

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI PADA ZONA PATAHAN
KEPULAUAN NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

SKRIPSI

Oleh:

KHURUM MAQSHUROH

NIM. 220604110002



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGAJUAN

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI PADA ZONA PATAHAN
KEPULAUAN NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

SKRIPSI

Oleh:

KHURUM MAQSHUROH

NIM. 220604110002

Diajukan Kepada :

Fakultas Sains Dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI PADA ZONA PATAHAN KEPULAUAN NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE DIFFERENCE*

SKRIPSI

Oleh:

KHURUM MAQSHUROH

NIM. 220604110002

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 23 Juni 2026

Dosen Pembimbing I



Irjan, M.Si.

NIP. 19691231 200604 1 003

Dosen Pembimbing II



Dr. Erna Hastuti, M.Si.

NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T.

NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI PADA ZONA PATAHAN KEPULAUAN NUSA TENGGARA MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE DIFFERENCE*

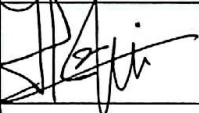
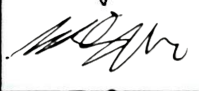
SKRIPSI

Oleh :

KHURUM MAQSHUROH

NIM. 220604110002

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si.)
Pada Tanggal, 29 Juni 2026

Penguji Utama	<u>Drs. H. Abdul Basid, M.Si.</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	<u>Khusnul Yakin, M.Si., Ph.D.</u> NIP. 19910103 201903 1 009	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si.</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si.</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T.

NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Khurum Maqshuroh

NIM : 220604110002

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Relokasi Hiposenter Gempabumi Pada Zona Patahan Kepulauan
Penelitian Nusa Tenggara Menggunakan Metode *Double Difference*.

Menyiapkan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur 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, 26 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan



Khurum Maqshuroh
NIM.220604110002

MOTTO

“Ikhtiyar, Doa, Tawakkal”

“Sesungguhnya setelah kesulitan pasti ada kemudahan”

Al-Insyirah : 6

HALMAN PERSEMBAHAN

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

- Kedua orang tua saya Ibu Asia dan Bapak Khasan Bisri yang senantiasa berdoa dan memberi dukungan untuk saya.
- Kakak saya Danial Hasan yang selalu membantu saya selama masa kuliah dan adik saya Ana Zariroh yang sering menjadi teman cerita selama kuliah.
- Pengasuh Mabna BTQ-GTA MSAA, Yai Hasyim dan Ummah Isma yang mendidik kami selama di asrama.
- Teman-teman BTQ-GTA, khususnya angkatan 2022 yang selalu kebersamai semasa tinggal di Malang.
- Teman-teman EPSHILON yang kebersamai semasa kuliah khususnya (Mita, Icha, Husniyah, Fafa, Martha).
- Teman sebimbingan yang membantu proses skripsi ini (adinda, ovin, natasya, nada).
- Teman Elegant Woman (Mayda Dini, Mbak Fatiha, Mbak Lilik)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi yang berjudul “Relokasi Hiposenter Gempabumi di Zona Patahan Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Metode *Double Difference*”. Shalawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, yang syafaatnya diharapkan pada hari kemudian.

Proses penyusunan skripsi ini tidak akan berhasil tanpa adanya 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. Ibu Prof. Dr.Hj. Ilfi Nurdiana, M.Si., CAHRM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Bapak Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T selaku ketua program studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, masukan, pengarahan dari awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen pembimbing integrasi yang senantiasa memberikan arahan pada penyusunan integrasi penelitian skripsi ini.

6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Bapak Bisri dan Ibu Asia, selaku orang tua penulis dan seluruh keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa agar penulis senantiasa diberikan kelancaran dalam melaksanakan segala hal.
8. Teman-teman Fisika angkatan 2022 (EPSHILON), khususnya teman-teman seimbangin.
9. Santri BTQ-GTA Mahad UIN Malang, khususnya teman-teman angkatan 2022.
10. Serta semua pihak yang membantu dalam menyusun skripsi ini secara langsung maupun 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, 22 Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

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	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Batasan Masalah.....	8
1.5. Manfaat	9
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 10
2.1. Relokasi Hiposenter Gempabumi	10
2.1.1. Gempabumi	10
2.1.2. Klasifikasi Gempabumi	13
2.1.3. Parameter Gempabumi	14
2.1.4. Gelombang Seismik.....	16
2.2. Zona Patahan	19
2.2.1. Klasifikasi Zona Patahan	20
2.2.2. Zona Patahan Regional Daerah Nusa Tenggara	22
2.3. Metode <i>Double Difference</i>	25
 BAB III METODE PENELITIAN	 28
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2. Data Penelitian	28
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.4. Prosedur Penelitian	30
3.4.1. Seleksi Data	31
3.4.2. Konversi Data	31
3.4.3. Pengolahan Data Menggunakan <i>Ph2dt</i>	32
3.4.4. Relokasi Gempa Menggunakan <i>HypoDD</i>	33
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 VI HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Gambaran Umum Data dan Pengolahan	41
4.2. Hasil Relokasi Hiposenter Kepulauan Nusa Tenggara	43
4.2.1. Hasil Relokasi Hiposenter Pada Wilayah Nusa Tenggara Barat	43
4.2.2. Hasil Relokasi Hiposenter Pada Wilayah Nusa Tenggara Timur	47
4.3. Analisis Histogram Residual dan Kualitas Data	51
4.3.1. Histogram Residual NTB Sebelum dan Sesudah Relokasi	52
4.3.2. Histogram NTT Sebelum dan Sesudah Relokasi.....	54
4.4. Analisis Pola Orientasi Struktur Berdasarkan Diagram <i>Rose</i> dan Diagram Kompas	56
4.4.1. Diagram <i>Rose</i> dan Diagram Kompas Wilayah NTB.....	56
4.4.2. Diagram <i>Rose</i> dan Diagram Kompas Wilayah NTT	59
4.5. Perbandingan Hasil Relokasi Dengan Penelitian Sebelumnya	61
4.6. Integrasi Penelitian Dalam Perspektif Islam	63
BAB V PENUTUP.....	68
5.1. Kesimpulan	68
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Penjalaran Gelombang P (Reynolds, 1998).	17
Gambar 2.2	Ilustrasi Penjalaran Gelombang S (Reynolds,1998)	18
Gambar 2.3	Ilustrasi Penjalaran Gelombang Love (Reynolds,1998)	19
Gambar 2.4	Ilustrasi Penjalaran Gelombang Reyleigh (Reynolds,1998)	19
Gambar 2.5	Ilustrasi Sesar Normal (Sumber : <i>Open Geography Education</i>).....	20
Gambar 2.6	Ilustrasi Sesar Naik (Sumber : <i>Open Geography Education</i>)	21
Gambar 2.7	Ilustrasi Sesar Mendatar (Sumber : <i>Open Geography Education</i>)..	21
Gambar 2.8	Peta Lokasi Kepulauan Sunda Kecil (Darman,2012; Dimodifikasi dari Doust dan Limbach,1977)	22
Gambar 2.9	Peta Struktur yang menunjukkan satuan tektono struktur utama, sesar utama, dan Batimetri Kepulauan Nusa Tenggara (Darman,2012)	23
Gambar 2.10	Zona Patahan Kepulauan Nusa Tenggara (Sumber : <i>Jay Patton Online</i>)	24
Gambar 2.11	Ilustrasi Algoritma Double Difference (Waldhauser & Ellsworth, 2000).....	27
Gambar 3.1	Tampilan Hasil Pengolahan <i>ph2dt</i>	33
Gambar 3.2	Tampilan Hasil Pengolahan <i>hypoDD</i>	35
Gambar 3.3	Diagram Alir Persamaan Penelitian	38
Gambar 3.4	Diagram Alir Pra Penelitian	39
Gambar 3.5	Diagram Alir Relokasi Hiposenter	40
Gambar 4.1	Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi NTB	44
Gambar 4.2	Peta Episenter Gempabumi Setelah Relokasi NTB	44
Gambar 4.3	Hasil Plot Hiposenter NTB (a) sebelum relokasi dan (b) setelah relokasi	45
Gambar 4.4	Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi NTT	47
Gambar 4.5	Peta Episenter Gempabumi Setelah Relokasi NTT.....	48
Gambar 4.6	Hasil Plot Hiposenter NTT (a) sebelum relokasi dan (b) setelah relokasi	49
Gambar 4.7	Histogram Residual Waktu Tempuh NTB Sebelum Di Relokasi ...	52
Gambar 4.8	Histogram Residual Waktu Tempuh NTB Sesudah Di Relokasi....	52
Gambar 4.9	Histogram Residual Waktu Tempuh NTT Sebelum Di Relokasi ...	54
Gambar 4.10	Histogram Residual Waktu Tempuh NTT Sesudah Di Relokasi....	54
Gambar 4.11	Diagram Rose NTB.....	57
Gambar 4.12	Diagram Kompas NTB.....	58
Gambar 4.13	Titik persebaran episenter sebelum dan sesudah relokasi (merah : sebelum, kuning : sesudah).....	58
Gambar 4.14	Diagram Rose NTT	59
Gambar 4.15	Diagram Kompas NTT.....	60
Gambar 4.16	Titik persebaran episenter sebelum dan sesudah relokasi (merah : sebelum, kuning : sesudah).....	61

Gambar 4.17 Persebaran episenter Kepulauan Nusa Tenggara setelah relokasi (shobikhah,2023)	62
Gambar 4.18 Persebaran episenter Kepulauan Nusa Tenggara setelah relokasi (a) NTB (b) NTT	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Model Kecepatan (Kennett et al., 1995; Wagner et al.,2007).....	30
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Hypodd.loc</i> NTB (Informasi kejadian gempa sebelum direlokasi) ...	75
Lampiran 2 <i>Hypodd.reloc</i> NTB (Informasi kejadian gempa setelah direlokasi) ..	76
Lampiran 3 <i>Hypodd.res</i> NTB.....	77
Lampiran 4 <i>Hypodd.loc</i> NTT (Informasi kejadian gempa sebelum direlokasi) ...	78
Lampiran 5 <i>Hypodd.reloc</i> NTT (Informasi kejadian gempa setelah direlokasi) ..	79
Lampiran 6 <i>Hypodd.res</i> NTT.....	80
Lampiran 7 Inputan <i>Ph2dt</i> dan <i>Hypodd</i>	81
Lampiran 8 Outputan <i>Ph2dt</i> dan <i>Hypodd</i>	82

ABSTRAK

Maqshuroh, Khurum. 2026. **Relokasi Hiposenter Gempabumi Pada Zona Patahan Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Tenggara Menggunakan Metode *Double Difference***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Dr.Erna Hastuti, M.Si

Kata Kunci: Relokasi Hiposenter, *Double Difference*, *HypoDD*, Gempabumi, Nusa Tenggara, Zona Patahan.

Kepulauan Nusa Tenggara merupakan daerah dengan aktivitas seismik tinggi yang dipengaruhi oleh interaksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia serta keberadaan sistem patahan aktif di zona *Back-Arc Flores*. Ketidakakuratan lokasi hiposenter pada katalog gempabumi menjadi penghambat dalam mengidentifikasi pola seismisitas dan struktur geologi yang mengontrolnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan ketelitian lokasi hiposenter serta menganalisis pola sebaran gempabumi pada zona patahan utara Kepulauan Nusa Tenggara melalui proses relokasi. Penelitian ini menggunakan data katalog gempabumi *International Seismological Centre (ISC)* periode 2014–2024 yang kemudian diolah menggunakan metode *double difference* dengan bantuan perangkat lunak *HypoDD*. Metode ini bekerja dengan meminimumkan residual waktu tempuh antara hasil pengamatan dan perhitungan pada pasangan kejadian gempa yang berdekatan sehingga menghasilkan lokasi hiposenter yang lebih presisi. Hasil relokasi kemudian divisualisasikan menggunakan GMT sehingga dapat dianalisis pola distribusinya. Hasil persebaran hiposenter setelah relokasi ada yang lebih menyebar dan lebih terkelompok di beberapa wilayah yang menunjukkan adanya patahan di wilayah tersebut. Keakuratan hasil relokasi hiposenter dilihat penurunan nilai residual yang semakin mendekati nol, dimana diperoleh nilai residual sebesar 0,6 s pada wilayah Nusa Tenggara Barat dan sebesar 0,7 s pada wilayah Nusa Tenggara Timur. Distribusi arah pergeseran hiposenter setelah relokasi memperlihatkan kecenderungan mengikuti struktur geologi utama, yaitu lebih dominan ke arah utara, yang berkaitan dengan sistem patahan *Back-Arc Flores*. Pola ini mengindikasikan bahwa aktivitas seismik di wilayah tersebut dipengaruhi oleh zona patahan aktif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pemahaman tektonik regional serta menjadi dasar dalam upaya mitigasi bencana gempabumi di wilayah Nusa Tenggara.

ABSTRACT

Maqshuroh, Khurum. 2026. **Relocation of Earthquake Hypocenters in the Nusa Tenggara Islands Fault Zone Using the Double Difference Method.** Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang.
Advisors: (I) Irjan, M.Si (II) Dr.Erna Hastuti, M.Si

Key word: Hypocenter Relocation, Double Difference, HypoDD, Earthquake, Nusa Tenggara, Fault Zone.

The Nusa Tenggara Islands are a region of high seismic activity influenced by the interaction of the Indo-Australian and Eurasian tectonic plates, as well as the presence of active fault systems in the Flores Back-Arc zone. Inaccuracies in hypocenter locations in earthquake catalogs hinder the identification of seismicity patterns and the geological structures that control them. Therefore, this study aims to improve the accuracy of hypocenter locations and analyze earthquake distribution patterns in the northern fault zone of the Nusa Tenggara Islands through a relocation process. This study uses earthquake catalog data from the International Seismological Centre (ISC) for the period 2014–2024, which was then processed using the double-difference method with the assistance of the HypoDD software. This method works by minimizing the travel time residuals between observed and calculated values for pairs of nearby earthquake events, thereby producing more precise hypocenter locations. The relocation results were then visualized using GMT so that their distribution patterns could be analyzed. The distribution of hypocenters after relocation showed that some were more widely dispersed while others were more clustered in certain regions, indicating the presence of faults in those areas. The accuracy of the hypocenter relocation results was assessed by the decrease in residual values, which approached zero; residual values of 0.6 s were obtained in the West Nusa Tenggara region and 0.7 s in the East Nusa Tenggara region. The distribution of hypocenter displacement directions following relocation shows a tendency to follow major geological structures, with a dominant northward trend associated with the Flores Back-Arc fault system. This pattern indicates that seismic activity in the region is influenced by active fault zones. The results of this study are expected to contribute to the understanding of regional tectonics and serve as a basis for earthquake disaster mitigation efforts in the Nusa Tenggara region.

مستخلص البحث

مقصورة، حور. 2026. إعادة تحديد موقع مركز الزلزال في منطقة صدع جزر نوسا جنوب شرقي باستخدام طريقة الفرق المزدوج. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.

المشرف الأول: إيرجان، الماجستير؛ المشرفة الثانية: الدكتورة إيرنا هستوتي، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: إعادة تحديد موقع مركز الزلزال، الفرق المزدوج، HypoDD، الزلازل، نوسا جنوب شرقي، منطقة الصدع.

جزر نوسا جنوب شرقي تعتبر منطقة ذات نشاط زلزالي مرتفع يتأثر بتفاعل صفيحة الهند-أستراليا مع صفيحة أوراسيا ووجود نظام صدوع نشيط في منطقة Back-Arc Flores. عدم دقة موقع مركز الزلزال في سجلات الهزات الأرضية يعوق التعرف على نمط الزلازل والبنية الجيولوجية التي تتحكم بها. لذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحسين دقة تحديد موقع مركز الزلزال وتحليل نمط توزيع الزلازل في منطقة الصدع الشمالية لجزر نوسا جنوب شرقي من خلال عملية إعادة تحديد المواقع. استخدمت الدراسة بيانات سجل الزلازل من المركز الدولي لعلم الزلازل (ISC) للفترة 2014-2024، ثم تم معالجتها باستخدام طريقة الفرق المزدوج بمساعدة برنامج HypoDD. تعمل هذه الطريقة على تقليل الفارق في زمن الوصول بين الملاحظات والحسابات على أزواج الزلازل القريبة، وبالتالي تعطي موقع مركز الزلزال بدقة أكبر. تم بعد ذلك تصور نتائج إعادة التموضع باستخدام GMT بحيث يمكن تحليل نمط التوزيع. تشير نتائج توزيع بؤر الزلازل بعد إعادة التموضع إلى أنها أصبحت أكثر انتشارًا وأحيانًا أكثر تجمعًا في بعض المناطق، مما يدل على وجود صدوع في تلك المناطق. دقة نتائج إعادة التموضع لبؤر الزلازل تم تقييمها من خلال انخفاض قيمة الباقي والتي تقترب من الصفر، حيث تم الحصول على قيمة باقى 0.6 ثانية في منطقة نوسا جنوب شرقي و0.7 ثانية في منطقة نوسا جنوب شرقي. توزيع اتجاهات تحرك بؤر الزلازل بعد إعادة التموضع يظهر ميلاً لمتابعة الهيكل الجيولوجي الرئيسي، بحيث يكون أكثر اتجاهًا نحو الشمال، وهذا مرتبط بنظام صدع باك-آرك فلوريس. يشير هذا النمط إلى أن النشاط الزلزالي في تلك المنطقة يتأثر بمنطقة صدع نشطة. نأمل أن تسهم نتائج هذا البحث في فهم التكتونية الإقليمية وأن تكون أساسًا في جهود التخفيف من مخاطر الزلازل في منطقة نوسا جنوب شرقي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai potensi bencana alam. Adapun bencana alam yang sering terjadi seperti gempa bumi, letusan gunung api, banjir, dan longsor. Indonesia termasuk wilayah tektonik dan kegempaan yang sangat aktif. Tingginya aktivitas gempa bumi di Indonesia disebabkan oleh lokasi geologis yang berada pada daerah *Pacific Ring of Fire* (Cincin api Pasifik). Selain itu aktivitas gempa bumi yang tinggi di Indonesia dikarenakan adanya pertemuan tiga lempeng tektonik aktif yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Tiga lempeng tektonik tersebut saling bertemu dan membentuk jalur-jalur lempeng tektonik yang aktif dan kompleks (Aritonang et al., 2021). Dari proses pergerakan lempeng tektonik ini membentuk zona subduksi aktif yang ada dibagian barat sampai timur Indonesia dan zona patahan baik di darat maupun di laut yang menjadi penyebab terjadinya gempa bumi di sebagian besar wilayah Indonesia (Puslitbang PUPR, 2017).

Kawasan lempeng tektonik aktif memicu kerentanan wilayah terhadap bencana seismik (Risanti et al., 2021), pergerakan lempeng tersebut berasal dari energi dalam bumi dengan aliran konveksi yang menjalar ke permukaan bumi sebagai gelombang seismik. Menurut (BMKG, 2017), pergerakan lempeng menunjam lempeng lain diklasifikasikan menjadi tiga yaitu dua lempeng saling menyebar, menumbuk, dan mendeformasi. Pergerakan lempeng memicu timbulnya gempa bumi tektonik, gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi dalam bentuk gelombang getaran yang merambat ke permukaan bumi

akibat aliran turbulensi di kerak bumi (Sili & Fauzi, 2013), energi tersebut berupa *stress* dan *strain* akibat penunjaman lempeng membentuk daerah subduksi dan sesar lokal (Bidang, 2020). Proses terjadinya gempa bumi melibatkan interaksi kompleks di bawah permukaan bumi, sehingga sulit untuk diprediksi secara akurat. Sehingga Gempabumi menjadi salah satu bencana alam yang dapat menimbulkan kerusakan yang serius terhadap kehidupan manusia dan infrastruktur (Tantyoko et al., 2023).

Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat aktivitas gempabumi yang tinggi adalah Kepulauan Nusa Tenggara. Wilayah tersebut merupakan bagian dari tunjaman lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia yang bergerak dengan kecepatan 6-7,3 cm/tahun ke arah utara (Demets et al., 2010). Selain disebabkan oleh tunjaman antara lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia, aktivitas kegempaan di wilayah ini juga disebabkan oleh adanya pensesaran naik busur belakang (*Back-arc thrusting*) di bagian utara Bali dan Nusa Tenggara (Hamilton, 1979). *Zone back arc thrust* beberapa kali menjadi sumber dari gempa yang mematikan di daerah tersebut. Hal ini disebabkan lokasinya yang relatif dangkal dan magnitudo gempa yang rilis cukup besar. Berdasarkan data historis kegempaan di Indonesia, beberapa gempa besar pernah terjadi di Kepulauan Nusa Tenggara. Pada tanggal 11 November 2004, pernah terjadi gempa bermagnitudo 7.5 di Kepulauan Alor dengan kedalaman 10 km. Selain itu, pada tanggal 14 Desember 2021 juga terjadi gempa besar magnitudo 7.4 di Laut Flores dengan kedalaman 10 km. Gempa Laut Flores pada 14 Desember 2021 tersebut bersumber dari adanya aktivitas sesar mendatar barat-

barat laut hingga timur-tenggara dengan diikuti adanya peringatan dini tsunami dan tercatat kenaikan muka air laut setinggi 0,07 m (Faiza & Ariyanto, 2024).

