.
- Naryanto, H. S. 2008. Analisis Potensi Kegempaan Dan Tsunami. *Sains Dan Teknologi Indonesia*, 10, 71–77.
- Ndeo, N. M., Nguru, A. H. L., & Man, B. V. P. 2017. *Analisis Gempabumi dan Tsunami Tahun 2017 di Nusa Tenggara Timur*. 1–35.
- Noor, Djauhari. 2009. *Pengantar Geologi*. Pakuan : Pakuan University Press.
- Noor, Djauhari. 2018. *Pengantar Geologi Edisi Kedua*. Pakuan : Pakuan University Press.
- Nugraha, A. D., Shiddiqi, H. A., Widiyantoro, S., Thurber, C. H., Pesicek, J. D., Zhang, H., Wiyono, S. H., Ramdhan, M., Wandono, & Irsyam, M. 2018. Hypocenter relocation along the sunda arc in Indonesia, using a 3D seismic-velocity model. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 603–612. <https://doi.org/10.1785/0220170107>.
- Pavlis, J. S., K. M. Sheldock, dan S. W. Roecker. 1992. *The Effect of The Accuracy of Hypocenter Estimations*. Bull. Seismoll.Soc. Am., 80, 1605-1628.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Plummer, C. C., D. H. Carlson dan L.Hammersley. 2013. *Physical Geology*. USA : Mc-Graw-Hill.
- Pranantyo, I. R., & Cummins, P. R. 2019. Multi Data-Type Source Estimation for the 1992 Flores Earthquake and Tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 1-5.
- Prasetyo, M. A., Princessca, C., Asupyani, H., & Azizi, H. A. 2019. Review of Landslides Factors at Rinjani Mountain, Lombok Island, West Nusa Tenggara. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 248(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/248/1/012086>.
- Rahardiawan, R., & Purwanto, C. 2016. Struktur Geologi Laut Flores, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 12(3), 153. <https://doi.org/10.32693/jgk.12.3.2014.256>.

- Rahmasari, Anita., Asnawi, M. 2014. Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Utama Dan Gempa Bumi Susulan Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination Di Bali Asnawi, Madlazim. *Jurnal Fisika*, 03, 100–106.
- Rangin, C., & Silver, E., von Breymana. 1990. Geological Setting Of The Celebes And Sulu Seas. *Proceedings of The Ocean Drilling Program, Initial Reports, Vol.124*. <http://dx.doi.org/10.2973/odp.proc.ir.124.103.1990>.
- Ratuluhain, E. S. 2021. Analisis Potensi Tsunami di Lombok Utara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 113–126. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.29336>
- Shearer, Peter M. 2009. *Introduction To Seismology*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Shihab, M. Quraish. 2012. *Tafsir Al-Mishbah*. Jakarta : Lentera Hati.
- Shinta, V., Pujiastuti, D., Aulia, A. N., Alam, P., Andalas, U., Unand, K., & Manis, L. 2020. *Studi Relokasi Hiposenter Aftershock Gempa Yogyakarta 2006*. 9(4), 502–509.
- Silver, E. A., Breen, N. A., Prasetyo, H., & Hussong, D. M. 1986. Multibeam Study of The Florest Back Arc Thrust Belt Indonesia. *Kilomet*. 91(4).
- Soehaimi, A. 2008. Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4):227-240.
- Soehaimi, A. 2008. Kajian pengaruh gempa bumi merusak di wilayah provinsi bengkulu terhadap plta musi. *Kajian Pengaruh Gempa Bumi Merusak Di Wiliyah Provinsi Bengkulu Terhadap Plta Musi*, 18(5), 337–347.
- Sunarjo, M. Taufik Gunawan, dan Sugeng Pribadi. 2012. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta : BMKG.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara : USU.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheiff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University.
- Trueit, T.S. 2003. *Earthquakes*. Canada : Franklin Watts.
- Turcotte, Donald and Gerald Schubert. 2014. *Geodynamics*. Cambridge : Cambridge University.
- Waldhauser, F., & Ellsworth, W. L. 2000. A Double-difference Earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6), 1353–1368. <https://doi.org/10.1785/0120000006>.

Waluyo, 1992. *Seismotectonics of Eastern Indonesian Region*. Ph.D. Thesis. Saint Louis University, USA.

Yusuf, R. B., & Santosa, B. J. 2016. Persebaran Hiposenter Maluku Selatan Menggunakan Metode Double Difference. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 2337–3520.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

Data Katalog Gempabumi BMKG

EventID: bmg2009rskq													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
9/10/2009	3:49:34	-8.71	117.67	11	4.7	MLv	6.59	1.49	157	1.1	24	Sumbawa	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	MTNI	P	9/10/2009	3:50:01 AM	1.5	273	0		0	0	i		
IA	LBF1	P	9/10/2009	3:50:11 AM	2.2	84	-0.7		0	0	i		
IA	SRBI	P	9/10/2009	3:50:14 AM	2.5	284	-1.2		0	0	i		
IA	IGBI	P	9/10/2009	3:50:15 AM	2.5	267	-0.8		0	0	i		
IA	DNP	P	9/10/2009	3:50:15 AM	2.4	270	0.3		0	0	i		
IA	NBBI	P	9/10/2009	3:50:18 AM	2.7	275	-0.7		0	0	i		
IA	WSI	P	9/10/2009	3:50:19 AM	2.8	110	0.3		0	0	i		
IA	BYJI	P	9/10/2009	3:50:27 AM	3.3	278	0.1		0	0	i		
IA	JAGI	P	9/10/2009	3:50:28 AM	3.5	274	-1.3		0	0	i		
IA	ABJI	P	9/10/2009	3:50:30 AM	3.5	285	0.3		0	0	i		
IA	BKSI	P	9/10/2009	3:50:37 AM	4.1	36	-1		0	0	i		
IA	BLJI	P	9/10/2009	3:50:38 AM	4.1	283	-0.1		0	0	i		
IA	GMJI	P	9/10/2009	3:50:38 AM	4.2	276	-0.9		0	0	i		
II	KAPI	P	9/10/2009	3:50:40 AM	4.2	29	0.9		0	0	i		
IA	LBF1	S	9/10/2009	3:50:40 AM	2.2	84	0.4		0	0	i		
IA	MMRI	P	9/10/2009	3:50:43 AM	4.5	89	-0.3		0	0	i		
IA	SRBI	S	9/10/2009	3:50:45 AM	2.5	284	-2		0	0	i		
IA	IGBI	S	9/10/2009	3:50:47 AM	2.5	267	-0.6		0	0	i		
IA	DNP	S	9/10/2009	3:50:48 AM	2.4	270	2.5		0	0	i		

IA	BNSI	P	9/10/2009	3:50:50 AM	4.9	30	1		0	0	i		
IA	NBBI	S	9/10/2009	3:50:53 AM	2.7	275	0.5		0	0	i		
IA	KRK	P	9/10/2009	3:50:56 AM	5.2	276	3.2		298	0.8	I		
IA	PWJI	P	9/10/2009	3:51:02 AM	5.8	276	0.6		65	0.6	I		
IA	SOEI	P	9/10/2009	3:51:11 AM	6.6	100	-0.2		67	0.8	I		

EventID: bmg2009skas													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
9/19/2009	19:23:42	-8.06	118.26	60	4.6	MLv	6.39	1.67	126	1.1	25	Sumbawa	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	LBF1	P	9/19/2009	7:24:08 PM	1.7	105	-1.6		0	0	i		
IA	MTNI	P	9/19/2009	7:24:15 PM	2.1	254	-1.2		0	0	i		
IA	WSI	P	9/19/2009	7:24:24 PM	2.6	129	2.1		0	0	i		
IA	SRBI	P	9/19/2009	7:24:26 PM	3	269	-1.3		0	0	i		
IA	LBF1	S	9/19/2009	7:24:30 PM	1.7	105	-0.8		0	0	i		
IA	IGBI	P	9/19/2009	7:24:30 PM	3.2	256	0.5		0	0	i		
II	KAPI	P	9/19/2009	7:24:31 PM	3.4	26	-1.8		0	0	i		
IA	BKSI	P	9/19/2009	7:24:31 PM	3.3	34	-0.7		0	0	i		
IA	MMRI	P	9/19/2009	7:24:40 PM	4	99	-1		0	0	i		
IA	BYJI	P	9/19/2009	7:24:40 PM	3.9	267	0.9		0	0	i		
IA	ABJI	P	9/19/2009	7:24:41 PM	4	274	0.1		0	0	i		
IA	JAGI	P	9/19/2009	7:24:41 PM	4.1	264	-0.7		0	0	i		
IA	BNSI	P	9/19/2009	7:24:43 PM	4.1	27	0.7		0	0	i		
IA	MTNI	S	9/19/2009	7:24:44 PM	2.1	254	1.2		0	0	i		
IA	KMMI	P	9/19/2009	7:24:46 PM	4.4	283	-1.2		0	0	i		
IA	SPSI	P	9/19/2009	7:24:46 PM	4.3	20	0.5		0	0	i		

IA	BLJI	P	9/19/2009	7:24:49 PM	4.6	274	-0.2		0	0	i		
IA	GMJI	P	9/19/2009	7:24:51 PM	4.8	267	-0.7		0	0	i		
IA	WSI	S	9/19/2009	7:24:55 PM	2.6	129	1.3		0	0	i		
IA	KKSI	P	9/19/2009	7:24:56 PM	5.1	41	-0.3		81	0.6	i		
IA	MMSI	P	9/19/2009	7:25:00 PM	5.4	7	0.1		42	1.1	i		
IA	SRBI	S	9/19/2009	7:25:05 PM	3	269	0.6		0	0	i		
IA	BKSI	S	9/19/2009	7:25:12 PM	3.3	34	0.4		0	0	i		
IA	PWJI	P	9/19/2009	7:25:15 PM	6.4	270	1.2		30	1.3	i		
IA	BNSI	S	9/19/2009	7:25:33 PM	4.1	27	1.8		0	0	i		

EventID: bmg2009uzej													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
10/26/2009	13:55:59	-7.83	118.03	10	4.3	MLv	5.19	2	103	1.6	20	Flores Sea	
Net	Sta	Phase	Date	Time	dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	MTNI	P	10/26/2009	1:56:35 PM	2	246	0.7		0	0	i		
IA	SRBI	P	10/26/2009	1:56:44 PM	2.8	265	-1.6		0	0	i		
IA	NBBI	P	10/26/2009	1:56:48 PM	3.1	258	-1.3		0	0	i		
IA	WSI	P	10/26/2009	1:56:49 PM	2.9	129	2.9		0	0	i		
II	KAPI	P	10/26/2009	1:56:51 PM	3.3	32	-1		0	0	i		
IA	BKSI	P	10/26/2009	1:56:51 PM	3.3	40	-0.2		0	0	i		
IA	ABJI	P	10/26/2009	1:56:58 PM	3.8	270	-0.9		0	0	i		
IA	MTNI	S	10/26/2009	1:57:00 PM	2	246	-0.9		0	0	i		
IA	BNSI	P	10/26/2009	1:57:03 PM	4	31	1.7		0	0	i		
IA	KMMI	P	10/26/2009	1:57:03 PM	4.2	281	-0.5		0	0	i		
IA	WBSI	P	10/26/2009	1:57:04 PM	2.2	143	-2.9		0	0	i		
IA	MMRI	P	10/26/2009	1:57:04 PM	4.2	101	-0.7		0	0	i		

IA	BLJI	P	10/26/2009	1:57:07 PM	4.4	271	-0.1		0	0	i		
IA	MJSI	P	10/26/2009	1:57:07 PM	4.4	12	0		0	0	i		
IA	GMJI	P	10/26/2009	1:57:09 PM	4.6	264	-0.7		0	0	i		
IA	TTSI	P	10/26/2009	1:57:18 PM	5.1	21	1.4		57	0.7	i		
IA	MMSI	P	10/26/2009	1:57:18 PM	5.2	10	0.4		34	0.5	i		
IA	SRBI	S	10/26/2009	1:57:24 PM	2.8	265	3.4		0	0	i		
IA	WSI	S	10/26/2009	1:57:26 PM	2.9	129	2.2		0	0	i		
IA	BKSI	S	10/26/2009	1:57:31 PM	3.3	40	-1.7		0	0	i		

