

**RELOKASI HIPOCENTER GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI KEPULAUAN
NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE DOUBLE DIFFERENCE**

SKRIPSI

Oleh:

SITTAYANI AFTA SHOBIKHAH

NIM 19640048



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PENGANTAR

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI KEPULAUAN
NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE DOUBLE DIFFERENCE**

SKRIPSI

Oleh:

Sittayani Afta Shobikhah

NIM 19640048

Diajukan kepada:

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI KEPULAUAN
NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE DOUBLE DIFFERENCE**

SKRIPSI

Oleh:
SITTAYANI AFTA SHOBIKHAH
NIM 19640048

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 6 Desember 2023**

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Dosen Pembimbing II



Arista Romadani, M.Sc
NIP. 19900905 201903 1 018

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Harham Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

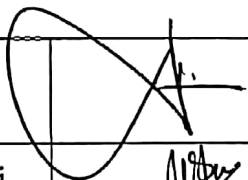

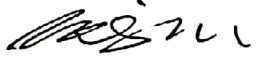
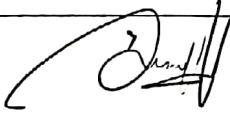
RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI KEPULAUAN
NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE DOUBLE DIFFERENCE

SKRIPSI

Oleh:
Sittayani Afta Shobikhah
NIM 19640048

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi Dan Dinyatakan Diterima
Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Pada Tanggal, 21 Desember 2023

Penguji Utama	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Arista Romadani, M.Sc</u> NIP. 19900905 201903 1 018	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Arif Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sittayani Afta Shobikhah

NIM : 19640064

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Zona Subduksi

Penelitian Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Metode Double
Difference

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsru penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat 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, 18 Desember 2023

Yang Membuat Pernyataan



Sittayani Afta Shobikhah
NIM. 19640064

MOTTO

“إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا”

“Sesungguhnya setelah kesulitan pasti ada kemudahan”

- Just Prepare, Don't Compare -

Timbangan itu Menunjukkan Angka, Bukan Nilai.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini dengan penuh rasa cinta, syukur dan terimakasih saya persembahkan untuk:

- Kedua orang tuaku tercinta Ibu Ainis dan Bapak Suyanto yang senantiasa mendoakan, memberi dukungan, kasih sayang dan perjuangan serta pengorbanannya yang begitu luar biasa demi kedua anaknya.
- Pengasuh, Ustadz dan Ustadzah, serta teman-teman santri PP. Daruzzahra Arrifa'i yang tiada hentinya membantu dan menyemangati.
- Shalsa Amrina Rosyada yang selalu ada, memberikan banyak bantuan dan menyemangati dalam suka maupun duka ketika mengerjakan skripsi ini.
- Sahabat yang tidak membiarkanku merasa sendirian. Terimakasih telah membersamai dan selalu memberi semangat serta motivasi.
- Kepada diri saya sendiri yang kuat sampai akhir, yang tidak menyerah walaupun bagaimanapun keadaannya. Terimakasih untuk tetap bertahan.
- Byun Baekhyun, Doh Kyungsoo dan EXO, terimakasih telah menghibur dengan suara indah yang kalian nyanyikan. Terimakasih untuk tetap bertahan.
- Mark Lee dan Lee Haechan, terimakasih telah lahir dan menjadi orang yang sangat luar biasa. Terimakasih telah menjadi tempat berteduh paling nyaman.
- Kim Minjeong dan Yu Jimin (Karina) yang telah menjadi *moodbooster* dan *rolemodel* selama beberapa waktu kebelakang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, tuhan pemilik segalanya yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir skripsi berjudul **“Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Zona Subduksi Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Metode Double Difference”**. Sholawat berangkaikan salam penulis panjatkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW yang kita nantikan syafaatnya kelak dihari akhir.

Proses penyusunan skripsi ini tidak akan berhasil tanpa ada nya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu dalam penelitian hingga penyusunan skripsi ini dengan baik, antara lain:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. 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 program studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si dan Arista Romadani, M.Sc selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, masukan, pengarahan dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
5. Anita Wulandari, S.Tr selaku dosen pembimbing dari BMKG Geofisika Karangates Malang yang senantiasa memberikan bantuan bimbingan, pengarahan, saran, dan motivasi dari awal hingga selesainya penelitian ini.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Teristimewa, kepada Ibu, Bapak, dan seluruh keluarga yang telah menndukung penulis dengan limpahan kasih sayang yang tak terhingga dan selalu mendoakan agar penulis senantiasa diberikan kesuksesan dan kelancaran dalam segala hal.
8. Kak Farizky Hisyam, kak Ni Luh Putri Rahayu dan kak Bunga Dahlia yang telah memberikan arahan, contoh dan pembelajaran tentang metode penelitian walaupun tidak kenal sebelumnya.
9. Dr. Nury Firdausia, M.Pd.I dan M. Nadhif Anwar, Lc, M.Pd yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan kepada penulis.
10. Teman-teman Fisika angkatan 2019.
11. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyusun skripsi ini secara langsung maaupun tidak langsung.

Semoga Allah SWT membalas semua bantuan dengan kebaikan yang berlimpah baik di dunia maupun di akhirat. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun agar tulisan ini menjadi lebih baik lagi. Penulis berharap semoga skripsi ini sedikit banyak memberi manfaat bagi pembaca dan penulis terutama dibidang Geofisika.

Malang, 1 Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	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 I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Relokasi Hiposenter Gempa Bumi	9
2.1.1 Gempa Bumi.....	9
2.1.2 Klasifikasi Gempabumi	10
2.1.3 Parameter Gempabumi	11
2.1.4 Gelombang Seismik.....	13
2.2 Zona Subduksi.....	16
2.2.1 Sistem Tektonik.....	17
2.1.2 Pergerakan Lempeng	18
2.1.3 Zona Subduksi Selatan Indonesia	20
2.1.4 Kondisi Tektonik Nusa Tenggara	22
2.3 Metode Double Difference	23
2.3.1 Algoritma Metode Double Difference	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Data Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	29
3.4.1 Seleksi Data	29

3.4.2	Konversi Data	30
3.4.3	Pengolahan Data Menggunakan Ph2dt	32
3.4.4	Relokasi Gempa Menggunakan <i>HypoDD</i>	34
3.4.5	Uji Validasi	36
3.4.6	Pemetaan Lokasi Gempa Menggunakan Software GMT	36
3.4.7	Pembuatan Diagram Menggunakan Software MATLAB	37
3.4.8	Analisis Hasil	37
3.5	Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Hasil Relokasi Gempabumi.....	39
4.1.1.	Peta Persebaran Gempabumi Sebelum dan Sesudah Relokasi	41
4.2	Peranan Metode <i>Double Difference</i> dalam Merelokasi Gempabumi.....	48
4.2.1.	Histogram Residual.....	48
4.2.2.	Analisa Sebaran Gempabumi.....	50
4.3	Integrasi Penelitian Dalam Prespektif Islam	54
BAB V KESIMPULAN.....		58
5.1.	Kesimpulan.....	58
5.2.	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN.....		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi penjalaran gelombang P	14
Gambar 2. 2 Ilustrasi Penjalaran Gelombang S	15
Gambar 2. 3 Ilustrasi Penjalaran Gelombang <i>Rayleigh</i>	15
Gambar 2. 4 Lustrasi Penjalaran Gelombang <i>Love</i>	16
Gambar 2. 5 Batas Lempeng Divergen	18
Gambar 2. 6 Batas Lempeng Konvergen	19
Gambar 2. 7 Batas Lempeng Transform	19
Gambar 2. 8 Pembagian Zona Subduksi Jawa-Nusa Tenggara	20
Gambar 2. 9 Struktur tektonik Kepulauan Nusa Tenggara	23
Gambar 2. 10 Ilustrasi Algoritma <i>Double Difference</i>	25
Gambar 3. 1 Data Katalog Gempabumi Dari BMKG.....	30
Gambar 3. 2 proses konversi data ke format baru.....	31
Gambar 3. 3 Penampilan Data Dengan Format .Pha	31
Gambar 3. 4 Penampilan Scrip Ph2dt.inp	32
Gambar 3. 5 tampilan <i>cygwin</i> hasil pengolahan ph2dt	33
Gambar 3. 6 Tampilan Scrip Hypodd.inp	34
Gambar 3. 7 Tampilan <i>Cygwin</i> Hasil Relokasi Gempa Dengan Hypodd	35
Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 4. 1 Peta Persebaran Episenter Gempabumi.....	42
Gambar 4. 2 Persebaran Hiposenter Gempa Sebelum Relokasi	43
Gambar 4. 3 Persebaran Hiposenter Gempa Setelah Direlokasi	45
Gambar 4. 4 <i>cross section</i> 50 titik gempa kedalaman 10 km.....	46
Gambar 4. 5 persebaran 50 hiposenter kedalaman 10 km	47
Gambar 4. 6 Histogram Waktu Tempuh Sebelum Relokasi	49
Gambar 4. 7 Histogram Waktu Tempuh Setelah Relokasi	50
Gambar 4. 8 Diagram Kompas.....	51
Gambar 4. 9 Diagram Rose.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Model Kecepatan IAS91 23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Data Katalog Gempabumi BMKG	66
Lampiran II Data Stasiun Pengamat Gempabumi	70
Lampiran III Keluaran HypoDD (HypoDD.loc)	72
Lampiran IV Keluaran HypoDD (HypoDD.reloc)	76
Lampiran V Keluaran HypoDD (HypoDD.res)	79
Lampiran VI Keluaran HypoDD (HypoDD.sta)	82
Lampiran VII Bukti Konsultasi Fisika	83
Lampiran IX Bukti Konsultasi BMKG	84

ABSTRAK

Shobikhah, Sittayani Afta. 2023. **Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Zona Subduksi Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Metode *Double Difference***. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si., (II) Arista Romadani, M.Sc., (III) Anita Wulandari, S.Tr

Kata Kunci: Gempabumi, Relokasi Hiposenter, metode *Double Difference*, Zona Subduksi, Kepulauan Nusa Tenggara.

Kepulauan Nusa Tenggara merupakan salah satu wilayah dengan tingkat seismisitas yang tinggi dan rawan dilanda bencana gempabumi karena diapit oleh zona subduksi dibagian Selatan, dan *back arc thrust* dibagian Utara. Zona subduksi sendiri telah banyak mengakibatkan gempabumi baik gempabumi dangkal maupun dalam. Bahkan dalam sejarah, wilayah ini pernah menyebabkan tsunami dan menewaskan sedikitnya 316 orang. Informasi mengenai hiposenter yang akurat sangat penting digunakan sebagai referensi data studi tektonik dan studi kegempaan. Karena itu, untuk menghasilkan hiposenter yang lebih akurat maka dilakukan relokasi hiposenter atau perhitungan ulang data hiposenter gempabumi menggunakan metode *Double Difference* (DD) serta untuk mengetahui peranan metode tersebut dalam merelokasi gempa. *Double Difference* merupakan salah satu metode relokasi gempabumi dengan menggunakan data *arrival time* gelombang P dan S saat terjadi gempabumi. Prinsip metode ini yaitu dengan mengasumsikan jarak dua pasangan gempa lebih kecil daripada jarak stasiun pengamatan ke setiap pasangan gempa, maka kedua pasangan gempa tersebut memiliki lintasan gelombang (*ray path*) yang sama hampir pada seluruh lintasan menuju stasiun. Sejumlah 2083 *event* gempabumi direlokasi menggunakan metode ini dengan nilai residual waktu tempuh mendekati nol dan pergeseran hiposenter gempa kebanyakan dibawah 10 km. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *Double Difference* dapat merelokasi hiposenter gempabumi dengan cukup akurat dan mendekati kenyataan di Zona Subduksi Kepulauan Nusa Tenggara tahun 2017-2022, sekaligus memperlihatkan struktur seismisitas Kepulauan Nusa Tenggara yang kebanyakan disebabkan oleh aktivitas subduksi.

ABSTRACT

Shobikhah, Sittayani Afta. 2023. **Earthquake Hypocenter Relocation in Kepulauan Nusa Tenggara Subduction Zone Using Double Difference Method.** Department of Physics Faculty of Science and Technology Islamic State University of Malik Ibrahim Malang. Advisors : (I) Irjan, M.Si., (II) Arista Romadani, M.Sc., (III) Anita Wulandari, S.Tr.

Key words: Earthquake, Hypocenter Relocation, Double Difference Method, Subduction Zone, Nusa Tenggara Island.

Nusa Tenggara Island belongs to the high level of seismicity and high potential for earthquakes region due to flanked by subduction zone in south and back arc thrust in the north. Subduction zone is known as the cause of many earthquakes either shallow or deep earthquake. History remains that this particular region has caused tsunami and killed 316 people. The accurate information of hypocenter is important as reference for tectonic data study and earthquake studies. However, in order to obtain accurate hypocenter and as well as to discover the role of (DD) method in earth relocation, relocation hypocenter or data recalculation relocation hypocenter is done by using Double Difference method (DD). Double Difference is one of earth relocation method by using wave P and S arrival time data when an earthquake occurs. The principle of this method is assuming the distance between two pairs of earthquakes is smaller than the distance of the observation station to each pair of earthquakes. Therefore, both pairs of earthquakes have the same wave path (ray path) for almost the entire path to the station. 2083 events of earthquake were relocated using this method within residual travel time values approaching zero and shifts in the earthquake hypocenter mostly below 10 km. This result indicates that Double Difference method is able to relocate the earthquake hypocenter with quite high accuracy and close to reality in subduction zone of Kepulauan Nusa Tenggara in 2017-2022. Moreover, this result also discovered the seismicity structure of Kepulauan Nusa Tenggara which mostly caused by subduction activity.

مستخلص البحث

صباحة، سيتاياتي أفتا. ٢٠٢٣. نقل مراكز الزلازل في منطقة الاندساس في جزر نوسا تينجارا باستخدام طريقة الفرق المزدوج. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانج. المشرفون: (١) ايرجان، الماجستير، (٢) اريستا رمضاني، الماجستير (٣) انيتا ولانداري، ليسانس

الكلمات المفتاحية: الزلازل، نقل مركز Hypocenter، طريقة الفرق المزدوج، منطقة الاندساس، جزر نوسا تينجارا.

جزر نوسا تينجارا هي منطقة ذات مستوى مرتفع من الزلازل وهي عرضة لحوادث الزلازل لأنها محاطة بمنطقة اندساس في الجنوب، وقوس خلفي في الشمال. وقد تسببت مناطق الاندساس نفسها في حدوث العديد من الزلازل، سواء كانت سطحية أو عميقة. في الواقع، في التاريخ، تسببت هذه المنطقة في حدوث تسونامي وقتل ما لا يقل عن ٣١٦ شخصًا. تعد المعلومات المتعلقة بالمركز العميقة الدقيقة مهمة جدًا لاستخدامها كبيانات مرجعية للدراسات التكتونية ودراسات الزلازل. لذلك، لإنتاج مراكز تحتية أكثر دقة، يتم إجراء نقل مراكز تحت الأرض أو إعادة حساب بيانات مراكز الزلازل باستخدام طريقة الفرق المزدوج (DD) ولتحديد دور هذه الطريقة في نقل الزلازل. Double Difference هي طريقة لنقل الزلازل باستخدام بيانات وقت وصول الموجات P و S عند حدوث زلزال. مبدأ هذه الطريقة هو افتراض أن المسافة بين زوجين من الزلازل أصغر من مسافة محطة الرصد إلى كل زوج من الزلازل، وبالتالي فإن زوجين من الزلازل لهما نفس مسار الموجة (مسار الشعاع) على طول الطريق تقريبًا إلى المحطة. تم نقل ٢٠٨٣ حدثًا زلزاليًا باستخدام هذه الطريقة مع القيم المتبقية لوقت السفر بالقرب من الصفر وتحول مركز الزلزال في الغالب إلى أقل من ١٠ كم. تظهر هذه النتائج أن طريقة Double Difference يمكنها نقل مراكز الزلازل بدقة تامة وقريبة من الواقع في منطقة الاندساس في جزر نوسا تينجارا في ٢٠١٧-٢٠٢٢، بينما تظهر أيضًا البنية الزلزالية لجزر نوسا تينجارا، والتي تنتج في الغالب عن الاندساس نشاط.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan dengan kerawanan bencana alam yang tinggi. Mulai dari gempa bumi tektonik, longsor, banjir, dan gempa bumi vulkanik atau letusan gunung api. Indonesia memiliki kondisi tatanan tektonik yang kompleks dan berada pada pertemuan lempeng-lempeng dunia, baik yang berukuran besar maupun kecil. Hal ini menyebabkan di Indonesia berpotensi besar mengalami gempa bumi. Aktivitas gempa bumi di Indonesia yang terbilang tinggi disebabkan karena Indonesia berada pada rangkaian *Ring of Fire* Pasifik (cincin api Pasifik). Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Dampak proses tektonik dari letak Indonesia yang dilalui beberapa lempeng menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia sering dilanda gempa yang salah satu penyebabnya adalah zona subduksi aktif yang ada di bagian barat sampai timur Indonesia dan terjadinya tumbukan lempeng-lempeng yang membentuk sesar baik di darat pulau maupun di laut Indonesia (Pustlitbang PUPR, 2017).

Pergerakan lempeng memicu timbulnya gempa bumi tektonik. Menurut Nur Hidayat, gempa bumi adalah getaran bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya (Maramis, dkk. 2020). Gempa bumi banyak disebabkan oleh tegangan yang dilakukan gelombang seismic dari sumber gempa yang kemudian menyebar. Gempa bumi merupakan pergerakan tiba-tiba batuan di dalam bumi yang karenanya menjadi salah satu bahaya geologi yang tidak dapat dihindari dan belum bisa

diprediksi secara tepat kapan waktu dan berapa kekuatannya ketika terjadi. Oleh sebab itu, gempa bumi masih menjadi bencana yang memiliki potensi besar dalam membahayakan aktivitas manusia dan dapat merusak infrastruktur yang diperuntukan untuk menunjang kehidupan manusia. Selain itu, gempa bumi yang terjadi di laut dapat menyebabkan potensi tsunami, dan juga yang lebih parahnya dapat menyebabkan korban jiwa (Kunci, 2013).

Satu dari beberapa daerah di Indonesia dengan tingkat kejadian bencana gempa bumi yang tinggi adalah Kepulauan Nusa Tenggara yang merupakan bagian dari kerangka seismotektonik Indonesia. Kondisi tektonik di wilayah Nusa Tenggara diapit oleh lempeng Indo-Australia yang bertumbukan dengan lempeng Eurasia. Sehingga dapat dikatakan wilayah Nusa Tenggara berada pada zona subduksi yang masih aktif. Kawasan lempeng tektonik aktif memicu kerentanan suatu wilayah terhadap bencana seismik. Oleh karena itu Kepulauan Nusa Tenggara menjadi salah satu pulau yang paling aktif kegempaanannya, yang disebabkan zona subduksi bagian selatan dan *back arc thrust* bagian utara. Kepulauan Nusa Tenggara ini juga merupakan dalam jalur gempa bumi Mediteranian dan berada pada zona pertemuan lempeng tektonik atau zona subduksi (Aslamia dan Supardi, 2022).

Menurut data geofisika dan kegempaan, zona subduksi yang berupa penujaman/sesar/patahan disebut sebagai *algerismic source zone* atau zona sumber gempa. Zona subduksi merupakan zona sumber gempa bumi dimana memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kejadian gempa bumi yang telah lalu dan yang akan datang. Zona subduksi di sebelah Selatan Nusa Tenggara merupakan pertemuan dua lempeng yaitu lempeng Indo-Australia yang menyusup ke bawah lempeng Eurasia. Gempa bumi yang terjadi pada zona subduksi umumnya

dipisahkan atas dua kelompok, yaitu gempa bumi *Megathrust* yang merupakan gempa bumi akibat penyusupan dangkal dan gempa bumi Benioff yang merupakan gempa bumi akibat penyusupan dalam.

Zona subduksi selatan Kepulauan Nusa Tenggara telah banyak mengakibatkan gempa bumi, baik gempa bumi dangkal maupun dalam. Dalam catatan sejarah, pada tahun 1977 wilayah Selatan Sumba terjadi gempa bumi dengan kekuatan 7,0 SR menyebabkan tsunami dan menewaskan sedikitnya 316 orang dan merusak fasilitas umum. Menurut kepala pusat gempa bumi dan tsunami BMKG, Daryono, Wilayah Nusa Tenggara memiliki potensi terkena gempa dengan skala besar hingga berpotensi tsunami karena adanya pembangkit tsunami tektonik (megathrust Sumba sesar normal pada *outer rise* dan sesar naik busur belakang flores).

Ahli geologi telah banyak melakukan penelitian tentang gempa bumi, salah satu parameter yang dapat dihitung yaitu hiposenter gempa. Penentuan hiposenter gempa dalam bidang seismologi sangat penting dilakukan secara tepat dan akurat. Penentuan hiposenter gempa bumi berguna dalam menganalisis struktur tektonik dengan detail, contohnya yaitu identifikasi sesar atau patahan maupun identifikasi pola zona subduksi (Sabonbali dkk., 2020). Namun, hasil hiposenter gempa bumi yang didapatkan selama ini masih belum maksimal demi menyebarkan informasi kejadian gempa sesegera mungkin ke masyarakat. Keadaan ini bisa menyebabkan masalah dalam kegiatan analisis gempa di masa mendatang. Karenanya, hiposenter yang didapatkan perlu di akuratkan lagi dengan merelokasi parameter hiposenter gempa bumi yang dihasilkan sebelumnya.

Didasari keadaan tersebut, diperlukan studi lanjutan mengenai penentuan hiposenter gempa bumi guna meminimalisasikan kesalahan dari pembacaan sistem

dan model kecepatan yang digunakan dalam merelokasi hiposenter gempa agar lebih akurat. Salah satu cara yang bisa dilakukan guna meminimalisir ketidakakuratan data yaitu dengan melakukan relokasi hiposenter atau perhitungan ulang data hiposenter gempabumi. Relokasi hiposenter merupakan kegiatan mengoreksi titik hiposenter gempabumi yang berupa lintang, bujur dan kedalamannya. Relokasi hiposenter yang lebih akurat dapat memberikan informasi mengenai kondisi tektonik, zona sesar maupun zona subduksi suatu daerah dengan lebih akurat pula (Suwuh, dkk., 2020)

Kegiatan relokasi hiposenter merupakan salah satu upaya dalam mencegah kerusakan yang semakin parah sekaligus mencegah adanya banyak korban akibat dari peristiwa gempabumi. Manusia terus berusaha meminimalisir akibat ini dengan berbagai cara. Ini sesuai dengan kodrat manusia dimana harus selalu menjaga, melestarikan lingkungan dan meminimalisir kerusakan di bumi. Karena Allah telah memberikan tanggung jawab kepada mereka untuk mengelolanya. Sesuai pada firman Allah (QS. Al-Ahzab [33]: 72).