Zona patahan merupakan kumpulan beberapa sesar yang mengikuti atau berkaitan dengan sesar utama. *Zone Flores back arc thrust* adalah salah satu sesar utama di Indonesia. Sesar-sesar naik (*back-arc thrust*) biasanya ditemukan di daerah busur belakang di seluruh pulau-pulau busur vulkanik di Nusa Tenggara Barat hingga ke Nusa Tenggara Timur. Sesar naik ini umumnya sejajar dengan jajaran busur vulkanik tersebut yaitu berarah hampir barat-timur. Keberadaan sesar-sesar naik ini menandakan adanya interaksi antar kerak benua Australia dan kerak benua Eurasia yang saling bertumbukan (*collision*). Makin ke arah barat, sesar naik ini makin menghilang dikarenakan kekuatan tumbukan antara benua Australia-Eurasia semakin melemah (A. Silver et al., 1986).

Zona patahan *back-arc Flores* memiliki kemiringan ke selatan dan membentang lebih dari 1.500 km sepanjang jalur patahan. Zona ini terbagi menjadi dua segmen utama, yaitu Zona Geser Wetar di bagian timur dan Zona Geser Flores di bagian barat. Secara regional, *Flores Thrust* memanjang dari timur ke barat dan melintasi wilayah utara Flores bagian tengah, Sumbawa, Lombok, hingga Bali. Pada segmen dari Flores tengah hingga Lombok bagian timur, zona sesar ini berkembang hingga mencapai dasar laut (A. Silver et al., 1986).

Untuk pemahaman yang baik terhadap kondisi tektonik dan bahaya gempa bumi, diperlukan informasi parameter gempa bumi yang akurat. Parameter yang dihasilkan dari sistem monitoring gempa bumi di Indonesia oleh BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) saat ini memiliki tingkat akurasi

yang rendah karena berfokus pada kecepatan informasi untuk peringatan dini tsunami. Keakuratan penentuan posisi gempa bumi bergantung pada model kecepatan awal yang digunakan. Model kecepatan dipengaruhi oleh struktur geologi pada suatu wilayah. Menurut Kissling (1988) dalam penentuan posisi hiposenter gempa bumi yang akurat, model kecepatan merupakan prioritas utama (Tumangkeng et al., 2020).

Penentuan lokasi hiposenter gempa bumi sangat penting dilakukan untuk menganalisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola zona subduksi (Pavlis, 1986). Adanya zona patahan dan zona subduksi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik. Pergerakan lempeng ini mengindikasikan bahwa bumi merupakan planet yang dinamis sejak pembentukannya. Bumi bergerak bukan hanya berputar pada porosnya atau bergerak mengitari bumi, tetapi juga terjadi gerakan dikulit bumi. Fenomena pergerakan bumi secara tersirat dijelaskan dalam Al-Qur'an Surah at-Thuur ayat 10 :

وَتَسِيرُ الْجِبَالُ سَيْرًا {١٠}

Artinya : “*dan gunung-gunung berjalan (berpindah-pindah)*” (at-Thuur/78:10).

Dalam tafsir ilmi dijelaskan bahwa gunung-gunung yang tampak diam dan kokoh pada kenyataannya mengalami pergerakan. Fenomena ini tidak mudah diamati secara langsung oleh masyarakat umum, namun dapat dipahami melalui kajian ilmiah kebumiharian. Pergerakan tersebut berkaitan dengan dinamika lempeng tektonik, di mana gunung-gunung yang berada di atas lempeng ikut bergerak seiring dengan pergeseran lempeng bumi. Aktivitas seperti lipatan batuan sedimen, patahan, pengangkatan dan penurunan permukaan bumi, serta aktivitas

vulkanik merupakan bukti bahwa bumi bersifat dinamis. Dalam konteks ini, kalimat berjalannya gunung dapat dipahami sebagai bagian dari pergerakan lempeng tektonik yang berlangsung sangat lambat namun terus-menerus, sehingga tidak disadari secara langsung oleh manusia. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan antara penafsiran ayat Al-Qur'an dengan konsep ilmiah mengenai dinamika bumi (Kemenag, 2010).

Keberadaan gunung apabila dikaji secara mendalam mencerminkan kompleksitas dan kekuatan struktur bumi. Proses pembentukan gunung erat kaitannya dengan dinamika internal bumi, khususnya akibat pergerakan dan tumbukan lempeng tektonik yang mendorong lapisan bumi terangkat ke permukaan, sehingga membentuk gunung. Selain berperan dalam pembentukan morfologi permukaan, aktivitas tektonik ini juga menjadi penyebab utama terjadinya gempa bumi akibat akumulasi dan pelepasan energi pada batas-batas lempeng (Azkia, 2024).

Menurut teori tektonik lempeng, lempeng-lempeng dipermukaan bumi kurang lebih terdiri dari dua puluh lempeng utama dan lempeng-lempeng kecil lainnya yang mengalami pergerakan setiap tahunnya. Daerah tempat lempeng-lempeng bertemu disebut sebagai batas lempeng. Berdasarkan arah pergerakannya tersebut, batas antara lempeng tektonik yang satu dengan lainnya (*plate boundaries*) terbagi dalam 3 jenis, yaitu divergen, konvergen, dan transform (Kearey et al., 2009).

Pemetaan tingkat kerawanan gempa bumi, kajian struktur kecepatan, serta analisis seismisitas baik pada skala global maupun lokal membutuhkan penentuan lokasi hiposenter gempa bumi yang presisi. Ketelitian dalam menentukan posisi hiposenter berperan penting dalam analisis struktur bawah permukaan secara

detail, seperti pengenalan zona patahan serta pola sebaran dan orientasi mikrofraktur. Namun demikian, salah satu kendala utama dalam analisis seismisitas adalah masih adanya ketidakpastian dalam penentuan lokasi hiposenter, yang sering kali tidak merepresentasikan dimensi sebenarnya dari patahan sumber gempabumi. Kondisi ini menyebabkan interpretasi terhadap struktur geologi menjadi kurang optimal (Sunardi et al., 2012).

Beberapa ahli geologi telah melakukan penelitian terkait gempabumi, salah satu dari beberapa parameter gempa yang dapat dihitung adalah hiposnter. Dalam seismologi, penentuan hiposenter gempabumi secara tepat dan akurat sangat penting. Seiring dengan perkembangan teknologi penentuan hiposenter dapat dilakukan secara cepat. Namun, parameter hiposenter yang dihasilkan dianggap masih perlu lebih diakuratkan karena dalam penentuannya, sehingga perlu dilakukan relokasi parameter hiposenter dari data yang diperoleh sebelumnya (Jannah et al., 2016).

Salah satu metode yang digunakan dalam merelokasi gempabumi adalah metode *double difference*. Metode ini dipilih karena mampu merelokasi gempa meskipun dengan jumlah data yang banyak sekalipun, namun meodel kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan. Metode *double difference* adalah suatu metode relokasi hiposenter yang dikembangkan dari metode Geiger dengan menggunakan data waktu tempuh residual dari pasangan gempabumi dengan melakukan koreksi ke setiap stasiun seismograf. Metode ini diperkenalkan pertama kali pada tahun 2000 oleh Waldhauser dan Ellsworth menggunakan data katalog gempa dan *waveform crosscorrelation* (Jannah et al., 2016).

Penelitian relokasi hiposenter telah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dengan berbagai macam lokasi dan metode. Dewi, dkk (2017) pernah melakukan penelitian menggunakan metode *double difference* di wilayah sumatera, dimana hasil dari penelitian ini menunjukkan perubahan hiposenter lebih akurat, dibuktikan dengan banyaknya residual waktu tempuh setelah relokasi yang mendekati nol serta kedalaman gempa 10 km berubah sehingga distribusi kedalamannya lebih bervariasi. Penelitian menggunakan metode yang berbeda pernah dilakukan oleh Sari, dkk (2018), dimana metode yang digunakan adalah MJHD, hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan kualitas yang lebih lebih baik dari nilai RMS yang kurang dari satu. Berdasarkan kedua penelitian ini penggunaan metode *double difference* maupun MJHD sama-sama menghasilkan data yang akurat. Selain itu, relokasi hiposenter menggunakan metode *double difference* di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara pernah dilakukan oleh Shobikhah tahun 2023, akan tetapi penelitian tersebut berfokus di zona subduksi bagian selatan nusa tenggara. Penelitian relokasi di wilayah utara Nusa Tenggara juga pernah dilakukan oleh Hanifah (2023) dengan menggunakan metode *double difference*, yang berfokus pada zona *back-arc thrust*.

Berdasarkan uraian diatas peneliti bermaksud melakukan penelitian terkait relokasi hiposenter di wilayah zona patahan kepulauan Nusa Tenggara dengan menggunakan metode *double difference*. Penerapan metode ini bertujuan untuk meningkatkan ketelitian terhadap penentuan lokasi hiposenter sehingga diperoleh hasil yang akurat. Hasil relokasi tersebut diharapkan mampu merepresentasikan pola seismisitas dan kondisi tektonik wilayah tersebut secara lebih jelas, sehingga

dapat dimanfaatkan sebagai salah satu dasar dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana hasil relokasi hiposenter gempa bumi pada zona patahan Nusa Tenggara menggunakan metode *double difference* ?
2. Bagaimana akurasi hasil sebaran hiposenter gempa bumi di zona patahan Nusa Tenggara setelah proses relokasi ?
3. Bagaimana pola orientasi arah persebaran hasil relokasi hiposenter gempa bumi berdasarkan diagram *rose* dan diagram kompas?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui hasil relokasi hiposenter gempa bumi dengan lebih akurat di zona patahan Nusa Tenggara menggunakan metode *double difference*.
2. Untuk mengetahui akurasi hasil sebaran gempa bumi di zona patahan Nusa Tenggara setelah relokasi
3. Untuk mengetahui pola orientasi arah persebaran hasil relokasi hiposenter gempa bumi berdasarkan diagram *rose* dan diagram kompas

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Daerah yang menjadi fokus penelitian adalah zona patahan Utara Kepulauan Nusa Tenggara yang meliputi wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa

Tenggara Timur (NTT). Batas wilayah penelitian di NTB berada pada koordinat $115,82^{\circ}$ – $119,33^{\circ}$ BT dan $7,50^{\circ}$ – $8,41^{\circ}$ LS, sedangkan di NTT berada pada koordinat $119,33^{\circ}$ – $127,00^{\circ}$ BT dan $7,00^{\circ}$ – $8,65^{\circ}$ LS.

2. Data yang digunakan adalah data gempabumi dengan rentang waktu 01 Januari 2014 sampai 31 Desember 2024 dengan batas kedalaman 0-60 km dan magnitudo lebih dari 4,0 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 di atas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa penentuan posisi hiposenter gempabumi secara lebih akurat serta memperoleh gambaran kondisi tektonik pada zona patahan di wilayah selatan Kepulauan Nusa Tenggara. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan studi kegempaan selanjutnya di daerah tersebut serta memberikan informasi kepada masyarakat mengenai dinamika kegempaan dan upaya untuk mengurangi dampak akibat gempabumi melalui proses relokasi hiposenter dengan menggunakan metode *double difference*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Relokasi Hiposenter Gempabumi

Relokasi hiposenter merupakan proses menghitung ulang letak sumber gempabumi agar lebih akurat. Estimasi awal posisi hiposenter umumnya masih memiliki ketidakpastian, sehingga diperlukan proses relokasi untuk memperoleh hasil yang lebih representatif. Dengan relokasi, data waktu tiba gelombang gempa diolah kembali menggunakan metode dan model yang lebih baik untuk mendapatkan posisi gempa dari segi koordinat maupun kedalaman secara akurat. Oleh karena itu relokasi hiposenter memiliki peran penting dalam analisis tektonik dan pemahaman aktivitas gempabumi suatu wilayah.

2.1.1. Gempabumi

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya permukaan bumi yang disebabkan oleh proses alamiah yang berlangsung di dalam bumi (Lu et al., 2018). Proses alamiah tersebut berupa pelepasan tegangan (*stress*) secara tiba-tiba dari dalam kerak bumi. Pelepasan energi ini bersifat sementara (*transien*), berawal dari suatu zona yang terbatas, kemudian merambat ke segala arah dan dapat menimbulkan dampak ikutan seperti goncangan permukaan (*ground shaking*) maupun retakan permukaan (*ground faulting*) (Simanjuntak et al., 2017). Akumulasi tegangan ini umumnya terjadi akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Ketika batuan patah dan energi dilepaskan, gelombang seismik yang dihasilkan akan merambat ke segala arah sehingga getarannya dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi (BMKG, 2017).

Gempabumi merupakan salah satu akibat dari pergerakan lempeng yang polanya saling bertabrakan (konvergen). Terjadinya gempabumi memerlukan beberapa kondisi, antara lain adanya penimbunan tegangan secara bertahap pada batas pertemuan lempeng tektonik serta batuan yang memiliki kekuatan cukup untuk menyimpan energi tersebut. Ketika kedua syarat ini terpenuhi, energi akan terus terakumulasi hingga batuan mencapai batas elastisitasnya. Pada saat batas elastisitas batuan terlampaui, batuan mengalami patahan sehingga energi yang tersimpan dilepaskan secara tiba-tiba. Pelepasan energi inilah yang kemudian merambat sebagai gelombang seismik dan dirasakan sebagai guncangan di permukaan bumi (Simanjuntak et al., 2017).

Setelah batas elastisitas batuan terlewati, akan terjadi hentakan energi secara tiba-tiba, yang disebut gempa bumi Tektonik. Gelombang yang dihasilkan akan memancar ke segala arah, tidak hanya melewati permukaan bumi melainkan juga melalui bagian dalam bumi. Bahkan seringkali, gelombang tersebut melewati inti bumi tempat dimana pergeseran atau patahan lapisan batuan tersebut terjadi disebut hiposenter. Sedangkan titik permukaan bumi yang tegak lurus dengan hiposenter disebut episenter (Wibowo, 2008).

Gempabumi termasuk bencana yang bencana alam yang membahayakan bagi masyarakat. Salah satu penyebab terjadinya gempabumi yaitu pergerakan lempeng tektonik yang menimbulkan guncangan kuat sehingga terjadi gempabumi. Hal ini dijelaskan oleh Allah dalam firman-Nya pada surat al-Zalzalah ayat 1:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا {١}

Artinya : “*Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan (yang dahsyat).*” (QS. Al-Zalzalah : 1)

Secara bahasa kata زُلْزَلَتْ memiliki arti getaran yang kuat, berulang, dan intens. Ayat ini menggambarkan guncangan bumi yang dahsyat sebagai suatu peristiwa luar biasa (Syifa et al., 2026). Sebagaimana dijelaskan dalam tafsir ilmi bahwa guncangan dahsyat ini merupakan gambaran hari kiamat, dimana bumi mengalami kehancuran yang sangat besar. Dalam skala lebih kecil, fenomena tersebut dapat dianalogikan dengan peristiwa tektonik di bumi. Hal ini dikarenakan lempeng-lempeng litosfer selalu bergerak dan saling berinteraksi, sehingga memicu terjadinya gempa bumi (Kemenag, 2010).

Gempabumi dalam bahasa arab diibaratkan dengan *Al-Zalzalah*. Kedahsyatan yang diberitakan dalam Al-Quran adalah guncangan yang dapat melenyapkan sesuatu dari tempatnya. Dalam karangan *Fi Zilzal al-Quran* karya sayyid qutb dijelaskan bahwa guncangan yang terjadi sangat kuat, karena pusat gempa yang terjadi terletak di bawah tanah sehingga menyebabkan kerusakan pada permukaan bumi (Nisa et al., 2022).

Penyebab terjadinya gempa bumi dapat bervariasi, termasuk aktivitas lempeng tektonik, letusan gunung berapi, pelepasan gas alam atau air tanah di dalam bumi, dan aktivitas manusia seperti pengeboran sumur minyak atau gas. Gempabumi dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada bangunan dan infrastruktur, serta menyebabkan korban jiwa dan luka-luka. Tingkat kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi dipengaruhi oleh kekuatan gempa, kedalaman episentrum, dan jarak dari lokasi gempa ke permukaan bumi (Duha et al., 2023).

2.1.2. Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis sesuai dengan kriteria pengelompokan tertentu. Pengelompokan tersebut mencakup faktor penyebab terjadinya gempa, besarnya magnitudo, lokasi episenter, serta kedalaman atau hiposenternya.

Gempabumi menurut penyebabnya terbagi menjadi beberapa jenis, di antaranya yaitu (Basuki et al., 2025) :

a. Gempa Tektonik

Gempabumi yang terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik dikenal sebagai gempa tektonik. Jenis gempa ini dapat menimbulkan getaran dengan skala yang bervariasi, mulai dari yang lemah hingga sangat kuat. Pada magnitudo besar, gempa tektonik berpotensi merusak permukaan bumi. Di Indonesia, sebagian besar peristiwa gempabumi termasuk dalam kategori gempa tektonik. Apabila pusat gempa tektonik berada di dasar laut, kejadian ini dapat memicu terbentuknya tsunami yang kemudian menerjang wilayah pesisir.

b. Gempa vulkanik

Gempa yang timbul akibat pergerakan magma di dalam tubuh gunung berapi disebut sebagai gempa vulkanik. Peristiwa ini umumnya muncul pada gunung api yang masih aktif, terutama menjelang terjadinya erupsi. Gempa vulkanik dipicu oleh tekanan gas yang sangat besar di dalam sumbatan kawah. Dengan kata lain, kombinasi dorongan magma dan tekanan gas menjadi penyebab utama munculnya gempa jenis ini. Berbeda dengan gempa tektonik yang diakibatkan oleh pergeseran lempeng bumi, gempa vulkanik berkaitan erat dengan penumpukan tekanan gas di dalam gunung berapi.

c. Gempa Tumbukan

Gempa tumbukan merupakan salah satu jenis gempabumi yang terjadi akibat jatuhnya benda langit, seperti meteor atau asteroid, ke permukaan Bumi. Getaran yang muncul disebabkan oleh energi benturan saat benda tersebut menghantam permukaan bumi. Peristiwa tumbukan ini tidak menimbulkan getaran yang merambat luas di permukaan bumi, melainkan menghasilkan kawah pada lokasi jatuhnya benda langit tersebut.

Gempabumi berdasarkan kedalamannya diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu (Bulo et al., 2020) :

- a. Gempa dangkal, jika kedalamannya kurang dari 60 Km.
- b. Gempa sedang, jika kedalamannya diantara 60 Km hingga 300 Km.
- c. Gempa dalam, jika kedalamannya lebih dari 300 Km.