EventID: bmg2009vxkg

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
11/8/2009	20:33:34	-8.01	118.94	24	4.3	MLv	5.45	1.05	116	0.8	17	Sumbawa	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	LBF1	P	11/8/2009	8:33:52 PM	1.1	117	-0.9		0	0	i		
IA	WSI	P	11/8/2009	8:34:08 PM	2.1	141	-0.5		0	0	i		
IA	LBF1	S	11/8/2009	8:34:08 PM	1.1	117	1.4		0	0	i		
IA	MTNI	P	11/8/2009	8:34:19 PM	2.8	257	0.8		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/8/2009	8:34:19 PM	2.9	24	-0.2		0	0	i		
II	KAPI	P	11/8/2009	8:34:20 PM	3.1	15	-1.4		0	0	i		
IA	MMRI	P	11/8/2009	8:34:24 PM	3.3	101	-0.9		0	0	i		
IA	KHK	P	11/8/2009	8:34:25 PM	3.3	264	0.2		0	0	i		
IA	SRBI	P	11/8/2009	8:34:29 PM	3.7	269	-0.5		0	0	i		
IA	BNSI	P	11/8/2009	8:34:32 PM	3.8	18	0.8		0	0	i		
IA	NBBI	P	11/8/2009	8:34:34 PM	4	263	-0.1		0	0	i		
IA	SPSI	P	11/8/2009	8:34:37 PM	4.1	12	1.2		0	0	i		
IA	MJSI	P	11/8/2009	8:34:41 PM	4.5	360	0.6		0	0	i		

IA	TTSI	P	11/8/2009	8:34:49 PM	5	10	0.8		0	0	i		
IA	MMSI	P	11/8/2009	8:34:52 PM	5.3	360	-0.2		32	0.8	i		
IA	GMJI	P	11/8/2009	8:34:54 PM	5.4	267	-0.4		0	0	i		
IA	BKSI	S	11/8/2009	8:34:54 PM	2.9	24	-0.8		0	0	i		

EventID: bmg2009vxmi

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	Az	rms	cPhase	Region	
11/8/2009	21:24:45	-8.09	118.84	29	4.3	MLv	5.36	1.12	121	0.7	19	Sumbawa	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	LBF1	P	11/8/2009	9:25:05 PM	1.1	111	-0.4		0	0	i		
IA	WSI	P	11/8/2009	9:25:19 PM	2.1	138	-0.9		0	0	i		
IA	LBF1	S	11/8/2009	9:25:20 PM	1.1	111	0.7		0	0	i		
IA	MTNI	P	11/8/2009	9:25:27 PM	2.7	258	-0.5		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/8/2009	9:25:32 PM	3	25	0.5		0	0	i		
II	KAPI	P	11/8/2009	9:25:33 PM	3.2	17	-0.5		0	0	i		
IA	KHK	P	11/8/2009	9:25:34 PM	3.2	265	-0.4		0	0	i		
IA	MMRI	P	11/8/2009	9:25:37 PM	3.4	99	-0.3		0	0	i		
IA	SRBI	P	11/8/2009	9:25:39 PM	3.6	270	-0.8		0	0	i		
IA	NBBI	P	11/8/2009	9:25:43 PM	3.9	264	-0.2		0	0	i		
IA	WSI	S	11/8/2009	9:25:47 PM	2.1	138	0.3		0	0	i		
IA	SPSI	P	11/8/2009	9:25:48 PM	4.2	13	0		0	0	i		
IA	MJSI	P	11/8/2009	9:25:52 PM	4.6	1	-0.5		0	0	i		
IA	ABJI	P	11/8/2009	9:25:53 PM	4.6	273	0.1		0	0	i		
IA	TTSI	P	11/8/2009	9:26:02 PM	5.1	11	1.8		0	0	i		
IA	BLJI	P	11/8/2009	9:26:03 PM	5.2	273	1.1		80	0.6	i		
IA	MMSI	P	11/8/2009	9:26:04 PM	5.4	1	-0.2		35	0.5	i		

IA	GMJI	P	11/8/2009	9:26:04 PM	5.3	268	0.8		44	1.2	i		
IA	BKSI	S	11/8/2009	9:26:08 PM	3	25	-0.7		0	0	i		

EventID: bmg2009vxrv													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
11/9/2009	0:11:32	-7.94	118.84	11	4.5	MLv	4.96	1.17	115	0.9	16	Flores Sea	
IA	LBF1	P	11/9/2009	12:11:53 AM	1.2	118	-0.7		0	0	i		
IA	WSI	P	11/9/2009	12:12:11 AM	2.2	140	0.6		0	0	i		
IA	LBF1	S	11/9/2009	12:12:11 AM	1.2	118	1.8		0	0	i		
IA	MTNI	P	11/9/2009	12:12:15 AM	2.7	255	-1.3		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/9/2009	12:12:19 AM	2.9	26	0.3		0	0	i		
II	KAPI	P	11/9/2009	12:12:20 AM	3	17	-0.9		0	0	i		
IA	KHK	P	11/9/2009	12:12:24 AM	3.2	262	0.7		0	0	i		
IA	MMRI	P	11/9/2009	12:12:24 AM	3.4	102	-1.7		0	0	i		
IA	NBBI	P	11/9/2009	12:12:32 AM	3.9	262	-0.7		0	0	i		
IA	SPSI	P	11/9/2009	12:12:35 AM	4.1	13	0.8		0	0	i		
IA	ABJI	P	11/9/2009	12:12:42 AM	4.6	271	0.7		0	0	i		
IA	TTSI	P	11/9/2009	12:12:48 AM	5	11	1.2		0	0	i		
IA	MTNI	S	11/9/2009	12:12:52 AM	2.7	255	0.7		0	0	i		
IA	BKSI	S	11/9/2009	12:12:55 AM	2.9	26	-0.2		0	0	i		
IA	MMRI	S	11/9/2009	12:13:08 AM	3.4	102	-0.8		0	0	i		
IA	NBBI	S	11/9/2009	12:13:20 AM	3.9	262	-0.5		0	0	i		

EventID: bmg2009vxtd													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
11/9/2009	0:52:24	-7.98	118.96	11	4.4	MLv	5.47	1.05	115	0.7	13	Flores Sea	
Net	Sta	Phase	Date	Time	dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	LBF1	P	11/9/2009	12:52:43 AM	1.1	118	0		0	0	i		
IA	WSI	P	11/9/2009	12:53:00 AM	2.1	142	0.8		0	0	i		
IA	MTNI	P	11/9/2009	12:53:09 AM	2.8	257	-0.5		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/9/2009	12:53:09 AM	2.9	24	-0.6		0	0	i		
II	KAPI	P	11/9/2009	12:53:11 AM	3.1	15	-1.5		0	0	i		
IA	MMRI	P	11/9/2009	12:53:15 AM	3.3	102	-0.7		0	0	i		
IA	KHK	P	11/9/2009	12:53:16 AM	3.3	263	0.2		0	0	i		
IA	NBBI	P	11/9/2009	12:53:25 AM	4	263	-0.4		0	0	i		
IA	SPSI	P	11/9/2009	12:53:27 AM	4.1	11	0.9		0	0	i		
IA	ABJI	P	11/9/2009	12:53:34 AM	4.7	272	-0.4		0	0	i		
IA	TTSI	P	11/9/2009	12:53:40 AM	5	10	0.9		0	0	i		
IA	MMSI	P	11/9/2009	12:53:43 AM	5.3	359	0.5		64	0.6	i		
IA	GMJI	P	11/9/2009	12:53:46 AM	5.5	267	0.7		76	1	i		

EventID: bmg2009vxvg													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
11/9/2009	1:56:27	-7.98	118.77	10	4	MLv	3.82	1.22	141	1.8	7	Flores Sea	
Net	Sta	Phase	Date	Time	dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
IA	LBF1	P	11/9/2009	1:56:48 AM	1.2	114	-2.1		0	0	I		
IA	LBF1	S	11/9/2009	1:57:09 AM	1.2	114	1.5		0	0	I		
IA	MTNI	P	11/9/2009	1:57:11 AM	2.7	256	-0.8		0	0	I		

IA	BKSI	P	11/9/2009	1:57:15 AM	3	27	-1.1		0	0	I		
IA	KHK	P	11/9/2009	1:57:21 AM	3.1	263	3		0	0	I		
IA	NBBI	P	11/9/2009	1:57:26 AM	3.8	263	-1.7		0	0	I		
IA	BNSI	P	11/9/2009	1:57:29 AM	3.8	21	1.3		0	0	I		

EventID: bmg2009wczx													
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
Net	Sta	Phase	Date	Time	Dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
11/11/2009	22:00:38	-7.87	118.71	15	5.1	MLv	5.81	1.33	114	1.5	30	Flores Sea	
IA	LBF1	P	11/11/2009	10:00:58 PM	1.3	118	-3.7		0	0	i		
IA	WSI	P	11/11/2009	10:01:18 PM	2.4	139	1.1		0	0	i		
IA	LBF1	S	11/11/2009	10:01:18 PM	1.3	118	-0.7		0	0	i		
IA	MTNI	P	11/11/2009	10:01:19 PM	2.6	253	-1.3		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/11/2009	10:01:23 PM	2.9	29	-1		0	0	i		
II	KAPI	P	11/11/2009	10:01:25 PM	3	20	-1.2		0	0	i		
IA	SRBI	P	11/11/2009	10:01:32 PM	3.5	266	0.5		0	0	i		
IA	MMRI	P	11/11/2009	10:01:35 PM	3.6	103	2		0	0	i		
IA	BNSI	P	11/11/2009	10:01:36 PM	3.7	22	0.4		0	0	i		
IA	NBBI	P	11/11/2009	10:01:36 PM	3.8	261	0.2		0	0	i		
IA	SPSI	P	11/11/2009	10:01:40 PM	4	15	0.3		0	0	i		
IA	BYJI	P	11/11/2009	10:01:44 PM	4.3	265	0.3		0	0	i		
IA	ABJI	P	11/11/2009	10:01:45 PM	4.4	271	-0.5		0	0	i		
IA	WSI	S	11/11/2009	10:01:47 PM	2.4	139	-0.2		0	0	i		
IA	KMMI	P	11/11/2009	10:01:51 PM	4.8	279	-0.1		0	0	i		
IA	KKSI	P	11/11/2009	10:01:51 PM	4.7	39	2.2		0	0	i		
IA	TTSI	P	11/11/2009	10:01:52 PM	4.9	13	0.2		0	0	i		

IA	BLJI	P	11/11/2009	10:01:53 PM	5.1	271	-0.9		114	0.6	i		
IA	MTNI	S	11/11/2009	10:01:55 PM	2.6	253	2		0	0	i		
IA	MMSI	P	11/11/2009	10:01:56 PM	5.1	2	1		41	0.5	i		
IA	GMJI	P	11/11/2009	10:01:58 PM	5.2	265	1.5		105	0.9	i		
IA	BKSI	S	11/11/2009	10:02:03 PM	2.9	29	3.1		0	0	i		
IA	SOEI	P	11/11/2009	10:02:05 PM	5.8	109	1.2		105	0.8	i		
IA	SRBI	S	11/11/2009	10:02:14 PM	3.5	266	-0.2		0	0	i		
IA	MMRI	S	11/11/2009	10:02:17 PM	3.6	103	0		0	0	i		
IA	NBBI	S	11/11/2009	10:02:21 PM	3.8	261	-1.1		0	0	i		
IA	SPSI	S	11/11/2009	10:02:25 PM	4	15	-3.8		0	0	i		
IA	BYJI	S	11/11/2009	10:02:35 PM	4.3	265	-0.7		0	0	i		
IA	MJSI	P	11/11/2009	10:02:37 PM	4.3	3	-0.1		0	0	i		
IA	BBSI	P	11/11/2009	10:02:40 PM	4.5	59	-0.5		0	0	i		