إِنَّا عَرَضْنَا الْأَمَانَةَ عَلَى السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَالْجِبَالِ فَأَبَيْنَ أَنْ يَحْمِلْنَهَا وَأَشْفَقْنَ مِنْهَا وَحَمَلَهَا الْإِنْسَانُ
إِنَّهُ كَانَ ظَلُومًا جَهُولًا

Artinya:

“Sesungguhnya Kami telah mengemukakan amanat kepada langit, bumi dan gunung-gunung, Maka semuanya enggan untuk memikul amanat itu dan mereka khawatir akan mengkhianatinya, dan dipikullah amanat itu oleh manusia. Sesungguhnya manusia itu Amat zalim dan Amat bodoh,”

Amanat dalam ayat diatas berarti perintah dan keyakinan yang diberikan Allah kepada manusia. Baik gunung maupun langit tidak bersedia menerimanya. Karena manusia telah menerima mandat tersebut, setiap orang bertanggung jawab untuk menjaga kelestarian lingkungan serta mencegah, menanggulangi, dan

menghentikan kerusakan lingkungan meskipun dengan cara yang berbeda-beda (Istianah, 2015).

Metode *double-difference* merupakan hasil pengembangan metode Geiger dengan tujuan agar mendapatkan posisi hiposenter yang lebih presisi dan sesuai dengan kondisi tektoniknya. Metode ini diperkenalkan pertama kali pada tahun 2000 oleh Waldhauser dan Ellsworth menggunakan data katalog gempa dan *waveform crosscorrelation*. Metode ini menghubungkan dua *event* atau kejadian gempa yang berdekatan dan mengikat satu sama lain berdasarkan waktu gelombang tiba di stasiun perekam. Metode ini meminimalisir kesalahan pada saat perhitungan dengan cara menggunakan model kecepatan bumi yang berupa perambatan gelombang sehingga tidak memerlukan koreksi stasiun. Kelebihan dari metode ini adalah dapat merelokasikan hiposenter sehingga pola kegempaan dapat terlihat lebih jelas (Jannah, dkk., 2016)

Penelitian mengenai relokasi hiposenter gempabumi menggunakan metode *double-difference* sebelumnya pernah dilakukan oleh Aritonang dkk (2020) dengan judul Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Segmen (Toru, Angkola, Barumun) Dengan Menggunakan Metode *Double Difference (HypoDD)*, penelitian ini menghasilkan posisi hiposenter yang lebih akurat setelah dilakukannya relokasi, persebaran hiposenter sebagian besar menunjukkan gempabumi akibat aktivitas sesar dan subduksi. Gempabumi hasil aktivitas sesar diklasifikasikan sebagai gempa dangkal dan gempabumi yang disebabkan aktivitas subduksi sebagai gempa sedang/menengah. Pane dan Elsera (2020) melakukan penelitian relokasi hiposenter gempabumi swarm di wilayah Masama menggunakan metode MJHD dan *HypoDD*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari dua metode ini memiliki hasil yang

cukup baik guna merelokasi hiposenter gempabumi. Dua metode ini sama-sama menunjukkan bahwa pola gempabumi yang terjadi di wilayah Masama terkonsentrasi pada suatu kondisi tektonik tertentu yang berkaitan dengan adanya sesar Saddang yang ada di wilayah tersebut.

Tahun 2016 Dari dkk juga melakukan penelitian di daerah Sumatera Barat dengan menggunakan metode *Double Difference* yang menghasilkan persentase data terelokasi untuk gempa dangkal 79.3%, gempa menengah 45% dan gempa dalam 0%. Ini terjadi karena semakin dalam lapisannya, kecepatan gelombang P semakin tinggi dan struktur lapisannya semakin kompleks. Sedangkan untuk kedalaman gempabumi dibawah 10 km (*fix depth*) yang sebelumnya disamaratakan, menjadi memiliki variasi kedalaman yang berbeda setelah proses relokasi.

Berdasarkan hal diatas, maka peneliti bermaksud melakukan penelitian mengenai relokasi hiposenter di wilayah zona subduksi Kepulauan Nusa Tenggara dengan menggunakan metode *double-difference* sebagai salah satu upaya mitigasi bencana. Peneliti berharap dengan adanya penelitian ini, hasil yang didapatkan mampu menunjukkan relokasi hiposenter gempabumi dengan lebih akurat dan dapat digunakan untuk mempresentasikan kondisi tektonik di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas. Maka dirumuskan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil relokasi hiposenter gempabumi di Zona Subduksi Nusa Tenggara menggunakan Metode *Double Difference*?

2. Bagaimana peranan Metode *Double Difference* dalam merelokasi sebaran hiposenter gempa bumi di Zona Subduksi Nusa Tenggara?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui hasil dari relokasi hiposenter gempa bumi dengan lebih akurat di Zona Subduksi Nusa Tenggara menggunakan Metode *Double Difference*.
2. Untuk mengetahui peranan metode *Double Difference* dalam merelokasi hiposenter gempa bumi di Zona Subduksi Nusa Tenggara.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Daerah yang menjadi fokus penelitian dilakukan pada zona subduksi Selatan Kepulauan Nusa Tenggara dan sekitarnya, dengan Batasan wilayah sepanjang $116,134^{\circ} - 125,00^{\circ}$ BT dan $10,014^{\circ} - 12,287^{\circ}$ LS.
2. Data yang digunakan adalah data gempa bumi dengan rentang waktu 1 Januari 2017 hingga tahun 31 desember 2022 dengan Batasan kedalaman 0 – 70 km dan magnitudo 3,0 – 8,0 SR.
3. Relokasi yang dimaksudkan yaitu mencari posisi titik hiposenter yang sesungguhnya. Metode yang digunakan yaitu metode *double difference* dengan pengolahan menggunakan program *HypoDD*.

1.5 Manfaat

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, penelitian ini diharapkan bisa memberi manfaat antara lain yaitu menentukan posisi hiposenter gempabumi dan mempresentasikan kondisi tektonik di Zona Subduksi Selatan Kepulauan Nusa Tenggara secara lebih baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan studi kegempaan lebih lanjut didaerah penelitian serta memberikan informasi bagi masyarakat umum mengenai kegempaan dan upaya meminimalisir akibat gempabumi dengan relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Relokasi Hiposenter Gempa Bumi

Kegiatan relokasi hiposenter gempabumi merupakan upaya yang dilakukan untuk menentukan ulang ataupun untuk mengoreksi lokasi hiposenter gempabumi menggunakan metode tertentu agar didapatkan hasil lokasi yang lebih baik dan lebih akurat. Relokasi hiposenter ini dapat digunakan sebagai upaya identifikasi tatanan seismotektonik wilayah penelitian yang didasari kejadian gempabumi.

2.1.1 Gempa Bumi

Gempabumi adalah proses pelepasan energi gelombang seismik yang merupakan salah satu fenomena fisis sebagai akibat dari pergerakan lempeng bumi maupun proses vulkanik. Gempabumi menjadi peristiwa alam yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi oleh manusia. Permasalahan yang timbul pasca terjadinya gempabumi yaitu banyak menyebabkan kerusakan hingga menimbulkan korban jiwa pada daerah kejadian dan sekitarnya. Oleh karena itu gempabumi masih menjadi bencana alam yang paling ditakuti karena akibat yang ditimbulkan tidak sedikit (Maramis, dkk. 2020).

Pelepasan energi pada saat terjadi gempa disebabkan oleh gangguan pada lapisan kerak bumi yang menjalar menuju permukaan dengan bentuk gelombang. Ini yang menyebabkan efek bergetarnya dapat dirasakan sampai ke permukaan walaupun tempat terjadinya gempa ada di dalam bumi. Frekuensi gempabumi pada daerah tertentu bisa lebih tinggi dari daerah lain yang dibuktikan dengan adanya rekaman seismograf. Teori yang digunakan untuk menjelaskan tentang mekanisme terjadinya gempabumi dinyatakan oleh Seismolog Amerika bernama

Henry Fielding Reid. Teori ini dikenal dengan "*Elastic Rebound Theory*" atau teori Elastic Rebound. Menurut teori ini gempa bumi adalah gejala alam yang terjadi karena adanya pelepasan energi oleh renggangan elastis batuan disebabkan deformasi batuan pada lapisan litosfer. Deformasi batuan tersebut disebabkan tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) yang semakin lama akan menyebabkan patahan secara tiba-tiba dan getaran atau gempa bumi (Linda, Ihsan, and Palloan 2019).

2.1.2 Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi memiliki beberapa tipe berdasarkan pengelompokannya masing-masing. Tipe-tipe tersebut berdasarkan penyebab terjadinya gempa, besar magnitude, episenter, dan kedalaman/hiposenter gempa.

Berdasarkan penyebab terjadinya, gempa dibedakan menjadi tiga macam, diantaranya yaitu (Linda dkk., 2019):

- a. Gempa tektonik, merupakan gempa bumi akibat aktivitas tektonik ketika batuan mengalami keretakan hasil dari pergerakan lempeng.
- b. Gempa vulkanik, merupakan gempa akibat erupsi gunung api dan bisa juga karena dipicu oleh gempa tektonik. Gempa vulkanik berbentuk *swarm* dengan frekuensi dan Panjang gelombang yang bervariasi dengan magnitude umumnya lebih kecil dari gempa tektonik.
- c. Gempa benturan, merupakan gempa akibat meteor dari angkasa yang jatuh ke permukaan bumi sehingga terjadi ledakan. Gempa ini juga ditandai dengan gua-gua yang runtuh, tanah longsor dan sejenisnya. Umumnya berdampak kecil dan berdampak pada area yang kecil.

Berdasarkan magnitudonya, gempabumi menurut Hagiwara diklasifikasikan menjadi (Linda, dkk. 2019):

- a. Gempa sangat besar (*great earthquake*), magnitudonya >8 SR.
- b. Gempa besar (*major earthquake*), dengan magnitudo 7-8 SR.
- c. Gempa sedang (*moderate earthquake*), magnitudonya antara 5-7 SR.
- d. Gempa kecil (*small earthquake*), magnitudo 3-5 SR.
- e. Gempa mikro (*micro earthquake*), magnitudonya antara 1-3 SR

Gempabumi berdasarkan hiposenter atau kedalamannya menurut Fowler dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Setiadi, dkk. 2017):

- a. Gempa dangkal (*shallow earthquake*), kedalamannya kurang dari 70 km.
- b. Gempa sedang (*intermediate earthquake*), kedalaman hiposenternya kurang dari 300 km.
- c. Gempa dalam (*deep earthquake*), kedalamabumin hiposenternya lebih dari 300 km.

2.1.3 Parameter Gempabumi

Parameter gempa merupakan data bacaan fase hasil olahan dari rekaman sinyal ketika terjadi bencana gempabumi yang berupa gelombang dan dikumpulkan setelah dianalisis. Parameter gempa tersebut secara umum adalah waktu kejadian (*Origin Time*), hiposenter, episenter, magnitudo dan intensitas gempa (Linda dkk., 2019).

- a. *Origin time* (waktu kejadian)

Origin Time atau waktu terjadinya gempa bumi adalah waktu pertama kali ada pelepasan energi yang berbentuk gelombang saat lempeng -lempeng mengalami tumbukan atau gesekan (Jannah dkk., 2016).

b. Hiposenter

Hiposenter adalah pusat terjadinya gempa bumi yang berada di dalam bumi. Hiposenter lebih mudah diasumsikan sebagai titik pertama kali gelombang muncul, tetapi pada realitanya hiposenter tidak berada pada satu titik persis dan merupakan bidang batuan sepanjang patahan yang luasnya bergantung pada energi yang dilepaskan (Jannah dkk., 2016). Menentukan *focus depth* (kedalaman gempa bumi) tidak bisa seakurat penentuan episenter (di permukaan) karena letak fokus yang berada dibawah permukaan. Semakin dangkal titik fokus gempa bumi maka gempa bumi yang terjadi semakin merusak permukaan. Lokasi hiposenter ditunjukkan dengan kedalaman dan koordinat.

c. Episenter

Episenter adalah titik yang berada di permukaan bumi dan tegak lurus terhadap hiposenter. Letak episenter yang tegak lurus dengan hiposenter ini menyebabkan daerah sekitar episenter pada umumnya menjadi daerah yang paling banyak merasakan getaran dan berdampak saat gempa bumi terjadi. Lokasi episenter ditunjukkan dengan titik koordinat di permukaan bumi (Linda dkk., 2019).

d. Magnitudo

Magnitudo atau kekuatan gempa bumi adalah besaran yang menunjukkan kekuatan gempa bumi secara empiris dan merupakan hasil pengukuran seismograf. Satuan yang dipakai untuk magnitudo adalah Skala Richter (SR) (Jannah dkk., 2016). Macam-macam jenis magnitudo diantaranya:

1. Magnitudo lokal M_L (*local magnitude*), dikenalkan oleh Richter pada tahun 1935 untuk mengukur gempa-gempa lokal dengan menghitung jarak antara

episenter dan seismograf serta menggunakan nilai amplitude maksimal untuk menentukan kekuatan gempa.

2. Magnitude badan M_B (*body-wave magnitude*), merupakan pengembangan dari M_L secara lebih luas dan menggunakan amplitude penjalaran gelombang P.
3. Magnitude permukaan M_S (*surface-wave magnitude*), menggunakan amplitudo dari gelombang permukaan yang dalam hal ini adalah gelombang Reyleigh.
4. Magnitude momen M_W (*moment magnitude*), menggunakan momen seismik yang merupakan pengembangan dari MB dan MS karena dua magnitudo ini bergantung pada frekuensi gelombang sesimik.

e. Intensitas gempa

Intensitas gempabumi merupakan nilai kerusakan yang terjadi akibat pengaruh guncangan gempabumi terhadap manusia, bangunan dan lingkungan. Faktor yang mempengaruhi intensitas yaitu besarnya magnitudo, jarak dari pusat gempa, dan sifat batuan/kondisi geologis tempat terjadinya gempa. Skala intensitas ditentukan oleh keadaan berdasarkan pengamatan visual dan magnitudo gempa. Skala intensitas gempa secara luas dinyatakan dalam MMI (*Modified Mercally Intensity*).

2.1.4 Gelombang Seismik

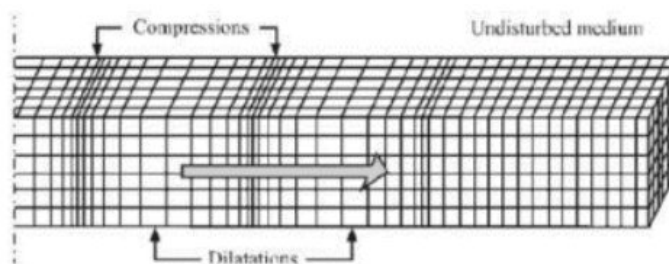
Gelombang seismik adalah gelombang elastis yang merambat didalam bumi dan menjalar keseluruh bagian bumi. Sumber energi dapat menimbulkan gelombang yang bermacam-macam dan merambat dengan cara yang berbeda. Gelombang seismik merambat sesuai dengan konsep perambatan gelombang cahaya ketika merambat didalam bumi (Bulo dkk, 2020). Berdasarkan lokasi perambatannya gelombang seismik dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang

badan (*body waves*) dan gelombang permukaan (*surface waves*). Umumnya getaran yang terjadi merupakan kombinasi keduanya terutama dengan jarak yang dekat dengan sumber getaran (Hudha dkk., 2014).

a. Gelombang Badan

Gelombang badan merupakan gelombang seismik yang merambat melewati bagian dalam bumi dan memiliki frekuensi lebih tinggi daripada gelombang permukaan. Ada dua tipe gelombang badan berdasarkan gerak partikel dan arah penjararannya, yaitu:

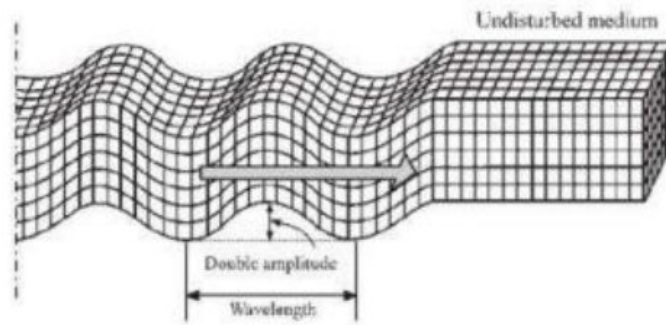
1. Gelombang P (Primer)



Gambar 2. 1 Ilustrasi penjararan gelombang P

Gelombang P biasa dikenal dengan gelombang primer atau gelombang longitudinal karena bentuk penjararannya. Gelombang ini memiliki cepat rambat gelombang paling besar dibandingkan gelombang seismik yang lainnya. Karena itu, gelombang ini merupakan gelombang yang pertama tiba dan tercatat saat terjadi gempa bumi pada seismometer. Ini yang menjadikan alasan gelombang ini diberi nama gelombang primer (P). Gelombang ini bisa merambat pada segala bentuk medium baik padat cair, maupun gas (Kiswiranti, 2019).

2. Gelombang S (Sekunder)



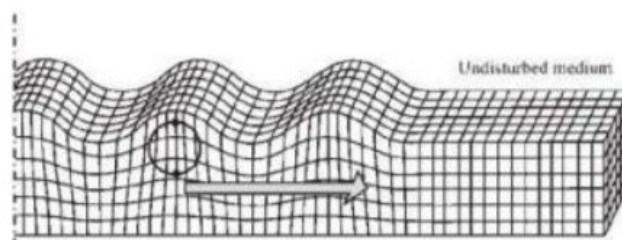
Gambar 2. 2 Ilustrasi Penjalaran Gelombang S

Gelombang S biasa dikenal dengan gelombang sekunder atau gelombang transversal dikarenakan hanya bisa merambat dalam medium padat. Gelombang S dapat direkam oleh seismogram setelah gelombang P. arah gerak partikel dari gelombang ini tegak lurus dengan arah penjalaran gelombangnya (Kiswiranti, 2019).

b. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat di permukaan bumi dan merupakan gelombang yang kompleks dengan amplitudo besar serta frekuensi yang rendah. Amplitudo gelombang permukaan lebih besar dan lebih Panjang daripada gelombang badan dengan kecepatan yang lebih lama dibanding gelombang badan (Kiswiranti 2019). Terdapat dua jenis gelombang permukaan yaitu:

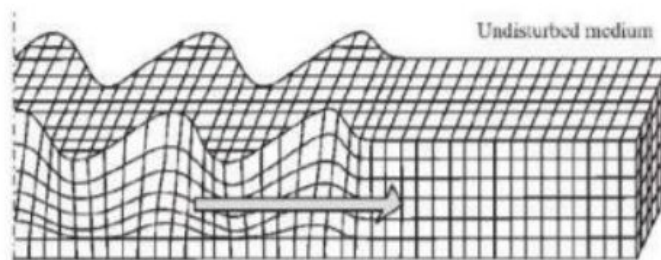
1. Gelombang Rayleigh



Gambar 2. 3 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Rayleigh

Gelombang rayleigh adalah gelombang yang terjadi karena adanya interferensi antara gelombang pantul P dan gelombang SV secara konstruktif. Gelombang ini biasa disebut “*ground roll*” karena pergerakan partikelnya dibatasi pada bidang vertikal dan menyerupai *ellipse*. Gelombang ini merambat pada permukaan yang menyebabkan semakin kedalam maka amplitudonya akan semakin berkurang. Arah gerak partikel disekitar *ellipse* disebut dengan *retrograde* karena memiliki arah yang berlawanan dengan gelombang permukaan air. Gelombang Rayleigh dapat direkam oleh seismograf baik menggunakan komponen vertical maupun horizontal. Kecepatan gelombang Rayleigh selalu lebih kecil daripada gelombang *love* dan gelombang sekunder (Kiswiranti, 2019).

2. Gelombang Love



Gambar 2. 4 Lustrasi Penjalaran Gelombang Love

Gelombang love adalah gelombang permukaan yang hampir sama dengan gelombang sekunder karena tidak bisa merambat melalui media cair dengan gerakannya kearah horizontal dan cenderung merusak. Gelombang ini merambat dengan bentuk gelombang transversal dan horizontal yang parallel dengan permukaannya namun tegak lurus dengan arah rambatnya. Gelombang love memiliki kecepatan yang lebih besar daripada gelombang rayleigh sehingga gelombang ini lebih dulu tercatat pada alat seismograf (Kiswiranti, 2019).

2.2 Zona Subduksi

Zona subduksi sampai sekarang masih menjadi daerah yang menarik perhatian para ahli ilmu-ilmu kebumihan untuk diteliti. Hal ini karena kemungkinan terjadinya

bencana alam yang begitu besar dan merusak, terutama gempa bumi, tsunami, dan aktivitas vulkanik (Harjono, dkk. 2017). Zona subduksi sangat berkaitan erat dengan sistem tektonik dan merupakan hasil dari adanya pergerakan lempeng-lempeng bumi.

2.2.1 Sistem Tektonik

Sistem tektonik berhubungan erat dengan pergerakan lempeng bumi. Sistem tektonik yaitu sistem dimana litosfer pecah menjadi lempeng yang terpisah. Lempeng-lempeng ini bergerak secara individu dan dapat bergerak dan saling bertabrakan satu sama lain (Noor, 2018). Sistem tektonik berada pada zona subduksi, zona patahan maupun sepanjang sesar.

Teori yang melandasi dinamika interior di dalam bumi disebut juga dengan teori tektonik lempeng. Istilah tektonik berasal dari Bahasa Yunani yaitu *tektonikos* yang mengacu pada bangunan atau struktur. Dalam bidang geologi, tektonik mempelajari tentang formasi dan deformasi kerak bumi. Teori tektonik lempeng muncul pertamakali dikemukakan oleh Alfred Wegener yang tertuang dalam bukunya *The Origin of Continents and Oceans* (1915), menurutnya pada dasarnya benua merupakan benda yang mengapung dan bergerak diatas massa yang relatif lembek (gagasan *continental drift*) (Linda. dkk, 2019).

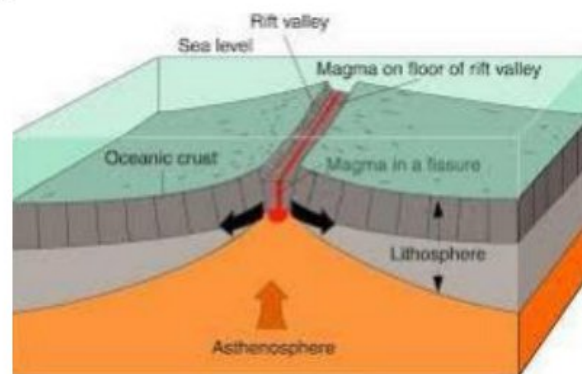
Akhir tahun 1960-an, teori tektonik lempeng mulai berkembang dengan menggabungkan gagasan sebelumnya mengenai *continental drift* dan *seafloor spreading*. Dengan didasari gabungan gagasan tersebut Wegener menyatakan bahwa semua benua yang ada pada zaman dahulu merupakan satu benua besar yang bernama Pangea. Teori ini membagi bumi menjadi dua lapisan yaitu lapisan terluar yang bersifat dingin dan kaku (*rigid*). Lapisan ini tersusun oleh lempeng

yang terus bergerak dan disebut dengan litosfer. Dibawahnya terdapat lapisan astenosfer yang panas, dapat mengalir dan dapat berubah bentuk meskipun tidak berbentuk cair. Lapisan litosfer yang berada diatas lapisan astenosfer mengakibatkan lapisan litosfer seakan-akan mengapung diatasnya sehingga pada lapisan litosfer saling bergerak merenggang dan bergesekan (Noor., 2014).