Adapun gempabumi berdasarkan skala magnitudonya dibagi menjadi 5 antara lain sebagai berikut (Lira, 2017) :

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

2.1.3. Parameter Gempabumi

Parameter gempa bumi adalah acuan nilai besaran dan letak kejadian suatu gempa bumi. Besaran gempa bumi merupakan suatu ukuran kekuatan yang dihitung berdasarkan data dari alat perekam gempa atau seismograf (Shohaya et al., 2013). Berikut beberapa parameter gempabumi secara umum :

a. *Origin time* (waktu kejadian)

Waktu kejadian gempabumi (*origin time*) merupakan waktu terlepasnya akumulasi tegangan (*stress*) di dalam bumi yang kemudian merambat sebagai gelombang seismik. Waktu ini dinyatakan secara lengkap dalam satuan waktu UTC (*Universal Time Coordinated*), meliputi hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik.

b. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat terjadinya gempabumi, yaitu lokasi di dalam bumi tempat terjadinya dislokasi atau perubahan pada lapisan batuan yang memicu pelepasan energi seismik. Sebagian besar gempabumi memiliki hiposenter yang terletak di bawah permukaan bumi pada kedalaman rata-rata sekitar 25 km, dan secara umum tidak melebihi kedalaman 700 km. Gempabumi dengan kedalaman dangkal cenderung menghasilkan guncangan yang lebih kuat dibandingkan gempabumi dalam, sehingga berpotensi menimbulkan tingkat kerusakan yang lebih besar.

c. Episenter

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

d. Magnitudo

Kekuatan gempabumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempabumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempabumi terjadi

dan merupakan hasil seismograf. Magnitudo menggunakan Skala Richter (SR).

e. Intensitas gempabumi (MMI)

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

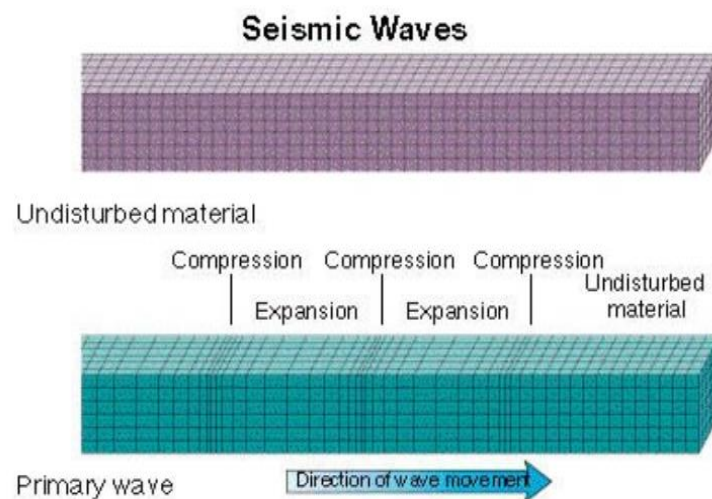
2.1.4. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi yang disebabkan karena adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi yang dapat terekam oleh seismometer dan mampu dicatat oleh seismograf (Siswamidjono, 1996). Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik dari gangguan alami (seperti: pergerakan lempeng (tektonik), bergeraknya patahan, aktivitas gunungapi (vulkanik) adalah apa yang kita kenal sebagai fenomena gempa bumi. Gelombang seismik dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang pusat menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang permukaan menjalar di permukaan bumi (Tiyow et al., 2022).

- a. Gelombang Badan
- b. Gelombang yang merambat di sela-sela bebatuan di bawah permukaan bumi disebut dengan gelombang badan (*body wave*). Gelombang badan diklasifikasikan menjadi dua yaitu (Kadir et al., 2019) :

1. Gelombang Primer (P).

Gelombang Primer atau gelombang kompresi merupakan gelombang badan (*body wave*) yang memiliki kecepatan paling tinggi dari gelombang sekunder (S). Gelombang ini merupakan gelombang longitudinal partikel yang merambat bolak-balik dengan arah rambatannya. Gelombang ini terjadi karena adanya tekanan. Karena memiliki kecepatan tinggi gelombang ini memiliki waktu tiba terlebih dahulu dari pada gelombang S. Kecepatan gelombang P (VP) adalah $\pm 5 - 7$ km/s di kerak bumi, > 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, dan $\pm 1,5$ km/s berada di dalam air.

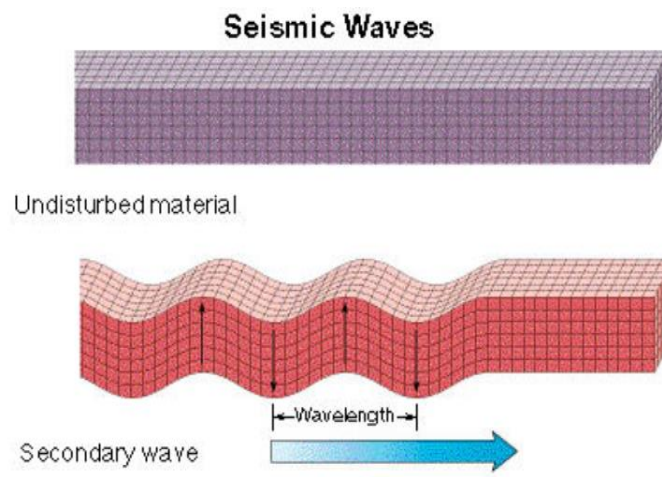


Gambar 2.1 Ilustrasi Penjalaran Gelombang P (Reynolds, 1998).

2. Gelombang Sekunder (S).

Gelombang S atau gelombang transversal (*Shear wave*) adalah salah satu gelombang badan (*body wave*) yang memiliki gerak partikel tegak lurus terhadap

arah rambatannya serta waktu tibanya setelah gelombang P. Gelombang ini tidak dapat merambat pada fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati. Kecepatan gelombang S (VS) adalah $\pm 3 - 4$ km/s di kerak bumi, $> 4,5$ km/s di dalam mantel bumi, dan $2,5 - 3,0$ km/s di dalam inti bumi.



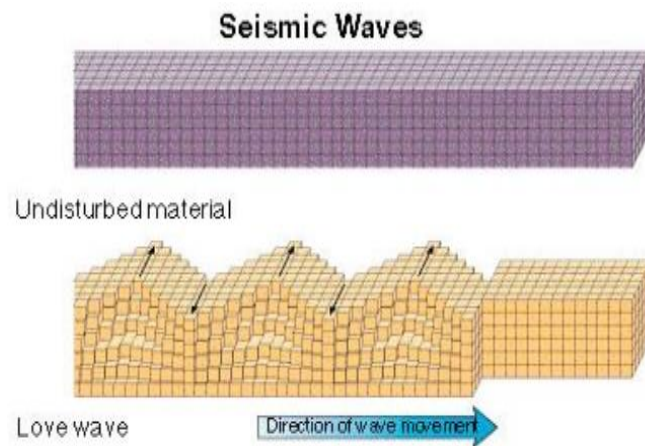
Gambar 2.2 Ilustrasi Penjalaran Gelombang S (Reynolds,1998)

c. Gelombang Permukaan

Gelombang Permukaan (*surface wave*) Gelombang yang merambat dari episenter ke sepanjang permukaan bumi disebut dengan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang permukaan dibagi menjadi (Kadir et al., 2019) :

1. Gelombang Love

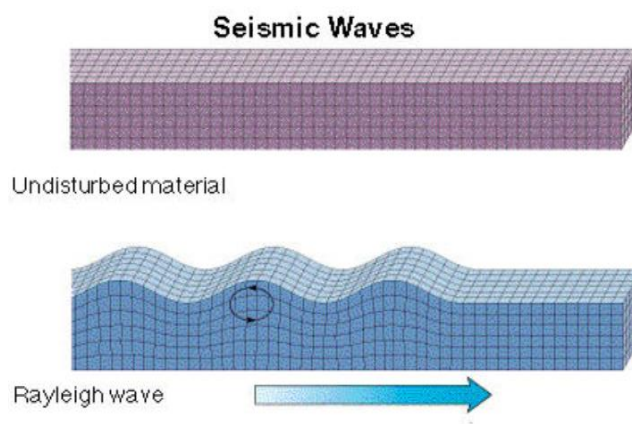
Gelombang ini merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjalarannya. Gelombang Love merupakan gelombang transversal, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi (VL) adalah $\pm 2,0 - 4,4$ km/s.



Gambar 2.3 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Love (Reynolds,1998)

2. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan (VR) adalah $\pm 2,0 - 4,2$ km/s di dalam bumi. Arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah bidang datar.



Gambar 2.4 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Rayleigh (Reynolds,1998)

2.2. Zona Patahan

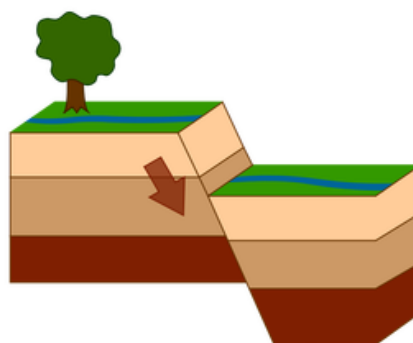
Zona patahan (*fault zone*) merupakan zona deformasi pada kerak bumi yang terdiri atas satu atau lebih bidang patahan yang berkembang akibat akumulasi dan pelepasan tegangan tektonik. Deformasi pada zona patahan tidak hanya terlokalisasi bidang diskrit, tetapi menyebar dalam suatu zona yang mencakup inti

patahan dan zona kerusakan di sekitarnya (Scholz & Oligney, 2002). Patahan atau sesar secara geologi adalah sesar sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa milimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa centimeter hingga puluhan kilometer (Billings, 1959).

2.2.1. Klasifikasi Zona Patahan

Ada beberapa klasifikasi patahan di antaranya sebagai berikut (Hermansyah et al., 2020) :

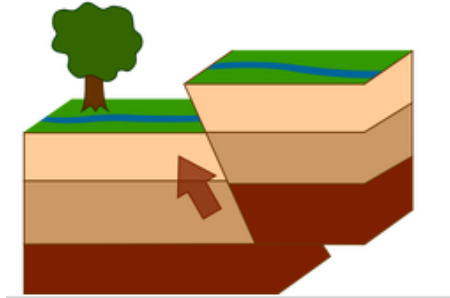
- a. Sesar Normal (*normal fault*) ialah sesar dimana pergeserannya dominan ke arah kemiringan bidang dan bidang hangingwall bergerak relatif turun dibandingkan bagian footwall. Sesar ini terbentuk saat tegasan utama yang terbesar berada pada posisi vertikal, sedangkan tegasan utama yang terkecil berada pada posisi vertikal, sedangkan tegasan utama yang terkecil berada pada posisi horizontal.



Gambar 2.5 Ilustrasi Sesar Normal (Sumber : *Open Geography Education*).

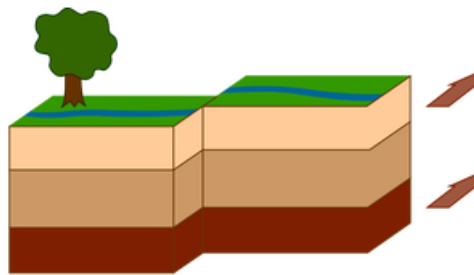
- b. Sesar Naik (*reverse fault*) mempunyai pergeseran dominan searah kemiringan dimana blok hangingwall relatif bergerak ke arah atas dibandingkan dengan

blok *footwall*. Sesar terbentuk berkebalikan dengan sesar normal, dimana tegasan utama terbesarnya berada pada posisi horizontal, sedangkan tegasan utama terkecilnya berada pada arah vertikal.



Gambar 2.6 Ilustrasi Sesar Naik (Sumber : *Open Geography Education*).

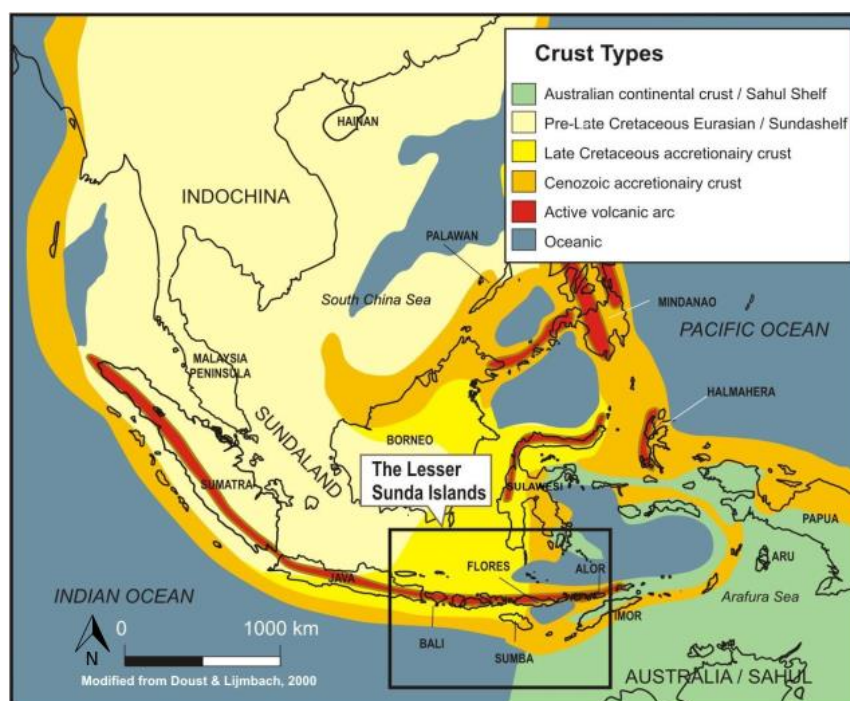
- c. Sesar Mendatar (*strike-slip fault*) mempunyai pergeseran dominan searah jurus bidang sesar. Pembentukan sesar ini akibat dari tegasan utama terbesarnya yang berada pada posisi horizontal begitupun dengan tegasan utama terkecilnya. Struktur yang terbentuk akibat dari sesar mendatar ini lebih bervariasi dibandingkan dengan struktur yang dibentuk oleh sesar lain.



Gambar 2.7 Ilustrasi Sesar Mendatar (Sumber : *Open Geography Education*).

2.2.2. Zona Patahan Regional Daerah Nusa Tenggara

Secara geologi Kepulauan Nusa Tenggara terletak di tengah Busur Banda yang dibentuk oleh rangkaian pegunungan vulkanik. Berdasarkan teori tektonik lempeng rangkaian pegunungan vulkanik terdapat di Nusa Tenggara terbentuk oleh subduksi kerak samudra Indo-Australia di bawah Busur Sunda-Banda (Darman & Sidi, 2000). Berdasarkan fisiografi kepulauan Nusa Tenggara termasuk ke dalam kepulauan Sunda Kecil sebagaimana pada gambar 2.8.

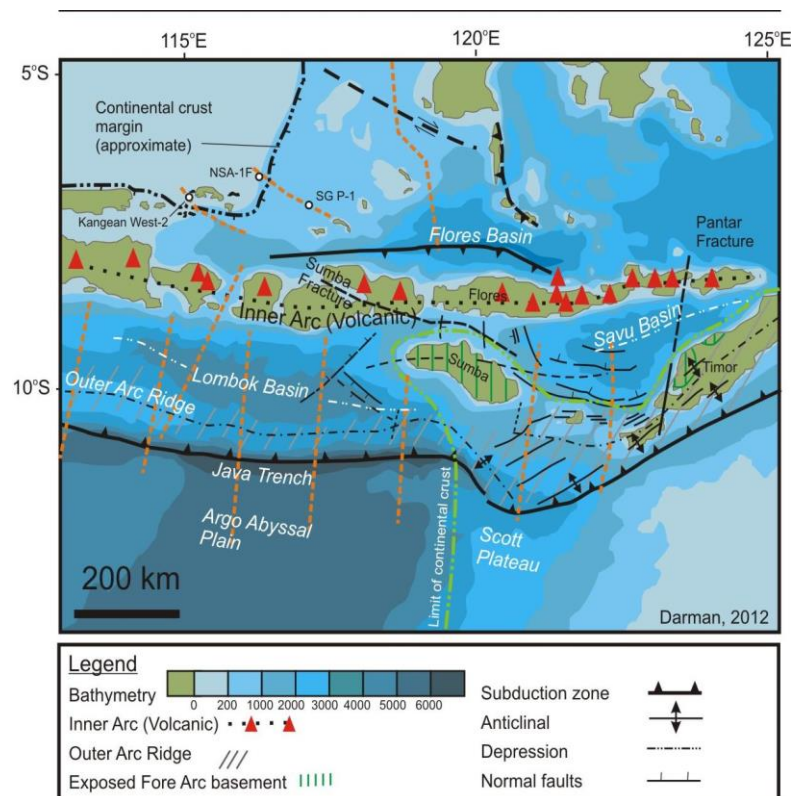


Gambar 2.8 Peta Lokasi Kepulauan Sunda Kecil (Darman,2012; Dimodifikasi dari Doust dan Limbach,1977)

Kepulauan Nusa Tenggara dibagi menjadi empat satuan tektono-struktur dari utara ke selatan, seperti pada gambar 2.9 Keempat satuan tektono tersebut di antaranya sebagai berikut (Darman, 2012) :

1. Satuan Busur Belakang yang ditempati oleh Laut Flores

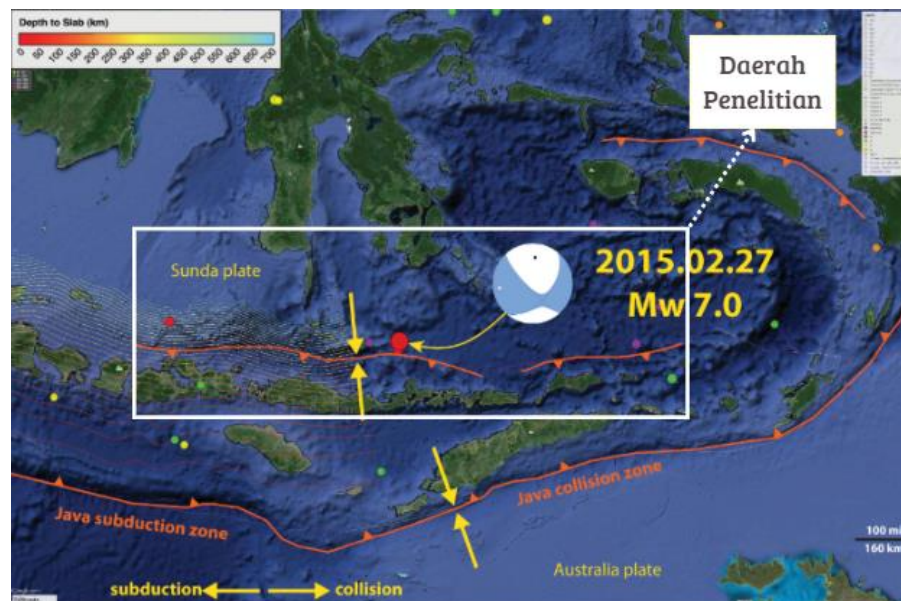
2. Satuan Busur Dalam yang terdiri dari rangkaian kepulauan vulkanik meliputi Pulau Bali, Lombok, Sumbawa, Komodo, Rinca, Flores, Adonara, Solor, Romblen, Pantar, Alor, Kambing, dan Wetar.
3. Satuan Busur Luar yang dibentuk oleh pulau non-vulkanik seperti pulau Dana, Rajina, Sawu, Roti, Semua, dan Timor.
4. Satuan Busur Depan yang berada di antara Busur Dalam dan Busur Luar dan merupakan bagian dari cekungan laut dalam yaitu Cekungan Lombok dan Cekungan Sawu.



Gambar 2.9 Peta Struktur yang menunjukkan Satuan Tektono Struktur Utama, Sesar Utama, dan Batimetri Kepulauan Nusa Tenggara (Darman,2012).

Proses Subduksi di wilayah selatan Nusa Tenggara menyebabkan terjadinya akumulasi tegangan tektonik yang kemudian disalurkan ke wilayah busur belakang (*back-arc region*). Tegangan tersebut terakomodasi melalui mekanisme

pemendekan dan pergeseran kerak yang membentuk sistem patahan aktif yang dominan mengarah ke barat-timur hingga barat laut-tenggara. Berdasarkan konteks ini wilayah Utara Nusa Tenggara termasuk zona deformasi aktif yang mencerminkan respon kerak terhadap dinamika konvergensi lempeng yang berlangsung dalam beberapa tahun (Darman, 2012).



Gambar 2.10 Zona Patahan Kepulauan Nusa Tenggara (Sumber : Jay Patton Online)

Zona patahan merupakan sistem struktural yang tersusun atas satu atau lebih bidang sesar beserta zona rekahan disekitarnya, yang termasuk akibat pelepasan tegangan di dalam kerak bumi. Zona ini bersifat kompleks dan dinamis, serta seringkali menjadi lokasi utama terjadinya aktivitas gempabumi. Variasi tekanan, fluida, dan sifat mekanik batuan di dalam zona patahan menyebabkan aktivitas seismik cenderung terlokalisasi dan berulang pada zona tersebut (Sibson, 1989; Caine et al., 1996).

Di wilayah Nusa Tenggara, deformasi tektonik tersebut terakomodasi oleh sistem patahan *back-arc Flores* yang berkembang sejajar dengan busur kepulauan. Sistem ini terdiri dari beberapa segmen patahan yang memanjang dari barat ke

timur dan berperan penting dalam mengontrol pola seismisitas regional. Keberadaan zona patahan ini menunjukkan bahwa wilayah utara Nusa Tenggara tidak hanya dipengaruhi proses subduksi, tetapi juga oleh deformasi internal kerak yang aktif di zona belakang busur (Silver & Joyodiwiryono, 1983)

Aktivitas zona patahan ini tercermin dari sebaran hiposenter gempabumi yang cenderung membentuk klaster dan pola memanjang mengikuti arah struktur geologi. Oleh karena itu, analisis relokasi hiposenter menjadi pendekatan penting untuk menggambarkan geometri dan karakter zona patahan secara lebih akurat. Relokasi hiposenter mampu memperjelas hubungan antara kejadian gempabumi dan struktur patahan aktif, sehingga memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai mekanisme deformasi dan tingkat keaktifan zona patahan di utara Nusa Tenggara (Shearer, 1997; Waldhauser & Ellsworth, 2000).