EventID: bmg2009wnjd

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Mag	TypeMag	smaj	smin	az	rms	cPhase	Region	
Net	Sta	Phase	Date	Time	dis	Az	Res	Amp	Per	Qual	mb	ML	mB
11/17/2009	14:07:05	-8.07	117.9	29	4.8	MLv	7.31	1.8	128	0.9	25	Sumbawa	
IA	MTNI	P	11/17/2009	2:07:34 PM	1.8	252	-0.6		0	0	i		
IA	LBF1	P	11/17/2009	2:07:37 PM	2	102	-0.6		0	0	i		
IA	LBF1	S	11/17/2009	2:07:38 PM	2	102	-0.2		0	0	i		
IA	SRBI	P	11/17/2009	2:07:45 PM	2.7	270	-1		0	0	i		
IA	WSI	P	11/17/2009	2:07:50 PM	2.9	124	1.1		0	0	i		
IA	MTNI	S	11/17/2009	2:07:57 PM	1.8	252	-0.1		0	0	i		
IA	BKSI	P	11/17/2009	2:07:57 PM	3.5	39	-0.8		0	0	i		
II	KAPI	P	11/17/2009	2:07:58 PM	3.6	31	-0.8		0	0	i		

IA	ABJI	P	11/17/2009	2:08:00 PM	3.6	274	0	0	0	i		
IA	JAGI	P	11/17/2009	2:08:00 PM	3.7	264	-1	0	0	i		
IA	LBFI	S	11/17/2009	2:08:02 PM	2	102	-0.9	0	0	i		
IA	KMMI	P	11/17/2009	2:08:06 PM	4.1	284	-0.2	0	0	i		
IA	BLJI	P	11/17/2009	2:08:09 PM	4.3	274	0.2	0	0	i		
IA	BNSI	P	11/17/2009	2:08:09 PM	4.3	31	0.9	0	0	i		
IA	MMRI	P	11/17/2009	2:08:10 PM	4.3	98	0.1	0	0	i		
IA	SPSI	P	11/17/2009	2:08:11 PM	4.5	25	-1	0	0	i		
IA	GMJI	P	11/17/2009	2:08:11 PM	4.4	267	0	0	0	i		
IA	MJSI	P	11/17/2009	2:08:13 PM	4.7	13	-0.6	0	0	i		
IA	MMSI	P	11/17/2009	2:08:24 PM	5.4	11	-0.6	96	0.6	i		
IA	TTSI	P	11/17/2009	2:08:24 PM	5.3	21	0.7	106	0.7	i		
IA	GRJI	P	11/17/2009	2:08:25 PM	5.5	282	-0.2	207	0.6	i		
IA	KKSI	P	11/17/2009	2:08:27 PM	5.4	44	2.8	145	0.7	i		
IA	PWJI	P	11/17/2009	2:08:35 PM	6	268	2.2	70	0.7	i		
IA	PCJI	P	11/17/2009	2:08:41 PM	6.7	268	0.2	67	1	i		
IA	UGM	P	11/17/2009	2:08:50 PM	7.3	271	0.3	153	1.8	i		

LAMPIRAN II

Data Stasiun Pengamat Gempabumi

Stasiun	Latitude	Longitude
AAI	-3.69	128.19
ABJI	-7.8	114.23
ALKI	-8.14	124.59
APSI	-0.91	121.65
ATNI	-9.08	124.86
BAKI	-1.19	136.11
BASI	-10.22	120.58
BATI	-10.21	123.66
BBJI	-7.46	107.65
BBKI	-3.46	114.84
BBSI	-5.49	122.56
BJI	-7.33	109.71
BKB	-1.11	116.9
BKNI	0.33	101.04
BKSI	-5.32	120.12
BLJI	-7.75	113.59
BLSI	-5.37	105.25
BMNI	-8.54	118.69
BNDI	-4.52	129.9
BNSI	-4.4	120.11
BSI	5.5	95.3
BSMI	-3.11	130.49
BSSI	-6.14	120.49
BTDF	1.36	103.77
BWJI	-5.85	112.66
BYJI	-8.21	114.36
CBJI	-6.7	106.93
CGJI	-6.61	105.69
CISI	-7.56	107.82
CLJI	-7.72	109.02
CMJI	-7.78	108.45
CNJI	-7.31	107.13
COCO	-12.19	96.83
COEN	-13.96	143.18
CTJI	-7.01	109.18
DAV	7.07	125.58
DBJI	-6.55	106.75
DBNI	-8.5	118.31

DNP	-8.68	115.21
DSRI	-0.48	104.58
EDFI	-8.75	121.69
EGSI	-5.35	102.28
FAKI	-2.92	132.26
GENI	-2.59	140.17
GLMI	1.84	127.79
GMJI	-8.27	113.44
GRJI	-6.91	112.48
GSI	1.3	97.58
GTOI	0.76	122.87
IGBI	-8.82	115.15
IPM	4.48	101.03
JAGI	-8.47	114.15
JAY	-2.51	140.7
JCJI	-6.73	108.26
JMBI	-1.63	103.64
KAPI	-5.01	119.75
KASI	-5.52	104.5
KBKI	-3.3	116.17
KCSI	3.52	97.77
KDI	-3.96	122.62
KHK	-8.36	115.61
KKM	6.04	116.21
KKSI	-4.17	121.65
KLI	-4.84	104.87
KLNI	-8.42	116.09
KLSI	-4.69	104.73
KMMI	-7.04	113.92
KMPI	-3.66	133.7
KMSI	0.57	123.98
KOM	1.79	103.85
KPJI	-7.33	108.93
KRAI	-3.32	128.39
KRJI	-2.09	101.46
KRK	-8.15	112.45
KSI	-3.65	102.59
KSM	1.47	110.31
KUM	5.29	100.65
LASI	4.46	97.97
LBFI	-8.48	119.89
LBMI	-0.64	127.5
LDM	5.18	118.5

LEM	-6.83	107.62
LHMI	5.23	96.95
LHSI	-3.83	103.52
LRTI	-8.28	123
LUWI	-1.04	122.77
LWLI	-5.02	104.06
MASI	-3.14	102.24
MBSI	-3.76	102.27
MDSI	-4.49	104.18
MGAI	4.01	126.67
MJSI	-3.5	118.91
MKBI	-2.45	101.24
MKS	-5.22	119.47
MLSI	4.27	96.4
MMPI	-8.52	140.41
MMRI	-8.64	122.24
MMSI	-2.69	118.91
MNAI	-4.36	102.96
MNI	1.44	124.84
MNSI	0.8	99.58
MPSI	0.34	119.9
MRSI	0.48	121.94
MSAI	-3.35	128.93
MSSI	-2.55	120.32
MTKI	-0.94	114.9
MTN	-12.84	131.13
MTNI	-8.64	116.17
MWPI	-0.93	134.04
NBBI	-8.46	114.94
NBPI	-3.37	135.5
NGJI	-7.37	111.46
NLAI	-3.24	127.1
OBMI	-1.34	127.64
PBKI	-2.7	111.67
PBSI	-0.05	98.28
PCI	-0.91	119.84
PCJI	-8.19	111.18
PDSI	-0.91	100.46
PKKI	-2.24	113.97
PLAI	-8.83	117.78
PLKI	-2.23	113.95
PMBI	-2.9	104.7
PMSI	-3.5	118.91

PPBI	-2.16	106.14
PPI	-0.46	100.4
PPSI	-2.77	100.01
PSI	2.69	98.92
PTKI	-0.14	109.4
PWJI	-8.02	111.8
RAPI	-0.41	130.82
RBSI	-5.84	105.74
RGRI	-0.35	102.33
RKPI	-1.51	134.18
RPSI	2.07	99.83
RTBI	-8.46	114.94
SANI	-2.05	125.99
SAUI	-7.98	131.3
SBJI	-6.11	106.13
SBM	2.45	112.21
SBSI	1.4	99.43
SCJI	-7.68	109.17
SDSI	-0.93	101.43
SGKI	0.53	117.6
SGSI	3.69	125.53
SIJI	-0.87	131.27
SISI	-1.33	99.09
SKJI	-7.01	106.56
SKLT	7.18	100.62
SKSI	-2.53	121.33
SLSI	-2.39	102.59
SMKI	-0.45	117.21
SMPI	-1.98	138.71
SMRI	-7.05	110.44
SMSI	0.99	122.37
SNJI	-7.78	111.76
SNSI	2.41	96.33
SOEI	-9.76	124.27
SPSI	-3.96	119.77
SRBI	-8.08	115.21
SRIT	8.6	99.6
SRPI	-1.87	136.24
STKI	0.07	111.48
SURA	9.17	99.63
SWI	-0.86	131.26
SWJI	-7.73	111.77
TARA	3.33	117.57

TARAI	3.33	117.57
TBJI	-6.82	111.85
TGJI	-6.87	109.12
TLE	-5.64	132.74
TLE2	-5.7	132.74
TMSI	1.29	124.92
TNG	-6.17	106.65
TNGI	-6.17	106.65
TNTI	0.77	127.37
TOLI2	1.11	120.78
TPI	-2.76	107.65
TPRI	0.92	104.53
TPTI	3.26	97.18
TRSI	2.03	98.96
TSI	3.5	98.56
TTSI	-3.05	119.82
TWSI	-8.74	116.88
UBSI	-3.76	102.27
UGM	-7.91	110.52
UWJI	-6.42	110.95
WAMI	-4.1	138.95
WBSI	-9.64	119.39
WOJI	-7.84	110.92
WSI	-9.67	120.3
XMI	-10.45	105.69
XMIS	-10.48	105.65
YOGI	-7.82	110.3

LAMPIRAN III**HypoDD.loc**

ID	Lat	Long	Depth	x	y	Z	Ex	Ey	Ez	Year	Month	Day	Hour	Min	Sec	Mag	CID
1	-7.76	117.2	30	-177043	24062.4	11615.4	0	0	0	2009	6	14	3	36	4	5.5	1
2	-8.71	117.67	11	-125066	-81002.3	-7384.6	0	0	0	2009	9	10	3	49	34	4.7	1
3	-8.06	118.26	60	-60125.9	-9115.9	41615.4	0	0	0	2009	9	19	19	23	42	4.6	1
4	-7.83	118.03	10	-85504.8	16320.8	-8384.6	0	0	0	2009	10	26	13	55	59	4.3	1
5	-8.01	118.94	24	14837.1	-3586.2	5615.4	0	0	0	2009	11	8	20	33	34	4.3	1
6	-8.09	118.84	29	3811.5	-12433.7	10615.4	0	0	0	2009	11	8	21	24	45	4.3	1
7	-7.94	118.84	11	3812.2	4155.4	-7384.6	0	0	0	2009	11	9	0	11	32	4.5	1
8	-7.98	118.96	11	17042.2	-268.3	-7384.6	0	0	0	2009	11	9	0	52	24	4.4	1
9	-7.98	118.77	10	-3905.4	-268.3	-8384.6	0	0	0	2009	11	9	1	56	27	4	1
10	-7.87	118.71	15	-10521.4	11897.1	-3384.6	0	0	0	2009	11	11	22	0	38	5.1	1
11	-8.07	117.9	29	-99810.6	-10221.8	10615.4	0	0	0	2009	11	17	14	7	5	4.8	1
12	-7.81	117.2	54	-177032	18532.7	35615.4	0	0	0	2009	11	23	22	8	25	4.7	1
13	-7.93	118.85	10	4915	5261.4	-8384.6	0	0	0	2009	12	3	10	40	17	4	1
14	-7.96	118.91	29	11530.5	1943.5	10615.4	0	0	0	2009	12	5	10	0	36	4.3	1
15	-7.83	119.15	30	37996.6	16320.8	11615.4	0	0	0	2009	12	6	6	44	25	4.9	1
16	-7.83	119.07	24	29174.9	16320.8	5615.4	0	0	0	2010	1	7	12	35	16	4.5	1
17	-7.84	118.43	10	-41396.6	15214.9	-8384.6	0	0	0	2010	1	9	16	15	41	4.3	1
18	-7.85	118.52	18	-31472.5	14108.9	-384.6	0	0	0	2010	1	15	8	30	1	4.2	1
19	-8.13	118.63	15	-19336.7	-16857.5	-3384.6	0	0	0	2010	1	18	15	35	1	4.6	1
20	-7.78	119.24	12	47923.3	21850.5	-6384.6	0	0	0	2010	2	6	2	51	43	4	1
21	-8.14	118.97	23	18141.4	-17963.5	4615.4	0	0	0	2010	2	10	21	0	45	4.7	1