2.1.2 Pergerakan Lempeng

Pergerakan lempeng bumi pada umumnya akan relatif sepanjang batas-batas lempeng. Pergerakan tersebut yaitu gerakan saling menjauh saling mendekat dan saling berpapasan. Pergerakan lempeng menyebabkan interaksi antara batas lempeng satu dengan lainnya, Berdasarkan jenis pergerakannya, interaksi batas lempeng tersebut antara lain:

a. Batas divergen

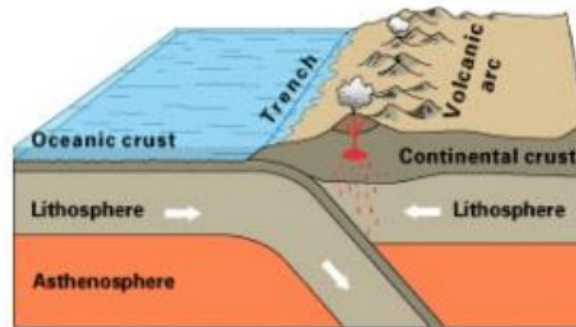


Gambar 2. 5 Batas Lempeng Divergen

Batas divergen merupakan batas dimana lempeng bumi saling menjauh akibat adanya *tensional force* (gaya tarik) yang membuat gerakan menjauh dan menyebabkan efusi magma. Proses saling menjauhnya lempeng benua menyebabkan terbentuknya permukaan bumi baru karena magma mengisi celah diantara kedua lempeng yang menjauh. Sedangkan ketika proses ini terjadi pada lempeng Samudra, maka akan terjadi pemekaran dasar samudera. Punggung

tengah Atlantik adalah contoh dari batas divergen, batas ini memisahkan benua Afrika dan Eropa dari Benua Amerika

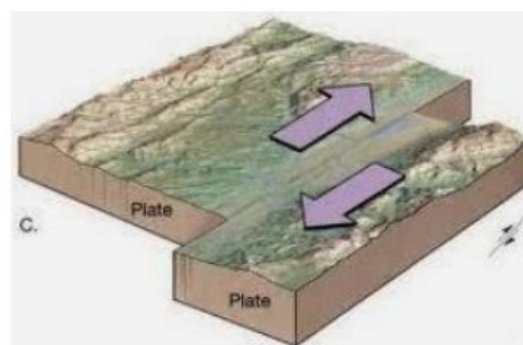
b. Batas konvergen



Gambar 2. 6 Batas Lempeng Konvergen

Batas konvergen merupakan batas dimana dua lempeng bumi saling mendekat dan saling menumpuk. Ketika lempeng samudera bertemu lempeng benua, lempeng samudera akan menujam kebawah lempeng benua yang disebut dengan zona subduksi (*Subduction Zones*) dan ketika lempeng benua bertemu dengan lempeng benua, maka akan terbentuk system rangkaian pegunungan. Peristiwa ini membuat sepanjang batas konvergen menjadi rangkaian pegunungan dan sering terjadi gempa bumi (Lutgens, 2012).

c. Batas transform



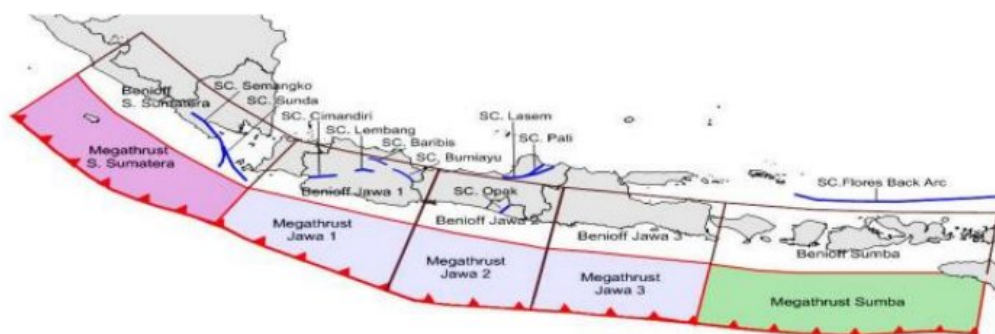
Gambar 2. 7 Batas Lempeng Transform

Batas transform merupakan batas dimana dua lempeng saling bergesekan atau bergerak sejajar dengan arah yang berlawanan. Pada batas ini tidak ada lapisan

litosfer baru maupun hancur dan dapat ditemukan baik di benua maupun samudera. Contohnya yaitu patahan San Andreas yang berada di California dan merupakan pertemuan lempeng Amerika Utara dan Lempeng Pasifik.

2.1.3 Zona Subduksi Selatan Indonesia

Zona subduksi merupakan salah satu contoh pergerakan konvergen dimana terdapat dua lempeng yang saling bertumbukan dengan salah satu lempeng menyusup ke bawah lempeng lainnya (Muhammad dkk, 2021). Penunjaman ini yang kemudian disebut sebagai zona subduksi. Ciri utama zona subduksi hasil penunjaman lempeng ini yaitu terbentuknya palung laut (Harjono, dkk. 2017). Zona subduksi sendiri dibagi menjadi dua, yaitu Zona Benioff dan Zona *megathrust*. Zona Benioff adalah zona gempa yang terletak lebih dalam dari zona *megathrust* dengan kedalaman lebih dari 50 km dan gempa di zona ini biasa disebut dengan gempa *intraplate*. Sedangkan zona *megathrust* adalah zona gempa dimana kedalamannya dibawah 50 km dan gempa di zona ini biasa disebut dengan gempa *interplate* (Erlangga, 2020).



Gambar 2. 8 Pembagian Zona Subduksi Jawa-Nusa Tenggara (Sunardi, 2013)

Zona subduksi menyebabkan banyak sumber gempa tektonik di berbagai daerah yang menyebabkan Indonesia menjadi rawan bencana gempabumi hingga tsunami. Peristiwa tsunami yang diakibatkan oleh gempa tektonik terbentang

sepanjang jalur subduksi mulai dari barat pulau Sumatera sampai laut Banda. Tsunami bisa terjadi ketika adanya gempa bumi yang terletak di laut, memiliki kedalaman dangkal kurang dari 30 km dengan kekuatan magnitudo lebih dari 6,5 SR dan ketika batuan terdislokasi secara vertikal (Rahardiawan dan Purwanto 2016). Zona subduksi memiliki 4 bentuk yang berbeda antara lain (Erlangga, 2020):

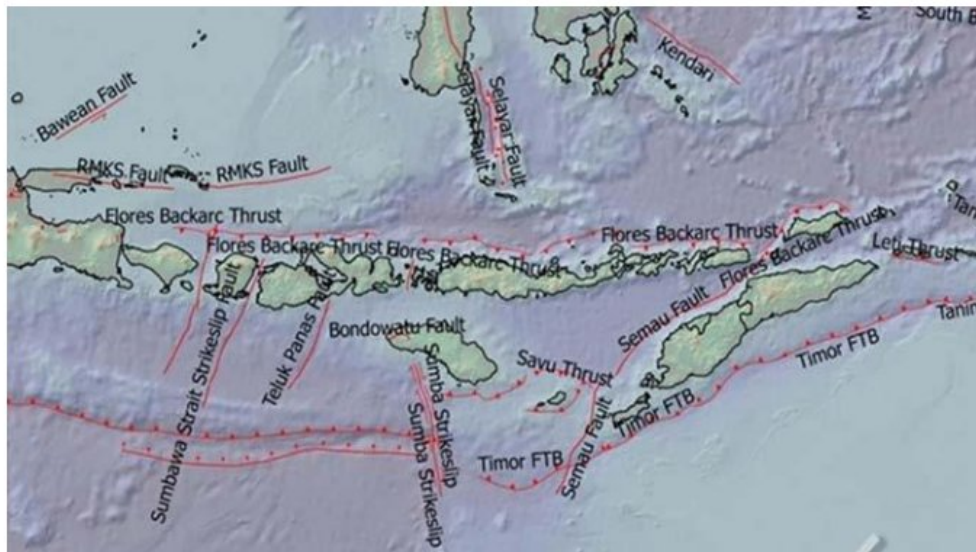
1. Zona penunjaman pendek, memiliki kedalaman sampai 180 km dan memiliki sudut 250, terbentang dari Sumatera sampai Jawa Barat.
2. Zona penunjaman diskontinu, memiliki kedalaman sampai 665 km dan memiliki sudut 520, terbentang dari Jawa Tengah sampai Flores.
3. Zona penunjaman dengan bentuk permukaan cekung, memiliki kedalaman 650 km sampai 96 km yang semakin berkurang ke arah Timur, dan terbentang mulai Alor hingga kepulauan Kai.
4. Zona penunjaman dengan bentuk permukaan cembung, memiliki kedalaman 635 km dibagian Barat dan 275 km dibagian Timur dan sudut penunjamannya 320 – 510 di Timur dan 340 – 430 di Barat, zona ini terdapat di kepulauan Maluku.

Zona subduksi di Indonesia bagian Selatan diperkirakan aktif dengan laju pergerakan sebesar 6 cm/tahun di daerah ujung pulau Sumatra sampai sekitar 7,8 cm/tahun di ujung pulau Sumba, Nusa Tenggara. Penunjaman yang arahnya hampir tegak lurus dari Pulau Jawa ke arah Timur, menyebabkan bentuk penunjaman lempeng bagian ini lebih sederhana dibandingkan dengan bagian barat, dimana arah penunjamannya miring yang bahkan hampir sejajar dengan pulau Andaman.

2.1.4 Kondisi Tektonik Nusa Tenggara

Kepulauan Nusa Tenggara merupakan wilayah yang memiliki seismisitas tektonik yang tinggi sehingga rawan terjadi bencana gempa bumi tektonik. Ini dikarenakan kepulauan nusa tenggara berada pada pertemuan dua lempeng mayor dunia, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang menyebabkan terbentuknya zona subduksi (*subduction zone*) dan ditandai dengan adanya palung laut (*oceanic trough*) serta sesar-sesar yang aktif disekitarnya (Azmiyati 2021).

Nusa tenggara sendiri terletak pada perbatasan kepulauan sunda kecil dibagian barat dan kepulauan banda dibagian timur. Dibagian selatan kepulauan nusa tenggara, terdapat *Timor trough* yang termasuk dalam jalur pegunungan Mediterania (*TansAsiatic*) dan dibagian utara terdapat sesar busur naik belakang (*back arc thrust*) (Rahardiawan dan Purwanto, 2016). Secara geologi, Kepulauan Nusa Tenggara berada pada busur banda yang terbentuk dari rangkaian gunung api muda, dan secara tektonik rangkaian tersebut merupakan akibat adanya subduksi lempeng indo-australia terhadap busur banda dibagian selatan. Kepulauan Nusa Tenggara kebanyakan dibentuk oleh zona subduksi selatan dimana lempeng Indo-Australia menyusup kebawah busur sunda-banda, yang subduksi selatan ini sendiri terbentuk dalam busur vulkanik Kepulauan Nusa Tenggara. Struktur tektonik kepulauan nusa tenggara secara teori tektonik lempeng dapat diilustrasikan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur tektonik Kepulauan Nusa Tenggara

Kepulauan Nusa Tenggara pernah mengalami kejadian gempa bumi dahsyat pada tahun 1977 silam. Gempabumi ini berada pada zona subduksi sebelah Selatan Nusa Tenggara. Zona subduksi Kepulauan Nusa Tenggara sendiri banyak menyebabkan gempa bumi baik gempa dangkal, menengah maupun dalam. Salah satu contoh akibat adanya zona subduksi Selatan Nusa Tenggara yaitu terjadinya gempa bumi besar dengan magnitude 8,3 SR di pesisir Sumba dan menyebabkan tsunami setinggi 15 meter yang menyapu bersih wilayah pesisir selatan Sumba. Kejadian ini menelan banyak korban dan mengalami kerugian yang cukup besar dengan banyak daerah yang terkena dampaknya. Selain itu, banyak gempa-gempa bermagnitudo kecil hingga sedang yang tidak menyebabkan tsunami terjadi di Kawasan ini.

2.3 Metode Double Difference

Metode *Double Difference* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk merelokasi hiposenter gempa bumi. Hiposenter suatu gempa bumi biasanya ditentukan dengan metode penentuan hiposenter tunggal yang masih mengalami kesalahan karena kecepatan yang belum dimodelkan. Terdapat beberapa metode

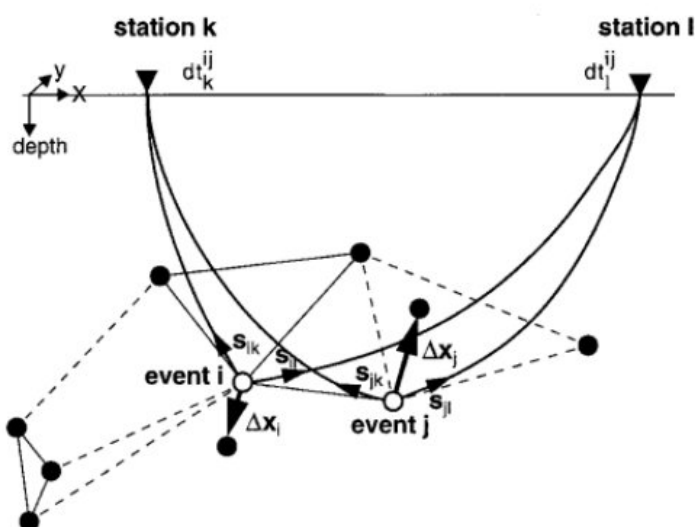
untuk menentukan hiposenter gempa bumi, mulai dari metode manual dengan menggunakan lingkaran sampai metode relative. Metode relatif banyak digunakan dalam penelitian, metode-metode tersebut diantaranya yaitu metode *Geiger*, *Modified Joint Hypocenter Determination* dan metode *Double Difference*. Penelitian ini menggunakan metode double difference sebagai metode relokasi hiposenter yang digunakan.

Metode *double difference* diperkenalkan pada tahun 2000 oleh Felix Waldhauser dan Ellworth dan implementasi nya berupa software *hypoDD* yang berguna untuk mempermudah proses relokasi hiposenter gempa. Termasuk salah satu metode relatif untuk merelokasi hiposenter gempabumi yang merupakan pengembangan dari metode Geiger (Dari dan Sabarani, 2016). Metode ini menghubungkan dua *event* kejadian gempa yang berdekatan dan mengikat satu sama lain berdasarkan waktu gelombang tiba ke stasiun perekam gempa (Jannah dkk., 2016).

Prinsip metode *Double Difference (hypoDD)* yaitu dengan mengasumsikan jarak dua pasangan gempa lebih kecil daripada jarak stasiun pengamatan ke setiap pasangan gempa, maka kedua pasangan gempa tersebut memiliki lintasan gelombang (*ray path*) yang sama hampir pada seluruh lintasan menuju stasiun. Didasari asumsi tersebut, selisih waktu tempuh pasangan gempa hasil rekaman stasiun dipakai sebagai fungsi jarak antara dua hiposenter. Sehingga dapat meminimalkan kesalahan pada model kecepatan tanpa perlu melakukan koreksi stasiun sehingga didapatkan hasil dengan akurasi yang tinggi (Dari, dkk. 2016).

Metode *Double difference* memiliki kelebihan yaitu dapat merelokasikan hiposenter gempabumi sehingga pola kegempaan suatu wilayah dapat terlihat

dengan jelas. Syarat utama metode ini yaitu jarak dua hiposenter yang direlokasi harus lebih kecil dibandingkan dengan jarak antar masing-masing hiposenter dan stasiun perekam. Metode ini juga tidak perlu menggunakan gempa bumi utama (*main event*) dan dapat untuk merelokasi gempa bumi yang memiliki jarak hiposenter besar dalam sekaligus dengan jumlah yang besar (Aritonang dkk., 2021). Ilustrasi hypoDD dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. 10 Ilustrasi Algoritma Double Difference (Dari, dkk. 2016)

Gambar 2.10 menunjukkan ilustrasi perpindahan hiposenter dalam metode *double difference*. Persebaran hiposenter yang dikaitkan dengan kejadian gempa bumi ditunjukkan dengan lingkaran hitam dan putih menggunakan data korelasi silang (garis padat) atau garis putus-putus untuk data katalog. Gambar diatas warna putih menunjukkan gempa bumi *i* dan *j*, gempa tersebut terekam pada stasiun *k* dan *l* dengan waktu tempuh yang berbeda (dt_k^{ij} dan dt_l^{ij}), pasangan gempa dianggap memiliki lintasan yang sama ditunjukkan dengan s^{ik} , s^{il} , s^{jl} , dan s^{jk} . Sedangkan vector relokasi gempa bumi *i* dan *j* ditunjukkan dengan Δx^i dan Δx^j dengan memperhatikan perlambatan yang terjadi pada pasangan gempa tersebut.

2.3.1 Algoritma Metode Double Difference

Algoritma *Double Difference* bekerja meminimalkan perbedaan waktu tempuh untuk menentukan pasangan gempa di stasiun yang sama sedemikian rupa sehingga menghasilkan hasil perpindahan yang terbebas dari kesalahan waktu tempuh terkait dengan struktur kecepatan. Tetapi masih meninggalkan kesalahan acak pada posisi semula. Untuk meminimalkan konsekuensi dari kesalahan ini, waktu kedatangan antar pasangan hiposenter yang akan direlokasi perlu dibaca dengan cermat dan hati-hati (Aritonang dkk., 2021).

Waktu tempuh residual relatif (selisih antara waktu teramati dan waktu terkalkulasi) dua hiposenter yang saling berdekatan dapat dijabarkan dengan:

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (2. 1)$$

Dimana:

i dan j : dua hiposenter yang berdekatan

dr_k^{ij} : waktu tempuh residual relatif pasangan gempa

t_k^i : waktu tempuh kejadian gempa i yang terekan stasiun k

t_k^j : waktu tempuh kejadian gempa j yang terekan stasiun k

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan bertempat di BMKG Stasiun Geofisika Kelas III Karangates Malang dan proses penelitian dimulai pada bulan Agustus 2023 yang rencananya akan selesai pada bulan Oktober 2023. Daerah yang menjadi fokus penelitian ini adalah zona subduksi Selatan Kepulauan Nusa Tenggara dan sekitarnya dengan koordinat $116,134^0 - 125,00^0$ BT dan $10,014^0 - 12,287^0$ LS.

3.2 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari katalog gempa bumi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2017 sampai dengan tahun 2022 dan data lokasi stasiun serta data model kecepatan gelombang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Perangkat keras dan Perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian untuk mengolah dan memproses data agar penelitian bisa berjalan.

Perangkat-perangkat tersebut diantaranya:

1. Perangkat keras berupa komputer (PC) atau laptop, tempat berlangsungnya program/perangkat lunak berjalan.
2. *Software* HypoDD, yang mengimplementasikan algoritma *Double Difference* dan digunakan untuk menerapkan metode *Double-Difference*. Berisi *ph2dt* yang pada penelitian ini digunakan untuk membuat pasangan

gempa dan *hypodd* yang digunakan untuk merelokasi gempa dengan menggunakan data keluaran *ph2dt*.

3. *Software* Cygwin, yang digunakan untuk menjalankan perintah kode pada program *hypodd* dan merupakan sarana menjalankan sistem Linux pada sistem Windows.
 4. *Software* Notepad ++, yang merupakan editor source code dengan bahasa windows yang digunakan untuk mengedit program *ph2dt*, *hypodd* serta untuk menampilkan hasil dari *ph2dt* dan *hypodd*.
 5. *Software Generic Mapping Tool* (GMT), yang digunakan untuk membuat peta persebaran hiposenter gempabumi sebelum dan sesudah relokasi. *Software* ini juga digunakan dalam membuat irisan melintang pada peta agar bisa mengetahui letak hiposenter gempa yang nantinya akan diketahui perbedaan persebaran gempabumi sebelum dan sesudah relokasi.
 6. *Software* Ms. Excel yang digunakan untuk melakukan uji validasi setelah melakukan relokasi gempabumi berupa nilai residual waktu tempuh yang berbentuk histogram.
 7. *Software* MATLAB yang digunakan untuk membuat diagram *rose* dan diagram Kompas.
- b. Data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya:
1. sekunder dari katalog BMKG mengenai kejadian gempabumi di zona subduksi Kepulauan Nusa Tenggara. Data ini berisi informasi gempabumi berupa parameter gempabumi (ID, *origin time*, *latitude*, *longitude*, magnitudo, kedalaman dan nilai RMS).

2. Data lokasi stasiun pencatat gempa, data ini diperoleh dari laman <http://eida.gfz-potsdam.de/webdc3/> data lokasi stasiun ini berisi nama stasiun, *latitude* dan *longitude*.
3. Data model kecepatan gelombang, pada penelitian ini digunakan model kecepatan global 1D IAS91 sebagai informasi kecepatan perlapisan untuk menghitung waktu tempuh kalkulasi pada masing-masing lapisan bumi yang dilewati gelombang gempabumi dari hiposenter menuju stasiun.

Tabel 3.1 Model Kecepatan IAS91

Kedalaman (km)	Kecepatan (km/s)
0.0	5.8000
20.0	6.5000
71.0	8.0442
120.0	8.0500
171.0	8.1917
210.0	8.3000
271.0	8.5227
371.0	8.8877
410.0	9.3600
571.0	9.9010
660.0	10.7900

3.4 Prosedur Penelitian

Proses penelitian ini diawali dengan pengolahan data katalog gempa sampai hasil akhir berupa data gempabumi hasil relokasi dan peta sebarannya. Langkah-langkah prosedur penelitian ini sebagai berikut:

3.4.1 Seleksi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data katalog gempabumi milik BMKG yang berupa informasi hiposenter gempa seperti ID gempa, *origin*

time, lokasi (koordinat lintang dan bujur), kedalaman, RMS (residual), stasiun perekam serta informasi waktu tiba gelombang P dan gelombang S. Pemilihan data didasarkan pada koordinat yang sesuai dengan pemilihan daerah penelitian, magnitudo dan kedalaman serta mode penentuan waktu tiba gelombang. Karena itu, nantinya kejadian gempabumi yang berada diluar dari persyaratan pemilihan diatas akan dihapus. Sedangkan untuk mode penentuan waktu tiba gelombang, gempa dengan mode otomatis juga dihapus untuk menghindari data ganda antara data (otomatis dan manual) dan mengurangi rasio kesalahan pada waktu kedatangan gelombang.

```

2 .....
3 Event:
4 Public ID          bmg2017bdqo
5 Preferred Origin ID Origin#20170117234938.491005.286462
6 Preferred Magnitude ID Magnitude#20170117234942.873495.286472
7 Description
8 region name: Sumbawa Region, Indonesia
9 Creation time      2017-01-17 05:44:37
10
11 Origin:
12 Public ID          Origin#20170117234938.491005.286462
13 Date              2017-01-17
14 Time              05:18:13.012 +/- 0.5 s
15 Latitude          -8.90 deg +/- 6 km
16 Longitude         118.79 deg +/- 3 km
17 Depth            10 km
18 Agency            BMKG
19 Author
20 Mode              manual
21 Status            confirmed
22 Creation time      2017-01-17 23:49:38
23 Residual RMS      0.49 s
24 Azimuthal gap     147 deg
25
26 2 Network magnitudes:
27 MLv 3.35 +/- 0.24 6 preferred BMKG
28 M 3.35 6 BMKG
29
30 8 Phase arrivals:
31 sta net dist azi phase time res wt sta
32 PLAI IA 1.01 274 P 05:18:31.700 -0.5 M 1.0 PLAI
33 PLAI IA 1.01 274 S 05:18:45.782 -0.5 M 1.0 PLAI
34 twwr ra 1.89 275 p 05:18:46.473 1.1 M 1.0 twwr

```

Gambar 3. 1 Data Katalog Gempabumi Dari BMKG

3.4.2 Konversi Data

Katalog BMKG masih berupa format data text document (.txt) yang masih harus diubah menjadi format *phase file* (.pha) agar bisa digunakan sebagai input untuk *ph2dt*. Pengubahan format data ini dilakukan menggunakan Bahasa *python* dalam *software seiscomp2hypodd* milik BMKG. Dalam proses ini data

hanya perlu diinput dengan menekan “enter” dan akan otomatis tersimpan menjadi format baru (.pha).

```

D:\afta\Bundle Simulps12\Menyiapkan Data\seiscomp2hypodd.exe
Seiscomp2hypodd is a arrival data converter
from Seiscomp3 format to *.pha HypoDD

This program was created by : Yusuf Hadi Perdana, S.Tr
if you have any questions, comments or suggestions,
please tell me at : yusuf.perdana@bmgk.go.id

Center of Research and Development BMKG
2018

Press Enter to continue...