2.3. Metode *Double Difference*

Lokasi hiposenter mengalami pergeseran dari posisi sebenarnya dan sulit dianalisa struktur yang terbentuk oleh distribusi gempabumi diakibatkan karena model kecepatan yang tidak sesuai, maka dalam menentukan lokasi hiposenter yang sebenarnya perlu menggunakan metode *double difference* (Baskoro et al., 2024). Metode *double difference* merupakan teknik relokasi gempabumi dengan tujuan untuk mendapatkan posisi hiposenter yang lebih presisi agar sesuai dengan kondisi tektoniknya (Waldhauser, 2001). Prinsip metode ini adalah dengan meminimumkan residual time dari waktu tempuh hasil perhitungan dan waktu tempuh hasil pengamatan pada dua *event* gempa yang berdekatan dengan sejumlah stasiun pencatat gempa yang sama. Jarak antara dua *event* gempa tersebut harus jauh lebih kecil dibandingkan terhadap jarak stasiun-stasiun

pencatat gempanya. Asumsi tersebut menunjukkan bahwa kedua *event* tersebut memiliki *ray path* yang sama (Jannah et al., 2016).

Residual time antara observasi dan kalkulasi didefinisikan sebagai perbedaan waktu tempuh observasi dan kalkulasi antara dua *event* gempa yang dituliskan dalam persamaan :

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

Dimana :

i dan j : dua hiposenter yang berdekatan

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

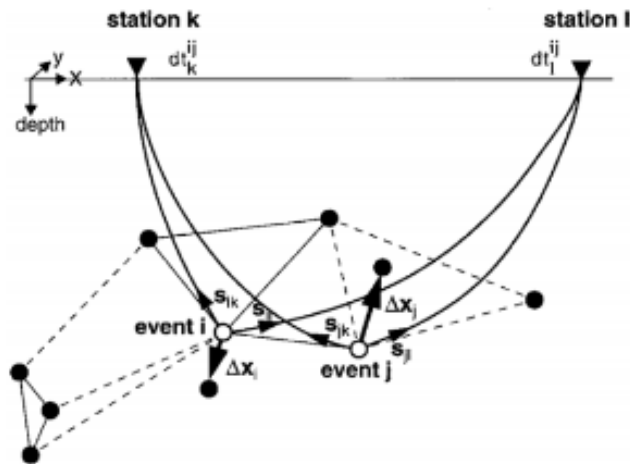
t^{obs} : waktu tempuh observasi (yang terekam oleh stasiun penerima)

t^{cal} : waktu tempuh kalkulasi (diperoleh dari perhitungan raytracing)

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

t_k^j : waktu tempuh kejadian j yang terekam stasiun k

Persamaan (1) menyatakan waktu tempuh residual (dr_k^{ij}) dari dua gempa bumi i dan j di stasiun pengamatan k yang dihitung berdasarkan perbedaan antara waktu tempuh yang diamati dan yang dihitung untuk dua gempabumi. Persamaan t_k^i adalah waktu tempuh gempa i ke stasiun k , sedangkan t_k^j adalah waktu tempuh gempa j ke stasiun k . Hal ini diilustrasikan pada oleh Waldhauser dan Ellsworth, sebagaimana gambar 2.11 (Wulandari et al., 2021).



Gambar 2.11 Ilustrasi Algoritma *Double Difference* (Waldhauser & Ellsworth, 2000)

Gambar 2.11 menunjukkan ilustrasi algoritma metode *double difference*, dimana lingkaran hitam dan putih adalah hiposenter uji yang terkait dengan gempabumi sekitarnya menggunakan data korelasi silang (garis utuh) dan data katalog (garis putus-putus). Notasi s adalah vektor kelambatan, Δx adalah vektor perubahan peristiwa i dan j , dan dt adalah waktu tempuh antara event i dan j pada setiap stasiun k dan l (Wulandari et al., 2021).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Geofisika dan proses penelitian dimulai pada bulan Februari 2026 sampai Maret 2026. Daerah fokus penelitian ini adalah zona patahan Utara Kepulauan Nusa Tenggara, meliputi Nusa Tenggara Barat pada koordinat koordinat $115,82^{\circ}$ – $119,33^{\circ}$ BT dan $7,50^{\circ}$ – $8,41^{\circ}$ LS. dan Nusa Tenggara Timur pada koordinat $119,33^{\circ}$ – $127,00^{\circ}$ BT dan $7,00^{\circ}$ – $8,65^{\circ}$ LS.

3.2.Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari katalog gempa bumi ISC (*International Seismological Center*) tahun 2014 sampai dengan tahun 2024 dan data lokasi stasiun serta data model kecepatan gelombang.

3.3.Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini di antaranya sebagai berikut :

- a. Perangkat lunak (*software*) dan Perangkat keras yang digunakan untuk mengolah dan memproses data penelitian. Beberapa perangkat tersebut yaitu :
 1. Perangkat keras yang digunakan adalah komputer (PC) atau laptop, sebagai tempat program/perangkat lunak berjalan.
 2. *Software HypoDD*, sebagai implementasi algoritma *double difference* dan penerapan metode *double difference*. Berisi *ph2dt*, dimana pada penelitian ini digunakan untuk menghasilkan pasangan gempa dan *hypodd* digunakan untuk merelokasi gempa dari data keluaran *ph2dt*.

3. *Software Cygwin*, sebagai perangkat lunak pendukung yang digunakan untuk menjalankan perintah kode program *hypoDD* dengan menyediakan kompatibilitas sistem *Linux* pada sistem operasi *Windows*.
 4. *Software Notepad ++*, sebagai *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)*, digunakan dalam pembuatan peta persebaran hiposenter gempabumi baik sebelum maupun sesudah relokasi. Selain itu *software* ini digunakan untuk membuat irisan melintang pada peta supaya dapat diketahui letak hiposenter gempa yang bertujuan untuk mengetahui perubahan posisi dan pola sebaran hiposenter akibat proses relokasi.
 6. *Software Visual Studio Code*, sebagai tempat untuk membuat dan menjalankan script GMT dalam proses pemetaan.
 7. *Software Microsoft Excel*, sebagai perangkat lunak pendukung untuk uji validasi hasil relokasi gempabumi, khususnya dalam pengolahan dan penyajian distribusi nilai residual waktu tempuh dalam bentuk histogram.
 8. *Software MATLAB* yang digunakan untuk menghasilkan diagram *rose* dan diagram kompas.
- b. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :
1. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang bersumber dari katalog ISC terkait kejadian gempabumi di zona patahan Kepulauan Nusa Tenggara. Data tersebut memuat parameter gempabumi meliputi ID

kejadian, waktu origin, lintang, bujur, magnitudo, kedalaman, serta nilai RMS.

2. Data lokasi stasiun pencatat gempa, data ini diperoleh dari laman ISC (<https://www.isc.ac.uk/iscgem/overview.php>). Data tersebut berisi informasi nama stasiun serta koordinat geografis berupa lintang dan bujur.
3. Data model kecepatan gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah model kecepatan untuk relokasi gempabumi di Jawa Tengah (Sunardi et al., 2012), yang merupakan gabungan dari hasil penelitian model kecepatan lokal Jawa Tengah (Wagner et al., 2007) untuk kedalaman hingga 20 km dan model kecepatan AK135 (Kennett et al., 1995) untuk kedalaman lebih dari 20 km.

Tabel 3. 1 Model Kecepatan (Kennett et al., 1995; Wagner et al., 2007).

Kedalaman (km)	Kecepatan (km/s)
5	5
10	6
15	6.7
25	7.11
35	7.24
45	7.37
60	7.6

3.4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengolahan data katalog gempabumi hingga diperoleh hasil akhir berupa data hiposenter yang telah direlokasi beserta peta

sebarannya. Adapun beberapa tahapan prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1. Seleksi Data

Data dalam penelitian ini merupakan data katalog gempabumi dari BMKG yang memuat informasi hiposenter, seperti ID gempa, origin time, lokasi (lintang dan bujur), kedalaman, nilai RMS (residual), stasiun perekam, serta waktu tiba gelombang P dan S. Pemilihan data dilakukan berdasarkan kesesuaian koordinat dengan wilayah penelitian, magnitudo, kedalaman, dan mode penentuan waktu tiba gelombang. Oleh karena itu, kejadian gempabumi yang tidak memenuhi kriteria tersebut akan dikeluarkan dari analisis. Selain itu, data dengan mode penentuan waktu tiba otomatis juga dihapus untuk menghindari duplikasi dengan data manual serta meminimalkan tingkat kesalahan waktu tiba gelombang.

3.4.2. Konversi Data

Data katalog ISC masih tersedia dalam format *text document* (.txt), sehingga harus diubah terlebih dahulu menjadi format *phase file* (.pha) agar dapat digunakan sebagai input pada *ph2dt*. Proses konversi data ini dilakukan menggunakan bahasa *Python* melalui perangkat lunak *google collab* milik BMKG. Pada tahap ini, pengguna hanya perlu memasukkan data dan menekan tombol “enter”, kemudian file akan otomatis tersimpan dalam format *phase file* (.pha).

Penulisan data pada format *phase file* dilakukan secara berurutan. Pada baris pertama dicantumkan informasi tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo, kesalahan horizontal, kesalahan kedalaman, RMS, serta ID gempa. Baris kedua memuat nama stasiun perekam, waktu tempuh

gelombang dari sumber ke stasiun, nilai bobot, dan jenis fase gelombang. Nilai bobot yang digunakan antara 0 sampai 1.

3.4.3. Pengolahan Data Menggunakan *Ph2dt*

Pengolahan data menggunakan *ph2dt* bertujuan untuk memperoleh pasangan gempabumi yang saling berkorelasi serta menghitung waktu tempuh gelombang menuju stasiun berdasarkan parameter masukan. Data input *ph2dt* terdiri atas data fase gempabumi yang telah dikonversi formatnya dan data lokasi stasiun, yang dimasukkan ke dalam skrip *ph2dt.inp* sebagai parameter pengontrol saat program dijalankan melalui *Cygwin*. Data lokasi stasiun berformat *.dat* dan memuat informasi nama stasiun, lintang, dan bujur. Parameter yang diatur dalam *ph2dt.inp* antara lain: MINWGHT (bobot minimum dengan rentang 0–1), MAXDIST (jarak maksiml pasangan gempa dan stasiun), MAXSEP (jarak maksimum pasangan gempa), MAXNGH (jumlah maksimum tetangga per gempa), MINLINK (jumlah minimum keterhubungan untuk membentuk tetangga), MINOBS (jumlah minimum hubungan yang disimpan), dan MAXOBS (jumlah maksimum hubungan yang disimpan).

Tahap ini menghasilkan berbagai informasi seperti pada gambar 3.1, mulai dari jumlah stasiun perekam, jumlah kejadian gempabumi, hingga jarak maksimum keterhubungan antargempa. Namun, perhatian utama perlu diberikan pada *outliers* (pasangan gempa yang dianggap lemah) dan *weakly linked events* (kejadian gempa dengan keterhubungan lemah). Semakin kecil persentase *outliers*, semakin baik kualitas data yang diperoleh. Hal yang sama juga berlaku untuk persentase *weakly linked events*: semakin kecil nilainya, semakin rendah tingkat kesalahannya. Oleh karena itu, apabila persentasenya masih tinggi, perlu

dilakukan penyesuaian terhadap nilai MAXSEPT dan MAXDIST pada berkas *ph2dt.inp*.

```

$ ./ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v1.3 - 08/2010)...

reading data ...
> stations =          2566
> events total =          312
> events selected =          312
> phases =          38200
forming dtimes...
> P-phase pairs total =          280904
> S-phase pairs total =          17413
> outliers =          6782 (           2 %)
> phases at stations not in station list =          0
> phases at distances larger than MAXDIST =          191509
> P-phase pairs selected =          85299 (          30 %)
> S-phase pairs selected =          11044 (          63 %)
> weakly linked events =          3 (           0 %)
> linked event pairs =          5846
> average links per pair =          16
> average offset (km) betw. linked events =          20.7753983
> average offset (km) betw. strongly linked events =          20.7753983
> maximum offset (km) betw. strongly linked events =          130.579605

Done.

Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minwght,maxdist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
0.00000000      800.000000      300.000000      30      4      4      50

```

Gambar 3. 1 Tampilan Hasil Pengolahan *ph2dt*

Proses pemasangan gempa pada *ph2dt* menghasilkan beberapa keluaran, antara lain *dt.ct* yang memuat data waktu tempuh pasangan gempa pada stasiun perekam yang sama; *event.dat* dan *event.sel* yang berisi informasi parameter gempabumi; serta *ph2dt.log* yang merupakan laporan proses pengolahan data. Pada tahap ini, fase dan stasiun yang tidak memenuhi kriteria akan otomatis dieliminasi sesuai parameter yang digunakan. Suatu data dianggap tidak memenuhi syarat apabila fase gelombang tidak dapat dipasangkan atau stasiun tidak merekam kejadian gempa. Akibatnya, jumlah fase dan stasiun yang digunakan dapat berkurang.

3.4.4. Relokasi Gempa Menggunakan *HypoDD*

Relokasi hiposenter gempabumi pada penelitian ini dilakukan menggunakan program *hypoDD* dengan algoritma *double difference*. Dalam

prosesnya, program menghitung waktu tempuh gelombang seismik pada setiap lapisan kecepatan yang terdapat dalam model kecepatan yang digunakan. Secara prinsip, *hypoDD* merupakan program inversi yang bekerja melalui proses iterasi berulang hingga mencapai kondisi yang dianggap stabil atau sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Data masukan untuk program ini berasal dari hasil pengolahan *ph2dt*, yaitu file *dt.ct*, *event.dat*, *station.dat*, serta model kecepatan awal. Tahapan relokasi ini pada dasarnya serupa dengan proses pada *ph2dt*, karena juga membutuhkan file kontrol *hypoDD.inp* sebagai pengatur parameter perhitungan.

Parameter pengatur dalam file tersebut mencakup beberapa komponen, antara lain IDAT (jenis data gempa; 1 = korelasi silang, 2 = gelombang S, 3 = gelombang P dan S), DIST (jarak maksimum antara *centroid* kejadian gempa dan stasiun), serta OBSCC dan OBSCT (jumlah minimum hubungan antar-event dari data gempa untuk membentuk suatu klaster). Selain itu terdapat pula ISTART (lokasi awal), ISOLV (metode penyelesaian kuadrat terkecil; 1 = dekomposisi nilai tunggal/SVD, 2 = gradien konjugasi/LSQR), dan NSET (jumlah set iterasi yang dijalankan). Bobot data diatur melalui WTCCP dan WTCCS (bobot korelasi silang untuk gelombang P dan S; nilai -9 berarti data tidak digunakan), serta WTCTP dan WTCTS (bobot data katalog gelombang P dan S; nilai -9 juga berarti tidak digunakan). Parameter WDCC dan WDCT menunjukkan jarak pemisahan maksimum untuk data korelasi silang maupun katalog (nilai -9 berarti tidak diaktifkan). DAMP digunakan sebagai faktor peredaman untuk ISOLV = 2. Model kecepatan juga didefinisikan melalui parameter jumlah lapisan (NLAY = 12, RATIO = 1,73, serta nilai TOP dan VEL) setiap lapisan. Parameter lainnya

meliputi CID (nomor indeks klaster yang direlokasi; pada penelitian ini seluruhnya bernilai 0) dan ID (identitas event yang direlokasi). Pada program *HypoDD.inp* terdapat tiga parameter yang perlu diperhatikan yaitu, nilai DIST harus sama dengan nilai MAXDIST pada program *ph2dt.inp*, nilai OBSCT harus sama dengan nilai MINLINK pada program *ph2dt.inp*, dan nilai WDCT harus sama dengan nilai MAXSEPT pada program *ph2dt.inp*.

```

$ ./hypoDD hypoDD.inp
starting hypoDD (v1.3 - 11/2010)... Tue May 12 14:12:53 2026
INPUT FILES:
cross dtime data: dt.cc
catalog dtime data: dt.ct
events: event.dat
stations: station.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sta
source parameters: hypoDD.src
Relocate all clusters
Relocate all events
Reading data ... Tue May 12 14:12:53 2026
# events = 312
# stations < maxdist = 237
# catalog P dtimes = 100801
# catalog S dtimes = 11727
# dtimes total = 112528
# events after dtime match = 311
# stations = 158
clustering ...
Clustered events: 311
Isolated events: 0
# clusters: 1
Cluster 1: 311 events

RELOCATION OF CLUSTER: 1 Tue May 12 14:12:54 2026
-----
Initial trial sources = 311

  IT  EV  CT  RMSCT  RMSST  DX  DY  DZ  DT  OS  AQ  CND
    %   %   %   ms   %   ms   m   m   m   ms   m
1  98  88  704 -21.5    0 1255 1825 3650 262  0  3  67
2  1  97  84  664 -5.7  2301 1120 1621 2921 229 1417  0  66
3  2  97  78  521 -21.5 1836 527  702  897 116 1414  0  61
4  3  97  73  427 -18.1 1466 310  392  627  67 1631  0  57
5  4  97  70  372 -13.0 1224 219  283  426  46 1679  0  55
6  5  96  67  334 -10.2 1098 195  248  345  38 1686  0  61
7  6  96  64  305 -8.8  901 165  206  277  30 1678  0  61
8  7  96  61  283 -7.1  826 145  177  247  25 1673  0  59
9  8  95  59  264 -6.9  796 130  157  227  21 1665  0  56
10 9  95  56  244 -7.4  804 136  156  234  22 1645  0  67
11 10 95  54  229 -6.3  791 119  136  223  18 1609  0  65
12 11 95  52  213 -6.9  693 100  117  198  16 1595  0  62
13 12 95  50  200 -6.3  622  86  103  181  13 1599  0  62
14 13 95  48  186 -6.7  646  84  100  207  13 1626  0  66
15 14 94  46  179 -3.9  522  76  87  148  12 1589  0  65
16 15 94  44  166 -7.2  522  66  76  128  10 1585  0  60
17 16 94  42  155 -6.8  482  57  65  106  9 1579  0  60

```

Gambar 3. 2 Tampilan Hasil Pengolahan *hypoDD*

Berdasarkan hasil relokasi seperti pada gambar 3.2, nilai CND (*Condition Number*) perlu menjadi perhatian utama. Nilai ini idealnya berada pada kisaran 40–80. Jika nilai yang diperoleh belum berada dalam rentang tersebut, maka perlu dilakukan penyesuaian terhadap parameter yang digunakan, baik pada file *HypoDD.inp* maupun *ph2dt.inp*. Apabila nilai CND terlalu besar, nilai DAMP

pada file *HypoDD.inp* sebaiknya ditingkatkan, dan sebaliknya jika CND terlalu kecil maka nilai DAMP dapat dikurangi.

Hasil pemrosesan ini menghasilkan beberapa keluaran, yaitu data parameter gempa sebelum relokasi (*hypoDD.loc*), parameter gempa setelah relokasi (*hypoDD.reloc*), residual waktu tempuh gelombang pada iterasi terakhir (*hypoDD.res*), serta laporan keseluruhan proses pengolahan menggunakan program *HypoDD* (*hypoDD.log*).

3.4.5. Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keakuratan hasil relokasi hiposenter gempabumi. Tahapan ini dilakukan dengan membuat histogram yang menampilkan distribusi nilai residual waktu tempuh gelombang sebelum dan sesudah relokasi. Histogram dapat dibuat menggunakan *Microsoft Excel* dengan memasukkan data residual, yaitu selisih antara waktu tempuh gelombang P hasil observasi dan perhitungan, dalam satuan milidetik. Semakin banyak nilai residual yang tersebar di sekitar angka 0 ($t^{obs} \approx t^{cal}$), maka kualitas dan akurasi hasil relokasi dapat dikatakan semakin baik.

3.4.6. Pemetaan Lokasi Gempa Menggunakan Software GMT

Proses ini dilakukan untuk melihat penyebaran kejadian gempa sebelum dan sesudah relokasi dengan bantuan perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*) pada *software Visual Studio Code*. Pemetaan tersebut bertujuan menampilkan posisi episenter secara lebih jelas pada kedua kondisi tersebut. Selain itu, dilakukan pula pemotongan penampang (*slice*) guna mengamati perubahan kedalaman hiposenter gempabumi sebelum dan setelah proses relokasi.