22	-8.08	118.2	27	-66739.2	-11327.8	8615.4	0	0	0	2010	3	7	15	3	54	4.6	1
23	-8.07	117.94	10	-95401	-10221.8	-8384.6	0	0	0	2010	3	28	17	58	39	4	1
24	-7.92	117.56	51	-137317	6367.3	32615.4	0	0	0	2010	4	16	5	46	28	4.6	1
25	-7.96	118.33	14	-52415.6	1943.5	-4384.6	0	0	0	2010	5	5	12	37	31	4	1
26	-8.14	118.28	10	-57915.9	-17963.5	-8384.6	0	0	0	2010	5	8	3	22	12	5.8	1
27	-8	118.23	54	-63437.6	-2480.2	35615.4	0	0	0	2010	5	8	4	2	55	4.5	1
28	-8.09	118.25	10	-61226.3	-12433.7	-8384.6	0	0	0	2010	5	8	4	20	59	5	1
29	-8.07	118.25	15	-61227.8	-10221.8	-3384.6	0	0	0	2010	5	8	5	2	53	4.1	1
30	-8.1	118.29	10	-56816.2	-13539.7	-8384.6	0	0	0	2010	5	8	5	25	22	5	1
31	-8.2	118.43	15	-41378.6	-24599.1	-3384.6	0	0	0	2010	5	9	13	10	51	4.2	1
32	-8.11	118.51	10	-32564.4	-14645.6	-8384.6	0	0	0	2010	5	9	18	0	34	4.7	1
33	-8.05	118.18	12	-68946.1	-8010	-6384.6	0	0	0	2010	5	9	20	5	14	4	1
34	-8.09	118.14	14	-73352.2	-12433.7	-4384.6	0	0	0	2010	5	9	23	42	30	4	1
35	-8.1	118.22	17	-64532.4	-13539.7	-1384.6	0	0	0	2010	5	11	19	22	27	4.1	1
36	-8.03	118.23	10	-63435.3	-5798	-8384.6	0	0	0	2010	5	13	21	41	54	4.1	1
37	-7.6	119.69	18	97568.5	41757.6	-384.6	0	0	0	2010	5	17	9	51	18	5.1	1
38	-7.79	118.97	36	18149.1	20744.6	17615.4	0	0	0	2010	5	17	13	16	0	4	1
39	-8.06	117.76	17	-115245	-9115.9	-1384.6	0	0	0	2010	6	5	6	11	7	4.5	1
40	-8.16	118.63	10	-19335.9	-20175.3	-8384.6	0	0	0	2010	7	16	5	45	51	5.1	1
41	-8.13	118.62	28	-20438.3	-16857.5	9615.4	0	0	0	2010	7	16	5	58	25	5.3	1
42	-8.12	118.51	22	-32564	-15751.6	3615.4	0	0	0	2010	7	16	14	44	56	4.5	1
43	-8.02	118.46	10	-38080.5	-4692.2	-8384.6	0	0	0	2010	9	23	6	53	48	4.1	1
44	-7.94	117.48	10	-146133	4155.4	-8384.6	0	0	0	2010	9	27	21	12	24	4.7	1
45	-8.25	116.11	12	27894.3	-17003.9	-1500	0	0	0	2010	11	11	8	5	41	4.2	3
46	-8.23	116.07	10	23486.9	-14792	-3500	0	0	0	2010	11	11	8	6	55	4.1	3

47	-8.24	116.1	10	26792.4	-15898	-3500	0	0	0	2010	11	15	23	26	41	4.3	3
48	-8.02	119.81	10	110748.3	-4692.2	-8384.6	0	0	0	2010	12	2	6	58	5	4.5	1
49	-7.96	117.86	18	-104234	1943.5	-384.6	0	0	0	2011	1	7	20	38	54	4.4	1
50	-7.84	119.02	10	23660.8	15214.9	-8384.6	0	0	0	2011	1	12	1	39	42	4.4	1
51	-7.86	118.35	17	-50217	13003	-1384.6	0	0	0	2011	2	19	12	48	44.2	4	1
52	-8.01	118.39	50	-45798	-3586.2	31615.4	0	0	0	2011	3	3	22	14	30.9	4.4	1
53	-8.28	116.11	23	27893.2	-20321.8	9500	0	0	0	2011	3	30	13	9	15.4	4.1	3
54	-8.04	117.82	20	-108634	-6904	1615.4	0	0	0	2011	3	31	11	42	47.7	4.4	1
55	-8.18	116.06	10	22386	-9262.3	-3500	0	0	0	2011	4	12	12	35	5.1	4.1	3
56	-8.25	116.02	25	17976.1	-17003.9	11500	0	0	0	2011	4	12	20	42	3.1	4	3
57	-8.24	118.65	17	-17129.3	-29022.9	-1384.6	0	0	0	2011	6	1	14	23	37.3	4.1	1
58	-8.18	117.83	18	-107513	-22387.3	-384.6	0	0	0	2011	7	6	1	46	4.7	4.7	1
59	-7.73	118.56	28	-27065.7	27380.3	9615.4	0	0	0	2011	7	13	18	28	1.1	4.2	1
60	-7.8	117.4	12	-154980	19638.6	-6384.6	0	0	0	2011	7	14	17	30	46.6	4.2	1
61	-8.08	117.83	16	-107526	-11327.8	-2384.6	0	0	0	2011	7	24	10	34	52.2	4.3	1
62	-7.88	118.92	19	12633.7	10791.1	615.4	0	0	0	2011	7	25	1	10	17.6	4.3	1
63	-7.94	117.67	10	-125185	4155.4	-8384.6	0	0	0	2011	7	25	11	59	4.5	5	1
64	-7.93	117.52	63	-141725	5261.4	44615.4	0	0	0	2011	8	22	21	14	24.4	4.6	1
65	-8.14	119.05	10	26959.8	-17963.5	-8384.6	0	0	0	2011	8	31	14	58	25.5	4	1
66	-7.85	118.18	10	-68962.7	14108.9	-8384.6	0	0	0	2011	9	13	9	3	46.1	4.3	1
67	-7.79	117.36	10	-159392	20744.6	-8384.6	0	0	0	2011	11	7	23	15	41.2	4	1
68	-7.84	117.37	28	-158280	15214.9	9615.4	0	0	0	2011	11	7	23	22	29.3	4.5	1
69	-7.86	117.34	12	-161585	13003	-6384.6	0	0	0	2011	11	8	1	59	51.7	4	1
70	-8.19	118.76	10	-5006	-23493.1	-8384.6	0	0	0	2012	1	1	8	59	49.1	4.5	1
71	-7.55	119.64	10	92058.7	47287.2	-8384.6	0	0	0	2012	1	8	19	15	21.7	4.1	1

72	-7.75	119.65	31	93139.9	25168.4	12615.4	0	0	0	2012	1	25	22	12	5.6	4.6	1
73	-8.1	118.15	13	-72248.7	-13539.7	-5384.6	0	0	0	2012	2	16	6	20	20.2	4.2	1
74	-8.14	118.2	15	-66734.3	-17963.5	-3384.6	0	0	0	2012	2	16	11	12	39.8	4.8	1
75	-8.33	119.82	24	111808.6	-38976.4	5615.4	0	0	0	2012	6	27	12	56	58.9	5.2	1
76	-7.85	117.39	11	-156073	14108.9	-7384.6	0	0	0	2012	9	14	17	59	14.1	4.2	1
77	-7.89	117.42	33	-152758	9685.2	14615.4	0	0	0	2012	9	14	18	9	4.5	4	1
78	-7.8	118.99	26	20353.9	19638.6	7615.4	0	0	0	2012	10	3	5	8	0.4	4.2	1
79	-8.21	119.07	11	29161.5	-25705.1	-7384.6	0	0	0	2012	10	10	22	37	5.9	4.1	1
80	-7.31	115.93	10	8068	86955.4	-3500	0	0	0	2012	10	11	12	21	55.1	4.1	3
81	-8.24	119.07	10	29160.4	-29022.9	-8384.6	0	0	0	2012	10	27	16	23	52.1	4.2	1
82	-8	117.6	19	-132893	-2480.2	615.4	0	0	0	2012	11	9	15	7	50.8	5.3	1
83	-8.19	117.74	10	-117432	-23493.1	-8384.6	0	0	0	2012	12	16	13	12	25.9	4.4	1
84	-7.56	119.69	13	97573.1	46181.3	-5384.6	0	0	0	2013	2	14	18	57	21.7	4.8	1
85	-7.79	119	10	21457.2	20744.6	-8384.6	0	0	0	2013	3	23	18	22	52.6	4.4	1
86	-8.07	117.9	19	-99810.6	-10221.8	615.4	0	0	0	2013	3	25	23	57	35.8	4.2	1
87	-7.66	115.12	13	-81258.2	48247.2	-500	0	0	0	2013	4	2	5	26	8.1	4.6	3
88	-8.11	118.11	16	-76657.2	-14645.6	-2384.6	0	0	0	2013	4	8	19	22	39.5	4.1	1
89	-8.09	117.87	15	-103115	-12433.7	-3384.6	0	0	0	2013	6	11	5	10	2.2	4.1	1
90	-8.1	118.86	10	6016.6	-13539.7	-8384.6	0	0	0	2013	6	18	11	26	41.4	4.3	1
91	-8.09	119.08	16	30268.3	-12433.7	-2384.6	0	0	0	2013	9	17	19	16	48.8	4.3	1
92	-7.86	117.86	13	-104247	13003	-5384.6	0	0	0	2013	9	17	23	53	35.6	4.9	1
93	-8.12	117.73	12	-118544	-15751.6	-6384.6	0	0	0	2013	10	5	17	30	55.8	4.6	1
94	-7.78	118.59	20	-23755.9	21850.5	1615.4	0	0	0	2013	10	31	21	10	8.5	4.1	1
95	-7.19	118.22	27	-64601.9	87101.3	8615.4	0	0	0	2013	11	30	11	49	15.8	4.2	1
96	-8.2	117.8	28	-110817	-24599.1	9615.4	0	0	0	2013	12	19	3	26	42.8	4	1