```

Gambar 3. 2 proses konversi data ke format baru

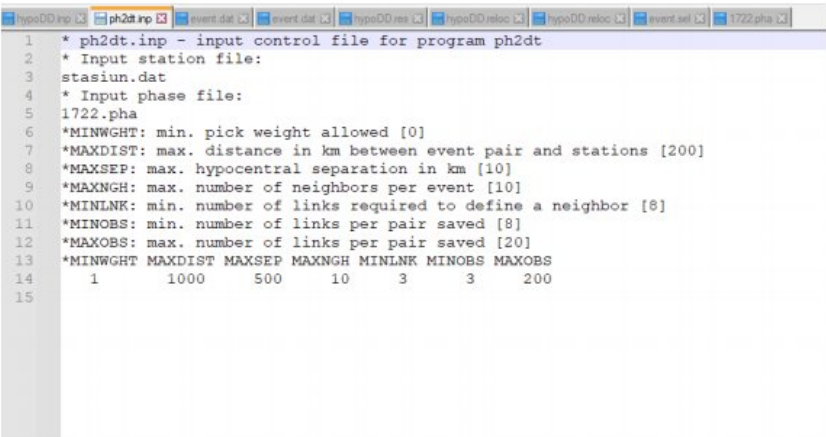
Penulisan pada format *phase file* ini secara urut yaitu baris pertama berisi tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik, *latitude*, *longitude*, kedalaman, magnitudo, error horizontal, error kedalaman, RMS dan ID gempa. Baris kedua yaitu stasiun perekam gempa, waktu tempuh gempa ke stasiun, pembobotan, dan fase gelombang. Nilai pembobotan gempa 1 berarti terbaik dan 0 berarti buruk.

1	#	2017	01	17	05	18	13.0	-08.90	118.79	10.0	3.4	0.0	0.0	0.490	1	
2		FLAI												19.70	1.000	P
3		FLAI												32.78	1.000	S
4		TWSE												33.47	1.000	P
5		TWSE												57.25	1.000	S
6		BASI												36.46	1.000	P
7		KLNI												43.57	1.000	P
8		BESI												50.33	1.000	P
9		BESI												58.76	1.000	P
10	#	2017	01	14	12	10	01.9	-09.24	117.82	10.0	3.5	0.0	0.0	0.830	2	
11		FLAI												9.44	1.000	P
12		FLAI												15.17	1.000	S
13		TWSE												20.01	1.000	P
14		TWSE												33.73	1.000	S
15		WBSI												26.76	1.000	P
16		WBSI												49.94	1.000	S
17		KLNI												33.62	1.000	P
18		DNP												43.31	1.000	P
19		SBSI												44.25	1.000	P
20	#	2017	01	12	22	18	33.7	-09.95	123.99	56.0	3.2	0.0	0.0	0.400	3	
21		SOEI												11.99	1.000	P
22		SOEI												19.86	1.000	S
23		BATI												12.41	1.000	P
24		BATI												21.76	1.000	S
25		ATNI												21.05	1.000	P
26		ALKI												29.28	1.000	P
27		ALKI												53.70	1.000	S
28		LRTI												30.85	1.000	P
29		LRTI												53.89	1.000	S
30		MURI												33.20	1.000	P
31		MURI												60.53	1.000	S
32		WBSI												66.29	1.000	D

Gambar 3. 3 Penampilan Data Dengan Format .Pha

3.4.3 Pengolahan Data Menggunakan Ph2dt

Pengolahan data menggunakan *ph2dt* ini bertujuan untuk menghasilkan pasangan gempa bumi yang saling berkaitan dan menghitung waktu tempuh gempa bumi sampai ke stasiun yang didasari oleh parameter inputan. Inputan *ph2dt* yaitu data fase gempa bumi yang telah di ubah formatnya dan data lokasi stasiun yang dimasukkan kedalam script *ph2dt.inp* (parameter pengontrol program ketika dijalankan pada *cygwin*). Data lokasi stasiun merupakan data yang berisi informasi nama, lintang dan bujur dari stasiun perekam gempa yang berformat *.dat*. Pada inputan *ph2dt.inp* parameternya antara lain MINWGHT (minimum pembobotan dengan rentang 0-1), MAXDIST (jarak maksimal pasangan gempa dan stasiun), MAXSEP (jarak maksimum pasangan gempa), MAXNGH (jumlah maksimum tetangga per gempa), MINLINK (jumlah minimum *link*/hubungan yang dibutuhkan untuk membuat tetangga), MINOBS (jumlah minimum *link*/hubungan yang disimpan), MAXOBS (jumlah maksimum *link*/hubungan yang disimpan).



```

1 * ph2dt.inp - input control file for program ph2dt
2 * Input station file:
3 stasiun.dat
4 * Input phase file:
5 1722.pha
6 *MINWGHT: min. pick weight allowed [0]
7 *MAXDIST: max. distance in km between event pair and stations [200]
8 *MAXSEP: max. hypocentral separation in km [10]
9 *MAXNGH: max. number of neighbors per event [10]
10 *MINLKN: min. number of links required to define a neighbor [8]
11 *MINOBS: min. number of links per pair saved [8]
12 *MAXOBS: max. number of links per pair saved [20]
13 *MINWGHT MAXDIST MAXSEP MAXNGH MINLKN MINOBS MAXOBS
14 1 1000 500 10 3 3 200
15

```

Gambar 3. 4 Penampilan Scrip Ph2dt.inp

Tahapan ini menghasilkan beberapa informasi mulai dari jumlah stasiun perekam, banyak event gempa sampai jarak maksimum hubungan gempa. Namun

yang perlu sangat diperhatikan dari hasil running adalah *outliners* (jumlah pasangan gempa yang dianggap lemah) yang dan *weakly linked events* (event gempa yang dianggap lemah). Semakin kecil nilai presentase *outliners* nya, maka data yang dimiliki semakin baik. Sama halnya dengan semakin kecil presentase *weakly linked events* nya, semakin kecil pula errornya. Karena itu, jika nilainya masih besar maka perlu mengubah nilai MAXSEPT dan MAXDIST pada file *ph2dt.inp*.

```

/cygdrive/d/afta/src/ph2dt
User@WINDOWS-F84U57T ~
$ cd d:/afta/src/ph2dt
User@WINDOWS-F84U57T /cygdrive/d/afta/src/ph2dt
$ ./ph2dt ph2dt.inp
3 [main] ph2dt: 7964 Find_fast_cwd: WARNING: Couldn't compute FAST_Cwd poin
ter. Please report this problem to
the public mailing list cygwinn@cygwinn.com
starting ph2dt (v1.1 - 10/2004)...
reading data ...
> stations = 267
> events total = 2223
> events selected = 2223
> phases = 54336
forming dtimes...
> P-phase pairs total = 122576
> S-phase pairs total = 19621
> outliers = 3727 ( 2%)
> phases at stations not in station list = 35661
> phases at distances larger than MAXDIST = 840
> P-phase pairs selected = 79108 ( 64%)
> S-phase pairs selected = 15278 ( 77%)
> weakly linked events = 3 ( 0%)
> linked event pairs = 14347
> average links per pair = 6
> average offset (km) betw. linked events = 18.8504791
> average offset (km) betw. strongly linked events = 18.8504791
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 179.40715
Done.
Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minight,maxdist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
1. 1000. 500. 10 3 200
User@WINDOWS-F84U57T /cygdrive/d/afta/src/ph2dt
$

```

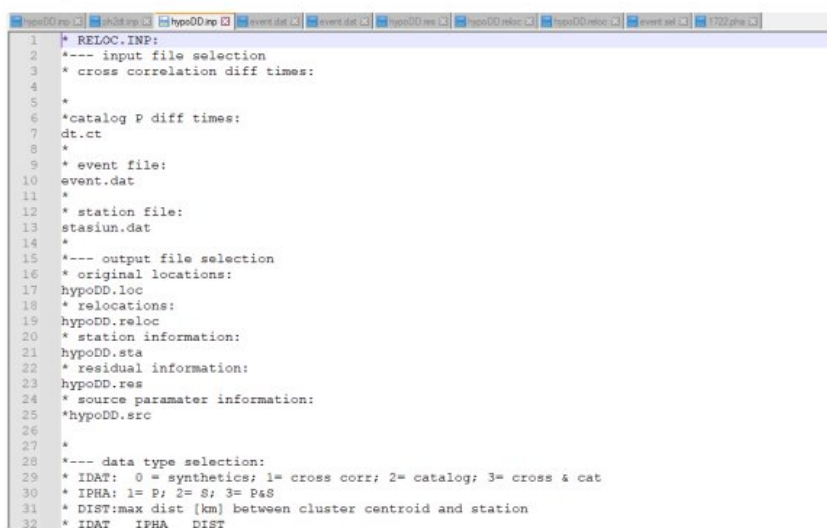
Gambar 3. 5 tampilan cygwin hasil pengolahan ph2dt

Proses pemasangan gempa pada *ph2dt* ini menghasilkan beberapa keluaran, *dt.ct* yang berisi waktu tempuh pasangan gempa beserta stasiun perekam yang sama. *event.dat* dan *event.sel* yang berisi output informasi parameter gempa serta *ph2dt.log* yaitu laporan mengenai proses pengolahan pada *ph2dt*. Pada proses ini juga beberapa fase dan stasiun yang tidak masuk kriteria akan dihilangkan, tergantung pada parameter yang digunakan saat pemasangan gempa. Dianggap tidak memenuhi parameter ketika fase gelombang tidak bisa

berpasangan dan stasiun perekam tidak merekam adanya gempa, karena itu fase dan stasiun tersebut dihilangkan yang menyebabkan jumlahnya berubah.

3.4.4 Relokasi Gempa Menggunakan *HypoDD*

Relokasi gempabumi pada penelitian ini menggunakan program *hypoDD* dengan algoritma *double-difference*. Proses ini akan melakukan penghitungan waktu tempuh untuk setiap lapisan kecepatan yang termasuk dalam model kecepatan yang digunakan. Program ini pada dasarnya adalah program inversi yang akan terus melakukan iterasi sampai mendekati kesetabilan sesuai dengan yang diinginkan. Masukan program ini yaitu hasil dari pengolahan *ph2dt* berupa *dt.ct*, *event.dat*, dan *stasiun.dat* serta model kecepatan IASP91. Proses ini hampir sama dengan proses pada *ph2dt* dimana memerlukan file pengontrol berupa *hypoDD.inp*.



```

1  * RELOC.INP:
2  *--- input file selection
3  * cross correlation diff times:
4
5  *
6  *catalog P diff times:
7  dt.ct
8  *
9  * event file:
10 event.dat
11 *
12 * station file:
13 stasiun.dat
14 *
15 *--- output file selection
16 * original locations:
17 hypoDD.loc
18 * relocations:
19 hypoDD.reloc
20 * station information:
21 hypoDD.sta
22 * residual information:
23 hypoDD.res
24 * source parameter information:
25 *hypoDD.src
26
27 *
28 *--- data type selection:
29 * IDAT:  0 = synthetics; 1= cross corr; 2= catalog; 3= cross & cat
30 * IPHA: 1= P; 2= S; 3= P&S
31 * DIST:max dist [km] between cluster centroid and station
32 * IDAT  IPHA  DIST

```

Gambar 3. 6 Tampilan Scrip Hypodd.inp

Parameter pengontrol pada file tersebut berisi IDAT (tipe data gempa; 1 = korelasi silang, 2 = data katalog, 3 = data katalog dan korelasi silang), IPHA (Fase gempa; 1=gelombang P, 2 = gelombang S, dan 3 = gelombang P dan S), DIST (jarak maksimum *centroid event* dan stasiun), OBSCC & OBSCT (jumlah minimum *link* setiap *event* dari data gempa untuk membentuk klaster), ISTART (lokasi awal), ISOLV (solusi terkecil kuadrat; 1 = dekomposisi nilai

tunggal/SDV, 2 = gradien konjugasi/LSQR), NSET (jumlah set iterasi yang dilakukan), WTCCP WTCCS (bobot korelasi silang gelombang P, gelombang S, -9 = data tidak digunakan), WTCTP, WTCTS (bobot katalog gelombang P, gelombang S; -9 = data tidak digunakan), WDCC, WDCT (jarak pemisahan maksimum data korelasi silang maupun katalog; -9 = tidak teraktivasi), DAMP (damping atau peredaman, hanya untuk ISOLV=2), model kecepatan setiap lapisan (NLAY = 12, RATIO = 1.73, TOP, dan VEL), CID (nomor indeks klaster yang direlokasi; keseluruhan bernilai 0), dan ID (ID *event* yang direlokasi). Pada program *HypoDD.inp* tersebut terdapat tiga parameter yang perlu diperhatikan, nilai DIST harus sama dengan nilai MAXDIST pada program *ph2dt.inp*. Nilai OBSCT harus sama dengan nilai MINLINK pada program *ph2dt.inp*. Nilai WDCT harus sama dengan nilai MAXSEPT pada program *ph2dt.inp*.

```

Cygwin/cygdrive/d/fta/sc/hypodd
events: event.dat
stations: stasium.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sra
Source parameters:
Relocate cluster number 1
Relocate all events
Reading data ... Thu Nov 2 16:51:48 2023
# events = 2223
# stations = readlist = 55
# catalog P dtimes = 78293
# catalog S dtimes = 15276
# dtimes total = 93569
# events after dtisee match = 2220
# stations = 49
Clustering ...
Clustered events: 2220
Isolated events: 0
# clusters: 1
Cluster 1: 2220 events
20 9 95 75 210 -2.8 525 159 237 314 24 978 0 68
21 95 72 190 -9.4 525 135 202 290 21 979 7 65
22 10 95 71 181 -1.4 449 137 202 245 20 1017 0 65
23 95 69 165 -10.1 449 118 176 218 18 1037 3 63
24 11 95 68 159 -1.7 386 120 177 217 18 1062 0 62
25 95 65 142 -11.0 386 103 152 224 16 1062 1 62
26 12 95 64 136 -4.1 348 106 152 190 15 1077 0 62
27 95 61 118 -12.7 348 99 153 190 15 1077 3 68
28 13 95 60 112 -4.8 272 100 153 188 15 1098 0 67
29 95 57 96 -14.6 272 86 133 153 13 1098 4 65
30 94 55 90 -8.2 272 87 132 152 13 1098 1 64
31 16 94 55 88 -2.8 272 87 131 152 13 1129 0 64
32 94 51 71 -17.1 272 72 109 155 11 1129 2 62
33 15 94 50 67 -7.4 203 72 107 158 10 1175 0 61
34 16 94 46 53 -21.1 214 88 85 109 8 1139 0 58
35 94 42 39 -26.7 214 47 66 114 6 1139 2 56
36 17 94 40 34 -11.6 150 46 63 77 6 1136 0 55
37 16 94 37 24 -30.3 77 35 45 57 4 1139 0 53
38 19 94 32 14 -38.9 41 36 34 41 3 1141 0 55
39 94 28 7 -48.8 41 16 20 24 2 1141 1 52
40 20 94 26 6 -20.7 26 15 18 22 2 1147 0 51
41 21 94 22 2 -57.4 9 7 8 11 1 1147 0 46
42 22 94 19 1 -68.1 3 3 3 4 0 1147 0 43
43 23 94 15 0 -75.4 1 1 1 1 0 1147 0 46
44 24 94 11 0 -78.4 0 0 0 0 0 1134 0 41
writing out results ...

```

Gambar 3.7 Tampilan Cygwin Hasil Relokasi Gempa Dengan Hypodd

Berdasarkan informasi hasil relokasi tersebut, nilai CND (*Condition Number*) perlu diperhatikan, nilai ini harus berada pada rentang antara 40 – 80. Jika nilai yang dihasilkan masih belum sesuai, maka perlu dilakukan

penyesuaian pada parameter-parameter yang digunakan baik pada *file HypoDD.inp* maupun pada *file ph2dt.inp*. Apabila nilai CND tinggi, maka nilai DAMP pada *file HypoDD.inp* diperbesar nilainya, begitu pula sebaliknya.

Output dari pemrosesan ini berupa informasi parameter gempa sebelum relokasi (*hypoDD.loc*), informasi parameter gempa setelah relokasi (*hypoDD.reloc*), residual waktu tempuh gelombang hasil pengolahan pada iterasi terakhir (*hypoDD.res*) dan laporan dari proses pengolahan dengan program *HypoDD* (*hypoDD.log*).

3.4.5 Uji Validasi

Uji validasi bertujuan untuk mengetahui keakuratan hasil relokasi hiposenter gempabumi. Proses ini dengan membuat histogram yang berisi informasi distribusi nilai residual waktu tempuh gempabumi sebelum dan sesudah direlokasi. Pembuatan histogram dapat dilakukan dengan *Ms. Excel 2016* dengan masukan data nilai residual waktu tempuh yang terdapat dalam *file hypoDD.res*. Histogram residual ini menunjukkan perbedaan antara waktu tempuh gelombang P observasi dan kalkulasi dengan satuan milli detik. Karena itu, apabila persebaran nilai residual waktu tempuh mendekati 0 ($t_{obs} \approx t_{cal}$), maka akurasi data tersebut semakin baik.

3.4.6 Pemetaan Lokasi Gempa Menggunakan Software GMT

Proses ini dilakukan untuk mengetahui persebaran gempa sebelum dan sesudah relokasi menggunakan *software GMT (Generic Mapping Tools)*. Tujuan dari membuat pemetaan ini adalah untuk mengetahui pergeseran titik episenter dengan jelas sebelum dan sesudah di relokasi. Sekaligus juga melakukan

pemotongan (*slice*) agar bisa melihat pergeseran kedalaman hiposenter gempa bumi sebelum dan sesudah dilakukannya relokasi.

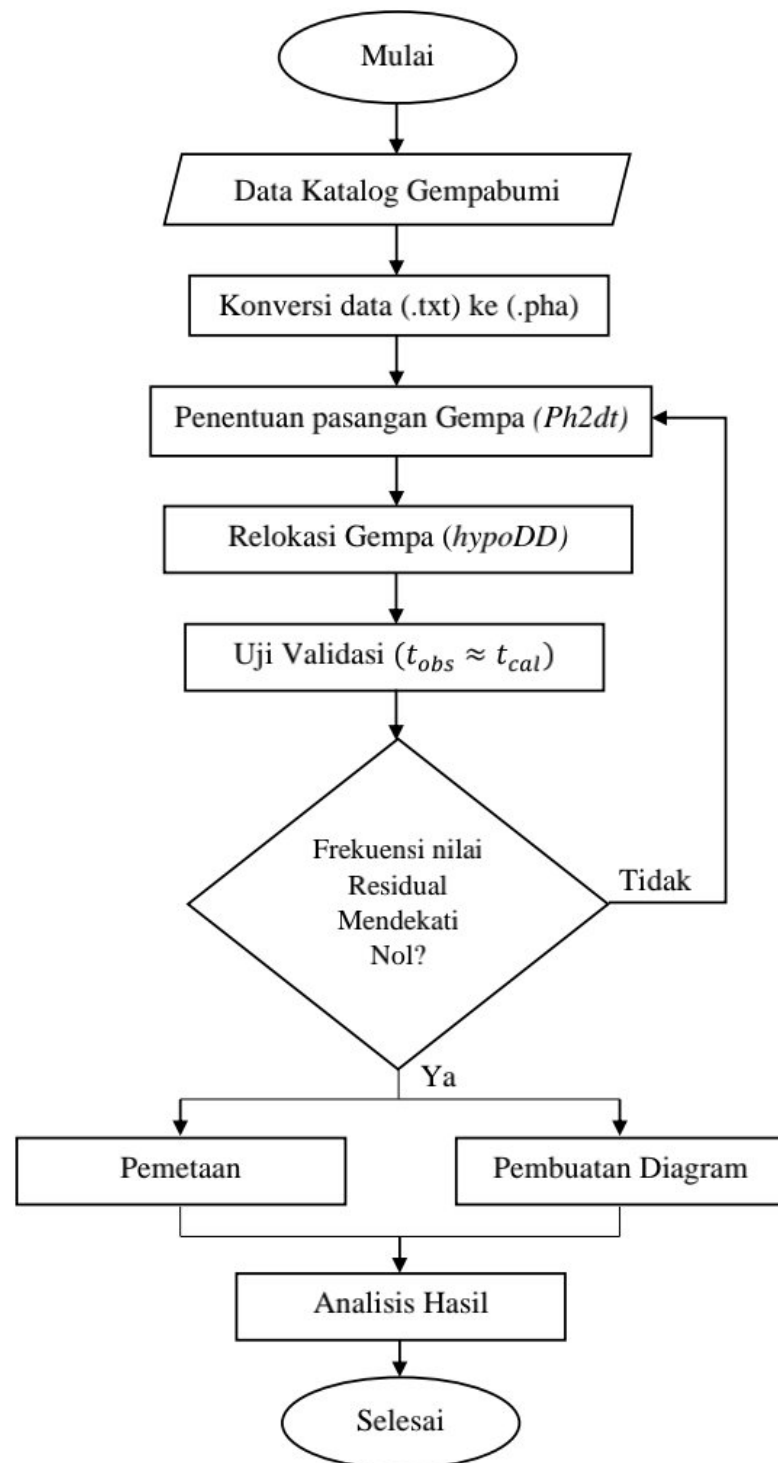
3.4.7 Pembuatan Diagram Menggunakan Software MATLAB

Pembuatan diagram pada proses ini dilakukan pada software MATLAB dengan hasil berupa diagram kompas dan diagram *rose*. Diagram kompas dibuat untuk mengetahui arah dan jarak pergeseran hiposenter gempa setelah dilakukan relokasi sedangkan diagram *rose* digunakan untuk mengetahui interval sudut pergeseran hiposenter gempa. Input yang digunakan untuk proses ini berupa informasi lintang dan bujur gempa sebelum dan sesudah relokasi.