3.4.7. Pembuatan Diagram Menggunakan Software MATLAB

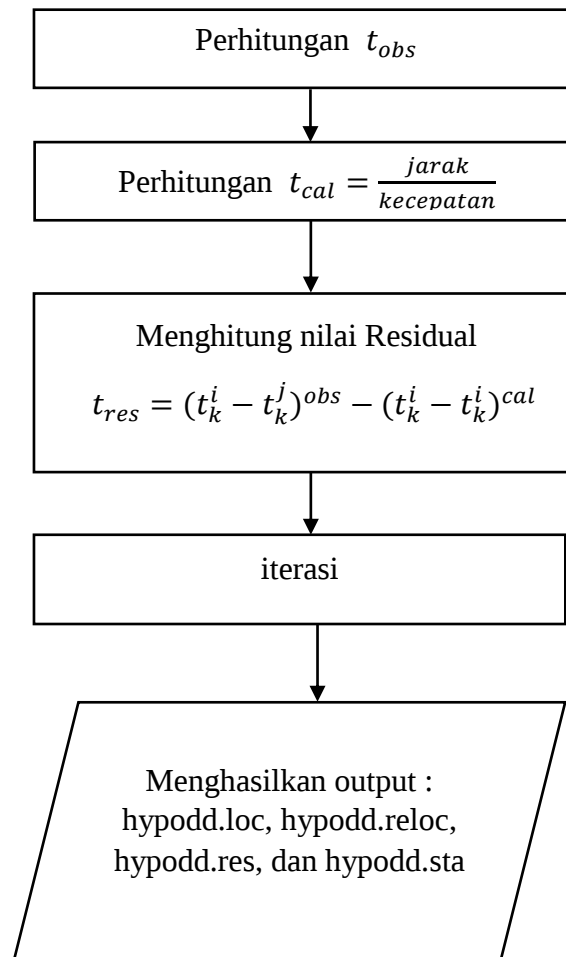
Pembuatan diagram pada tahap ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, dengan keluaran berupa diagram kompas dan diagram mawar (*rose diagram*). Diagram kompas digunakan untuk menggambarkan arah serta jarak pergeseran hiposenter gempa setelah relokasi, sedangkan diagram mawar berfungsi untuk menunjukkan sebaran interval sudut pergeseran tersebut. Data masukan yang digunakan berupa informasi lintang dan bujur hiposenter sebelum dan sesudah relokasi.

3.4.8. Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan untuk meninjau kembali sebaran hiposenter gempabumi setelah seluruh tahapan sebelumnya selesai dan data hiposenter terelokasi telah diperoleh. Pada tahap ini, analisis mencakup perubahan posisi hiposenter secara horizontal (pergeseran episenter) maupun vertikal (kedalaman hiposenter), serta membandingkan jumlah kejadian gempa sebelum dan sesudah proses relokasi.

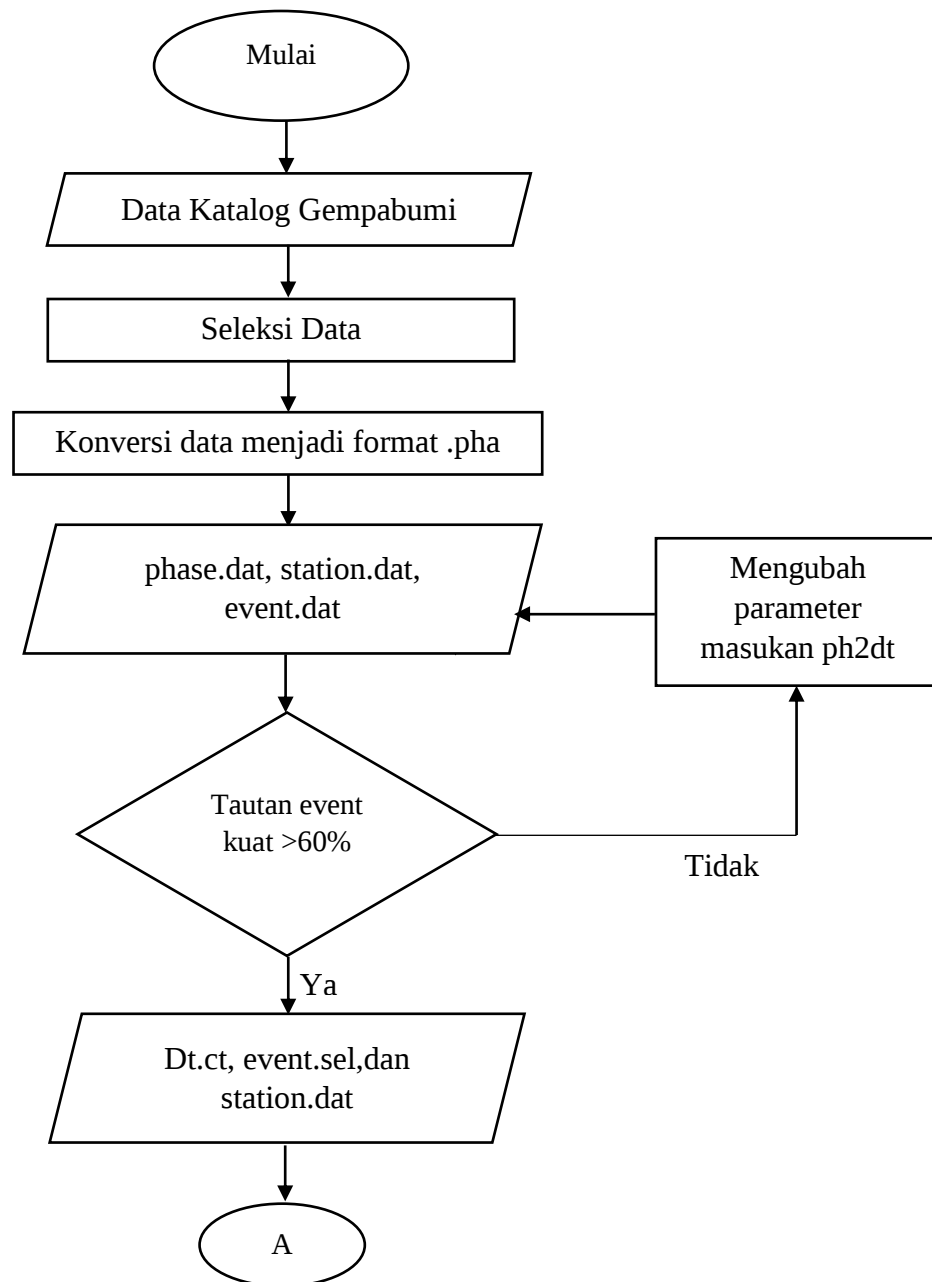
3.5. Diagram Alir Penelitian

a. Persamaan pada penelitian



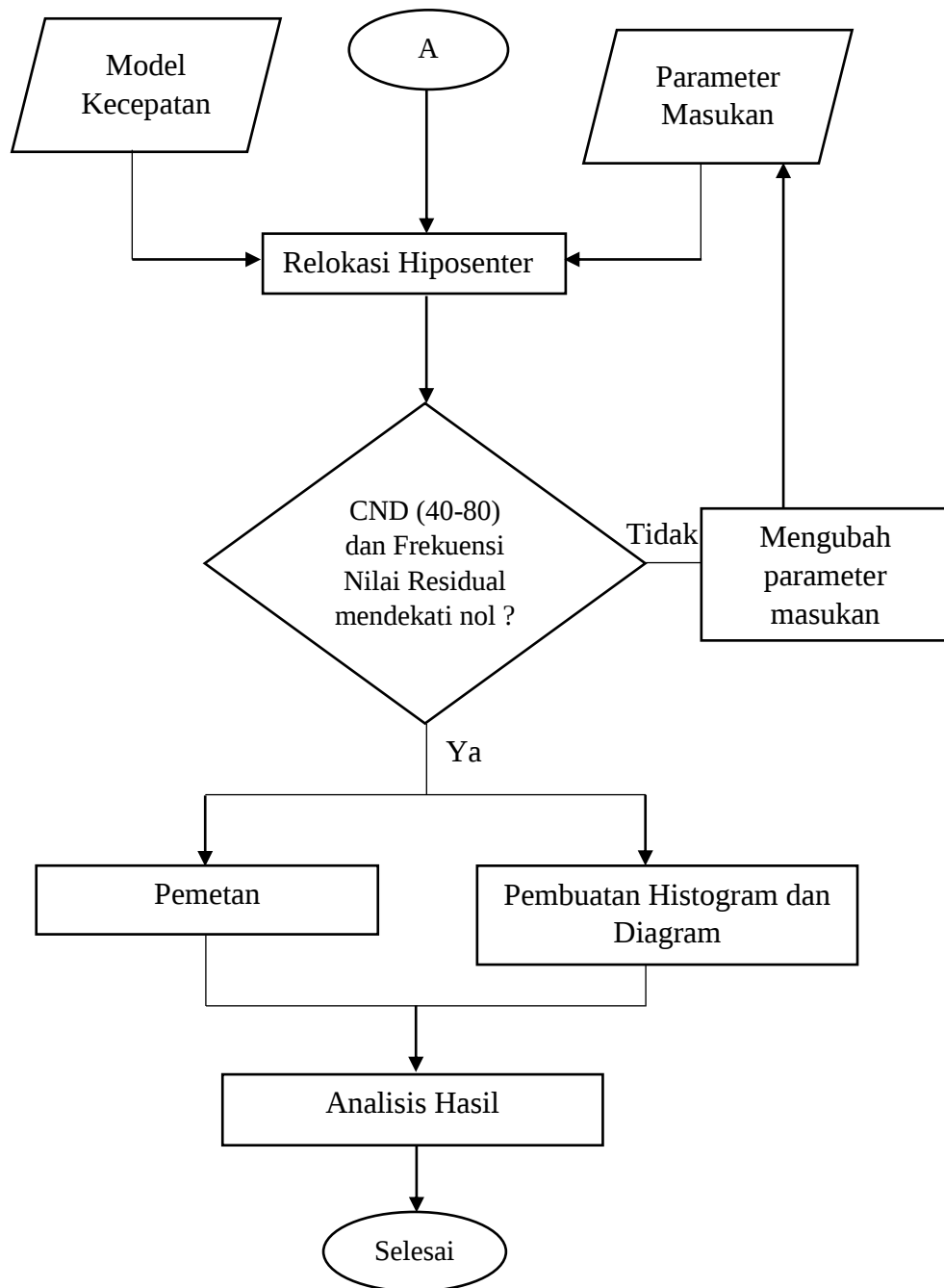
Gambar 3. 3 Diagram Alir Persamaan Penelitian

b. Pra pengolahan



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pra Penelitian

c. Relokasi Hiposenter



Gambar 3. 5 Diagram Alir Relokasi Hiposenter

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Data dan Pengolahan

Pada penelitian ini digunakan data *event* dan data *arrival* gempabumi yang berasal dari katalog ISC (*International Seismological Centre*). Data yang digunakan meliputi parameter waktu origin, koordinat hiposenter (lintang, bujur, kedalaman), serta waktu tiba gelombang P dan S pada setiap stasiun pencatat. Berdasarkan katalog ISC tercatat sebanyak 313 *event* di wilayah NTB dan 289 *event* di wilayah NTT dengan magnitudo berkisar 4-6.3 SR dan kedalaman 0-60 km pada rentang waktu 01 Januari 2014 sampai 31 Desember 2024 serta batas wilayah pada koordinat 115,82°–119,33° BT dan 7,50°–8,41° LS untuk NTB dan di 119,33°–127,00° BT dan 7,00°–8,65° LS untuk wilayah NTT.

Data *arrival time* akan diolah dengan menyeleksi event berdasarkan kelengkapan parameter gempa meliputi waktu origin, koordinat lintang dan bujur, kedalaman, serta magnitudo. Selanjutnya dilakukan seleksi fase gelombang dan perhitungan waktu tempuh gelombang (*travel time*) yang diperoleh dari selisih antara waktu tiba gelombang dengan waktu origin gempa. Tahap berikutnya adalah kontrol kualitas data berdasarkan nilai residual dan waktu tempuh gelombang. Data dengan waktu tempuh yang tidak logis, yaitu bernilai negatif atau melebihi batas tertentu, dieliminasi dari dataset. Selain itu, nilai residual digunakan sebagai dasar pembobotan data, dimana data dengan nilai residual kurang dari atau sama dengan ± 2 detik diberikan bobot 1, sedangkan data dengan residual lebih besar dari ± 2 detik diberikan bobot 0. Hasil akhir dari proses

pengolahan ini adalah data fase dalam format *phase.dat* (PHA) yang berisi informasi *event* dan data waktu tempuh gelombang yang telah terseleksi, yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam proses relokasi hiposenter menggunakan program *HypoDD*.

Berdasarkan data *phase.dat* tersebut diperoleh data *event* yang akan direlokasi yaitu pada NTB sebanyak 312 data, sedangkan NTT sebanyak 288 data. Data ini akan direlokasi melalui 2 tahapan yaitu *ph2dt* dan *hypoDD*. *Ph2dt* menganalisis fase data gelombang untuk penurunan selisih waktu tempuh gelombang terhadap pasangan gempa dengan mengelompokkan gempabumi yang berkaitan berdasarkan parameter yang diberikan. Pada saat akhir pengolahan akan tampil pada *software* *Cygwin* berupa informasi outliers, jumlah pasangan gempa yang dianggap lemah, dan sebagainya. Untuk melanjutkan ke proses relokasi pada *hypoDD*, sebisa mungkin nilai outliers kecil. Hal ini dikarenakan gempa yang dianggap outliers (gempa dengan waktu tunda lebih besar dari perkiraan waktu tunda untuk pasangan gempa) akan dihapus. Selain itu, *weakly linked events* yang dihasilkan harus memiliki jumlah yang sedikit (persentase kecil). Pada penelitian ini, nilai outliers yang diperoleh sebesar 2% dan *weakly linked events* sebesar 0% pada wilayah NTB, sedangkan pada wilayah NTT diperoleh nilai outliers sebesar 1% dan *weakly linked events* sebesar 2%.

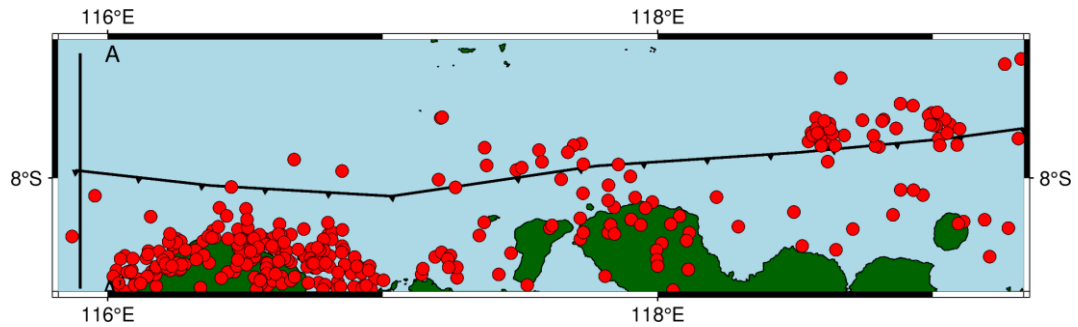
Hasil keluaran *ph2dt* kemudian menjadi masukan dalam pengolahan *hypoDD*. *HypoDD* merelokasi hiposenter gempa dengan mendefinisikan data waktu tempuh gelombang (*dt.ct*) yang didapatkan dari *ph2dt*. *HypoDD* bekerja dengan prosedur iterasi, dimana pada setiap iterasi turunan parsial, lokasi, pembobotan data akan diperbarui yang bergantung pada nilai misfit saat inversi,

dengan tujuan meminimalkan nilai residual antara selisih waktu tempuh gelombang hasil observasi dengan hasil kalkulasi. Pada akhir pengolahan akan tampil keluaran berupa informasi kerja dari *hypoDD*. Pada keluaran ini dilihat nilai CND yang merupakan indikasi kondisi dari persamaan *double-difference*. Pada buku panduan *hypoDD* oleh waldhauser, nilai CND yang lebih kecil menunjukkan damping yang terlalu besar, dan nilai CND yang besar menunjukkan damping terlalu kecil. Nilai damping yang diberikan dikatakan tepat ketika nilai CND berada diantara 40 dan 80 (Waldhauser, 2001).

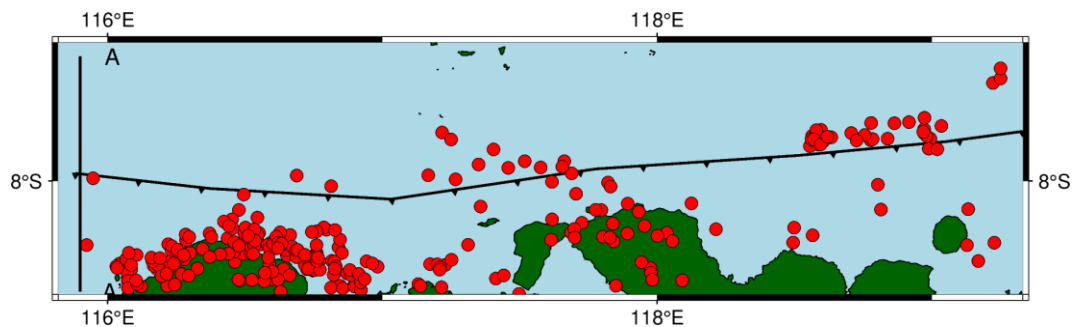
4.2. Hasil Relokasi Hiposenter Kepulauan Nusa Tenggara

4.2.1. Hasil Relokasi Hiposenter Pada Wilayah Nusa Tenggara Barat

Hasil relokasi pada wilayah NTB menunjukkan adanya perubahan distribusi spasial gempa dibandingkan lokasi awal dari katalog. Selain itu terjadi perubahan jumlah data setelah relokasi dari 312 data menjadi 288 data. Kejadian gempabumi yang tereliminasi disebabkan oleh parameter pada *ph2dt* dan *hypoDD* yang membatasi jarak antar kejadian gempabumi yang terlibat. Ketika suatu kejadian gempabumi tidak memiliki pasangan dengan kejadian gempabumi lainnya, maka kejadian tersebut dieliminasi. Adapun jika terdapat gempabumi *airquake* dalam proses iterasi relokasi *double difference*, maka kejadian gempabumi tersebut akan dieliminasi dan iterasi akan dijalankan ulang. *Airquake* merupakan gempabumi yang memiliki kedalaman terlalu dangkal pada proses relokasi. Perbandingan antara episenter sebelum dan sesudah relokasi di tunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Bulatan berwarna merah menunjukkan titik episenter gempa kedalaman dangkal kurang dari 60 km. Garis hitam yang memanjang menunjukkan patahan.