97	-7.86	117.48	10	-146147	13003	-8384.6	0	0	0	2014	2	27	18	44	4.8	4.9	1
98	-8.25	118.47	11	-36967.4	-30128.8	-7384.6	0	0	0	2014	3	25	7	0	14.3	4	1
99	-8.29	117.39	12	-155990	-34552.6	-6384.6	0	0	0	2014	4	9	17	30	16.6	4.3	1
100	-8.19	119.07	11	29162.2	-23493.1	-7384.6	0	0	0	2014	4	18	13	33	17.6	4.3	1
101	-8.15	119.05	10	26959.5	-19069.4	-8384.6	0	0	0	2014	5	30	0	51	39.2	4	1
102	-8.2	119.1	10	32468.3	-24599.1	-8384.6	0	0	0	2014	5	30	3	5	16.6	4.4	1
103	-8.26	119.13	10	35772.1	-31234.8	-8384.6	0	0	0	2014	5	30	5	48	14.8	4	1
104	-7.76	118.54	29	-29269.9	24062.4	10615.4	0	0	0	2014	6	12	5	39	23.6	4	1
105	-8.28	116.15	10	32301	-20321.8	-3500	0	0	0	2014	8	21	10	22	10.6	4.3	3
106	-8.33	116.02	14	17974.4	-25851.5	500	0	0	0	2014	9	17	16	41	31.7	4.3	3
107	-8.33	116.94	10	-205573	-38976.4	-8384.6	0	0	0	2014	9	22	18	42	33.9	4	1
108	-7.93	117.87	27	-103135	5261.4	8615.4	0	0	0	2014	10	9	16	10	21.2	4	1
109	-8.21	118.56	11	-27050	-25705.1	-7384.6	0	0	0	2014	12	12	17	50	28.9	4.7	1
110	-8.2	119.58	18	85374	-24599.1	-384.6	0	0	0	2015	1	6	12	39	53.4	4	1
111	-8.24	118.2	10	-66726.2	-29022.9	-8384.6	0	0	0	2015	1	16	10	58	57.9	4.1	1
112	-8.08	117.7	35	-121857	-11327.8	16615.4	0	0	0	2015	1	20	5	21	30.9	5	1
113	-8.25	119.7	30	98593.8	-30128.8	11615.4	0	0	0	2015	3	18	22	33	13.2	4.4	1
114	-7.98	118.11	10	-76669.3	-268.3	-8384.6	0	0	0	2015	4	6	23	17	42.9	4.2	1
115	-8	117.6	19	-132893	-2480.2	615.4	0	0	0	2015	5	21	13	33	12.7	4.1	1
116	-7.83	119.05	10	26969.9	16320.8	-8384.6	0	0	0	2015	6	19	2	54	44.8	4	1
117	-8.29	116.1	10	26790.7	-21427.8	-3500	0	0	0	2015	6	28	11	37	42.3	4.5	3
118	-8.13	118.23	10	-63427.6	-16857.5	-8384.6	0	0	0	2015	7	31	22	26	7.1	4.9	1
119	-7.59	118.44	13	-40305.6	42863.5	-5384.6	0	0	0	2015	8	30	23	41	30.6	4.4	1
120	-8.06	117.29	10	-167057	-9115.9	-8384.6	0	0	0	2015	9	26	7	23	1.7	4	1
121	-7.98	117.47	31	-147229	-268.3	12615.4	0	0	0	2015	11	8	22	54	6.8	4.6	1

122	-7.8	119.01	11	22559.9	19638.6	-7384.6	0	0	0	2015	11	16	3	11	48.7	4.4	1
123	-8.26	119.22	10	45691.6	-31234.8	-8384.6	0	0	0	2015	11	17	19	7	43.2	4.3	1
124	-8.22	115.22	11	-70183.1	-13686.1	-2500	0	0	0	2015	12	8	17	36	31.6	4	3
125	-8	117.6	11	-132893	-2480.2	-7384.6	0	0	0	2016	1	21	14	51	8.3	4	1
126	-8.19	117.63	14	-129556	-23493.1	-4384.6	0	0	0	2016	6	4	13	26	20.3	4.3	1
127	-7.83	119.07	42	29174.9	16320.8	23615.4	0	0	0	2016	6	18	16	30	31.5	4.3	1
128	-8.1	117.98	18	-90988.1	-13539.7	-384.6	0	0	0	2016	6	28	19	6	38.5	4.1	1
129	-8.24	117.87	22	-103096	-29022.9	3615.4	0	0	0	2016	7	31	23	40	2.9	5.7	1
130	-8.2	115.69	10	-18389.2	-11474.2	-3500	0	0	0	2016	8	9	15	37	36.5	4.6	3
131	-8.14	117.83	10	-107518	-17963.5	-8384.6	0	0	0	2016	8	10	0	15	58.4	4.6	1
132	-8.22	117.86	29	-104201	-26811	10615.4	0	0	0	2016	8	23	15	0	38.6	4	1
133	-8.17	118.69	10	-12721.7	-21281.3	-8384.6	0	0	0	2016	9	22	9	0	28.3	4.1	1
134	-7.26	115.96	28	11378.1	92485.2	14500	0	0	0	2016	10	28	2	11	36.7	4.6	3
135	-7.8	118.73	13	-8316.4	19638.6	-5384.6	0	0	0	2016	11	22	9	0	43.9	4	1
136	-7.82	117.37	10	-158284	17426.8	-8384.6	0	0	0	2016	12	8	21	21	23.3	4.7	1
137	-8.1	117.6	19	-132877	-13539.7	615.4	0	0	0	2017	1	10	17	10	53.8	4.7	1
138	-8.06	117.62	15	-130678	-9115.9	-3384.6	0	0	0	2017	1	10	17	25	19.4	3.8	1
139	-8.13	118.55	10	-28154.3	-16857.5	-8384.6	0	0	0	2017	2	17	17	28	18.1	4.6	1
140	-8.19	118.53	10	-30357.2	-23493.1	-8384.6	0	0	0	2017	2	20	19	27	43.4	4	1
141	-8.25	117.54	10	-139465	-30128.8	-8384.6	0	0	0	2017	3	21	14	33	50.6	4.2	1
142	-7.81	119.01	27	22559.6	18532.7	8615.4	0	0	0	2017	5	15	14	26	1.2	4	1
143	-8.15	119.15	39	37981.9	-19069.4	20615.4	0	0	0	2017	6	7	19	41	42.8	4	1
144	-8.06	117.75	10	-116348	-9115.9	-8384.6	0	0	0	2017	6	23	14	34	52.7	4.4	1
145	-8.22	119.34	28	58919.3	-26811	9615.4	0	0	0	2017	7	13	14	30	34.6	5.1	1
146	-8.2	118.18	11	-68933.4	-24599.1	-7384.6	0	0	0	2017	8	5	14	23	25.9	4	1

147	-8.26	118.05	10	-83255.6	-31234.8	-8384.6	0	0	0	2017	8	23	16	52	12.4	4.1	1
148	-7.79	117.25	11	-171523	20744.6	-7384.6	0	0	0	2017	8	24	0	35	30.3	4.5	1
149	-8.27	118.01	10	-87663	-32340.8	-8384.6	0	0	0	2017	8	25	0	21	57.4	4.2	1
150	-8.15	119.28	18	52311.1	-19069.4	-384.6	0	0	0	2017	9	18	0	32	25.8	4.4	1
151	-8.33	115.49	10	-40423.8	-25851.5	-3500	0	0	0	2017	9	24	13	15	35.7	3	3
152	-7.56	119.19	10	42421.1	46181.3	-8384.6	0	0	0	2017	10	10	14	16	29.3	4.4	1
153	-8.23	115.56	10	-32714.9	-14792	-3500	0	0	0	2017	11	8	21	54	18.2	4.9	3
154	-7.81	117.39	13	-156081	18532.7	-5384.6	0	0	0	2017	11	13	16	26	36.9	4.6	1
155	-7.9	117.31	15	-164885	8579.2	-3384.6	0	0	0	2017	11	14	1	17	56.9	4	1
156	-8.26	121.65	27	313505.3	-31234.8	8615.4	0	0	0	2017	6	1	18	44	29.5	4.8	1
157	-7.57	121.93	26	344650.2	45075.4	7615.4	0	0	0	2017	8	9	12	25	11.4	4	1
158	-7.58	121.97	16	349058.3	43969.4	-2384.6	0	0	0	2017	8	9	21	30	17.7	4.9	1
159	-7.49	121.86	20	336960.6	53923	1615.4	0	0	0	2017	8	10	3	40	28.4	4.2	1
160	-8.07	120.13	37	146017.4	-10221.8	18615.4	0	0	0	2017	9	1	10	4	2.6	4.3	1
161	-8.16	123.53	16	6034.1	-2515.9	-1275	0	0	0	2017	10	6	18	0	12.7	4.4	2
162	-8.29	123.48	10	524.4	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	9	16	53	33.4	4.5	2
163	-8.29	123.53	10	6033.2	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	9	18	19	41.9	4.5	2
164	-8.2	123.49	10	1625.8	-6939.7	-7275	0	0	0	2017	10	9	18	27	43.3	4.5	2
165	-8.25	123.5	10	2727.9	-12469.5	-7275	0	0	0	2017	10	9	22	23	48.1	4.8	2
166	-8.29	123.54	10	7135.2	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	10	23	10	17.1	4.7	2
167	-8.06	123.48	10	524.5	8543.5	-7275	0	0	0	2017	10	11	2	48	15.7	4.2	2
168	-8.02	120.3	10	164768.3	-4692.2	-8384.6	0	0	0	2015	2	19	12	45	38.9	4	1
169	-7.33	122.05	10	357987	71618.1	-8384.6	0	0	0	2015	5	19	14	19	46.4	4	1
170	-8.16	123.1	10	-41353.2	-2515.9	-7275	0	0	0	2015	8	17	23	39	32.4	4.9	2
171	-8.01	120.56	10	193433.4	-3586.2	-8384.6	0	0	0	2015	12	22	4	43	47.2	4.2	1

172	-7.75	120.03	10	135045.8	25168.4	-8384.6	0	0	0	2013	3	25	20	16	50.4	4.4	1
173	-7.22	120.79	30	218994	83783.5	11615.4	0	0	0	2013	11	3	1	54	36.1	4.8	1
174	-7.16	120.83	32	223423.4	90419.1	13615.4	0	0	0	2013	11	3	2	36	54.1	4	1
175	-8.17	120.85	10	225360.7	-21281.3	-8384.6	0	0	0	2013	12	29	4	9	46.7	4	1
176	-8.06	120.77	10	216571.7	-9115.9	-8384.6	0	0	0	2014	11	15	21	22	18.1	4.4	1
177	-8.05	120.66	10	204448.7	-8010	-8384.6	0	0	0	2014	12	6	3	25	41.8	4	1
178	-7.96	120.29	10	163677.5	1943.5	-8384.6	0	0	0	2011	1	15	16	29	10	4.4	1
179	-7.85	122.89	10	-64520.2	31768.6	-7275	0	0	0	2011	1	18	6	29	41	4.3	2
180	-7.47	123.29	63	-20431.4	73794.8	45725	0	0	0	2011	1	25	5	15	44	4.2	2
181	-8.13	123.68	10	22565.6	801.9	-7275	0	0	0	2011	5	14	1	42	13.7	5.1	2
182	-7.86	120.58	10	195674.1	13003	-8384.6	0	0	0	2011	8	16	23	26	31.6	4.4	1
183	-7.18	121.96	28	348116.7	88207.2	9615.4	0	0	0	2011	10	6	8	55	41.6	4.3	1
184	-8.15	123.57	65	10442.5	-1410	47725	0	0	0	2011	10	8	3	57	3.1	4	2
185	-8.15	123.53	55	6034.2	-1410	37725	0	0	0	2011	10	8	4	26	56.6	4.4	2
186	-8.03	123.76	10	31386.2	11861.5	-7275	0	0	0	2012	8	24	2	50	1.7	4.2	2
187	-8.03	123.37	10	-11599.8	11861.5	-7275	0	0	0	2010	2	9	13	12	3	4.5	2
188	-8.09	120.22	10	155935.4	-12433.7	-8384.6	0	0	0	2010	4	16	23	4	43	4.8	1
189	-8.12	123.56	10	9340.5	1907.9	-7275	0	0	0	2012	10	4	6	38	45.1	4.8	2
190	-8.17	123.52	10	4931.8	-3621.9	-7275	0	0	0	2012	10	5	10	34	8.4	4.5	2
191	-8.11	123.67	10	21463.8	3013.8	-7275	0	0	0	2012	10	18	4	11	25.5	4.6	2
192	-8.04	123.69	22	23670.5	10755.5	4725	0	0	0	2012	10	18	4	14	31.6	5.1	2
193	-8.1	123.43	18	-4986.4	4119.7	725	0	0	0	2012	10	25	6	10	23.1	4.3	2
194	-8.05	123.58	10	11546.2	9649.5	-7275	0	0	0	2012	10	29	6	13	28.8	4.3	2
195	-8.17	123.51	10	3830.4	-3621.9	-7275	0	0	0	2012	10	29	6	28	35.6	5.4	2
196	-8.14	123.47	10	-577.8	-304.1	-7275	0	0	0	2012	10	29	6	34	49.4	5	2