3.4.8 Analisis Hasil

Analisis hasil bertujuan untuk menganalisis persebaran hiposenter gempa bumi setelah selesainya semua proses sebelumnya dan telah didapatkan hasil pengolahan data hiposenter yang terelokasi. Analisa pada proses ini dilakukan baik perubahan hiposenter secara horizontal (pergeseran episenter gempa), maupun secara vertikal (kedalaman hiposenter) serta perbedaan jumlah kejadian gempa bumi sebelum dan setelah di relokasi.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Relokasi Gempabumi

Data masukan ditambahkan ke program *HypoDD* untuk mendapatkan posisi hiposenter yang lebih akurat, dan kriteria parameter dibuat agar bisa mendapatkan hasil yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan data *arrival time* gempabumi dari katalog BMKG di daerah zona subduksi nusa tenggara mulai 1 Januari 2017 sampai 31 Desember 2022. Data gempabumi sebelum direlokasi terdiri atas 2223 *events* dengan 44 stasiun pengamat gempa. Posisi koordinat data kempabumi ini pada $116,134^0 - 125,00^0$ BT dan $10,014^0 - 12,287^0$ LS dengan magnitudo mulai 3 sampai 6 SR dan kedalaman 0 sampai 70 km.

Data event gempa tersebut sebelum direlokasi harus melalui proses perubahan format yang mulanya .txt menjadi .pha agar bisa diproses pada pengolahan selanjutnya. Proses relokasi sendiri memiliki dua tahapan, dimana tahapan yang pertama menggunakan program *ph2dt* untuk membentuk pasangan gempa dan kedua pada program *HypoDD* untuk merelokasi gempa. *Ph2dt* bekerja dengan mengevaluasi data phase gelombang untuk menurunkan perbedaan waktu tempuh gelombang terhadap pasangan gempa yang dilakukan dengan mengelompokkan *event* gempa yang berhubungan berdasar pada parameter yang telah ditetapkan. Parameter yang dimaksud yaitu MINWGHT (nilai minimum pembobotan antara 0-1) dengan nilai 1, MAXDIST (jarak maksimum pasangan gempa terhadap stasiun) sebesar 1000 km, MAXSEPT (jarak maksimum dua hiposenter pasangan gempa) sebesar 500 km, MAXNGH (jumlah tetangga maksimum per *event*) sebesar 10, MINLNK (hubungan paling sedikit untuk

tetangga yang dipasangkan) sebesar 3, MINOBS (hubungan paling sedikit setiap pasangan) sebesar 3, dan MAXOBS (nilai maksimal hubungan setiap pasangan) sebesar 100. Tahap ini menampilkan *outliers* (data yang menyimpang) dan *weakly linked events* (pasangan yang dianggap lemah) yang keduanya harus bernilai kecil agar data yang dihasilkan semakin baik.

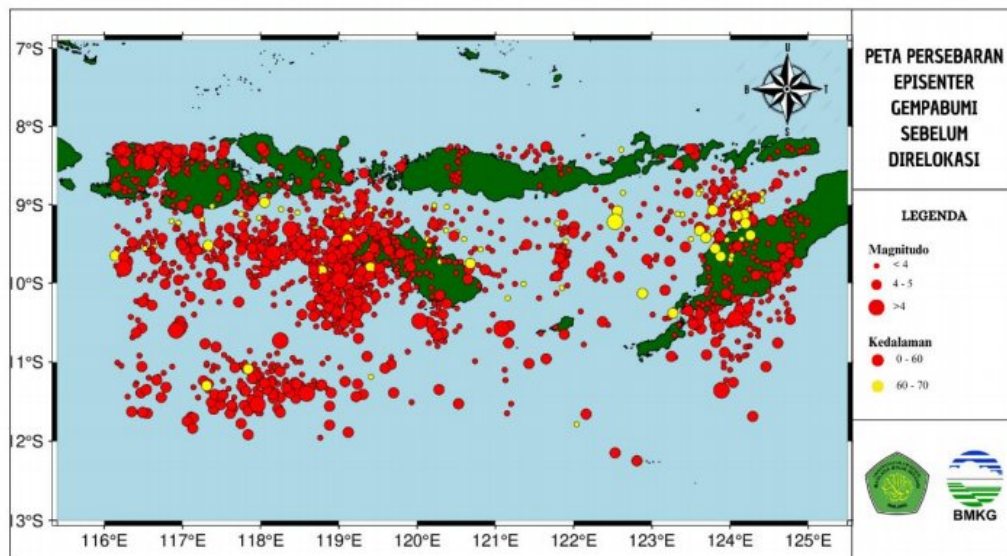
Langkah selanjutnya dilakukan pada program *HypoDD* dengan menggunakan data hasil dari *ph2dt*. *HypoDD* bekerja merelokasi gempa dengan membedakan nilai waktu tempuh gelombang hasil pengoahan sebelumnya. Program ini terus melakukan iterasi dan pada setiap iterasi turunan parsial, lokasi serta pembobotan data diperbarui berdasarkan nilai kesalahan saat inversi. Ini dilakukan untuk meminimalisir nilai residual antara selisih waktu tempuh gelombang hasil observasi dengan hasil kalkulasi. Proses pengolahan ini menghasilkan 1 cluster dengan 2083 *events* gempa. Jumlah *event* gempa berkurang karena pada saat pengolahan data terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi oleh masing-masing *event* gempa pada program *HypoDD*. Parameter ini harus sama dengan parameter yang diterapkan pada program *ph2dt*. Hasil running dari program ini menampilkan nilai *CND* (*Condition Number*) dimana menurut buku panduan *HypoDD* oleh Wadhauser pada tahun 2000, nilai ini harus berada pada rentang 40-80 agar data yang dihasilkan bisa stabil.

Jumlah data event gempabumi mulanya 2223 *events* yang ketika dilakukan pengolahan menggunakan *ph2dt* menjadi 2220 *events* karena *ph2dt* menghilangkan *outlier*. Dan setelah dilakukannya relokasi jumlah gempabumi menjadi 2083 *events* dikarenakan *HypoDD* menghilangkan hiposenter gempabumi yang menjadi berada diatas permukaan (*airquakes*) pada setiap iterasi. Dimana ketika pasangan

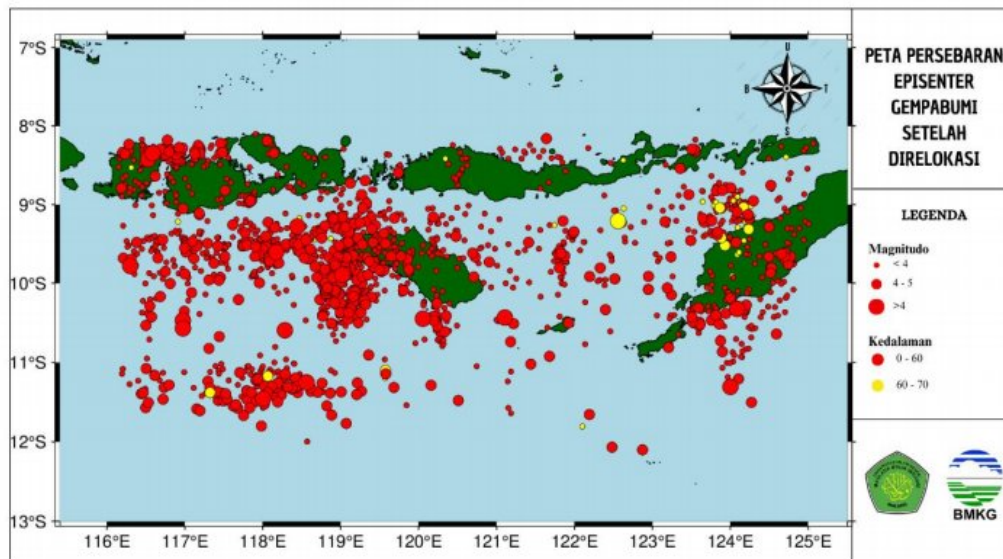
gempabumi ada di dekat permukaan, mereka memiliki kontrol *offset* vertikal gempa yang buruk karena itu hasil relokasi gempabumi menggunakan metode double difference kerap lebih sedikit jumlahnya daripada sebelum direlokasi.

4.1.1. Peta Persebaran Gempabumi Sebelum dan Sesudah Relokasi

Data gempabumi hasil relokasi dan sebelum relokasi dapat dilihat pada keluaran program HypoDD berupa *latitude*, *longitude* dan kedalaman yang selanjutnya akan dipetakan menggunakan *Generic Mapping Tools* (GMT). Hasil pemetaan episenter gempabumi sebelum dan sesudah relokasi seperti pada gambar 4.1. Dari gambar tersebut jika dilihat sekilas mungkin terlihat sama, namun jika diperhatikan dengan lebih seksama gambar tersebut menunjukkan bahwa persebaran episenter gempabumi berubah setelah adanya relokasi.



a.



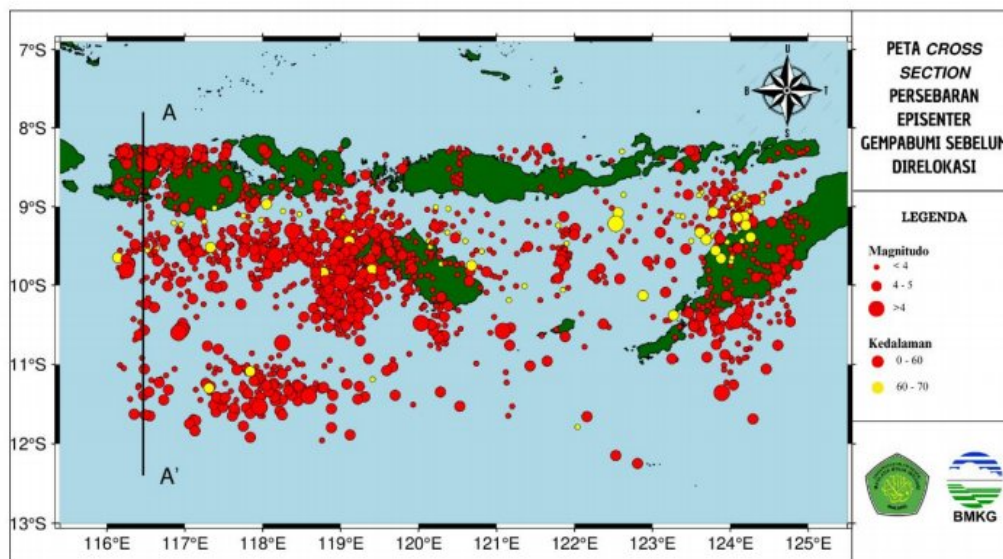
b.

Gambar 4. 1 Peta Persebaran Episentris Gempabumi

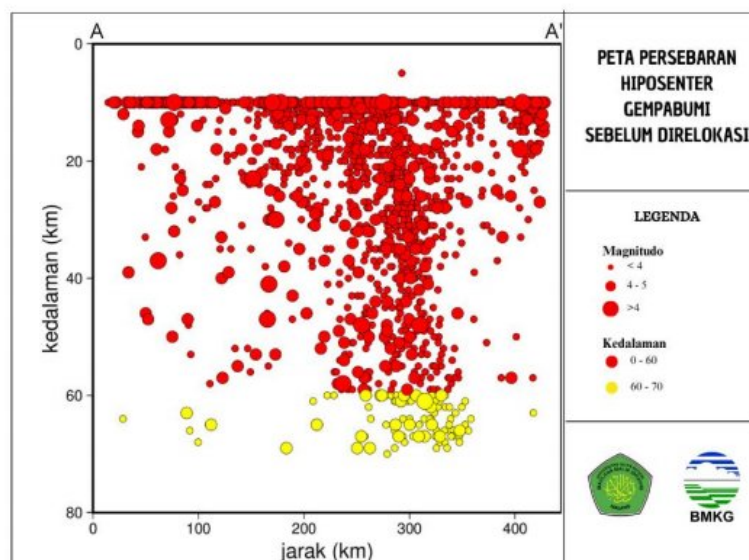
a. Sebelum direlokasi, b. Setelah direlokasi

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa gempabumi lebih banyak terjadi dibagian barat Kepulauan Nusa Tenggara dengan gempa-gempa yang terkumpul pada beberapa tempat. Ini dikarenakan wilayah Kepulauan Nusa Tenggara memiliki pola seismisitas yang berbeda antara bagian barat dan timurnya. Dibagian Barat kejadian gempabumi terjadi didominasi karena gaya subduksi, sementara dibagian Timur didominasi oleh pecampuran gaya subduksi dan gaya kolisi (Tim BMKG, 2021).

Setelah melakukan pemetaan perbedaan persebaran episentris gempabumi sebelum dan sesudah relokasi, maka selanjutnya dilakukan *cross section* untuk mengetahui kedalaman hiposentris gempabumi. Proses ini dengan memberi slice (iris) melintang pada peta persebaran gempabumi yang kemudian akan diketahui pergeseran kedalaman dan jarak perubahan hiposentris sebelum dan sesudah direlokasi secara lebih jelas.



a.



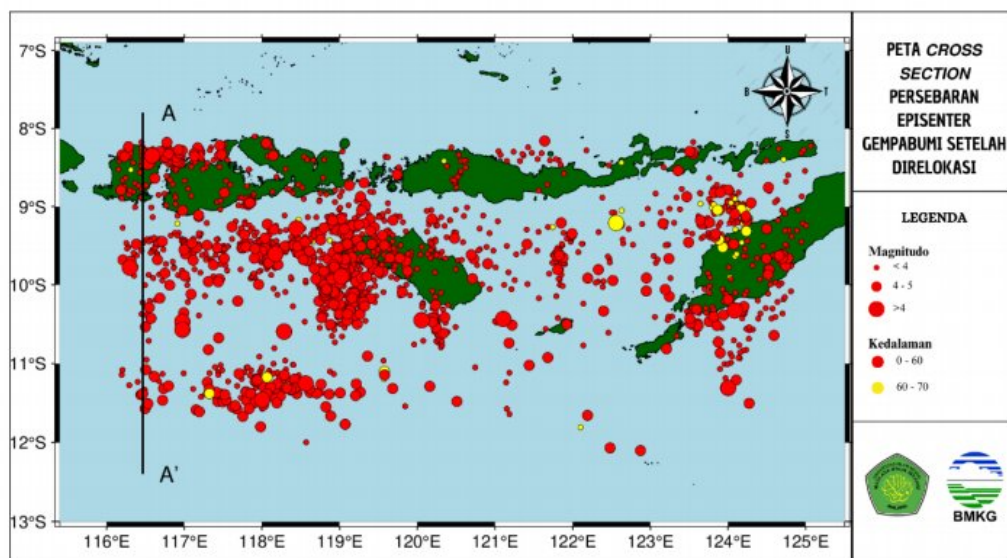
b.

Gambar 4. 2 Persebaran Hiposenter Gempa Sebelum Relokasi
a.Irisan Melintang (Cross Section) b.Persebaran Hiposenter Gempabumi

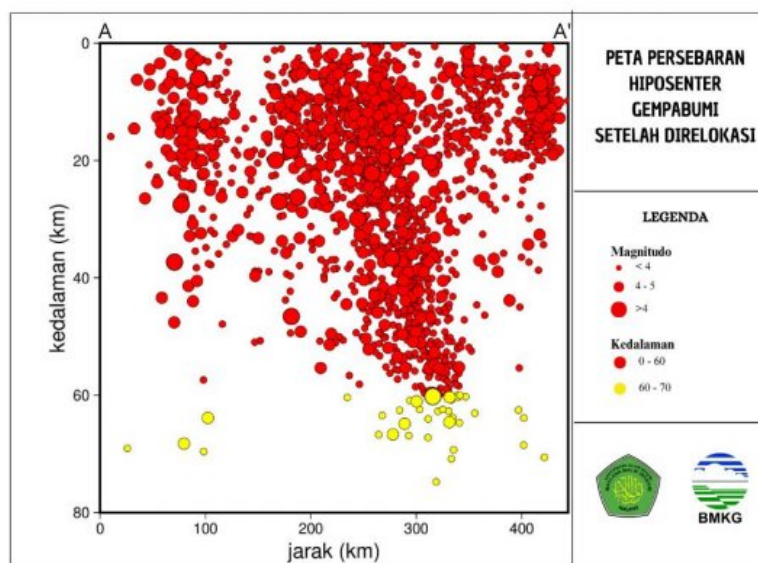
Gambar 4.2 merupakan irisan penampang melintang gempabumi sebelum dilakukannya relokasi hiposenter pada daerah penelitian. Irisan melintang A-A' ini membentang dari utara ke selatan dengan A berada pada titik 116.47 BT dan 7.8 LS, serta titik A' pada 116.47 BT dan 12.4 LS. Irisan melintang ini diambil pada titik gunung api terbesar sekaligus gunung api paling aktif di Kepulauan Nusa

Tenggara yaitu gunung rinjani. Munculnya busur gunung api merupakan salah satu akibat dari adanya subduksi lempeng bumi dimana gunung api ini juga bisa menjadi pemicu aktivitas tektonik (setiawan, 2015).

Irisan melintang A-A' diatas bisa menggambarkan bahwa sebelum adanya relokasi, kebanyakan titik hiposenter membentuk garis lurus pada kedalaman 10 km atau *fix depth*. Ini terjadi karena pada saat perekaman gempabumi oleh BMKG yang ketika melakukan analisis kedalaman gempa tidak terpusat dengan baik, beberapa gempa otomatis terekam di kedalaman tersebut (Azizah, 2019).



a.



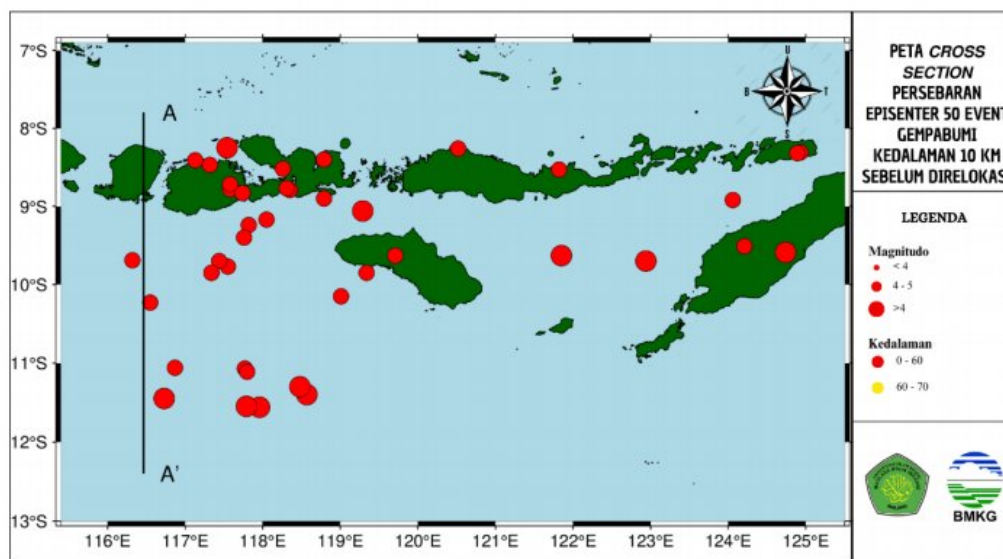
b.

Gambar 4. 3 Persebaran Hiposenter Gempa Setelah Direlokasi
a.Irisan Melintang (Cross Section) b.Persebaran Hiposenter Gempabumi

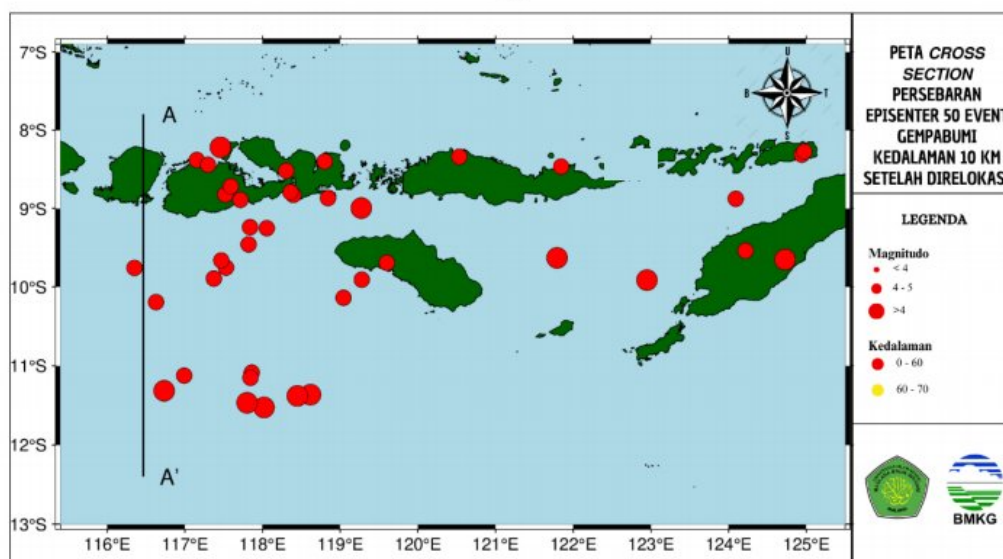
Gambar 4.3 diatas merupakan gambar persebaran hiposenter gempabumi sesudah direlokasi. Beberapa titik hiposenter mengalami perubahan posisi baik kedalaman maupun jarak dari irisan melintang A-A'. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa relokasi bisa membuat titik hiposenter menjadi semakin detail dan bervariasi. Titik-titik hiposenter tidak lagi berada pada 10 km melainkan berpindah pada kedalaman yang lebih beragam bahkan beberapa berpindah secara signifikan, beberapa berubah menjadi lebih dangkal, dan ada juga *event* gempabumi yang bertambah kedalamannya. Jika dibandingkan dengan hiposenter sebelum direlokasi, pola penunjaman menjadi lebih jelas dan lebih rapat pada gambar kedalaman gempabumi tersebut. Ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, yang menemukan bahwa relokasi hiposenter menunjukkan *trend* struktur seismisitas yang jelas.

Hasil relokasi ini juga menunjukkan aktivitas subduksi dengan sudut kemiringan yang berbeda, serta aktivitas sesar naik belakang busur (back arc thrust) di sebelah utara wilayah penelitian (Bunaga, dkk. 2015). Hal ini bisa menunjukkan bahwa metode *double difference* bisa menunjukkan posisi hiposenter yang lebih baik dan juga mendekati kondisi alam yang sebenarnya.