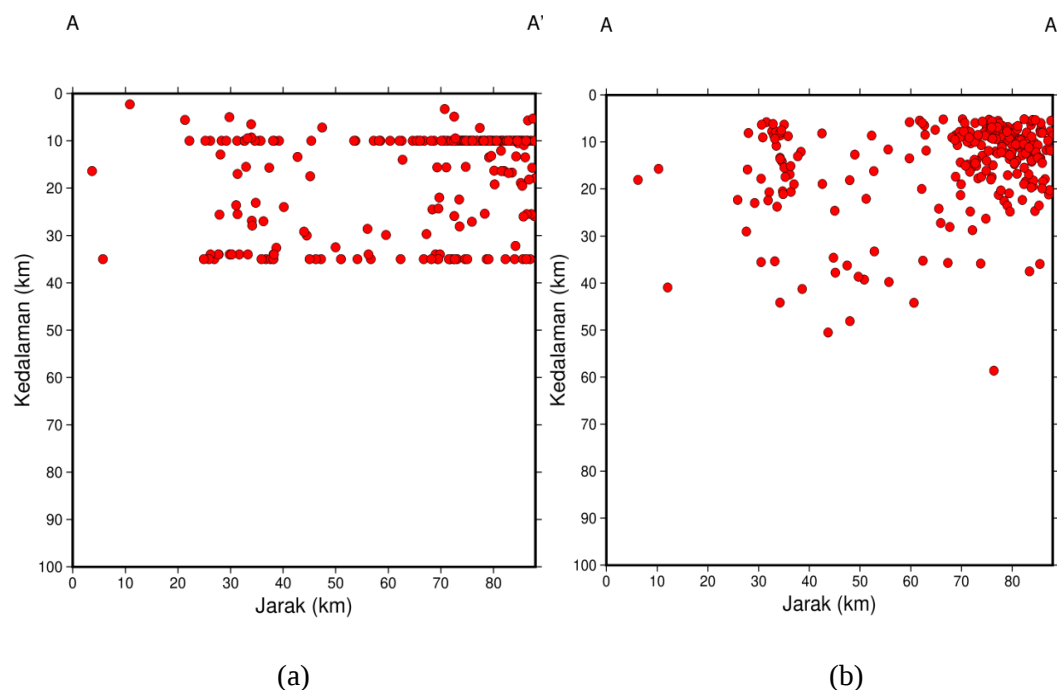
Gambar 4. 1 Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi NTB



Gambar 4. 2 Peta Episenter Gempabumi Setelah Relokasi NTB

Berdasarkan gambar di atas terlihat adanya perbedaan hasil sebelum relokasi (Gambar 4.1) dan setelah relokasi (Gambar 4.2). Titik episenter gempa sebelum relokasi cenderung tersebar tanpa pola yang jelas, terutama pada bagian barat yang menunjukkan distribusi yang cukup acak dan tidak mengikuti struktur tertentu. Hal tersebut mengindikasikan masih adanya pengaruh *error* lokasi awal, baik akibat ketidakpastian model kecepatan maupun keterbatasan data. Sebaran episenter setelah proses relokasi menggunakan metode *double difference* mengalami perubahan titik koordinat, dimana terdapat beberapa titik episenter yang lebih menyebar dan ada yang lebih terkelompok di beberapa wilayah. Pada wilayah Sumbawa terlihat bahwa titik gempa yang awalnya tersebar memenuhi pulau tersebut, menjadi berkurang dan terkelompok lebih rapat. Pergeseran yang lebih menyebar terlihat pada wilayah Dompu, dimana titik episenter yang awalnya tersebar tanpa pola yang jelas terlihat membentuk pola memanjang karena mendekati struktur geologi penyebab gempa. Pada Utara wilayah Bima,

persebaran yang awalnya memenuhi wilayah tersebut menjadi terkonsentrasi di beberapa titik yang menunjukkan adanya struktur patahan di wilayah tersebut. Pola persebaran tersebut mengikuti kecenderungan arah struktur tektonik regional dan mengindikasikan keberadaan zona sesar aktif yang mengontrol distribusi aktivitas seismik di wilayah tersebut. Berdasarkan latar belakang keadaan tektonik, aktivitas kegempaan di wilayah NTB dipengaruhi oleh aktivitas sesar naik di wilayah busur belakang (*back-arc thrust*). Sesar ini terbentang dari wilayah utara Pulau Bali sampai ke utara kepulauan Sunda Kecil (Faiza & Ariyanto, 2024).



Gambar 4. 3 Hasil Plot Hiposenter NTB (a) sebelum relokasi dan (b) setelah relokasi

Berdasarkan penampang A-A' pada Gambar 4.3 plot hiposenter sebelum relokasi dan setelah relokasi, terlihat perbedaan yang signifikan dalam distribusi hiposenter terhadap kedalaman. Pada kondisi sebelum relokasi, sebaran hiposenter menunjukkan pola tidak kontinu dan cenderung membentuk lapisan horizontal

pada kedalaman tertentu, terutama sekitar ± 10 km dan ± 35 km. Pola ini kurang mempresentasikan kondisi geologi yang sebenarnya dan mengindikasikan adanya ketidakakuratan dalam penentuan kedalaman. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan model kecepatan dan distribusi stasiun, sehingga diberikan kedalaman secara otomatis (*fixdepth*). Selain itu, distribusi hiposenter sebelum relokasi tampak lebih tersebar dan tidak menunjukkan kecenderungan struktur tertentu, sehingga sulit untuk mengidentifikasi geometri sumber gempa di bawah permukaan.

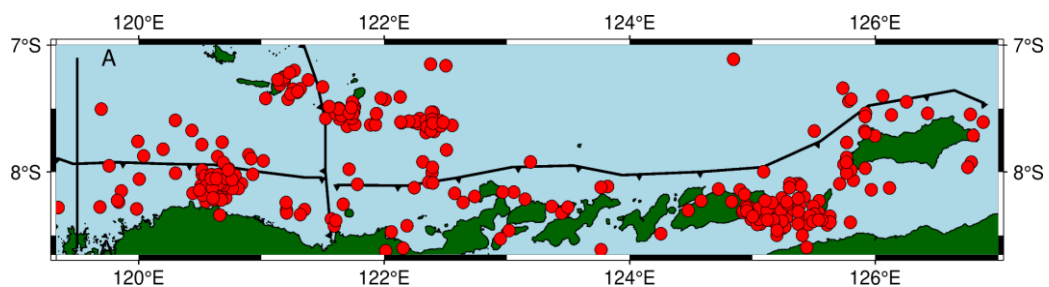
Distribusi hiposenter berdasarkan penampang A-A' setelah dilakukan relokasi, menunjukkan perubahan hasil penyebaran lebih kontinu dan tidak terakumulasi pada kedalaman tertentu. Hiposenter terlihat lebih terdistribusi dalam rentang kedalaman sekitar 5-50 km, dengan konsentrasi utama berada pada kedalaman dangkal hingga menengah (± 10 –25 km). Distribusi hiposenter memperlihatkan adanya pengelompokan (*cluster*) yang cukup jelas, terutama pada bagian dengan jarak sekitar 60-85 km, dimana gempa terkonsentrasi pada kedalaman dangkal. Sementara itu, pada bagian tengah penampang (sekitar 30-50 km), hiposenter menunjukkan distribusi yang lebih menyebar hingga kedalaman menengah, yang mencerminkan variasi aktivitas seismik di zona tersebut. Pola distribusi hiposenter pada penampang ini tidak menunjukkan kecenderungan bidang kemiringan yang jelas dan kontinu, sebagaimana yang umum dijumpai pada zona subduksi. Sebaliknya, sebaran hiposenter cenderung relatif tersebar secara vertikal hingga sub-vertikal, yang mengindikasikan bahwa aktivitas seismik di wilayah ini lebih dikontrol oleh struktur sesar lokal atau sistem tektonik *back-arc thrust*, dibandingkan oleh bidang penunjaman utama. Selain itu,

keberadaan beberapa hiposenter pada kedalaman lebih dari 50 km yang bersifat terisolasi menunjukkan kemungkinan adanya aktivitas seismik yang lebih dalam, meskipun jumlahnya relatif terbatas dan tidak membentuk pola tertentu.

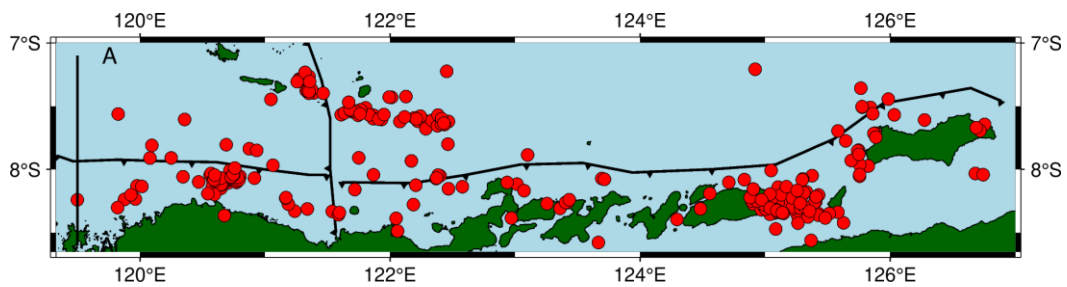
Berdasarkan penjelasan di atas, hasil relokasi memperbaiki distribusi hiposenter gempabumi, yang ditunjukkan oleh sebaran kedalaman yang lebih baik dan tidak lagi terakumulasi pada kedalaman tertentu. Selain itu, setelah relokasi terlihat adanya pola pengelompokan (*cluster*) hiposenter yang lebih jelas, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi zona aktivitas seismik. Distribusi hiposenter yang dihasilkan menjadi lebih konsisten dengan kerangka tektonik regional di wilayah penelitian. Oleh karena itu penampang hasil relokasi ini mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai geometri sumber gempa serta karakteristik struktur bawah permukaan.

4.2.2. Hasil Relokasi Hiposenter Pada Wilayah Nusa Tenggara Timur

Hasil relokasi pada wilayah NTT menunjukkan adanya perubahan distribusi spasial gempa dibandingkan lokasi awal dari katalog. Terdapat perubahan jumlah data setelah relokasi dari 288 data menjadi 263 data. Berdasarkan peta sebaran episenter gempabumi sebelum relokasi pada Gambar 4.4 dan setelah relokasi pada Gambar 4.5 terlihat sekilas sama, namun jika dilihat dengan teliti terdapat perubahan pola persebaran episenter yang cukup signifikan.



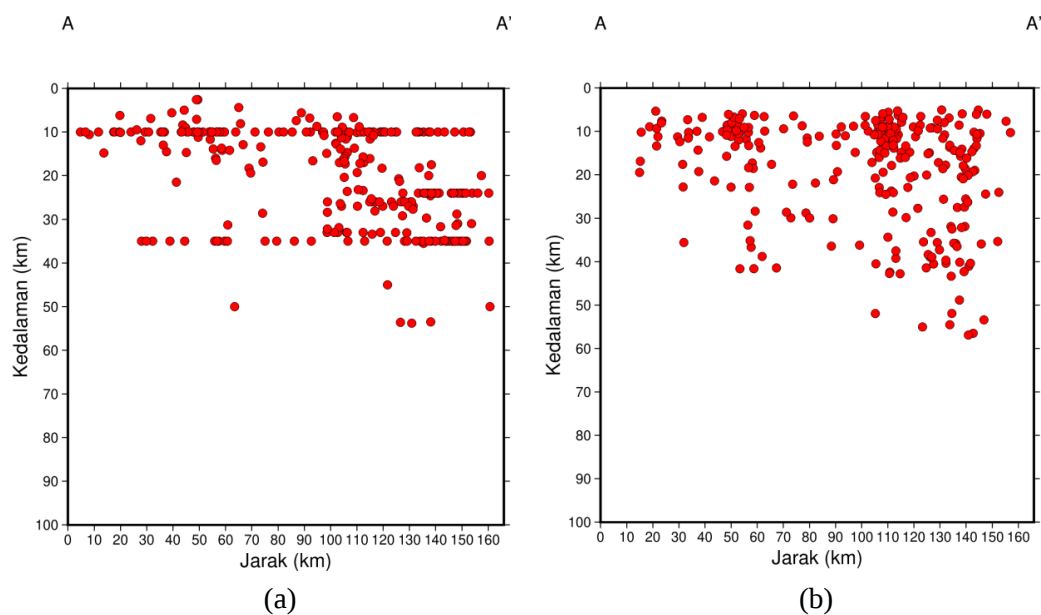
Gambar 4. 4 Peta Episenter Gempabumi Sebelum Relokasi NTT



Gambar 4. 5 Peta Episenter Gempabumi Setelah Relokasi NTT

Berdasarkan gambar di atas terlihat adanya perbedaan hasil sebelum relokasi (Gambar 4.4) dan setelah relokasi (Gambar 4.5). Beberapa titik episenter gempa sebelum relokasi tersebar tanpa pola yang jelas. Hal tersebut mengindikasikan masih adanya pengaruh *error* lokasi awal, baik akibat ketidakpastian model kecepatan maupun keterbatasan data. Sebaran episenter setelah proses relokasi menggunakan metode *double difference* mengalami perubahan titik koordinat, dimana terdapat beberapa titik episenter yang lebih menyebar dan ada yang lebih terkelompok. Pada bagian utara wilayah Manggarai dan sekitarnya terlihat bahwa titik episenter gempa yang awalnya banyak dan tersebar tanpa pola yang jelas, menjadi lebih terkelompok lebih rapat dan ada yang lebih tersebar. Pada bagian utara wilayah Ende hingga wilayah Lembata terlihat bahwa persebaran di wilayah tersebut ada yang lebih menyebar dan ada yang lebih mengelompok, persebaran ini membentuk pola tertentu yang menunjukkan adanya sesar penyebab gempa di wilayah tersebut. Pada wilayah Alor terlihat persebaran episenter yang lebih terkelompok dan ada yang lebih tersebar, dimana titik episenter yang awalnya memenuhi wilayah tersebut menjadi lebih sedikit dan membentuk pola tertentu yang menunjukkan adanya patahan.

Perubahan pola ini menunjukkan bahwa proses relokasi berhasil meningkatkan ketelitian posisi hiposenter, sehingga distribusi gempa menjadi lebih representatif terhadap kondisi geologi tektonik regional. Pola sebaran yang terbentuk setelah relokasi diduga berkaitan dengan sistem tektonik di wilayah Nusa Tenggara, khususnya yang berasosiasi dengan zona *back-arc thrust*, yang berperan dalam mengontrol aktivitas seismik di daerah penelitian. Pada wilayah NTT terdapat patahan mendatar *dextral* berskala regional yang berarah dari barat-timur yang menjadi batas antara cekungan Sawu dan cekungan Wetar (Mccaffrey, 1988). Selain itu keberadaan sistem *Flores back-arc thrust* yang aktif dibagian utara NTT juga telah dibuktikan oleh studi topografi seismik yang menunjukkan geometri sesar naik yang menerus dan berperan signifikan dalam mengontrol distribusi kegempaan regional (Afif et al., 2021).



Gambar 4. 6 Hasil Plot Hiposenter NTT (a) sebelum relokasi dan (b) setelah relokasi

Berdasarkan penampang melintang A-A' pada Gambar 4.6 plot hiposenter sebelum relokasi dan setelah relokasi, terlihat adanya perbedaan yang signifikan dalam distribusi hiposenter gempabumi terhadap kedalaman. Pada kondisi

sebelum relokasi, sebaran hiposenter cenderung menunjukkan pola yang kurang baik, yaitu berupa pengelompokan pada kedalaman tertentu yang membentuk pola horizontal (*layering*), terutama pada kisaran kedalaman sekitar ± 10 km dan ± 35 km. Pola ini mengindikasikan adanya ketidakakuratan dalam penentuan kedalaman gempa, yang umumnya disebabkan oleh keterbatasan model kecepatan serta pengaruh distribusi stasiun seismik, sehingga banyak *event* yang secara otomatis terproyeksikan pada kedalaman tertentu (*fixdepth*). Selain itu distribusi hiposenter tampak kurang kontinu secara vertikal dan tidak memperlihatkan hubungan yang jelas dengan struktur bawah permukaan. Beberapa *event* terlihat menyebar tanpa pola yang jelas, sehingga interpretasi terhadap geometri sumber gempa menjadi terbatas.

Hasil penampang melintang A-A' setelah dilakukan relokasi menunjukkan adanya perubahan distribusi hiposenter yang lebih representatif. Pola *layering* yang sebelumnya dominan tidak terlihat secara mencolok, dan sebaran hiposenter menjadi lebih menyebar secara kontinu pada rentang kedalaman sekitar ± 5 hingga ± 60 km. Konsentrasi gempa terlihat dominan pada kedalaman dangkal hingga menengah, yaitu sekitar 10-25 km, yang mengindikasikan bahwa aktivitas seismik di wilayah penelitian didominasi oleh deformasi pada kerak atas. Berdasarkan Gambar 4.6 (b), setelah relokasi terlihat adanya pengelompokan hiposenter yang lebih jelas, khususnya pada jarak sekitar 100-140 km, dimana gempa terkonsentrasi pada kedalaman dangkal hingga menengah. Sementara itu, pada bagian lainnya, hiposenter menunjukkan distribusi yang lebih menyebar secara vertikal, yang mencerminkan variasi kondisi geologi bawah permukaan. Hasil relokasi tidak menunjukkan adanya pola kemiringan (*dipping*) yang jelas dan kontinu seperti

yang umum dijumpai pada zona subduksi. Sebaliknya, distribusi hiposenter cenderung bersifat sub-vertikal hingga tersebar, yang mengindikasikan bahwa aktivitas seismik di penampang ini kemungkinan lebih dikontrol oleh struktur sesar lokal atau sistem tektonik *back-arc thrust*, dibandingkan oleh bidang penunjaman utama.

Berdasarkan penjelasan di atas proses relokasi tersebut berhasil memperbaiki distribusi hiposenter, yang ditunjukkan oleh hilangnya akumulasi kedalaman yang tidak realistis, meningkatnya kontinuitas, serta munculnya pola sebaran yang lebih sesuai dengan kondisi geologi. Dengan demikian, penampang hasil relokasi ini memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai geometri sumber gempa dan karakteristik struktur bawah permukaan di wilayah penelitian.

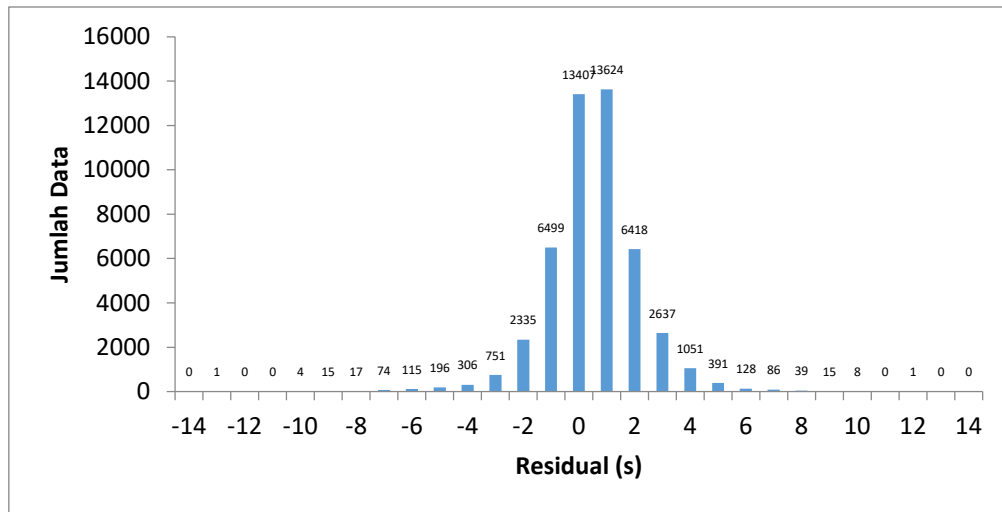
4.3. Analisis Histogram Residual dan Kualitas Data

Akurasi hasil relokasi dapat dilihat dengan membuat histogram nilai rms residual waktu tempuh. Histogram residual bertujuan untuk melakukan analisis terhadap kecocokan data lapangan dan model parameter matematis yang digunakan. Histogram residual waktu tempuh merupakan selisih antara waktu tempuh observasi dan waktu tempuh kalkulasi. Hal ini dianalisis dari frekuensi gempa yang memiliki nilai rms dari gempa yang memiliki nilai rms residual mendekati nol.

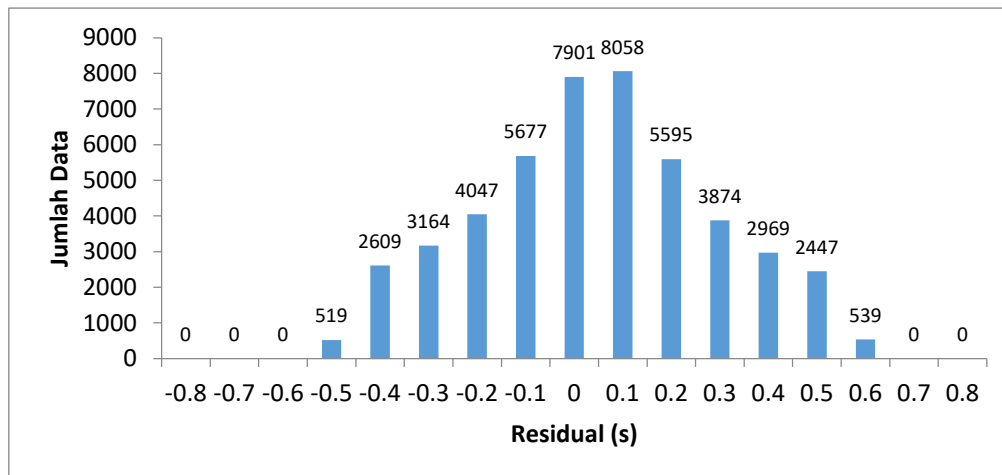
Nilai rms residual setelah relokasi memiliki batas maksimum yaitu 2 s. Dalam praktiknya, Waldhauser menekankan bahwa kualitas hasil relokasi sangat bergantung pada kemampuan meminimalkan residual waktu tempuh antar pasangan kejadian gempa. Namun, mengingat keterbatasan data, seperti ketidakpastian *picking* waktu tiba gelombang dan heterogenitas model kecepatan,

nilai RMS residual hingga sekitar 2 detik masih dapat ditoleransi, terutama pada studi dengan cakupan wilayah luas atau kualitas data yang bervariasi (Waldhauser, 2001). Semakin mendekati nol nilai rms residual waktu tempuh dari gempa, maka waktu tempuh hasil kalkulasi semakin mendekati letak gempa sebenarnya.