197	-8.08	123.48	19	524.5	6331.7	1725	0	0	0	2012	10	29	7	50	49.2	4.4	2
198	-8.23	123.54	14	7135.8	-10257.6	-3275	0	0	0	2012	10	29	23	40	19.1	5	2
199	-8.23	123.57	30	10441.4	-10257.6	12725	0	0	0	2012	10	29	23	51	43.7	4.8	2
200	-8.17	123.42	10	-6088.2	-3621.9	-7275	0	0	0	2012	10	29	23	57	39.6	4.6	2
201	-8.13	123.52	10	4932	801.9	-7275	0	0	0	2012	11	6	7	16	16.6	4.2	2
202	-8.34	120.39	24	174621.5	-40082.4	5615.4	0	0	0	2012	12	6	4	9	8.4	4.7	1
203	-7.12	122.55	44	413253.6	94842.9	25615.4	0	0	0	2009	5	23	16	21	7	4.3	1
204	-7.84	120.45	10	181343.5	15214.9	-8384.6	0	0	0	2009	5	28	20	35	52	4.7	1
205	-8.03	123.23	27	-27030.6	11861.5	9725	0	0	0	2009	8	22	21	55	55	4.2	2
206	-8.04	120.11	17	143818.3	-6904	-1384.6	0	0	0	2009	8	30	9	48	38	4.1	1
207	-8.01	123.19	61	-31440.3	14073.3	43725	0	0	0	2009	9	24	3	19	44	4.6	2
208	-8.18	123.48	15	524.5	-4727.9	-2275	0	0	0	2010	6	24	17	57	31	4.5	2
209	-8.12	123.31	10	-18211.6	1907.9	-7275	0	0	0	2010	7	1	12	50	26	4.5	2
210	-8.24	120.09	42	141578.5	-29022.9	23615.4	0	0	0	2010	10	10	21	39	30	4.3	1
211	-8.07	120.28	10	162553.1	-10221.8	-8384.6	0	0	0	2010	10	10	21	45	22	4	1
212	-8.09	120.3	10	164754.3	-12433.7	-8384.6	0	0	0	2010	10	11	2	7	43	4.8	1
213	-8.26	121.65	27	313505.3	-31234.8	8615.4	0	0	0	2017	6	1	18	44	29.5	4.8	1
214	-7.57	121.93	26	344650.2	45075.4	7615.4	0	0	0	2017	8	9	12	25	11.4	4	1
215	-7.58	121.97	16	349058.3	43969.4	-2384.6	0	0	0	2017	8	9	21	30	17.7	4.9	1
216	-7.49	121.86	20	336960.6	53923	1615.4	0	0	0	2017	8	10	3	40	28.4	4.2	1
217	-8.07	120.13	37	146017.4	-10221.8	18615.4	0	0	0	2017	9	1	10	4	2.6	4.3	1
218	-8.16	123.53	16	6034.1	-2515.9	-1275	0	0	0	2017	10	6	18	0	12.7	4.4	2
219	-8.29	123.48	10	524.4	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	9	16	53	33.4	4.5	2
220	-8.29	123.53	10	6033.2	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	9	18	19	41.9	4.5	2
221	-8.2	123.49	10	1625.8	-6939.7	-7275	0	0	0	2017	10	9	18	27	43.3	4.5	2

222	-8.25	123.5	10	2727.9	-12469.5	-7275	0	0	0	2017	10	9	22	23	48.1	4.8	2
223	-8.36	123.55	10	8236.6	-24635	-7275	0	0	0	2017	10	10	9	7	9.8	4.2	2
224	-8.29	123.54	10	7135.2	-16893.3	-7275	0	0	0	2017	10	10	23	10	17.1	4.7	2
225	-8.06	123.48	10	524.5	8543.5	-7275	0	0	0	2017	10	11	2	48	15.7	4.2	2

LAMPIRAN IV

HypoDD.reloc

ID	Lat	Long	Depth	x	y	Z	Ex	Ey	Ez	Year	Month	Day	Hour	Min	Sec	Mag	CID
3	-8.13	118.24	73.275	-61820.2	-16634.9	54890.1	0	0	0	2009	9	19	19	23	40.44	4.6	1
5	-8.02	119.01	14.494	22384.9	-4191	-3890.5	0	0	0	2009	11	8	20	33	34.1	4.3	1
6	-8.09	118.86	30.6	6242.4	-12318	12215	0	0	0	2009	11	8	21	24	46.28	4.3	1
7	-8.00	118.90	6.407	10258.5	-2189.7	-11977.3	0	0	0	2009	11	9	0	11	32.48	4.5	1
8	-7.97	119.03	8.75	24781.6	653.2	-9634.7	0	0	0	2009	11	9	0	52	24.27	4.4	1
10	-7.86	118.79	2.961	-1874.7	13195.1	-15422.3	0	0	0	2009	11	11	22	0	38.04	5.1	1
12	-7.83	117.12	83.083	-185984	16675.4	64698.5	0	0	0	2009	11	23	22	8	23.92	4.7	1
13	-8.02	118.90	2.15	10639.7	-4303.8	-16234.5	0	0	0	2009	12	3	10	40	16.15	4	1
16	-7.85	119.00	20.883	21629.2	13736.3	2498.1	0	0	0	2010	1	7	12	35	16.06	4.5	1
17	-7.90	118.56	2.897	-26671.2	8347.1	-15487.3	0	0	0	2010	1	9	16	15	41.85	4.3	1
18	-7.88	118.60	1.262	-22587.5	11126.4	-17122.7	0	0	0	2010	1	15	8	29	59.66	4.2	1
20	-7.81	119.12	17.624	34244.9	18720	-761	0	0	0	2010	2	6	2	51	43.06	4	1
21	-8.10	118.92	19.538	12323.5	-13543.3	1153	0	0	0	2010	2	10	21	0	45.28	4.7	1
22	-8.12	118.22	69.851	-64721.6	-15670.7	51466.8	0	0	0	2010	3	7	15	3	54.12	4.6	1
23	-8.09	117.85	13.476	-104913	-12020.9	-4909.1	0	0	0	2010	3	28	17	58	40.56	4	1
24	-7.95	117.51	72.309	-143262	2756.9	53924.3	0	0	0	2010	4	16	5	46	27.22	4.6	1
25	-7.98	118.35	61.227	-49836.4	191.6	42842.5	0	0	0	2010	5	5	12	37	32.74	4	1
26	-8.10	118.22	15.765	-64123.9	-13339.6	-2619.8	0	0	0	2010	5	8	3	22	11.18	5.8	1
27	-8.06	118.20	96.566	-67255.1	-9005.8	78181	0	0	0	2010	5	8	4	2	53.88	4.5	1
28	-8.10	118.22	5.127	-64451.8	-13710.3	-13257.9	0	0	0	2010	5	8	4	20	58.56	5	1
29	-8.10	118.25	9.519	-61690.7	-13553.4	-8864.4	0	0	0	2010	5	8	5	2	53.05	4.1	1

30	-8.15	118.29	10.191	-56760	-18847.6	-8193.4	0	0	0	2010	5	8	5	25	22.22	5	1
31	-8.24	118.41	17.421	-43956.6	-28978.5	-962.2	0	0	0	2010	5	9	13	10	51.31	4.2	1
32	-8.21	118.47	5.464	-36859.1	-25529.1	-12920.5	0	0	0	2010	5	9	18	0	33.5	4.7	1
33	-8.13	118.16	7.849	-71136	-16921.6	-10536.1	0	0	0	2010	5	9	20	5	14.72	4	1
34	-8.14	118.14	9.356	-72841.5	-17805.1	-9029	0	0	0	2010	5	9	23	42	30.2	4	1
36	-8.11	118.19	10.109	-67691.7	-14576	-8275.6	0	0	0	2010	5	13	21	41	54.68	4.1	1
38	-7.73	118.96	43.028	16741.5	27852.7	24642.9	0	0	0	2010	5	17	13	16	0.74	4	1
39	-8.17	117.75	5.697	-116851	-21299.2	-12688	0	0	0	2010	6	5	6	11	6.35	4.5	1
42	-8.25	118.49	48.258	-34915.1	-30304.2	29873.1	0	0	0	2010	7	16	14	44	56.23	4.5	1
44	-7.85	117.41	9.989	-154112	14397.6	-8395.3	0	0	0	2010	9	27	21	12	23.32	4.7	1
45	-8.27	116.09	8.398	25782.1	-19547.2	-5101.7	20.1	14	17.8	2010	11	11	8	5	41.16	4.2	3
46	-8.31	116.08	13.904	24635.9	-24167	404.5	14.9	16.4	12.1	2010	11	11	8	6	55.44	4.1	3
47	-8.25	116.09	5.412	26126.4	-17193.6	-8087.5	15.1	30.3	22.9	2010	11	15	23	26	40.84	4.3	3
48	-8.07	119.77	4.073	106487	-10604.3	-14311.4	0	0	0	2010	12	2	6	58	4.56	4.5	1
49	-8.00	117.82	14.316	-109108	-3001.9	-4068.6	0	0	0	2011	1	7	20	38	54.3	4.4	1
52	-7.90	118.29	73.614	-57164	8226.4	55229.6	0	0	0	2011	3	3	22	14	30.32	4.4	1
53	-8.36	116.09	11.658	26152.5	-29682.2	-1841.6	16.8	27.4	11.1	2011	3	30	13	9	14.69	4.1	3
54	-8.09	117.78	6.897	-112913	-12143.6	-11487.6	0	0	0	2011	3	31	11	42	47.1	4.4	1
55	-8.25	116.08	10.036	24915.2	-16846.6	-3464.1	18	29.4	24.8	2011	4	12	12	35	4.45	4.1	3
58	-8.18	117.80	17.135	-110697	-21881	-1249.3	0	0	0	2011	7	6	1	46	5.14	4.7	1
60	-7.82	117.34	11.844	-161677	17975.4	-6540.1	0	0	0	2011	7	14	17	30	47.18	4.2	1
61	-8.08	117.79	11.989	-112396	-11193.5	-6395.8	0	0	0	2011	7	24	10	34	52.25	4.3	1
63	-7.93	117.57	9.897	-136384	5210.2	-8487.6	0	0	0	2011	7	25	11	59	4.51	5	1
64	-7.95	117.44	87.238	-150692	3226.2	68853	0	0	0	2011	8	22	21	14	22.2	4.6	1
66	-7.91	118.11	10.125	-76199.5	7382.2	-8259.3	0	0	0	2011	9	13	9	3	47.73	4.3	1

67	-7.84	117.35	8.315	-160783	15532.5	-10069.5	0	0	0	2011	11	7	23	15	41.8	4	1
68	-7.77	117.46	103.525	-148216	23492.4	85140	0	0	0	2011	11	7	23	22	29.8	4.5	1
69	-7.85	117.34	11.709	-161874	14120.4	-6676.1	0	0	0	2011	11	8	1	59	51.09	4	1
70	-8.22	118.75	10.929	-5734.5	-26492	-7455.9	0	0	0	2012	1	1	8	59	49.43	4.5	1
71	-7.54	119.61	10.104	89053.3	48582.7	-8280.9	0	0	0	2012	1	8	19	15	21.68	4.1	1
72	-7.71	119.61	31.438	88235.5	29325.4	13053.6	0	0	0	2012	1	25	22	12	4.92	4.6	1
73	-8.16	118.19	8.782	-67563.3	-20484.8	-9602.9	0	0	0	2012	2	16	6	20	20.18	4.2	1
74	-8.16	118.18	8.658	-68574.8	-19655.4	-9725.9	0	0	0	2012	2	16	11	12	38.99	4.8	1
75	-8.28	119.80	21.786	109225.4	-33287	3401.5	0	0	0	2012	6	27	12	56	58.49	5.2	1
76	-7.87	117.37	10.772	-158477	12177.4	-7612.6	0	0	0	2012	9	14	17	59	14.16	4.2	1
77	-7.83	117.34	28.666	-161349	15938.2	10281.3	0	0	0	2012	9	14	18	9	3.56	4	1
79	-8.18	119.07	4.828	29308.8	-21859.1	-13556.5	0	0	0	2012	10	10	22	37	4.62	4.1	1
82	-7.94	117.57	3.377	-136754	4540.2	-15007.7	0	0	0	2012	11	9	15	7	48.1	5.3	1
83	-8.27	117.72	5.475	-119447	-32267.6	-12909.1	0	0	0	2012	12	16	13	12	24.95	4.4	1
86	-8.06	117.86	11.239	-104593	-9306.8	-7145.2	0	0	0	2013	3	25	23	57	35.5	4.2	1
87	-7.58	115.12	19.84	-80997.7	56797.6	6339.6	40.3	29.3	47.6	2013	4	2	5	26	8.07	4.6	3
88	-8.13	118.11	9.555	-76616.1	-17035.8	-8829.5	0	0	0	2013	4	8	19	22	39.8	4.1	1
89	-8.13	117.88	6.597	-102230	-16382	-11787.1	0	0	0	2013	6	11	5	10	2.15	4.1	1
90	-8.14	118.85	15.827	4435.8	-17549.9	-2557.8	0	0	0	2013	6	18	11	26	42.23	4.3	1
91	-8.06	119.08	16.961	30654.1	-8654.9	-1423.4	0	0	0	2013	9	17	19	16	49.48	4.3	1
92	-7.90	117.82	2.578	-108366	9106.6	-15807	0	0	0	2013	9	17	23	53	34.72	4.9	1
93	-8.15	117.70	17.112	-121800	-19273	-1273	0	0	0	2013	10	5	17	30	56.68	4.6	1
94	-7.79	118.60	7.09	-22747.8	21163	-11294.6	0	0	0	2013	10	31	21	10	7.84	4.1	1
96	-8.18	117.79	43.043	-112136	-22055.1	24658.7	0	0	0	2013	12	19	3	26	42.23	4	1
97	-7.84	117.45	14.862	-149042	15023.1	-3523	0	0	0	2014	2	27	18	44	5.16	4.9	1