Pergeseran hiposenter gempa bumi banyak terjadi pada kedalaman 10 km dan karena data yang tercatat sebanyak 2083 *event* gempa bumi, pemetaan beberapa contoh gempa bumi dengan kedalaman tertentu atau 10 km perlu diperlihatkan agar dapat melihat perbedaan kedalaman titik hiposenter sebelum dan sesudah relokasi yang sebelumnya pada posisi 10 km (*fix depth*). Oleh sebab itu, pada gambar 4.4 dan 4.5 dibawah ini mempresentasikan bahwa ketika diambil 50 sampel event gempa bumi dengan kedalaman tersebut beserta data setelah direlokasi.

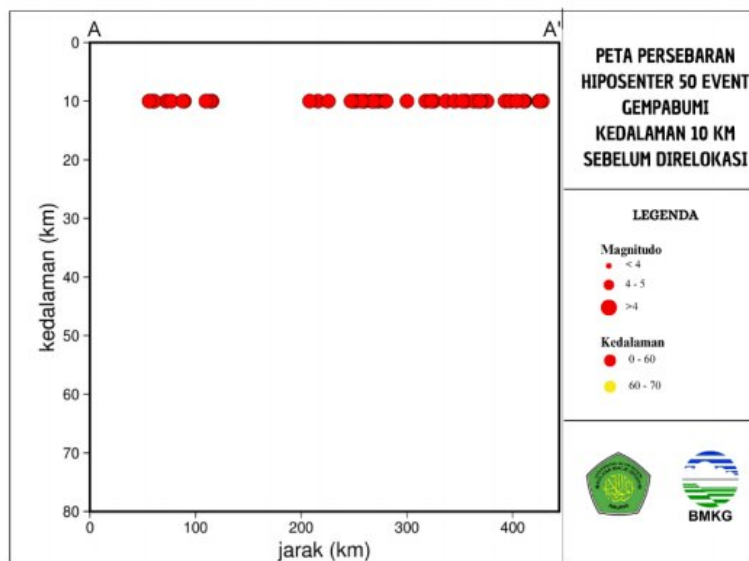


a.

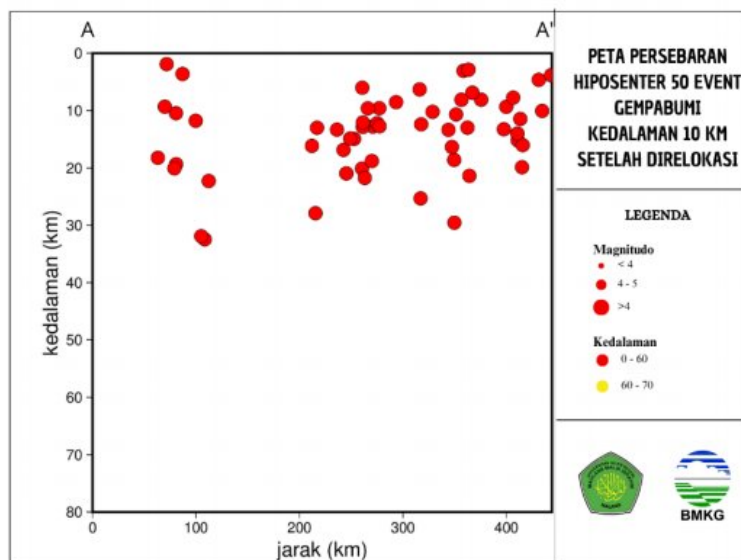


b.

Gambar 4. 4 cross section 50 titik gempa kedalaman 10 km
a. Sebelum relokasi, b. Setelah relokasi



a.



b.

Gambar 4.5 persebaran 50 hiposenter kedalaman 10 km
a. Sebelum relokasi, b. Setelah relokasi

Gambar diatas memperlihatkan dengan lebih jelas bahwa hiposenter gempabumi pada kedalaman 10 km banyak berubah baik secara horizontal, maupun vertikal. Ini bukan berarti pada kedalaman yang lain hiposenter gempa tidak mengalami perubahan, melainkan kebanyakan hasil relokasi hiposenter gempabumi memindahkan gempa dengan kedalaman yang dangkal selain karena terdapat *fix*

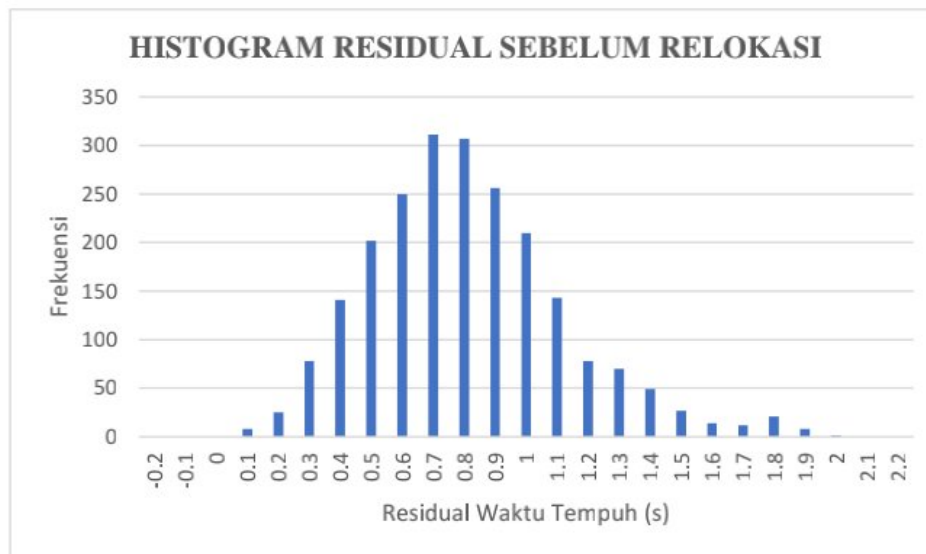
depth, juga karena semakin dalam gempa bumi, kebanyakan jarak antara hiposenter satu dengan yang lain berjauhan.

4.2 Peranan Metode *Double Difference* dalam Merelokasi Gempabumi

4.2.1. Histogram Residual

Penelitian ini sangat memerlukan nilai residual guna memvalidasi keakuratan hasil relokasi hiposenter agar dapat mengetahui kebenaran data. Nilai residual diperoleh dari selisih waktu tempuh observasi dan waktu tempuh kalkulasi yang didapat dari hasil pengolahan program *HypoDD*. Program ini menggunakan metode *double difference* dengan terus melakukan pengurangan nilai residu berulang-ulang selama proses relokasi sampai didapatkan nilai yang terbaik.

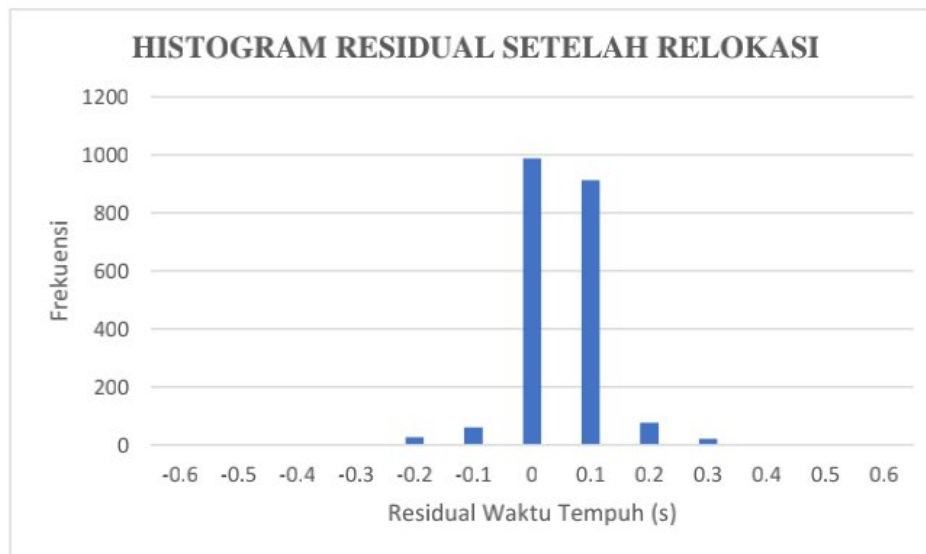
Tujuan histogram residual adalah untuk mengevaluasi kecocokan data lapangan dan metode parameter matematis yang digunakan. Histogram residual waktu tempuh dapat digunakan untuk mengetahui akurasi data hasil relokasi dengan membandingkan frekuensi nilai residu sebelum dan sesudah relokasi. Dimana semakin nilai RMS mendekati nol, maka semakin dekat nilai waktu tempuh kalkulasi dengan nilai waktu tempuh observasi. Ini menunjukkan bahwa posisi titik gempa lebih dekat dengan posisi sebenarnya (Jannah, dkk. 2016). Nilai RMS yang digunakan untuk histogram residual sebelum relokasi didapat dari katalog BMKG dan pada keluaran program *HypoDD* pada *HypoDD.res* untuk nilai residu sesudah relokasi.



Gambar 4. 6 Histogram Waktu Tempuh Sebelum Relokasi

Gambar 4.6 menunjukkan histogram residual waktu tempuh sebelum dilakukannya relokasi. Dimana dapat terlihat bahwa nilai residual berkisar antara 1,9 sampai 0,1 s. Meskipun banyak nilai residu yang mendekati 0, tapi tidak ada nilai yang benar-benar bernilai 0, dengan nilai rata-rata residu sebesar 0,772901 s. Nilai ini bisa memperlihatkan bahwa gempabumi sebelum relokasi masih kurang baik. Kurangnya data dari stasiun penacatat gempa bumi dan kesulitan membaca gelombang P dan S, sinyal yang terekam menjadi tidak jelas dan berakibat pada nilai RMS sebelum relokasi lebih tinggi (Dari, dkk. 2016).

Gambar 4.7 memperlihatkan histogram residual sesudah dilakukannya relokasi. Nilai residu setelah relokasi berkisar pada 0,3 s sampai -0,2 s dimana banyak data berada nilai residu 0,1 s dan 0 s, dengan nilai rata-rata residu setelah relokasi sebesar 0,09 s. Histogram ini dapat menggambarkan bahwa data gempabumi hasil relokasi menjadi semakin baik karena nilai yang dihasilkan mendekati 0.

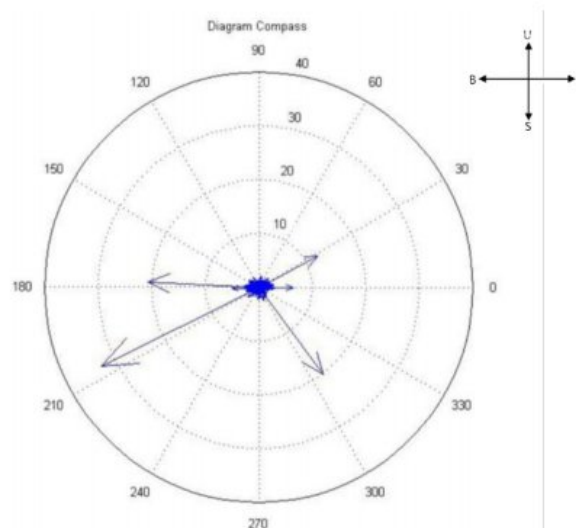


Gambar 4. 7 Histogram Waktu Tempuh Setelah Relokasi

Berdasar dari histogram residual sebelum dan sesudah relokasi, diketahui bahwa nilai residual setelah relokasi yang mendekati nol memiliki frekuensi jauh lebih tinggi dibandingkan sebelum dilakukannya relokasi. Perbaikan nilai residu yang sebelumnya bernilai besar, bahkan hampir bernilai dua menjadi jauh lebih baik dengan nilai yang mendekati nol dan tidak ada yang lebih dari 0,4. Ini menunjukkan terjadi perbaikan posisi gempa serta menunjukkan bahwa antara kenyataan dan model bumi tidak jauh berbeda. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa metode *double difference* dapat merelokasi gempabumi dengan lebih baik.

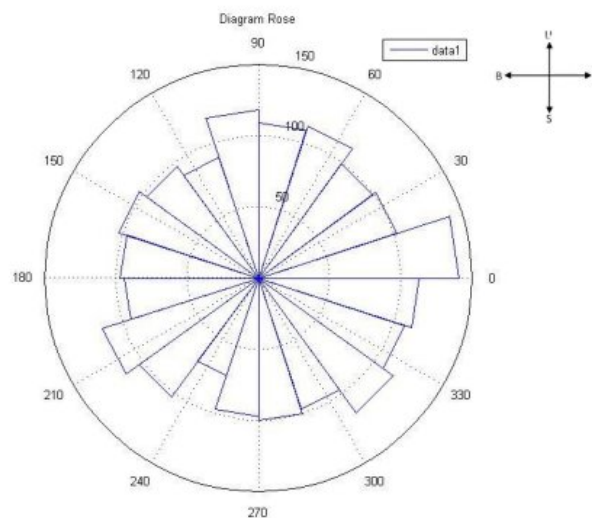
4.2.2. Analisa Sebaran Gempabumi

Persebaran gempabumi juga dapat dilihat dengan menggunakan diagram kompas dan diagram *rose*. Kedua diagram ini menggambarkan pola pergeseran episenter gempabumi secara lebih sederhana. Diagram kompas berbentuk lingkaran dengan skala luar (derajat) yang menunjukkan arah pergeseran dan skala dalam (angka) untuk menunjukkan jarak pergeseran setelah relokasi.



Gambar 4. 8 Diagram Kompas

Dari gambar 4.8, dapat diketahui bahwa terdapat satu episenter gempa bumi dengan pergeseran yang lebih dari 30 km, ini merupakan pergeseran terjauh dengan sudut pergeserannya ke arah Barat daya. Terdapat tiga gempa bumi yang bergeser antara 10 hingga 20 km. Sedangkan pergeseran terbanyak berada pada kurang dari 10 km. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode *double difference* yang digunakan pada penelitian ini cukup efektif merelokasi gempa karena hanya sedikit gempa bumi yang mengalami pergeseran posisi dengan nilai yang besar.



Gambar 4. 9 Diagram Rose

Gambar 4.9 merupakan gambar diagram rose yang menunjukkan jumlah event gempabumi dan interval sudut pergeseran arah relokasi. Dengan skala 0 hingga 330 menunjukkan nilai interval sudut, sedangkan lingkaran dengan skala 50 sampai 150 adalah jumlah kejadian gempabumi. Setelah gempabumi direlokasi, pada diagram ditunjukkan bahwa pergeseran episenter gempabumi menyebar ke segala arah dan tidak memiliki kecenderungan arah tertentu. Namun, hiposenter gempabumi paling banyak bergeser kearah Timur dengan hampir 150 *event* gempa. Ada beberapa variabel yang mempengaruhi hasil relokasi seperti model kecepatan, konfigurasi stasiun, dan ada atau tidaknya kelompok gempabumi yang membentuk cluster. Jumlah cluster yang dapat dibentuk meningkatkan kemungkinan hiposenter gempabumi yang diperbaiki.

Penelitian ini menggunakan model kecepatan IASP91 dimana model kecepatan tersebut memperhitungkan distribusi sumber kejadian gempa dan memperhitungkan dua lapisan diskontinuitas pada lapisan kerak bumi yang berada pada kedalaman 20 dan 35 km. Model kecepatan IASP91 sudah mencakup

keheterogenitas batuan pada lapisan permukaan bumi karena stasiun pencatat kejadiangempabumi yang tidak seragam.

Berdasar pada persebaran gempabumi hasil relokasi dengan metode *double difference* di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara selama 6 tahun, mulai 1 Januari 2017 sampai 31 Desember 2022 dengan koordinat 116.134° – 125.00° BT dan 10.014° – 12.287° LS. Terlihat bahwa persebaran gempa lebih banyak terjadi di Nusa Tenggara Timur akibat adanya beberapa sesar dan subduksi lempeng. Lempeng indo-australia bergerak ke Utara dan menyusup dibawah lempeng eurasia yang bergerak ke Selatan. Pergerakan lempeng pada zona subduksi Selatan Nusa Tenggara menyebabkan beberapa struktur tektonik lain seperti adanya punggung busur luar, cekungan busur dan rangkaian busur gunung api di bagian utara wilayah tersebut. Batas ini menyebabkan munculnya gunung tipe A seperti gunung rinjani, tambora dan sangeangapi dll, sesuai dengan kondisi geologi Nusa Tenggara dan termasuk dalam *ring of fire* yang dapat mengakibatkan kegempaan dalam. Disamping mengalami gempabumi akibat adanya subduksi lempeng, nusa tenggara juga mengalami banyak gempabumi akibat sesar/fault yang juga merupakan hasil adanya subduksi. Dibagian Utara nusa tenggara terdapat back arc trust (sesar naik belakang busur) yang disebabkan oleh tumbukan busur benua dengan aktivitas kegempaan yang relatif memiliki kedalaman dangkal (Devalentino, 2015)

Gempabumi yang terjadi pada lokasi penelitian didominasi oleh gempabumi kecil sampai sedang, dimana kebanyakan memiliki magnitudo 3 – 4 SR dan kurang dari 40 gempa yang memiliki magnitudo diatas 5 SR dengan magnitudo terbesar paa penelitian ini sebesar 5.8 SR. Meskipun magnitudo

gempabumi ini terbilang kecil, tapi kebanyakan terjadi pada kedalaman kurang dari 40 km yang membuat gempabumi ini masih terasa meskipun dengan magnitudo kecil. Beberapa sesar memiliki panjang yang mencapai laut sehingga gempabumi dengan episenter berada didarat, dapat memicu kerusakan besar karena dorongan sesar dengan kedalaman yang dangkal.

Menurut Naryanto (2018), persebaran gempabumi di wilayah Nusa Tenggara sebagian besar dikaitkan dengan adanya pelepasan stress batuan pada zona subduksi dan adanya aktivitas sesar/fault aktif. Aktivitas subduksi banyak dikaitkan dengan terjadinya gempabumi di pesisir selatan Kepulauan Nusa Tenggara sedangkan gempa dangkal yang terjadi pada pulau-pulau seperti lombok, flores, dan alor lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas sesar aktif pada daerah tersebut dan karena adanya busur belakang dibagian Utara. Namun, ini masih asumsi karena sumbernya perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui pemantauan gempabumi neotektonik dan lokal maupun regional dengan lebih akurat.

4.3 Integrasi Penelitian Dalam Prespektif Islam

Penelitian kali ini membahas tentang relokasi hiposenter gempabumi, dimana objek utamanya adalah kejadian gempabumi. Gempabumi sendiri merupakan kejadian alam yang kerap kali terjadi diberbagai belahan bumi dengan penyebab yang bermacam-macam. Salah satu gempabumi yang paling banyak terjadi dan menimbulkan korban yaitu gempabumi tektonik yang disebabkan oleh pergerakan lempeng-lempeng bumi. Peristiwa Bergeraknya lempeng bumi ini juga terangkum di dalam Al-Qur'an yaitu pada surat an-Naml ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۗ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي لَمْ يَلِدْ وَلَمْ يَكُنْ لَهُ كُفُوًا شَيْءٌ ۗ إِنَّهُ

خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ

Artinya:

“Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Demikianlah) penciptaan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu. sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan”. (QS. An-Naml/27: 88)

Menurut Tantawi Jauhari seorang cendekiawan yang tertarik pada fisika, kutipan ayat Al-Quran diatas menjelaskan bahwa alam semesta ini pada hakikatnya bergerak dan kenyataannya berjalan dengan sangat lambat sehingga mengalami perpindahan yang sangat kecil. Hal ini sama seperti pendapat Hisham Thalbah bahwa lempeng yang ada di bumi bergerak dengan terus-menerus dengan gerakan yang lambat. Hal ini menyebabkan manusia tidak dapat merasakan pergerakannya dengan mata telanjang tetapi pergerakan lempeng saat terjadi gempa bumi dapat dirasakan oleh manusia. Ayat ini juga menganjurkan kita sebagai manusia yang beriman agar percaya bahwa Allah berkuasa atas segala sesuatu, Allah yang menciptakan semua yang ada di alam semesta dengan teliti. dan sesungguhnya tidak ada satupun yang tidak Allah ketahui, dan akan membalas perbuatan tersebut (Muhlis, 2019).

Gunung-gunung api merupakan salah satu hasil dari pergerakan lempeng bumi. Gunung ini berfungsi sebagai tempat keluarnya energi termal dari dalam bumi agar tidak berguncang karena kelebihan energi. Lempengan bumi bagian atas yang dikenal sebagai litosfer terus bergerak dan sering bertumbukan satu sama lain, kemudian menyebabkan gempa bumi. Ini menunjukkan bahwa kejadian gempa bumi disebabkan oleh sebab-sebab yang bersifat membumi dan ‘alamiyyah (*tahtiyyat-*

'alamiyyah). Tidak semua gempa bumi disebabkan oleh kesalahan manusia atau murka Allah. Sebaliknya, gempa bumi bisa terjadi karena kehendak Allah dan atas izin-Nya. Bencana dapat terjadi kapan pun dan di mana pun tanpa bisa diprediksi. Peristiwa gempabumi yang datang secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi juga diterangkan dalam surah Al-Mulk ayat 16 yang berbunyi:

ءَأَمِنْتُمْ مَّن فِي السَّمَآءِ أَن يَخْسِفَ بِكُمُ الْأَرْضَ فَإِذَا هِيَ تَمُورُ

Artinya:

“Sudah merasa amankah kamu, bahwa Dia yang di langit tidak akan membuat kamu ditelan bumi ketika tiba-tiba ia terguncang?” (QS. Al-Mulk: 16).

Menurut Abdul Hakim dalam jurnal Kementrian Agama Indonesia, kutipan ayat diatas menjelaskan bahwa adanya ujian atau bala' bagi manusia berupa gempabumi yang datang tanpa bisa diprediksi adalah keniscayaan hidup. Getaran seismik yang terjadi juga mutlak merupakan kuasa Allah SWT. Ujian ini merupakan sebuah bentuk ketegasan sekaligus peringatan kepada manusia agar tidak berbuat dengan semena-mena di bumi seperti kaum-kaum terdahulu yang membuat Allah mendatangkan ujian berupa bencana. Adanya bencana dimaksudkan agar manusia mampu mengambil hikmah dari apa yang telah terjadi dan banyak melakukan introspeksi agar sadar bahwa dirinya hanya bagian kecil dibandingkan dengan Allah yang maha tinggi nan luhur dan berkuasa atas segala sesuatu. Ini bisa menjadi tanda dan peringatan bagi kita semua untuk kembali kepada Allah dan bertaubat. Kejadian ini adalah salah satu bukti bahwa Allah dapat menukar keadaan dari tenang menjadi bergoncang hanya dalam sekejap mata (Hakim, 2013).

Gempabumi dapat menimbulkan banyak kerugian baik materi hingga menghilangkan nyawa manusia. Hal ini dapat menunjukkan bahwa masyarakat

masih kurang memahami dan mengetahui tentang gempa bumi. Sangat penting bagi masyarakat untuk mengetahui apa yang menyebabkan bencana alam dan cara mitigasi nya dengan baik dan benar agar dapat meminimalisir akibat dari adanya gempabumi (Suhardiman, dkk. 2021). Namun daripada itu, Allah tidak akan menciptakan segala sesuatu dengan tanpa manfaat. Gempabumi dapat dimanfaatkan dalam hal lain salah satunya untuk identifikasi permukaan dan struktur didalam bumi. Gelombang seismik yang ada karena terjadinya gempabumi disebarkan ke seluruh penjuru bumi dan saling memantul dari satu sisi ke sisi lain. Hal ini dapat memberikan informasi tentang isi bumi, ketebalan lapisan bumi, dan bagian-bagiannya.