4.3.1. Histogram Residual NTB Sebelum dan Sesudah Relokasi



Gambar 4. 7 Histogram Residual Waktu Tempuh NTB Sebelum Di Relokasi



Gambar 4. 8 Histogram Residual Waktu Tempuh NTB Sesudah Di Relokasi

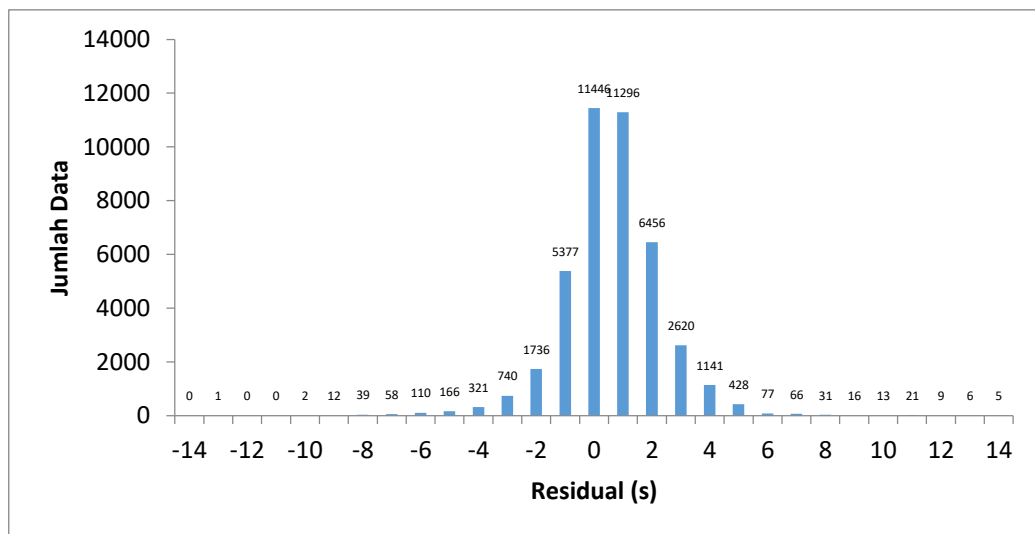
Berdasarkan histogram residual waktu tempuh sebelum relokasi pada Gambar 4.7, distribusi residual menunjukkan rentang yang sangat lebar, yaitu

sekitar -14 hingga +14 detik. Frekuensi tertinggi berada disekitar 0 hingga 1 detik (sekitar 13.407 data), distribusi residual masih memanjang ke kedua sisi. Terdapat nilai residual negatif dan positif dengan frekuensi kecil lebih dari ± 10 detik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar data sudah mendekati nol, masih terdapat sejumlah besar data dengan penyimpangan signifikan. Secara statistik, distribusi ini belum sepenuhnya sempit dan masih mengindikasikan adanya *error* acak maupun sistematis, yang umumnya berkaitan dengan ketidakakuratan model kecepatan, kesalahan *picking*, serta ketidakpastian lokasi hiposenter awal (Waldhauser & Ellsworth, 2000).

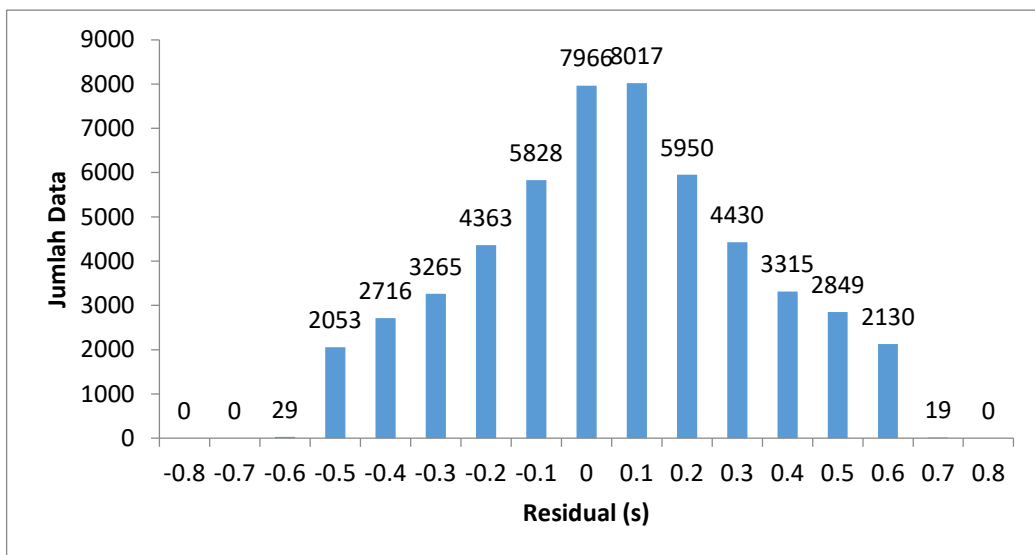
Histogram residual waktu tempuh setelah dilakukan relokasi pada Gambar 4.8 mengalami perubahan yang signifikan. Rentang residual menjadi lebih sempit, yaitu hanya sekitar -0.5 hingga +0.6 detik, dengan konsentrasi frekuensi tertinggi tetap berada di sekitar nilai nol (sekitar 7.901-8.058 data). Selain itu, distribusi menjadi lebih simetris dan terpusat, serta tidak menunjukkan ekor panjang seperti sebelum relokasi. Frekuensi residual di luar kisaran $\pm 0,5$ detik menurun drastis, bahkan hampir tidak ada data ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpangan antara waktu observasi dan waktu hasil perhitungan telah berkurang secara signifikan.

Penurunan residual dan meningkatnya konsentrasi frekuensi di sekitar nol menunjukkan bahwa proses relokasi berhasil meningkatkan kualitas data dan ketelitian penentuan hiposenter. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa metode *double difference* mampu meminimalkan *error* relatif antar *event* dan menghasilkan distribusi residual yang lebih sempit dan mendekati nol (Waldhauser, 2001).

4.3.2. Histogram NTT Sebelum dan Sesudah Relokasi



Gambar 4. 9Histogram Residual Waktu Tempuh NTT Sebelum Di Relokasi



Gambar 4. 10 Histogram Residual Waktu Tempuh NTT Sesudah Di Relokasi

Histogram residual waktu tempuh sebelum relokasi pada Gambar 4.9 menunjukkan distribusi yang masih lebar dengan rentang residual sekitar -14 s hingga +14 s. Frekuensi tertinggi berada pada residual 1s sebanyak 11.296 data, diikuti residual 0 s sebanyak 11.446 data dan residual 2 s sebanyak 6.456 data. Konsentrasi frekuensi yang tinggi di sekitar nol menunjukkan bahwa sebagian besar data telah memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan model, namun

masih terdapat sejumlah residual besar yang menyebabkan sebaran distribusi menjadi lebar. Pada sisi negatif, frekuensi residual menurun secara bertahap dari -1 s (5.377 data) hingga mencapai nilai ekstrem -14 s yang hanya berjumlah 0 data. pola serupa juga terlihat pada sisi positif, di mana frekuensi berkurang dari 3 s (2.620 data) hingga 14 s (5 data). keberadaan residual ekstrem pada kedua sisi menunjukkan adanya ketidakcocokan antara waktu tiba observasi dan waktu tempuh hasil perhitungan model untuk sebagian kejadian gempa. Dalam penelitian relokasi gempa, pola tersebut umumnya mengindikasikan bahwa lokasi hiposenter awal masih mengandung ketidakpastian sehingga model belum mampu menjelaskan seluruh data pengamatan secara optimal.

Histogram residual setelah relokasi pada Gambar 4.10 menunjukkan penyempitan distribusi yang sangat signifikan dengan rentang residual hanya sekitar -0,6 s hingga +0,7 s. frekuensi tertinggi berada pada residual 0,1 s sebanyak 8.017 data, diikuti residual 0s sebanyak 7.966 data dan residual 0.2 sebanyak 5.950 data. dominasi frekuensi pada interval yang sangat dekat dengan nol menunjukkan bahwa sebagian besar waktu tempuh telah berhasil diminimalkan. Pada sisi negatif, frekuensi residual meningkat secara bertahap dari -0,5 s (2.053 data) menuju puncak distribusi di sekitar nol. Pola yang sama juga terlihat pada sisi positif, dimana frekuensi menurun secara bertahap dari 0,2 hingga 0,6 s (2.130 data). bentuk distribusi yang lebih sempit dan terpusat menunjukkan bahwa hasil perhitungan waktu tempuh setelah relokasi memiliki kesesuaian jauh lebih baik dengan data observasi.

Jumlah residual ekstrem mengalami penurunan yang sangat signifikan dibanding sebelum relokasi. Selain itu tidak terdapat lagi residual dengan nilai

lebih besar dari ± 1 s sehingga variasi kesalahan waktu tempuh menjadi jauh lebih kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode *double difference* berhasil mengurangi kesalahan relatif antar hiposenter dan menghasilkan solusi lokasi gempa yang lebih konsisten.

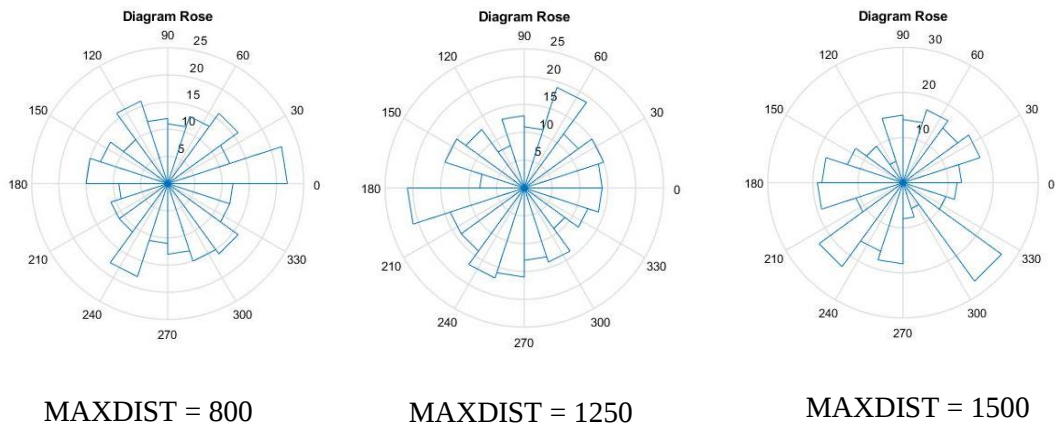
4.4. Analisis Pola Orientasi Struktur Berdasarkan Diagram Rose dan

Diagram Kompas

Analisis pola struktur dilakukan untuk mengidentifikasi arah dominan struktur geologi yang mengontrol persebaran hiposenter gempabumi di wilayah penelitian. Metode yang digunakan adalah diagram *rose* dan diagram kompas, yang disusun berdasarkan hubungan spasial antar event gempa hasil relokasi. Diagram *rose* digunakan untuk menunjukkan arah perubahan posisi hiposenter berdasarkan arah sudut kuadran. Diagram kompas digunakan untuk menunjukkan jarak perubahan hiposenter. Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa percobaan dengan variasi parameter MAXDIST untuk memperoleh orientasi yang paling representatif. Nilai MAXDIST yang digunakan pada masing-masing wilayah disesuaikan dengan karakteristik data, dan hasil terbaik dipilih berdasarkan kejelasan pola serta kesesuaiannya dengan kondisi geologi regional.

4.4.1. Diagram Rose dan Diagram Kompas Wilayah NTB

Pada wilayah NTB dilakukan tiga kali percobaan pengolahan data dengan variasi parameter MAXDIST, yaitu 800, 1250, dan 1500. Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jarak maksimum antar *event* terhadap kejelasan pola orientasi yang dihasilkan. Hasil diagram *rose* pada wilayah NTB menunjukkan variasi pola orientasi yang dipengaruhi oleh MAXDIST sebagaimana pada Gambar 4.11.

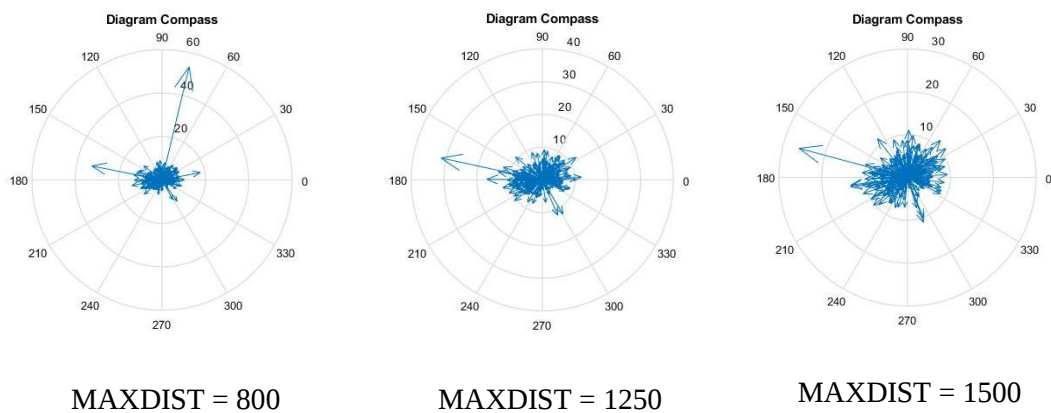


Gambar 4. 11 Diagram Rose NTB

Pada diagram dengan variasi MAXDIST 800 dan 1250 terlihat bahwa pergeseran hiposenter masih menyebar ke berbagai arah dengan jumlah kejadian yang relatif merata dan tidak terlihat adanya arah dominan yang mengarah pada pergeseran lempeng, sehingga pola persebaran hiposenter belum dapat diinterpretasikan. Pada percobaan ketiga dengan variasi MAXDIST 1500 terlihat bahwa pergeseran hiposenter setelah relokasi mulai menunjukkan konsentrasi arah yang dominan, yaitu pada arah utara, selatan, tenggara, barat, dan barat daya yang merupakan tempat terjadinya pergeseran lempeng. Hal ini ditunjukkan oleh beberapa batang yang memiliki panjang lebih besar dibandingkan arah lainnya. Pola ini mengindikasikan bahwa setelah proses relokasi, distribusi hiposenter menjadi lebih terarah dan mengikuti struktur geologi yang mengontrol aktivitas seismik di wilayah NTB, sehingga hasil diagram dengan MAXDIST 1500 dianggap lebih representatif.

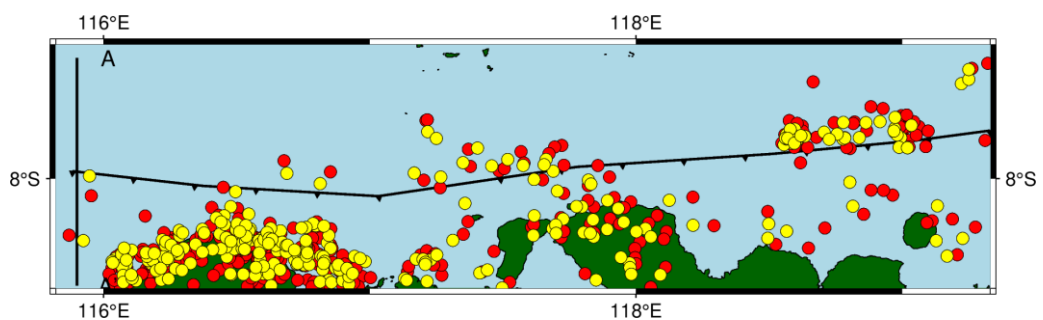
Gambar 4.12 merupakan diagram kompas yang menunjukkan arah dan jarak pergeseran. Pada pengolahan diagram ini dilakukan 3 percobaan dengan variasi nilai MAXDIST 800, 1250, dan 1500. Skala pada diagram kompas

menunjukkan pergeseran hiposenter, sedangkan skala sudut (0° – 360°) menunjukkan arah pergerakan.



Gambar 4. 12 Diagram Kompas NTB

Berdasarkan hasil diagram kompas pada variasi maxdist 800 dan 1250 terlihat bahwa pola pergerakan hiposenter belum dapat diinterpretasikan secara optimal. Pada kedua diagram tersebut, pergeseran hiposenter belum tergambarkan dengan baik, sehingga sulit untuk diinterpretasi. Pada diagram kompas dengan variasi MAXDIST 1500, jarak pergeseran hiposenter sudah tergambarkan dengan baik, sehingga lebih mudah diinterpretasikan. Pergeseran hiposenter terlihat menyebar ke segala arah dengan dominan jarak pergeseran pada rentang 10 km meskipun terdapat 1 gempa dengan pergeseran lebih dari 20 km. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pergeseran hiposenter di wilayah NTB sudah sesuai karena dominan hiposenter bergerak tidak terlalu jauh dari data awal.

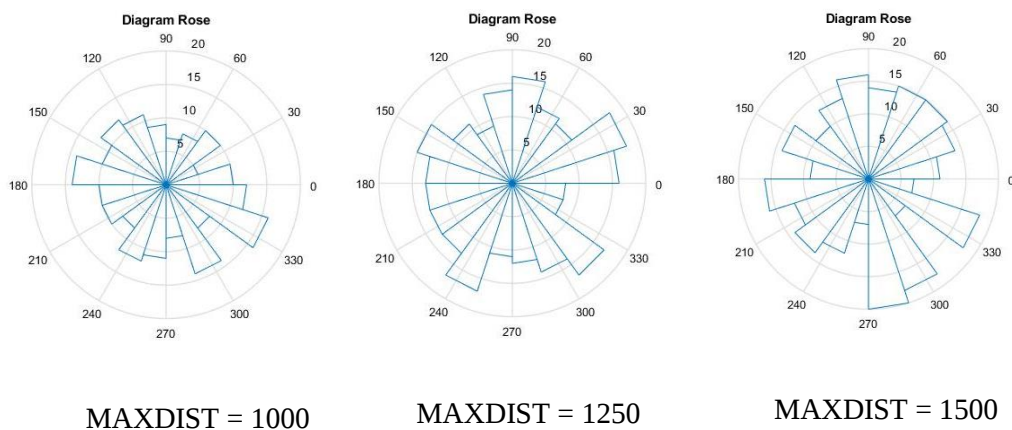


Gambar 4. 13 Titik persebaran episenter sebelum dan sesudah relokasi (merah : sebelum, kuning : sesudah)

Gambar 4.13 menunjukkan hasil plot pergeseran titik episenter setelah dilakukan relokasi pada wilayah NTB. Berdasarkan gambar tersebut titik-titik episenter setelah relokasi terlihat bergeser ke berbagai arah, namun terdapat beberapa titik yang dominan bergeser ke arah utara, selatan, tenggara, barat, dan barat daya. Hal ini sesuai dengan orientasi arah dominan yang dihasilkan pada diagram *rose* dan diagram kompas.

4.4.2. Diagram Rose dan Diagram Kompas Wilayah NTT

Pada wilayah NTT dilakukan tiga kali percobaan pengolahan data dengan variasi parameter MAXDIST, yaitu 1000, 1250, dan 1500. Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jarak maksimum antar *event* terhadap kejelasan pola orientasi yang dihasilkan. Hasil diagram *rose* pada wilayah NTT menunjukkan variasi pola orientasi yang dipengaruhi oleh MAXDIST sebagaimana pada Gambar 4.14.