99	-8.37	117.36	15.014	-159341	-43275.5	-3371.1	0	0	0	2014	4	9	17	30	17.26	4.3	1
100	-8.20	119.09	3.801	30932.6	-24530	-14583.6	0	0	0	2014	4	18	13	33	17.15	4.3	1
101	-8.19	119.09	8.86	30891.8	-23853.5	-9524.4	0	0	0	2014	5	30	0	51	39.34	4	1
103	-8.18	119.12	7.038	34491.5	-22435	-11346.2	0	0	0	2014	5	30	5	48	12.94	4	1
105	-8.37	116.16	10.847	33802.9	-29779.4	-2653.3	11.9	17.8	11.6	2014	8	21	10	22	11.09	4.3	3
106	-8.34	116.04	11.78	20108.8	-26927.5	-1719.5	15.5	16.5	15.6	2014	9	17	16	41	32.44	4.3	3
107	-8.45	116.87	19.438	-213464	-52359.4	1053.7	0	0	0	2014	9	22	18	42	35.04	4	1
109	-8.25	118.57	14.76	-26116.8	-30199.5	-3624.8	0	0	0	2014	12	12	17	50	29.8	4.7	1
111	-8.27	118.17	10.933	-70238.3	-32865.1	-7452.1	0	0	0	2015	1	16	10	58	58.4	4.1	1
112	-8.00	117.68	55.097	-124455	-2910.2	36712.1	0	0	0	2015	1	20	5	21	28.64	5	1
114	-8.00	118.15	3.093	-72534.7	-2850.7	-15291.1	0	0	0	2015	4	6	23	17	42.4	4.2	1
117	-8.35	116.10	7.095	27142.3	-27819.5	-6404.7	14.2	28.2	16.2	2015	6	28	11	37	42.2	4.5	3
118	-8.17	118.18	7.905	-69182.3	-21526.7	-10479.8	0	0	0	2015	7	31	22	26	6.88	4.9	1
120	-8.15	117.24	8.815	-173046	-18534.3	-9569.8	0	0	0	2015	9	26	7	23	2.23	4	1
121	-7.81	117.44	48.686	-150750	18124.8	30301.6	0	0	0	2015	11	8	22	54	5.2	4.6	1
122	-7.77	119.01	11.534	22991.4	23317.2	-6850.8	0	0	0	2015	11	16	3	11	49.41	4.4	1
123	-8.29	119.14	2.321	37120	-34597.3	-16063.4	0	0	0	2015	11	17	19	7	41.4	4.3	1
124	-8.18	115.18	14.667	-74698.2	-8724.3	1167	38.6	19.7	17.3	2015	12	8	17	36	31.82	4	3
125	-8.04	117.55	9.939	-138177	-6898.4	-8445.5	0	0	0	2016	1	21	14	51	8.82	4	1
126	-8.23	117.64	19.426	-128519	-28407.5	1041.1	0	0	0	2016	6	4	13	26	21.3	4.3	1
128	-8.10	117.96	16.35	-92916.9	-13267	-2035.1	0	0	0	2016	6	28	19	6	39.08	4.1	1
130	-8.22	115.69	9.207	-18831.7	-13159.3	-4292.9	18.3	26.4	26.2	2016	8	9	15	37	36.46	4.6	3
131	-8.19	117.79	14.91	-112182	-23233.3	-3474.8	0	0	0	2016	8	10	0	15	59.47	4.6	1
132	-8.19	117.84	37.489	-106111	-24025.7	19104.1	0	0	0	2016	8	23	15	0	39.04	4	1
133	-8.21	118.68	7.222	-14289.1	-26109.4	-11162.9	0	0	0	2016	9	22	9	0	28.63	4.1	1

135	-7.82	118.75	17.977	-5766.3	17319.7	-407.7	0	0	0	2016	11	22	9	0	44.99	4	1
136	-7.83	117.36	7.799	-158910	16086.7	-10585.2	0	0	0	2016	12	8	21	21	23.44	4.7	1
137	-8.11	117.59	10.463	-134201	-14694.9	-7921.7	0	0	0	2017	1	10	17	10	52.92	4.7	1
138	-8.10	117.60	14.582	-132580	-14003.6	-3801.2	0	0	0	2017	1	10	17	25	19.68	3.8	1
139	-8.14	118.51	6.289	-32462.5	-18144.2	-12095.7	0	0	0	2017	2	17	17	28	18.44	4.6	1
141	-8.33	117.52	10.103	-142012	-39505.1	-8281.7	0	0	0	2017	3	21	14	33	51.23	4.2	1
142	-7.81	119.07	11.798	28718.3	18855	-6586.2	0	0	0	2017	5	15	14	26	0.58	4	1
143	-8.15	119.20	44.765	43659.6	-18715.1	26380.3	0	0	0	2017	6	7	19	41	42.36	4	1
144	-8.09	117.72	21.341	-119706	-11920.9	2956.1	0	0	0	2017	6	23	14	34	54.25	4.4	1
146	-8.30	118.15	15.998	-72205.2	-35629.5	-2386.7	0	0	0	2017	8	5	14	23	27.39	4	1
148	-7.80	117.23	12.172	-173913	19364.3	-6212.5	0	0	0	2017	8	24	0	35	31.15	4.5	1
149	-8.29	117.96	2.069	-92965.3	-34537.4	-16315.9	0	0	0	2017	8	25	0	21	56.49	4.2	1
150	-8.21	119.30	4.258	54869.3	-25647.1	-14126.6	0	0	0	2017	9	18	0	32	24.98	4.4	1
151	-8.30	115.50	7.902	-38797.9	-22333.1	-5598.1	19	22.3	26.9	2017	9	24	13	15	35.5	3	3
153	-8.24	115.56	10.368	-32741.5	-16435	-3132.2	21.5	27.7	21.6	2017	11	8	21	54	18.16	4.9	3
154	-7.80	117.35	9.854	-160614	19797.1	-8530.8	0	0	0	2017	11	13	16	26	36.7	4.6	1
155	-7.87	117.28	11.347	-168083	11638	-7037.1	0	0	0	2017	11	14	1	17	56.91	4	1
158	-7.55	121.91	18.031	342787.1	47784.3	-353.6	0	0	0	2017	8	9	21	30	17.54	4.9	1
159	-7.51	121.88	12.665	339514.8	51477.4	-5720.1	0	0	0	2017	8	10	3	40	28.06	4.2	1
161	-8.27	123.53	14.897	5860.4	-14633.6	-2378.4	0	0	0	2017	10	6	18	0	13.6	4.4	2
163	-8.25	123.51	10.379	3765.2	-12135.8	-6896.4	0	0	0	2017	10	9	18	19	41.84	4.5	2
164	-8.23	123.51	6.385	4146.8	-10726.8	-10890.4	0	0	0	2017	10	9	18	27	43.74	4.5	2
165	-8.19	123.50	12.662	2925.8	-6243.1	-4612.9	0	0	0	2017	10	9	22	23	47.78	4.8	2
166	-8.27	123.51	14.443	3303.2	-15121.4	-2831.5	0	0	0	2017	10	10	23	10	17.16	4.7	2
167	-8.21	123.46	5.275	-1622.5	-8224.5	-11999.7	0	0	0	2017	10	11	2	48	16.79	4.2	2

168	-8.05	120.30	19.477	164240.4	-8479.2	1092.8	0	0	0	2015	2	19	12	45	39.55	4	1
172	-7.79	119.99	10.986	130552.7	20836.5	-7398.1	0	0	0	2013	3	25	20	16	50.8	4.4	1
175	-8.28	120.89	18.888	229277.6	-33268.7	503.1	0	0	0	2013	12	29	4	9	47.56	4	1
176	-8.11	120.73	2.336	211675.9	-15041.3	-16049.1	0	0	0	2014	11	15	21	22	16.1	4.4	1
177	-8.13	120.66	2.218	204383.1	-17406.9	-16166.6	0	0	0	2014	12	6	3	25	40.47	4	1
180	-7.55	123.33	14.537	-16220.5	64904.1	-2737.8	0	0	0	2011	1	25	5	15	43.69	4.2	2
181	-8.11	123.58	13.086	11870.6	3565.9	-4188.8	0	0	0	2011	5	14	1	42	13.33	5.1	2
182	-7.90	120.59	13.623	196446.4	8102.8	-4761.8	0	0	0	2011	8	16	23	26	31.62	4.4	1
186	-7.96	123.69	12.37	23259.3	19579.8	-4905.1	0	0	0	2012	8	24	2	50	2.07	4.2	2
188	-8.09	120.18	5.32	151066.5	-12054.4	-13064.4	0	0	0	2010	4	16	23	4	41.32	4.8	1
189	-8.14	123.55	11.999	8317.4	-58.6	-5276.2	0	0	0	2012	10	4	6	38	44.86	4.8	2
190	-8.14	123.55	12.222	7915.1	41.5	-5053.1	0	0	0	2012	10	5	10	34	8.13	4.5	2
191	-8.14	123.65	7.374	19542.6	-139.1	-9901.3	0	0	0	2012	10	18	4	11	25.82	4.6	2
193	-8.13	123.49	8.972	1265.6	1349.2	-8302.6	0	0	0	2012	10	25	6	10	21.55	4.3	2
194	-8.10	123.56	14.063	9297.7	4234.8	-3212.4	0	0	0	2012	10	29	6	13	29.4	4.3	2
196	-8.08	123.46	13.282	-1567.9	5899.7	-3992.7	0	0	0	2012	10	29	6	34	49.91	5	2
198	-8.14	123.51	11.586	4311	-244.6	-5689	0	0	0	2012	10	29	23	40	17.7	5	2
200	-8.08	123.50	11.661	2343.6	6653.8	-5614.5	0	0	0	2012	10	29	23	57	39.24	4.6	2
202	-8.34	120.45	36.447	181524.5	-39703.1	18062.8	0	0	0	2012	12	6	4	9	7.47	4.7	1
204	-7.85	120.36	13.245	171621.4	14019.8	-5139.9	0	0	0	2009	5	28	20	35	52.98	4.7	1
206	-8.17	120.24	36.652	158191.3	-20996.3	18267	0	0	0	2009	8	30	9	48	39.08	4.1	1
208	-8.24	123.52	8.384	4682.9	-11347	-8889.6	0	0	0	2010	6	24	17	57	30.88	4.5	2
210	-8.15	120.18	11.704	151816.8	-18740.1	-6680.7	0	0	0	2010	10	10	21	39	29.52	4.3	1
211	-8.14	120.24	15.231	158422.7	-17454.5	-3154.1	0	0	0	2010	10	10	21	45	23.02	4	1
212	-8.14	120.25	11.111	159502.8	-18457.6	-7273.6	0	0	0	2010	10	11	2	7	42.69	4.8	1