Kurangnya pengetahuan tentang gempabumi menjadikan masyarakat menganggap bahwa bencana tersebut hanya menyebabkan hal-hal negatif seperti kerugian, kehancuran dan kematian. Padahal lebih dari itu, gempabumi dapat membantu manusia dalam mempelajari tentang kegempaan dan seismologi, serta kejadian-kejadian yang telah terjadi nantinya akan dijadikan sumber data guna mitigasi bencana. Sama seperti penelitian kali ini, salah satu manfaatnya yaitu untuk mengidentifikasi tatanan tektonik di wilayah penelitian dengan menggunakan data fase gelombang kejadian gempabumi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian dan hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil relokasi hiposenter di zona subduksi kepulauan Nusa Tenggara menunjukkan titik-titik hiposenter yang mengalami pergeseran baik secara vertikal maupun horizontal dengan pergeseran terbanyak yaitu pergeseran kedalaman atau secara vertikal. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya peta pemetaan hiposenter gempabumi, event gempabumi yang awalnya banyak mengumpul pada kedalaman 10 km (*fix depth*) setelah direlokasi mengalami pergeseran. Jika dibandingkan dengan sebelum direlokasi, pola penunjaman karena adanya subduksi pada persebaran hiposenter setelah direlokasi menjadi lebih jelas dan lebih rapat. Pergeseran arah episenter gempabumi dapat terlihat pada diagram kompas, yang dapat menunjukkan pergeseran episenter gempabumi dengan lebih sederhana. Episenter mengalami pergeseran paling banyak ke arah Timur dengan hampir 150 *event* gempabumi.
2. Relokasi hiposenter gempabumi menggunakan metode *double difference* menghasilkan posisi hiposenter yang lebih baik dan akurat yang ditandai dengan histogram residual waktu tempuh setelah relokasi yang mengalami perbaikan posisi gempa dengan banyak data yang mendekati nol dibandingkan sebelum relokasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa antara kenyataan dan bentuk bumi tidak jauh berbeda. Selain itu, diagram *rose* menunjukkan terdapat satu episenter gempabumi dengan pergeseran yang lebih dari 30 km ke arah Barat

Daya dan terdapat tiga gempabumi yang bergeser antara 10 hingga 20 km, sedangkan sisanya berpindah kurang dari 10 km. Pergeseran posisi gempabumi dengan nilai yang kecil dan histogram residual waktu tempuh yang mendekati nol ini menunjukkan bahwa metode *double difference* memiliki peran yang cukup efektif dalam merelokasi hiposenter gempabumi.

5.2. Saran

Saran berdasarkan penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu adanya penelitian dengan metode lain untuk membuktikan keakuratan metode *double difference* dalam merelokasi gempabumi agar dapat dibandingkan kekurangan dan kelebihan tiap metode. Selain itu, penelitian ini akan lebih baik jika menggunakan model kecepatan regional di wilayah penelitian agar semakin baik dalam mempresentasikan keadaan alam yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif, Satrio Muhammad, Muhamad Sofyan Sauri, and Redho Surya Perdana. 2021. "Perubahan Kecepatan Subduksi Lempeng Indo-Australia Terhadap Lempeng Sundaland Akibat Gempa Bumi Samudera Hindia Tahun 2016." *Jurnal Geosains Dan Teknologi* 4 (3): 159–67. <https://doi.org/10.14710/jgt.4.3.2021.159-167>.
- Aritonang, Milenia, Alexander F T Parera, and Nazaruddin Nasution. 2021. "Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Segmen (Toru , Angkola , Barumon) Dengan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-DD)," no. 4: 24–29.
- Aslamia, Halimatul, and Zainul Arifin Imam Supardi. 2022. "Analisis Parameter A-Value Dan B-Value Sebagai Mitigasi Bencana Gempa Bumi Di Nusa Tenggara Timur." *Jambura Physics Journal* 4 (1): 14–27. <https://doi.org/10.34312/jpj.v4i1.13815>.
- 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>.
- Azmiyati, Uzlifatul. 2021. "Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Akibat Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Dengan Metode Probablistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)." *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan)* 5 (1): 331–39. <https://doi.org/10.36312/jisip.v5i1.1709>.
- Bulo, Deni, Djayus, Supriyanto, and Benny Hendrawanto. 2020. "Penentuan Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempa Bumi Berdasarkan Data Seismogram." *Jurnal Geosains Kutai Basin* 3 (1): 1–8. <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/geofis/article/view/597>.
- Bunaga, I. G. Purwana, Ibnu. Muzli, M. 2015. "Relokasi Parameter Hiposenter Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) Dan Sekitarnya Menggunakan Metode Double Difference". *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 16, No. 2.
- Dari, Anggina Wulan, Andiyansyah Z Sabarani, and Syarifani. 2016. "Relokasi Hiposenter Gempabumi Sumatera Barat Menggunakan Metode Double Difference (Dd)" 8 (Dd): 17–24.
- Devalentino, Kevin Dan Sunardi, Bambang. 2015. *Relokasi Hiposenter Gempabumi Dan Implikasi Terhadap Seismotektonik Nusa Tenggara Barat*.

ISBN: 978-979-028-785-3.

- Erlangga, Wisnu. 2020. "Karakteristik Dan Parameter Subduksi Sumber Gempa Pulau Jawa." *Teknisia* XXV (2): 30–40. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss2.art4>.
- Hakim, Abdul. 2013. "Makna Bencana Menurut Al-Qur ' An : Kajian Fenomena Terhadap Bencana Di Indonesia." *Hermeunetik* 7 (2): 279–96.
- Harjono, Hery, Lina Handayani, M. Ma'ruf Mukti, Titi Anggono, Syuhada, Nanang T Puspito, and Nugroho D Hananto. 2017. *Seismotektonik Busur Sunda*. <http://penerbit.lipi.go.id/data/naskah1502855463.pdf>.
- Hudha, Saiful Nurul, Udi Harmoko, Sugeng Widada, D H Yusuf, And Gatot Yulianto. 2014. "Penentuan Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Lapangan Panas Bumi Diwak Dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang" 3 (3): 263–68.
- Istianah. 2015. "Upaya pelestarian lingkungan hidup dalam prespektif hadist". *Jurnal RIWAYAH, Vol 1, No. 2*.
- Jannah, Iis Nur, Titi Anggono, Tony Yulianto M T, Departemen Fisika, Fakultas Sains, Universitas Diponegoro, Pusat Penelitian, and Fisika Lipi. 2016. "Aplikasi Metode Double Difference Dalam Transisi Antara Busur Banda Dan Busur Sunda" 5 (3): 113–21.
- Kiswiranti, D. 2019. "Seismologi (Dasar-Dasar Seismologi Dan Apilikasinya)," 1–150. <http://eprints.akprind.ac.id/306/1/SEISMOLOGI.pdf>.
- Kunci, Kata. 2013. "Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya." *Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya* 7 (1). <https://doi.org/10.15294/jg.v7i1.92>.
- Linda, Nasrul Ihsan, and Pariabti Palloan. 2019. "Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Analysis Of Spatial And Temporal Distribution Of Seismotectonics Based On B-Value Using The Likelihood Method On Java Pendahuluan Gempa Bumi Sering Melanda Indonesia." *Jurnal Sain Dan Pendidikan Fisika (JSPF)* 15 (April): 16–31.
- Maramis, Clarita, Guntur Pasau, Gerald Hendrik, Fakultas Matematika, Pengetahuan Alam, and Universitas Sam. 2020. "Analisis Percepatan Tanah Maksimum Akibat Adanya Gempa Bumi Di Lengan Utara Pulau Sulawesi Menggunakan Metode Fukushima Tanaka" 9 (2): 97–105.
- Muhlis, Moh. 2019. "Hakikat Gunung Berjalan Dalam Al-Qur'an (Studi Komparatif Atas Penafsiran Surah an-Naml Ayat: 88 Dalam Kitab Mafatih Al-Ghaib Karya Fakhrudin Al-Razi Dan Tafsir Al-Azhar Karya Buya Hamka)"

- 3 (1): 1–25. <http://ejournal.idia.ac.id/index.php/el-warqoh%0AHAKIKAT>.
- Naryanto, H. S. 2018. Analisis Potensi Kegempaan Dan Tsunami. *Sains Dan Teknologi Indonesia*, 10, 71–77.
- Noor, Djauhari. 2014. *Geologi untuk Perencanaan Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Noor, Djauhari. 2018. *Pengantar Geologi Edisi Kedua*. Pakuan : Pakuan University Press.
- Pane, Randy Sitorus, and Emelda Meva Elsera. 2020. “Aplikasi Metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) Dan Hypocenter Double Difference (HYPODD) Untuk Relokasi Gempabumi Swarm Di Wilayah Mamasa.” *Seminar Nasional Fisika PPs UNM 2 (2020)*: 100–103.
- Pustlitbang PUPR. 2017. *Buku Peta Gempa 2017*. https://sianipar17.files.wordpress.com/2018/12/nsha_2017.pdf.
- Rahardiawan, Riza, and Catur Purwanto. 2016. “Struktur Geologi Laut Flores, Nusa Tenggara Timur.” *Jurnal Geologi Kelautan* 12 (3): 153. <https://doi.org/10.32693/jgk.12.3.2014.256>.
- Sabonbali, Sisca Cicilya, Heinrich Taunaumang, Ferdy Dungus, Muhammad Zulkifli, and sesar prabu dwi Sriyanto. 2020. “Relokasi Hiposenter Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination (Studi Kasus Gempabumi Laut Maluku Tanggal 15 November 2019)” 1: 132–38.
- Setiadi, Tio Azhar Prakoso, Supriyanto Rohadi, Untung Merdijanto, and Nova Heryandoko. 2017. “Relokasi Hiposenter Gempabumi Menggunakan Metode Teleseismic Double Difference Untuk Analisis Pola Tektonik Di Wilayah Laut Maluku.” *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 17 (2): 101–7. <https://doi.org/10.31172/jmg.v17i2.526>.
- Setiawan, Muhammad Ragil. Dan Setiawan, Ari. 2015. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Zona Subduksi Dan Busur Gunungapi Jawa Timur Berdasarkan Analisis Data Gravitasi. *Jurnal Fisika Indonesia. Vol. 19 (2015) No. 57 P.13-18*.
- Suhardiman. Hafid, Erwin. Widyawati. 2021. *Pengembangan Buletin Mitigasi Gempa Bumi Terintegrasi Ayat-Ayat Al-Qur'an Di Sman 1 Polewali*. Al-Khazini: Jurnal Pendidikan Fisika Volume 1. No 1. 102 – 112. Doi: 10.24252/Al-Khazini.V1i1.20964
- Sunardi, B. (2013). “Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion Di Empat Daerah”. Tesis, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Suwuh, Sike, Armstrong F Sompotan, and Sixtus Iwan Umboh. 2020. "Koreksi Lokasi Hiposentrum Gempabumi Di Sulawesi Utara Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination" 1: 80–87.
- Tim BMKG. 2021. *Katalog Gempabumi Indonesia: Relokasi Hiposenter Dan Inplekasi Tektonik*. Jakarta: Pusat Gempabumi Dan Tsunami, Badan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika. ISBN 978-623-98986-0-1.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

Data katalog gempabumi BMKG dengan format .pha

date	time	latitude	Longitude	depth	mag	RMS	ID
17/01/2017	05.18.13	-8.90	118.79	10	3.4	0.49	1
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
PLAI	18.7	1	P				
PLAI	32.78	1	S				
TWSI	33.47	1	P				
TWSI	57.25	1	S				
BASI	36.46	1	P				
KLNI	43.57	1	P				
BSSI	50.33	1	P				
BKSI	58.76	1	P				

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
14/01/2017	12.10.01	-09.24	117.82	10	3.5	0.83	2
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
PLAI	9.44	1	P				
PLAI	15.17	1	S				
TWSI	20.01	1	P				
TWSI	33.73	1	S				
WBSI	26.76	1	P				
WBSI	49.94	1	S				
KLNI	33.62	1	P				
DNP	43.31	1	P				
SRBI	44.25	1	P				

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
12/01/2017	22.18.33	-09.95	123.99	56	3.2	0.4	3
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
SOEI	11.99	1	P				
SOEI	19.86	1	S				
BATI	12.41	1	P				
BATI	21.76	1	S				
ATNI	21.05	1	P				
ALKI	29.28	1	P				
ALKI	53.7	1	S				
LRTI	30.85	1	P				
LRTI	53.89	1	S				
MMRI	33.2	1	P				
MMRI	60.53	1	S				

WBSI	66.29	1	P				
date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
12/01/2017	02.25.45	-09.06	118.6	10	3.8	0.69	4
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
PLAI	15.96	1	P				
PLAI	26.49	1	S				
WBSI	18.28	1	P				
WBSI	32.06	1	S				
TWSI	30.51	1	P				
TWSI	52.82	1	S				
BASI	37.36	1	P				
KLNI	42.05	1	P				
IGBI	54.22	1	P				
SRBI	54.54	1	P				
RTBI	57.53	1	P				
BKSI	61.49	1	P				
GMJI	77.73	1	P				

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
11/01/2017	12.03.26	-09.15	123.72	49	3.7	1.07	5
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
SOEI	15.53	1	P				
BATI	20.34	1	P				
LRTI	18.96	1	P				
ATNI	18.06	1	P				
ALKI	23.49	1	P				
ALKI	40.89	1	S				
MMRI	24.46	1	P				
MMRI	42.48	1	S				
BASI	47.07	1	P				
WBSI	63.71	1	P				
PLAI	85	1	P				
TWSI	97.75	1	P				
KNRA	115.11	1	P				
MTN	116.53	1	P				
FITZ	128	1	P				

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
10/01/2017	05.29.33	-10.62	123.8	10	3.6	0.42	6
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
BATI	8.93	1	P				
BATI	16.08	1	S				

SOEI	18.1	1	P
SOEI	32.27	1	S
ATNI	32.72	1	P
ALKI	42.07	1	P
ALKI	73.85	1	S
BASI	50.18	1	P
KNRA	102.07	1	P

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
05/01/2017	18.48.59	-10.7	119.25	53	4.7	0.79	7
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
BASI	23.96	1	P				
BASI	40.53	1	S				
PLAI	36.81	1	P				
PLAI	63.27	1	S				
MMRI	52.13	1	P				
KLNI	57.82	1	P				
IGBI	65.39	1	P				
BSSI	67.04	1	P				
SOEI	74.35	1	P				
BKSI	77.82	1	P				
BYJI	79	1	P				
JAGI	79.14	1	P				
ATNI	83.23	1	P				
ALKI	84.58	1	P				
GMJI	89.1	1	P				
BNSI	90.31	1	P				
SPSI	96.76	1	P				
FITZ	134.88	1	P				
MBWA	145.9	1	P				

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
01/01/2017	08.49.35	-11.45	116.73	10	4.1	0.65	8
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
TWSI	42.8	1	P				
PLAI	44.17	1	P				
KLNI	48.39	1	P				
RTBI	53.8	1	P				
SRBI	57.15	1	P				
JAGI	59.66	1	P				
ABJI	66.46	1	P				
GMJI	67.37	1	P				
BLJI	72.28	1	P				

SWJI	91.25	1	P
BKSI	103	1	P
UGM	104.61	1	P
GIRL	162.28	1	P
KNRA	177.35	1	P

date	time	latitude	longitude	depth	mag	RMS	ID
30/01/2017	09.39.26	-09.28	122.01	42	4.3	0.92	9
Stasiun	TT	WGHT	Phase				
MMRI	13.52	1	P				
BASI	27.33	1	P				
BATI	31.36	1	P				
SOEI	36.32	1	P				
ALKI	42.37	1	P				
ATNI	41.19	1	P				
BSSI	51.32	1	P				
PLAI	62.23	1	P				
PLAI	108.82	1	S				
BKSI	63.16	1	P				
KAPI	69.98	1	P				
TWSI	74.56	1	P				
SPSI	82.7	1	P				
KLNI	85.45	1	P				
FITZ	132.5	1	P				
MTN	134.51	1	P				
CBJI	211.66	1	P				

dst...

LAMPIRAN II

Data Stasiun Pengamat Gempabumi (stasiun.dat)

Name	Lat	Long
AAI	-3.687	128.194
ABJI	-7.795	114.234
ALKI	-8.144	124.590
APSI	-0.910	121.648
ATNI	-9.083	124.864
BASI	-10.218	120.577
BBKI	-3.462	114.841
BBSI	-5.488	122.569
BKSI	-5.321	120.122
BLJI	-7.745	113.595
BLSI	-5.367	105.245
BNSI	-4.400	120.106
BSSI	-6.142	120.490
BWJI	-5.851	112.657
BYJI	-8.214	114.355
CBJI	-6.698	106.934
CGJI	-6.734	108.263
CMJI	-7.783	108.448
CNJI	-7.309	107.13
CTJI	-7.007	109.183
DBJI	-6.553	106.749
DBNI	-8.501	118.312
DNP	-8.677	115.209
DSRI	-0.479	104.577
EDFI	-8.749	121.690
EGSI	-5.352	102.276
GLMI	1.838	127.787
GMJI	-8.273	113.444
GRJI	-6.914	112.479
JCJI	-6.734	108.263
KASI	-5.523	104.495
KBKI	-3.2995	116.166
KCSI	3.522185	97.771
KKSI	-4.171717	121.651
KLI	-4.836292	104.870
KLNI	-8.421889	116.094
KMMI	-7.041162	113.915
KMPI	-3.66168	133.704
KMSI	0.574	123.890

Name	Lat	Long
KLNI	-8.421	116.094
KMMI	-7.041	113.915
KMPI	-3.661	133.704
KMSI	0.574	123.890
KPJI	-7.333	108.931
KRAI	-3.318	128.394
KRJI	-2.091	101.461
KRK	-8.152	112.450
LASI	4.457	97.970
LBMI	-0.637	127.500
LHSI	-3.826	103.523
LRTI	-8.275	123
LWLI	-5.017	104.058
MASI	-3.141	102.239
MDSI	-4.486	104.178
MGAI	4.007	126.67
MKBI	-2.447	101.239
MLSI	4.266	96.403
MMPI	-8.518	140.414
MNSI	0.795	99.579
MPSI	0.337	119.898
MRSI	0.477	121.940
MSAI	-3.346	128.928
MTKI	-0.941	114.895
NBPI	-3.365	135.497
NGJI	-7.367	111.461
NLAI	-3.238	127.099
OBMI	-1.341	127.644
PBKI	-2.704	111.669
PBSI	-0.054	98.28
PCJI	-8.194	111.177
PDSI	-0.911	100.461
PKKI	-2.226	113.945
PMSI	-3.500	118.914
PPBI	-2.161	106.136
PPSI	-2.766	100.01
KPJI	-7.333	108.931
KRAI	-3.318	128.394
KRJI	-2.091	101.461

LWLI	-5.017	104.058
PWJI	-8.021	111.804
RAPI	-0.410	130.821
RGRI	-0.349	102.333
RKPI	-1.510	134.177
RPSI	2.072	99.832
RTBI	-8.459	114.942
SBJI	-6.111	106.132
SBSI	1.398	99.430
SCJI	-7.681	109.168
SDSI	-0.932	101.428
SGKI	0.530	117.604
SGSI	3.685	125.528
SISI	-1.326	99.089
TSI	3.501	98.564
TTSI	-3.045	119.818
TWSI	-8.738	116.882
UBSI	-3.761	102.271
UWJI	-6.419	110.947
WBSI	-9.641	119.391
LASI	4.457	97.970

KRK	-8.152	112.450
SKJI	-7.005	106.563
SLSI	-2.392	102.592
SMKI	-0.446	117.208
SMPI	-1.981	138.710
SMSI	0.988	122.365
SNSI	2.408	96.326
SPSI	-3.964	119.769
SRBI	-8.084	115.212
SRPI	-1.875	136.239
STKI	0.065	111.477
SWI	-0.862	131.259
SWJI	-7.734	111.766
TBJI	-6.817	111.848
TMSI	1.294	124.92
TNG	-6.171	106.646
TPRI	0.918	104.526
TRSI	2.025	98.959
LBMI	-0.637	127.500
LHSI	-3.826	103.523
LRTI	-8.275	123

LAMPIRAN III

Keluaran hypodd (Hypodd.loc)

ID	lat	long	depth	x	y	z	Ex	Ey	Ez	Year	month	day	hour	min	sec	mag	CID
1	-8.9	118.79	10	-84070	80688.3	-11343.2	0	0	0	2017	1	17	5	18	13	3.4	1
2	-9.24	117.82	10	-190558.1	43082.9	-11343.2	0	0	0	2017	1	14	12	10	1.9	3.5	1
3	-9.95	123.99	56	486546.5	-35446.1	34656.8	0	0	0	2017	1	12	22	18	33.7	3.2	1
4	-9.06	118.6	10	-104923	62991.5	-11343.2	0	0	0	2017	1	12	2	25	45.5	3.8	1
5	-9.15	123.72	49	457457.6	53037.3	27656.8	0	0	0	2017	1	11	12	3	26.7	3.7	1
6	-10.62	123.8	10	465230.7	-109550.9	-11343.2	0	0	0	2017	1	10	5	29	33.2	3.6	1
7	-10.7	119.25	53	-33438.2	-118399.2	31656.8	0	0	0	2017	1	5	18	48	59.3	4.7	1
8	-11.45	116.73	10	-309226.5	-201352.4	-11343.2	0	0	0	2017	1	1	8	49	35.2	4.1	1
9	-9.28	122.01	42	269585.8	38658.7	20656.8	0	0	0	2017	1	30	9	39	26.9	4.3	1
10	-8.48	116.86	14	-296303.8	127142.1	-7343.2	0	0	0	2017	1	29	19	41	9.8	3.8	1
11	-9.48	116.36	40	-350778.5	16537.9	18656.8	0	0	0	2017	1	29	6	36	49.9	4.4	1
12	-8.53	116.85	23	-297382.9	121611.8	1656.8	0	0	0	2017	1	29	2	4	3.3	3.6	1
13	-9.39	117.49	28	-226751	26492.2	6656.8	0	0	0	2017	1	26	21	56	19.7	3.7	1
14	-10.96	121.65	40	229472.9	-147156.4	18656.8	0	0	0	2017	1	26	13	52	14.6	4.8	1
15	-10.47	124.51	12	543170.3	-92960.3	-9343.2	0	0	0	2017	1	25	3	57	37.5	3.7	1
16	-11.29	118.45	10	-120994.5	-183655.7	-11343.2	0	0	0	2017	1	24	3	52	2.9	4	1
17	-8.92	124.1	19	499358	78476.2	-2343.2	0	0	0	2017	1	20	18	39	43.2	3.6	1
18	-9.77	117.55	10	-220040.6	-15537.4	-11343.2	0	0	0	2017	1	20	18	21	59.1	3	1
19	-10.12	118.99	11	-61985.2	-54248.8	-10343.2	0	0	0	2017	2	18	11	22	52.1	4	1
20	-9.4	117.76	10	-197101.9	25386.2	-11343.2	0	0	0	2017	2	16	10	19	52.5	3.3	1
21	-11.44	118.48	10	-117681.1	-200246.3	-11343.2	0	0	0	2017	2	15	2	26	10.7	4	1