215	-7.55	121.91	18.031	342787.2	47784.3	-353.6	0	0	0	2017	8	9	21	30	17.54	4.9	1
216	-7.51	121.88	12.665	339514.8	51477.5	-5720.1	0	0	0	2017	8	10	3	40	28.06	4.2	1
218	-8.27	123.53	15.006	5860	-14633.8	-2269.4	0	0	0	2017	10	6	18	0	13.6	4.4	2
220	-8.25	123.51	10.379	3765.2	-12135.8	-6896.4	0	0	0	2017	10	9	18	19	41.84	4.5	2
221	-8.23	123.51	6.385	4146.8	-10726.8	-10890.4	0	0	0	2017	10	9	18	27	43.74	4.5	2
222	-8.19	123.50	12.662	2925.8	-6243.1	-4612.9	0	0	0	2017	10	9	22	23	47.78	4.8	2
224	-8.27	123.51	14.443	3303.2	-15121.4	-2831.5	0	0	0	2017	10	10	23	10	17.16	4.7	2
225	-8.21	123.46	5.273	-1622.6	-8224.5	-12001.6	0	0	0	2017	10	11	2	48	16.79	4.2	2

LAMPIRAN V

HypoDD.sta

Sta	Lat	Long	Dist	Az	NCCP	NCCS	NCTP	NCTS	RCC	RCT	CID
BASI	-10.22	120.58	0	0	0	0	4	0	0	0	1
BKSI	-5.32	120.12	0	0	0	0	31	1	0	0	1
BNSI	-4.4	120.11	0	0	0	0	4	0	0	0	1
BSSI	-6.14	120.49	0	0	0	0	2	5	0	0	1
DBNI	-8.5	118.31	0	0	0	0	55	0	0	0	1
DNP	-8.68	115.21	0	0	0	0	1	0	0	0	1
EDFI	-8.75	121.69	0	0	0	0	2	0	0	0	1
IGBI	-8.82	115.15	0	0	0	0	2	0	0	0	1
KAPI	-5.01	119.75	0	0	0	0	36	0	0	0	1
KHK	-8.36	115.61	0	0	0	0	2	1	0	0	1
KLNI	-8.42	116.09	0	0	0	0	1	1	0	0	1
LBFI	-8.48	119.89	0	0	0	0	11	9	0	0	1
MKS	-5.22	119.47	0	0	0	0	2	0	0	0	1
MMRI	-8.64	122.24	0	0	0	0	20	1	0	0	1
MTNI	-8.64	116.17	0	0	0	0	1	0	0	0	1
PLAI	-8.83	117.78	0	0	0	0	11	66	0	0	1
SPSI	-3.96	119.77	0	0	0	0	6	0	0	0	1
SRBI	-8.08	115.21	0	0	0	0	23	0	0	0	1
WBSI	-9.64	119.39	0	0	0	0	5	0	0	0	1
WSI	-9.67	120.3	0	0	0	0	0	1	0	0	1
ALKI	-8.14	124.59	0	0	0	0	5	0	0	0	2

ATNI	-9.08	124.86	0	0	0	0	2	0	0	0	2
BASI	-10.22	120.58	0	0	0	0	3	0	0	0	2
BATI	-10.21	123.66	0	0	0	0	2	0	0	0	2
BKSI	-5.32	120.12	0	0	0	0	2	0	0	0	2
KDI	-3.96	122.62	0	0	0	0	3	0	0	0	2
MMRI	-8.64	122.24	0	0	0	0	3	2	0	0	2
SOEI	-9.76	124.27	0	0	0	0	19	0	0	0	2
ABJI	-7.8	114.23	0	0	0	0	2	0	0	0.0149	3
BYJI	-8.21	114.36	0	0	0	0	1	0	0	0.0249	3
DNP	-8.68	115.21	0	0	0	0	1	6	0	0.0014	3
GMJI	-8.27	113.44	0	0	0	0	1	0	0	0.0152	3
IGBI	-8.82	115.15	0	0	0	0	5	0	0	0.0046	3
JAGI	-8.47	114.15	0	0	0	0	1	0	0	0.011	3
KHK	-8.36	115.61	0	0	0	0	2	6	0	0.0095	3
KLNI	-8.42	116.09	0	0	0	0	6	1	0	0.0037	3
KMMI	-7.04	113.92	0	0	0	0	1	0	0	0.0002	3
KRK	-8.15	112.45	0	0	0	0	1	0	0	0.007	3
LBFI	-8.48	119.89	0	0	0	0	1	0	0	0.0233	3
PLAI	-8.83	117.78	0	0	0	0	3	0	0	0.0085	3
SRBI	-8.08	115.21	0	0	0	0	20	2	0	0.005	3
TWSI	-8.74	116.88	0	0	0	0	18	0	0	0.0062	3

LAMPIRAN VI

HypoDD.res

STA	DT	C1	C2	IDX	QUAL	RES [ms]	WT	OFFS
KLNI	-0.1	45	46	3	1	-1.10	0.964157	7278.4
DNP	1.5	45	46	4	1	1.06	0.876416	7278.4
KLNI	0.4	45	105	3	1	-1.84	0.87247	13229.7
DNP	-0.6	45	105	4	1	1.48	0.717677	13229.7
TWSI	1.9	45	53	3	1	4.65	0.667538	10652.9
DNP	2.3	45	53	4	1	0.42	0.88009	10652.9
KLNI	0	45	106	3	1	-1.28	0.88262	9904.3
SRBI	-0.4	46	47	3	1	11.49	0.027938	11088.9
TWSI	-0.7	46	47	3	1	-0.92	0.972408	11088.9
BYJI	-0.6	46	47	3	1	-24.86	0.023863	11088.9
TWSI	0.2	46	55	3	1	-0.53	0.943408	8284.5
SRBI	-0.7	46	117	3	1	2.43	0.931548	8123.3
TWSI	0.2	46	117	3	1	-0.42	0.995983	8123.3
KLNI	0.5	46	105	3	1	-0.74	0.990521	11175.1
TWSI	0.9	46	105	3	1	0.38	0.990863	11175.1
SRBI	-2.9	46	105	4	1	0.40	0.995467	11175.1
SRBI	-1.7	46	105	3	1	-0.42	0.995825	11175.1
DNP	-2.1	46	105	4	1	0.43	0.990829	11175.1
KLNI	0.1	46	106	3	1	-0.17	0.994951	5712
TWSI	-0.9	46	106	3	1	0.87	0.889772	5712
SRBI	0.5	46	53	3	1	0.80	0.995426	6145.1

DNP	0.8	46	53	4	1	-0.64	0.999302	6145.1
KHK	0	47	117	3	1	24.12	0.004187	10806.3
KHK	0	47	117	4	1	-0.76	0.893369	10806.3
SRBI	-0.3	47	117	3	1	-9.06	0.474929	10806.3
TWSI	0.9	47	117	3	1	0.50	0.992604	10806.3
KHK	-2.4	47	105	4	1	-0.87	0.811095	15711.9
TWSI	1.6	47	105	3	1	1.30	0.896222	15711.9
SRBI	-1.3	47	105	3	1	-11.91	0.025104	15711.9
KHK	0.7	47	55	4	1	2.72	0.974501	4792
KHK	0.6	47	55	3	1	-10.58	0.627853	4792
TWSI	0.9	47	55	3	1	0.39	0.998809	4792
ABJI	1.2	47	55	3	1	-4.18	0.507803	4792
SRBI	0.9	47	53	3	1	-10.69	0.147993	13963.4
TWSI	-0.2	47	106	3	1	1.79	0.602027	13096.3
SRBI	-1.2	53	117	3	1	1.63	0.983717	5027
SRBI	-2.2	53	105	3	1	-1.22	0.994296	7693.9
DNP	-2.9	53	105	4	1	1.07	0.992836	7693.9
KHK	-0.7	55	117	4	1	-3.47	0.608232	11576.4
TWSI	0	55	117	3	1	0.11	0.980042	11576.4
KHK	-3.1	55	105	4	1	-3.59	0.469601	15713.3
TWSI	0.7	55	105	3	1	0.91	0.830097	15713.3
TWSI	-1.1	55	106	3	1	1.40	0.476817	11303.6
SRBI	6.3	87	124	3	1	0.58	0.349895	66026.9
KMMI	-5.8	87	124	3	1	0.18	0.281387	66026.9
SRBI	1.9	87	153	3	1	-0.90	0.031211	88212.2

SRBI	2.5	87	151	3	1	1.17	0.00991	90471
PLAI	7	87	151	3	1	-14.36	0.004423	90471
SRBI	-0.1	87	130	3	1	1.06	0.003156	94189.3
KHK	2.4	105	117	4	1	0.12	0.997492	7891.6
TWSI	-0.7	105	117	3	1	-0.80	0.970532	7891.6
SRBI	1	105	117	3	1	2.85	0.928767	7891.6
KLNI	-0.4	105	106	3	1	0.57	0.99176	14019
TWSI	-1.8	105	106	3	1	0.48	0.961379	14019
TWSI	1.1	106	117	3	1	-1.29	0.779868	8498.1
SRBI	-3.8	124	151	3	1	0.59	0.741997	38984.6
SRBI	-4.4	124	153	3	1	-1.47	0.741229	42875.5
IGBI	-1.1	124	153	3	1	-0.01	0.730038	42875.5
SRBI	-6.4	124	130	3	1	0.49	0.527662	56307.6
DNP	-2.8	124	130	3	1	2.92	0.534917	56307.6
IGBI	-2.8	124	130	3	1	-3.34	0.552087	56307.6
TWSI	6.2	124	130	3	1	-25.45	0.020361	56307.6
KRK	-7.3	124	130	3	1	-6.98	0.225566	56307.6
SRBI	2	130	153	3	1	-1.96	0.631567	14337.3
IGBI	1.7	130	153	3	1	3.33	0.799704	14337.3
TWSI	-1.3	130	153	3	1	-4.34	0.97623	14337.3
PLAI	-1.4	130	153	3	1	2.57	0.985687	14337.3
SRBI	2.6	130	151	3	1	0.10	0.96688	22011.6
KLNI	10.1	130	106	4	1	-9.34	0.260913	41383
LBF1	4.4	130	106	3	1	-23.35	0.023571	41383
IGBI	-3.3	130	46	3	1	-4.65	0.575106	45085.2

SRBI	-12.3	130	117	4	1	-5.97	0.50707	48301.1
SRBI	-0.6	151	153	3	1	-2.06	0.48555	8806.2
JAGI	-0.7	151	153	3	1	11.02	0.184996	8806.2
GMJI	-0.6	151	153	3	1	15.24	0.027054	8806.2
PLAI	6.7	151	106	3	1	-1.78	0.422526	59212.8
IGBI	-5	153	46	3	1	-7.98	0.030331	58004
ABJI	-7.5	153	47	3	1	-20.70	0.100141	59080.9



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Nisa Hanifah
NIM : 17640003
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Analisis Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Zona Flores *Back Arc Thrust Fault* Menggunakan Metode *Double Difference*
Pembimbing I : Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si
Pembimbing II : Dr. Erna Hastuti, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	20 Mei 2021	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	24 Juni 2021	Konsultasi Revisi Bab I, II, dan III	
3	14 Juli 2021	Konsultasi Data	
4	06 Agustus 2021	Konsultasi Pengolahan Data	
5	12 Oktober 2021	Konsultasi Bab IV	
6	20 Oktober 2021	Konsultasi Revisi Bab IV	
7	27 Oktober 2021	Konsultasi Bab I, II, III, & IV dan ACC	
8	28 Oktober 2021	Konsultasi Kajian Agama	
9	28 November 2021	Konsultasi Semua Bab dan ACC	
10	17 Desember 2021	Konsultasi Revisi Kajian Agama	
11	23 Desember 2021	Konsultasi Revisi Semua Bab dan ACC	

Malang, 23 Desember 2021

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Irfan Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002