22	-9.25	124.17	45	506811.7	41976.8	23656.8	0	0	0	2017	2	12	7	58	55.2	3.9	1
23	-8.78	117.58	10	-217056.5	93960.8	-11343.2	0	0	0	2017	2	2	12	50	14.7	3.9	1
24	-8.9	117.56	10	-219218	80688.3	-11343.2	0	0	0	2017	2	2	9	2	34.4	4	1
25	-8.65	119.13	25	-46728.8	108339.4	3656.8	0	0	0	2017	2	27	14	29	29	4.1	1
26	-9.34	119.65	40	10417	32022.4	18656.8	0	0	0	2017	2	26	15	44	43.4	3.3	1
27	-8.91	124.12	14	501563	79582.2	-7343.2	0	0	0	2017	2	26	15	13	55.5	3	1
28	-9.53	119.08	34	-52158.8	11007.7	12656.8	0	0	0	2017	2	24	10	29	22.2	4	1
29	-8.69	117.52	10	-223678.8	103915.2	-11343.2	0	0	0	2017	2	23	17	42	3	4.6	1
30	-9.47	116.47	38	-338707	17643.8	16656.8	0	0	0	2017	2	22	17	42	15.4	3.3	1
31	-9.64	117.27	10	-250816	-1158.9	-11343.2	0	0	0	2017	2	20	15	53	29.9	4	1
32	-9.7	122.94	10	371489.2	-7795.1	-11343.2	0	0	0	2017	3	18	19	33	12	4.1	1
33	-9.9	124.33	10	523887.1	-29915.9	-11343.2	0	0	0	2017	3	16	4	53	15.4	4.1	1
34	-11.06	116.87	10	-294084.8	-158216.8	-11343.2	0	0	0	2017	3	16	4	28	26.4	3.5	1
35	-9.34	118.71	60	-92821	32021.7	38656.8	0	0	0	2017	3	13	2	23	12.1	4.6	1
36	-9.15	118.93	62	-68681.9	53036.6	40656.8	0	0	0	2017	3	12	10	53	50.1	3.6	1
37	-9.66	118.92	12	-69729.1	-3371.6	-9343.2	0	0	0	2017	3	10	17	43	7.7	3.5	1
38	-8.31	124.93	10	591032.4	145944	-11343.2	0	0	0	2017	3	9	1	45	49.2	3.3	1
39	-9.31	116.94	34	-287192.1	35339.8	12656.8	0	0	0	2017	3	8	7	25	25.6	3.7	1
40	-9.83	118.45	10	-121284.4	-22174.3	-11343.2	0	0	0	2017	3	7	11	44	33.4	4	1
41	-11.07	117.77	10	-195530.1	-159323.5	-11343.2	0	0	0	2017	3	6	5	23	14.6	3.8	1
42	-9.4	117	33	-280567.2	25385.5	11656.8	0	0	0	2017	3	5	9	48	55.7	3.3	1
43	-8.32	124.89	10	586625.8	144838	-11343.2	0	0	0	2017	3	30	22	17	50.2	3	1
44	-10.23	119.18	13	-41157.3	-66415.9	-8343.2	0	0	0	2017	3	30	4	28	16.4	4.4	1
45	-9.38	118.03	53	-167480.4	27597.6	31656.8	0	0	0	2017	3	29	13	48	27.2	4.5	1

dst...

LAMPIRAN IV

Keluaran hypodd (Hypodd.reloc)

ID	lat	long	depth	x	y	z	Ex	Ey	Ez	year	month	day	hour	min	sec	mag	rms	CID
1	-8.867924	118.843113	3.073	-78237.8	84236	-18270.4	0	0	0	2017	1	17	5	18	12.92	3.4	0.256	1
2	-9.240589	117.840362	12.444	-188321.6	43017.7	-8899.2	0	0	0	2017	1	14	12	10	3.14	3.5	0.181	1
3	-9.90543	124.02333	60.405	490235.8	-30516.5	39061.5	0	0	0	2017	1	12	22	18	33.26	3.2	0.17	1
5	-9.145132	123.739037	37.025	459551.6	53575.6	15682	0	0	0	2017	1	11	12	3	26.3	3.7	0.147	1
7	-10.499556	119.227032	35.75	-35966.2	-96229.3	14407.2	0	0	0	2017	1	5	18	48	59.89	4.7	0.106	1
8	-11.316983	116.733458	3.636	-308914.1	-186640.1	-17707	0	0	0	2017	1	1	8	49	34.75	4.1	0.1	1
9	-9.358597	121.989395	35.26	267292.7	29965.5	13916.7	0	0	0	2017	1	30	9	39	26.73	4.3	0.378	1
10	-8.43896	116.875699	11.792	-294594.4	131681.2	-9551.3	0	0	0	2017	1	29	19	41	10.16	3.8	0.098	1
11	-9.482482	116.381488	36.031	-348418.3	16263.3	14687.8	0	0	0	2017	1	29	6	36	49.6	4.4	0.096	1
12	-8.657275	116.817569	35.825	-300895.1	107534.6	14481.8	0	0	0	2017	1	29	2	4	3.56	3.6	0.088	1
13	-9.502282	117.503003	33.981	-225286.5	14073.4	12637.4	0	0	0	2017	1	26	21	56	18.66	3.7	0.228	1
14	-10.925081	121.680058	32.895	232778	-143294.1	11551.7	0	0	0	2017	1	26	13	52	13.76	4.8	0.077	1
15	-10.365244	124.416713	12.905	533028.6	-81373.8	-8438.7	0	0	0	2017	1	25	3	57	38.75	3.7	0.182	1
16	-11.197092	118.438334	11.792	-122289.5	-173379.8	-9550.9	0	0	0	2017	1	24	3	52	3.46	4	0.249	1
17	-8.937684	124.089555	18.122	498198.2	76520.3	-3221.5	0	0	0	2017	1	20	18	39	43.39	3.6	0.01	1
18	-9.753936	117.53057	6.045	-222178.4	-13760.7	-15298.7	0	0	0	2017	1	20	18	21	59.38	3	0.135	1
19	-10.096674	119.016029	6.255	-59132.1	-51668.9	-15087.9	0	0	0	2017	2	18	11	22	51.77	4	0.093	1
20	-9.458519	117.821483	8.544	-190335.3	18913.7	-12798.8	0	0	0	2017	2	16	10	19	51.74	3.3	0.17	1
21	-11.366114	118.46694	19.361	-119125	-192074.3	-1982.1	0	0	0	2017	2	15	2	26	11.3	4	0.01	1
22	-9.196994	124.138743	47.667	503417.3	47839.5	26323.4	0	0	0	2017	2	12	7	58	55.17	3.9	0.887	1
23	-8.822598	117.521436	21.401	-223498	89248.5	57.8	0	0	0	2017	2	2	12	50	15.78	3.9	0.076	1

24	-8.954866	117.54918	18.621	-220408.3	74619.2	-2722.6	0	0	0	2017	2	2	9	2	35.46	4	0.097	1
25	-8.731026	119.124132	36.758	-47387	99376.8	15415.2	0	0	0	2017	2	27	14	29	29.66	4.1	0.105	1
26	-9.306743	119.628868	36.814	8078.1	35700.1	15471.1	0	0	0	2017	2	26	15	44	43	3.3	0.107	1
28	-9.530452	119.096893	34.19	-50323.2	10957	12846.8	0	0	0	2017	2	24	10	29	21.21	4	0.039	1
29	-8.822463	117.516053	26.245	-224089.5	89263.5	4901.9	0	0	0	2017	2	23	17	42	3.74	4.6	0.105	1
30	-9.463288	116.472603	36.839	-338443.4	18385.6	15496	0	0	0	2017	2	22	17	42	15.46	3.3	0.31	1
31	-9.60685	117.255719	9.616	-252414.1	2507	-11726.8	0	0	0	2017	2	20	15	53	30.54	4	0.025	1
32	-9.912923	122.949476	13.327	372393.2	-31345.9	-8016.5	0	0	0	2017	3	18	19	33	11.34	4.1	-0.16	1
34	-11.124205	116.991366	32.465	-280783.1	-165318.8	11121.4	0	0	0	2017	3	16	4	28	26.71	3.5	0.21	1
35	-9.361339	118.705862	51.086	-93272.4	29661.6	29743.1	0	0	0	2017	3	13	2	23	12	4.6	0.19	1
36	-9.325743	118.903315	51.399	-71594.9	33598.7	30056	0	0	0	2017	3	12	10	53	49.46	3.6	0.094	1
37	-9.656163	118.968567	25.104	-64398.7	-2947.2	3760.9	0	0	0	2017	3	10	17	43	8.55	3.5	0.047	1
38	-8.313869	124.942683	15.221	592423.9	145516.1	-6121.8	0	0	0	2017	3	9	1	45	50.08	3.3	0.125	1
39	-9.413314	116.964856	44.306	-284420.6	23912.9	22962.3	0	0	0	2017	3	8	7	25	25.15	3.7	0.293	1
40	-9.821304	118.489743	14.963	-116924.6	-21212.5	-6379.8	0	0	0	2017	3	7	11	44	33.39	4	-0.24	1
41	-11.086423	117.861059	22.299	-185552	-161139.9	955.8	0	0	0	2017	3	6	5	23	14.88	3.8	0.047	1
42	-9.423353	117.003273	44.679	-280198.5	22802.6	23336	0	0	0	2017	3	5	9	48	56.02	3.3	0.113	1
43	-8.275886	124.975242	19.882	596035.1	149717.2	-1461.5	0	0	0	2017	3	30	22	17	49.45	3	0.098	1
44	-10.236776	119.168834	11.584	-42381.4	-67165.4	-9759.7	0	0	0	2017	3	30	4	28	17	4.4	0.089	1
45	-9.40311	118.038435	49.256	-166548.5	25041.5	27912.8	0	0	0	2017	3	29	13	48	27.8	4.5	0.167	1
46	-9.25313	118.055188	6.329	-164744.6	41629.9	-15014.4	0	0	0	2017	3	27	16	13	20.26	3.2	-0.12	1
47	-9.338005	116.927386	49.735	-288565.9	32242.4	28392.3	0	0	0	2017	3	27	10	50	52.7	3.3	0.168	1
48	-9.758129	116.352367	20.123	-351492.5	-14225.1	-1220.7	0	0	0	2017	3	26	14	55	45.67	3.6	0.062	1
49	-9.630603	121.791547	18.799	245452.4	-120.1	-2544.7	0	0	0	2017	3	25	12	44	57.26	4.1	0.254	1

dst....

LAMPIRAN V

Keluaran hypodd (Hypodd.res)

STA	DT	C1	C2	IDX	QUAL	RES [ms]	WT	OFFS
BSSI	0.25	1	715	3	1	0.003864	0.99861	6493.3
TWSI	3.2200012	1	1051	4	1	-0.03874	0.998481	12775.3
BSSI	-0.119998	1	1051	3	1	0.038272	0.869159	12775.3
BSSI	1.0200005	1	554	3	1	-0.010197	0.998643	19599.7
PLAI	1.3099995	1	431	4	1	-0.012915	0.987943	64138.1
KLNI	3.6199989	1	431	3	1	0.055672	0.977989	64138.1
BSSI	2.0700035	1	586	3	1	-0.015851	0.970896	21719.8
TWSI	-1.540000	2	20	4	1	0.014722	0.997434	24500.2
MMRI	0.9099998	3	405	3	1	0.141573	0.532097	31145.8
BATI	3.3099995	3	253	3	1	-0.054312	0.7375	35737.4
MMRI	0.6599998	3	769	3	1	0.141756	0.509602	34488.3
MMRI	4.1100006	3	53	3	1	0.140232	0.544037	44063.3
ATNI	0.6700001	3	1803	3	1	0.034813	0.982991	40549.9
BATI	-7.5	3	927	4	1	-0.016706	0.997965	39546.2
ALKI	7.920002	3	927	4	1	-0.241108	0.55121	39546.2
SOEI	-1.179999	5	1250	3	1	0.007561	0.993057	17290.1
LRTI	0.25	5	1250	3	1	0.032398	0.978439	17290.1
SOEI	-0.800000	5	1676	3	1	0.003924	0.998863	22925.8
SOEI	-1.429999	5	1783	3	1	-0.002814	0.999571	24033.3
LRTI	-0.590000	5	1783	3	1	0.085055	0.786068	24033.3
LRTI	-1.520000	5	2148	3	1	0.001133	0.997933	29785.7
SOEI	-0.550000	5	2148	3	1	0.001673	0.997841	29750.5
ALKI	3.4799995	5	2148	4	1	0.019938	0.977129	29785.7
SOEI	-1.570000	5	1841	3	1	0.019584	0.914737	21209.7
SOEI	-2.349999	5	718	3	1	-0.000549	0.99915	32844.6
ALKI	2.0099983	5	718	4	1	-0.014914	0.993011	32844.6
LRTI	-2.940000	5	228	3	1	0.044991	0.62921	20826.2
SOEI	1.139999	5	2006	3	1	0.002991	0.999661	23818.9
MMRI	-3.450000	5	2006	3	1	-0.110471	0.655258	23818.9
ALKI	0.75	7	2137	3	1	0.211798	0.653777	47583.1
SPSI	-3.930000	7	2137	3	1	-0.121484	0.937311	47583.1
BASI	-0.270000	7	221	3	1	-0.054466	0.945799	13230.1
PLAI	1.6100006	7	221	3	1	-0.057262	0.705186	13230.1
PLAI	4.5400009	7	391	3	1	-0.067866	0.449813	33723.6
BASI	0.6999989	7	986	3	1	0.016189	0.993113	6993
PLAI	0.4900017	7	986	3	1	0.202467	0.793335	6993
BASI	-3.25	7	193	3	1	-0.009756	0.998675	37343.6
BASI	-3.370000	7	1109	3	1	-0.010159	0.999302	24377.2

PLAI	1.0800018	7	1116	3	1	0.351209	0.020239	39402.7
BASI	-2.080001	7	789	3	1	-0.037217	0.945217	30352.1
PLAI	3.9099998	7	789	3	1	0.406895	0.000053	30352.1
BASI	0.6399994	7	390	3	1	-0.20277	0.005229	25610
PLAI	5.0600014	7	390	3	1	-0.000134	0.956466	25610
PLAI	1.4899979	8	207	3	1	-0.014198	0.998527	11773.8
PLAI	0.9599991	8	1766	3	1	-0.008999	0.99816	25685.7
PLAI	0.8099976	8	1095	3	1	0.009139	0.994526	29914.8
PLAI	1.7899971	8	1778	3	1	-0.008307	0.998549	27349.7
RTBI	3.6300011	8	1778	3	1	-0.02987	0.951085	27349.7
PLAI	-4.080001	8	1504	3	1	0.0089	0.997263	30740.4
PLAI	3.3199997	8	177	3	1	0.005346	0.994762	25660.4
PLAI	4.8799973	8	679	3	1	-0.01362	0.98971	33110.6
RTBI	5.8699989	8	679	3	1	-0.033262	0.901853	33110.6
PLAI	-0.040000	8	1505	3	1	0.013281	0.995819	26716.9
MMRI	-0.569999	9	790	3	1	0.004619	0.996981	5630
BASI	0.3199997	9	790	3	1	-0.013016	0.992326	5630
BATI	0.960001	9	1675	3	1	-0.339665	0.094944	5602.3
MMRI	-0.489999	9	378	3	1	-0.003425	0.999989	6287.7
BASI	0.5799999	9	378	3	1	-0.009671	0.999918	6287.7
MMRI	-0.069999	9	557	3	1	-0.005983	0.99982	3539.7
MMRI	-1.219999	9	243	3	1	-0.002156	0.999999	3639.4
BASI	-1.450000	9	243	3	1	0.014122	0.994536	3639.4
MMRI	-0.919999	9	167	3	1	-0.004759	0.999923	14106.9
MMRI	-1.919999	9	231	3	1	0.004649	0.992741	25177
BASI	3.8700008	9	231	3	1	0.023118	0.968049	25177
MMRI	-1.509999	9	1718	3	1	0.005881	0.99216	19285.9
MMRI	-1.5	9	1083	3	1	0.015503	0.986816	14521.9
BASI	0.8500004	9	1083	3	1	0.068102	0.786564	14521.9
MMRI	-1.29	9	424	3	1	-0.006269	0.99931	21065.9
BASI	-1.110000	9	424	3	1	0.002474	0.999596	21065.9
PLAI	0.0299988	10	1375	3	1	-0.005905	0.995164	3965.2
JAGI	1.0800018	10	1375	3	1	-0.045649	0.933201	3965.2
PLAI	-0.260000	10	505	3	1	-0.004241	0.99923	1916.2
PLAI	-0.220001	10	551	3	1	-0.005298	0.999525	7109.5
PLAI	1.3500004	10	1135	3	1	0.004216	0.999978	9675.8
PLAI	0.8699989	10	519	3	1	-0.027549	0.864666	5678.6
PLAI	0.0900002	10	613	3	1	-0.016499	0.906852	6072.6
PLAI	-0.370000	10	580	3	1	0.001729	0.999966	11199.6
PLAI	0.8500004	10	535	3	1	-0.009288	0.993855	3838.6
PLAI	0.8899994	10	1142	3	1	-0.009808	0.995164	3697.3
PLAI	1.2299995	10	1143	3	1	0.006033	0.993108	8179

dst..

LAMPIRAN VI

Keluaran hypodd (Hypodd.sta)

No	sta	lat	long	dist	Az	NCCP	NCCS	NCTP	NCTS	RCC	RCT	CID
1	ABJI	-7.7956	114.234	0	0	0	0	8	0	0	0	1
2	ALKI	-8.1445	124.590	0	0	0	0	121	45	0	0.0001	1
3	ATNI	-9.0835	124.864	0	0	0	0	246	87	0	0.0001	1
4	BASI	-10.218	120.577	0	0	0	0	1068	61	0	0.0001	1
5	BBSI	-5.4885	122.569	0	0	0	0	7	0	0	0.0001	1
6	BKSI	-5.3218	120.122	0	0	0	0	340	2	0	0.0001	1
7	BLJI	-7.7454	113.595	0	0	0	0	11	0	0	0.0001	1
8	BSSI	-6.1428	120.490	0	0	0	0	447	7	0	0.0001	1
9	BWJI	-5.8511	112.657	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10	BYJI	-8.214	114.355	0	0	0	0	3	1	0	0.0001	1
11	DBNI	-8.5019	118.312	0	0	0	0	77	114	0	0.0001	1
12	DNP	-8.6774	115.209	0	0	0	0	17	3	0	0.0002	1
13	EDFI	-8.7497	121.690	0	0	0	0	651	53	0	0.0001	1
14	GMJI	-8.2732	113.444	0	0	0	0	41	0	0	0.0001	1
15	KKSI	-4.1717	121.651	0	0	0	0	2	0	0	0	1
16	KLNI	-8.4219	116.094	0	0	0	0	298	152	0	0.0001	1
17	KMMI	-7.0412	113.915	0	0	0	0	4	0	0	0	1
18	KRK	-8.1521	112.450	0	0	0	0	2	0	0	0	1
19	LRTI	-8.2752	123	0	0	0	0	162	23	0	0.0001	1
20	NGJI	-7.3675	111.461	0	0	0	0	2	0	0	0	1
21	PCJI	-8.1947	111.177	0	0	0	0	1	0	0	0	1
22	PMSI	-3.5008	118.914	0	0	0	0	2	0	0	0	1
23	PWJI	-8.0219	111.804	0	0	0	0	4	0	0	0.0002	1
24	RTBI	-8.4597	114.942	0	0	0	0	11	0	0	0.0001	1
25	SPSI	-3.9646	119.769	0	0	0	0	3	0	0	0.0001	1
26	SRBI	-8.0847	115.212	0	0	0	0	73	54	0	0.0005	1
27	SWJI	-7.7349	111.766	0	0	0	0	3	0	0	0	1
28	TTSI	-3.0451	119.819	0	0	0	0	1	0	0	0	1
29	TWSI	-8.7382	116.882	0	0	0	0	771	394	0	0.0001	1
30	WBSI	-9.6411	119.391	0	0	0	0	335	488	0	0.0001	1
31	KHK	-8.364	115.609	0	0	0	0	10	7	0	0.0001	1
32	SNJI	-7.7808	111.759	0	0	0	0	1	0	0	0	1
33	WSI	-9.669	120.297	0	0	0	0	162	136	0	0.0001	1
34	JAGI	-8.4703	114.152	0	0	0	0	698	19	0	0.0001	1
35	MMRI	-8.6357	122.237	0	0	0	0	404	128	0	0.0001	1
36	PLAI	-8.7006	117.721	0	0	0	0	2279	813	0	0.0001	1
37	SOEI	-9.7553	124.267	0	0	0	0	803	22	0	0.0001	1
38	BATI	-10.206	123.663	0	0	0	0	257	11	0	0.0001	1
39	KAPI	-5.0142	119.751	0	0	0	0	17	0	0	0.0002	1
40	IGBI	-8.818	115.146	0	0	0	0	135	9	0	0.0001	1

41	LBF1	-8.48	119.892	0	0	0	0	24	6	0	0.0002	1
42	MMSI	-2.6892	118.909	0	0	0	0	1	0	0	0	1



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 19640048
Nama : SITTAYANI AFTA SHOBIKHAH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : IRJAN,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI KEPULAUAN NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE DOUBLE DIFFERENCE

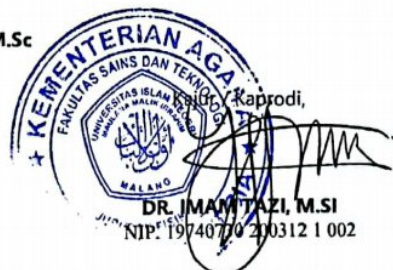
IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	23 November 2022	IRJAN,M.Si	Konsultasi pengajuan judul	Ganjil 2022/2023	Sudah Dikoreksi
2	04 Januari 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi BAB I, II, III	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
3	05 Februari 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi BAB I, II, III acc	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
4	08 Maret 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi Batas penelitian dan data BMKG	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
5	06 Juni 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi dan acc surat BMKG	Genap 2022/2023	Sudah Dikoreksi
6	26 September 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi hasil penelitian dan BAB IV	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	07 November 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi dan acc BAB I, II, III, IV	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	09 November 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi BAB I dan II	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	06 Desember 2023	IRJAN,M.Si	Konsultasi dan acc semua BAB	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	07 Desember 2023	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi dan ACC semua BAB	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	16 November 2024	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi dan acc BAB IV	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc
NIP. 19691231 200604 1 003



DR. IMAM TAZI, M.Si
NIP. 19740770 200312 1 002

Malang, 27-12-2023

Dosen Pembimbing 1

IRJAN,M.Si
NIP. 19900905 201903 1 018

27/12/2023 06