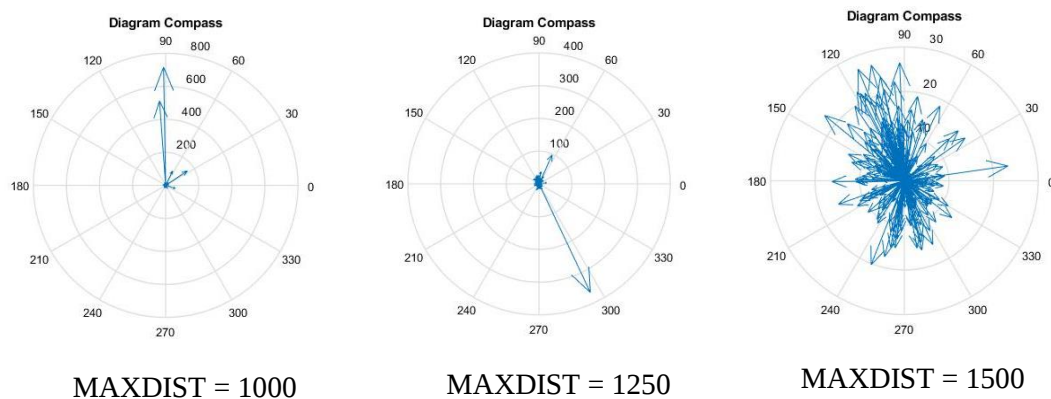


Gambar 4. 14 Diagram Rose NTT

Pada diagram dengan variasi MAXDIST 1000 dan 1250 terlihat bahwa pergeseran hiposenter masih menyebar ke berbagai arah dengan jumlah kejadian

yang relatif merata dan tidak terlihat adanya arah dominan yang mengarah pada wilayah pergeseran lempeng, sehingga pola persebaran hiposenter belum dapat diinterpretasikan. Pada percobaan ketiga dengan variasi MAXDIST 1500 terlihat bahwa pergeseran hiposenter setelah relokasi mulai menunjukkan konsentrasi arah yang dominan, yaitu pada arah utara, selatan, timur laut, barat daya, barat laut, tenggara. Hal ini ditunjukkan oleh beberapa batang yang memiliki panjang lebih besar dibandingkan arah lainnya. Pola ini mengindikasikan bahwa setelah proses relokasi, distribusi hiposenter menjadi lebih terarah dan mengikuti struktur geologi yang mengontrol aktivitas seismik di wilayah NTT, sehingga hasil diagram dengan MAXDIST 1500 dianggap lebih representatif.

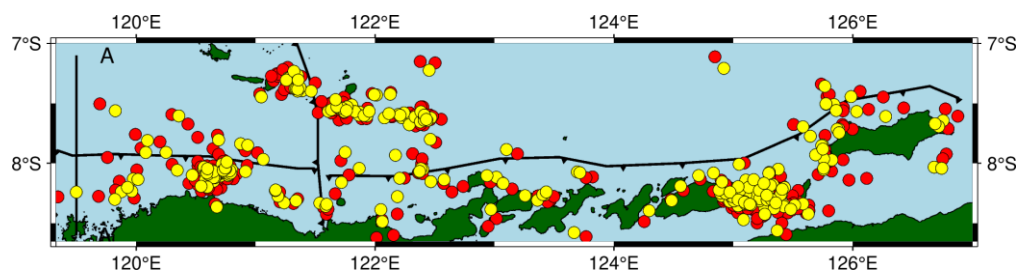
Gambar 4.15 merupakan diagram kompas yang menunjukkan arah dan jarak pergeseran. Pada pengolahan diagram ini dilakukan 3 percobaan dengan variasi nilai MAXDIST 1000, 1250, dan 1500. Skala pada diagram kompas menunjukkan pergeseran hiposenter, sedangkan skala sudut (0° – 360°) menunjukkan arah pergerakan.



Gambar 4. 15 Diagram Kompas NTT

Berdasarkan hasil diagram kompas pada variasi MAXDIST 1000 dan 1250 terlihat bahwa pola pergerakan hiposenter belum dapat diinterpretasikan secara

optimal. Pada kedua diagram tersebut, pergeseran hiposenter belum tergambar dengan jelas. Hal ini disebabkan ada beberapa hiposenter yang bergeser sangat jauh hingga ratusan kilometer. Pada diagram kompas dengan variasi MAXDIST 1500, jarak pergeseran hiposenter sudah tergambar dengan baik, dimana pergeseran relatif pada jarak 10-20 km hanya beberapa hiposenter yang bergeser melebihi 20 km. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pergeseran hiposenter di wilayah NTT sudah sesuai karena dominan hiposenter bergerak tidak terlalu jauh dari data awal.



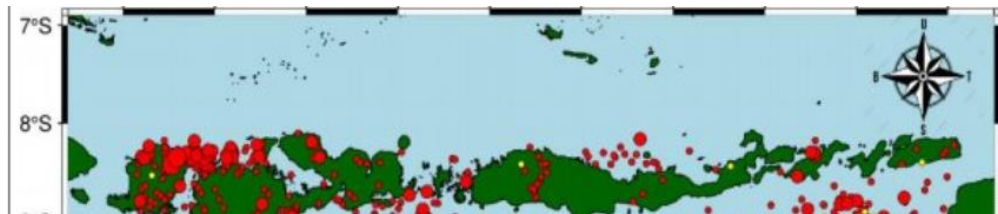
Gambar 4. 16 Titik persebaran episenter sebelum dan sesudah relokasi (merah : sebelum, kuning : sesudah)

Gambar 4.16 menunjukkan hasil plot pergeseran titik episenter setelah dilakukan relokasi pada wilayah NTT. Berdasarkan gambar tersebut titik-titik episenter setelah relokasi terlihat bergeser ke berbagai arah, namun terdapat beberapa titik yang dominan bergeser ke arah utara, selatan, timur laut, barat daya, barat laut, tenggara. Hal ini sesuai dengan orientasi arah dominan yang dihasilkan pada diagram *rose* dan diagram kompas.

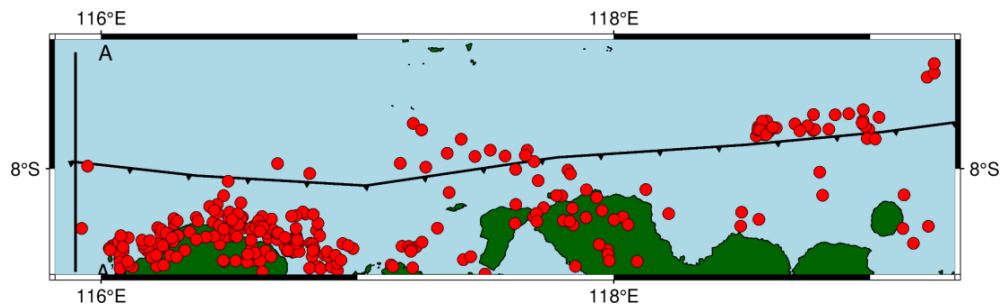
4.5. Perbandingan Hasil Relokasi Dengan Penelitian Sebelumnya

Perbandingan hasil relokasi dilakukan untuk mengidentifikasi pola persebaran episenter serta mengevaluasi konsistensinya terhadap penelitian sebelumnya yang menggunakan metode yang sama, yaitu *double difference*. Data perbandingan mengacu pada penelitian Shobikhah (2023) yang mencakup wilayah Kepulauan

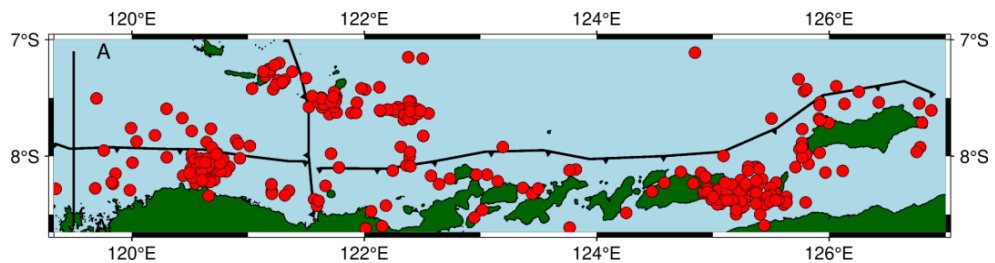
Nusa Tenggara, khususnya pada zona subduksi. Hasil perbandingan relokasi tersebut disajikan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, yang menunjukkan distribusi persebaran episenter.



Gambar 4. 17 persebaran episenter Kepulauan Nusa Tenggara setelah relokasi (shobikhah,2023)



(a)



(b)

Gambar 4. 18 Persebaran episenter Kepulauan Nusa Tenggara setelah relokasi (a) NTB (b) NTT

Perbandingan hasil relokasi menunjukkan adanya variasi pola distribusi episenter antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini. Pada penelitian sebelumnya berhasil menggambarkan persebaran episenter yang secara umum mengikuti kecenderungan zona subduksi di Kepulauan Nusa Tenggara. Namun demikian, terdapat perbedaan dalam tingkat kerapatan dan pengelompokan

episenter yang dipengaruhi oleh perbedaan data, parameter, maupun konfigurasi metode yang digunakan.

Pada penelitian ini, hasil relokasi memperlihatkan distribusi episenter yang relatif lebih terfokus dan terklaster. Di wilayah NTB, episenter tampak mengelompok dan mengikuti arah struktur geologi, terutama di sekitar zona *back-arc thrust*. Sementara itu, di wilayah NTT, persebaran episenter menunjukkan pola yang lebih teratur dan memanjang dengan orientasi barat-timur, yang konsisten dengan sistem tektonik regional.

Pola sebaran episenter pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terlihat memiliki pola yang hampir sama. Kedua hasil relokasi sama-sama merepresentasikan kondisi tektonik regional dengan baik, namun menunjukkan karakteristik distribusi yang berbeda. Perbedaan ini memberikan informasi tambahan dalam memahami detail struktur dan pola seismisitas di wilayah Kepulauan Nusa Tenggara.

4.6.Integrasi Penelitian Dalam Perspektif Islam

Relokasi hiposenter gempabumi dilakukan untuk meningkatkan ketelitian dalam menentukan lokasi sumber gempa. Data hiposenter awal umumnya masih mengandung ketidakpastian akibat keterbatasan distribusi stasiun seismik dan pendekatan perhitungan yang digunakan. Ketidakakuratan ini dapat mempengaruhi interpretasi terhadap kondisi struktur geologi bawah permukaan. Oleh karena itu, relokasi menjadi langkah penting supaya distribusi sebaran gempa dapat tergambarkan lebih jelas dan representatif.

Berdasarkan pembahasan pada penelitian ini dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran hiposenter setelah dilakukannya relokasi. Pergeseran lokasi hiposenter

ini menunjukkan letak sumber gempa yang lebih akurat dari sebelum relokasi. Adanya pergeseran posisi hiposenter ini menunjukkan bahwa bumi ini terus mengalami pergerakan. Berkaitan dengan bumi yang bergerak, Allah memberi isyarat dan petunjuk dalam Al-quran yaitu pada surah an-Naml ayat 88 :

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

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 : 88)

Dalam QS. An-Naml ayat 88, Allah menjelaskan bahwa gunung-gunung yang tampak kokoh, diam, dan tidak berpindah, pada hakikatnya bergerak seperti awan. Ayat ini menunjukkan bahwa apa yang terlihat diam oleh manusia sebenarnya terjadi pergerakan. Fenomena ini juga didukung oleh bukti geologi, seperti ditemukannya fosil-fosil organisme laut di daerah pegunungan tinggi, yang mengindikasikan bahwa wilayah tersebut pada masa lalu merupakan dasar laut yang kemudian mengalami pengangkatan. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa sejak awal pembentukannya, bumi tidak bersifat statis, melainkan terus mengalami pergerakan dan perubahan secara dinamis (Kemenag, 2010).

Keakuratan hasil relokasi pada penelitian ini ditunjukkan oleh data nilai residual yang mendekati nol, dimana didapatkan kesesuaian antara data pengamatan dan hasil perhitungan. Keberhasilan ini tidak terlepas dari pemanfaatan metode *double difference*, yaitu metode yang dinilai lebih unggul dalam relokasi hiposenter dibandingkan metode konvensional seperti metode Geiger. Keunggulan metode *double difference* terletak pada kemampuannya

dalam mengurangi pengaruh ketidakpastian model kecepatan gelombang, sehingga menghasilkan lokasi gempa yang lebih presisi.

Pemanfaatan metode tersebut mencerminkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam kajian kebumiharian. Dalam penelitian gempa bumi, kemajuan teknologi komputasi memungkinkan pengolahan data seismik dilakukan dengan pendekatan yang lebih kompleks dan akurat. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi merupakan salah satu upaya manusia untuk memahami fenomena alam secara sistematis. Konsep pemanfaatan teknologi dan sarana yang diberikan Allah kepada manusia untuk menjaga alam semesta memiliki landasan dalam Al-Qur'an, salah satunya terdapat dalam Surah Al-Alaq ayat 1-5 :

اِقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ {١} خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ {٢} اِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ {٣} الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ {٤} عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ {٥}

Artinya :” Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Mahamulia. Yang mengajar (manusia) dengan perantara pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya.” (Al-Alaq:1-5).

Dalam Tafsir Kemenag RI, QS. Al-‘Alaq ayat 1–5 menekankan perintah untuk membaca, belajar, dan menulis sebagai dasar utama dalam memperoleh dan mengembangkan ilmu pengetahuan. Perintah اِقْرَأْ dimaknai tidak hanya sebagai membaca teks, tetapi juga memahami dan mengkaji berbagai fenomena yang ada di alam. Selanjutnya, penyebutan kata قَلَم (pena) menunjukkan pentingnya sarana dalam mencatat dan menyebarkan ilmu. Allah juga menegaskan bahwa manusia diajarkan apa yang sebelumnya tidak diketahui, yang menunjukkan bahwa seluruh perkembangan ilmu pengetahuan merupakan bagian dari proses pembelajaran yang dianugerahkan oleh-Nya. Dalam konteks modern, penjelasan

ini menjadi landasan bahwa pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan bentuk implementasi dari perintah tersebut, khususnya dalam upaya memahami fenomena alam secara lebih sistematis dan mendalam (Kemenag, 2012).

Secara umum, teknologi mencakup keseluruhan kemampuan, pengetahuan, keterampilan, teknik, alat, serta proses yang digunakan untuk mengubah input menjadi output secara berkelanjutan, yang sering kali tercermin dalam kapasitas inovatif suatu individu maupun organisasi. Konsep teknologi tidak disebutkan secara eksplisit dalam Al-Qur'an sebagaimana dipahami dalam konteks modern. Namun, melalui pemahaman dan penafsiran yang lebih mendalam, terdapat berbagai ayat yang dapat dikaitkan dengan prinsip-prinsip pengembangan teknologi dan inovasi. Dalam era globalisasi dan transformasi saat ini, peran teknologi menjadi semakin penting dalam menunjang berbagai aspek kehidupan manusia (Zuhriyandi & Alfannaja, 2023).

Gempabumi merupakan bencana alam yang tidak dapat dicegah terjadinya, namun dampak yang ditimbulkan dapat diminimalkan melalui upaya mitigasi yang tepat. Informasi sebaran hiposenter yang lebih akurat dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi bencana. Mitigasi bencana mencakup berbagai kegiatan untuk mengurangi risiko dan kerugian yang mungkin terjadi, seperti identifikasi sumber bahaya, pemetaan daerah rawan bencana, serta peningkatan kesiapsiagaan masyarakat. Dalam Islam, konsep mitigasi dan kesiapsiagaan dapat ditemukan pada QS. Al-Hadid ayat 22 :

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي أَنْفُسِكُمْ إِلَّا فِي كِتَابٍ مِنْ قَبْلِ أَنْ نَبْرَأَهَا إِنَّ ذَلِكَ عَلَى اللَّهِ يَسِيرٌ {٢٢}

Artinya : *"Tidak ada suatu bencana pun yang menimpa di bumi dan tidak (pula) pada dirimu sendiri melainkan telah tertulis dalam Kitab (Lauh Mahfuz) sebelum*

Kami mewujudkannya. Sesungguhnya yang demikian itu adalah mudah bagi Allah." (QS. Al-Hadid: 22)

Dalam Tafsir Kemenag RI dijelaskan bahwa seluruh peristiwa di alam semesta termasuk gempa bumi, merupakan bagian dari ketetapan Allah Swt. yang telah tertulis di *Lauh Mahfudz*. Setiap bencana terjadi dalam pengetahuan dan kekuasaan-Nya, sehingga manusia tidak dapat menghindari kejadiannya. Namun, pemahaman ini tidak meniadakan peran manusia untuk berikhtiar. Dalam konteks gempabumi, ikhtiar tersebut diwujudkan melalui upaya mitigasi, seperti pengkajian sumber gempa, pemetaan wilayah rawan, dan peningkatan kesiapsiagaan. Dengan demikian, kesadaran bahwa bencana merupakan ketetapan Allah mendorong manusia untuk bersikap bijaksana, tidak berlebihan dalam menyikapi peristiwa, sekaligus aktif melakukan langkah-langkah mitigasi guna mengurangi risiko dan dampak yang ditimbulkan (Helmy et al., 2019)

Dalam konteks kebencanaan, manusia memiliki keterbatasan dalam mengetahui secara pasti waktu terjadinya suatu bencana. Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi yang didasarkan pada pengetahuan dan kesiapsiagaan. Literatur Islam juga memberikan landasan normatif bagi upaya tersebut, dengan menekankan nilai-nilai kesiapsiagaan dan ketahanan yang perlu diterapkan dalam kehidupan. Hal ini sejalan dengan QS. Al-Hadid ayat 22 yang menegaskan bahwa segala sesuatu telah ditetapkan dalam *Lauhul Mahfuz*. Pemahaman ini mendorong manusia untuk tidak bersikap pasif, melainkan aktif melakukan langkah-langkah preventif dalam menghadapi kemungkinan terjadinya bencana (Iskandar & Yunanto, 2025).

BAB V

PENUTUP

5.1.Kesimpulan

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

1. Hasil relokasi hiposenter pada zona patahan Kepulauan Nusa Tenggara meliputi wilayah NTB dan NTT menunjukkan titik-titik hiposenter yang mengalami pergeseran baik secara vertikal maupun horizontal. Sebaran secara horizontal terlihat pada peta episenter di setiap wilayah yang awalnya tersebar tanpa pola yang jelas setelah direlokasi menjadi lebih tersebar dan lebih terkelompok di beberapa bagian wilayah, sehingga menunjukkan ada pola yang lebih jelas mengikuti arah patahan di wilayah tersebut. Sebaran secara vertikal dapat dilihat pada plot hiposenter yang menunjukkan pergeseran kedalaman secara lebih jelas, dimana setelah relokasi persebaran menjadi lebih terkelompok dari yang awalnya mengumpul pada kedalaman 10 km dan 35 km. Hal ini menunjukkan adanya pola penunjaman lempeng di wilayah tersebut.
2. Keakuratan hasil relokasi dapat dilihat melalui histogram nilai residual yang mendekati nol, dimana pada wilayah NTB nilai residual tertinggi yaitu 0,6 s, sedangkan pada wilayah NTT nilai residual tertinggi yaitu 0,7s.
3. Pola orientasi arah persebaran hiposenter dilihat menggunakan diagram rose dan diagram kompas. Berdasarkan diagram rose pada wilayah NTB diperoleh konsentrasi arah dominan yaitu pada arah utara, selatan, tenggara, dan barat laut, sedangkan pada wilayah NTT diperoleh konsentrasi arah dominan pada arah utara, selatan, timur laut, barat daya, barat laut, tenggara. Hal ini

menunjukkan bahwa pergeseran hiposenter mengarah ke arah terjadinya penunjaman lempeng. Jarak dan arah pergeseran dilihat pada diagram kompas, dimana pada wilayah NTB pergeseran menyebar ke segala arah dengan dominan jarak pada 10 km, sedangkan pada wilayah NTT pergeseran menyebar ke segala arah dengan dominan jarak pada 10-20 km. Berdasarkan hal tersebut titik hiposenter bergeser tidak terlalu jauh sehingga tidak menyimpang dari data awal.

5.2.Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu agar penelitian selanjutnya menggunakan data waktu yang lebih panjang dan jumlah kejadian yang lebih banyak serta penggunaan data pada stasiun seismik disekitar wilayah penelitian supaya didapatkan hasil relokasi yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, H., Nugraha, A. D., Muzli, M., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Wei, S., Sahara, D. P., Riyanto, A., Greenfield, T., Puspito, N. T., Priyono, A., Sasmi, A. T., Supendi, P., Ardianto, A., Syahbana, D. K., Rosalia, S., Cipta, A., & Husni, Y. M. (2021). Local earthquake tomography of the source region of the 2018 Lombok earthquake sequence, Indonesia. *Geophysical Journal International*, 226(3), 1814–1823. <https://doi.org/10.1093/gji/ggab189>
- Aritonang, M., Parera, A. F. T., & Nasution, N. (2021). Relokasi Hiposenter Gempabumi Di Segmen (Toru , Angkola , Barumun) Dengan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-DD). *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4, 24–29.
- Azkia, F. A. (2024). Gunung sebagai Simbol Alam Tanda Kedahsyatan Hari Kiamat dalam Al- Qur'an : Analisis Semiotika Roland Barthes. *Jurnal Semiotika-Q*, 4, 378-379.
- Baskoro, W. T., Kasmawan, I. G. A., Putra, I. K., & Ratini, N. N. (2024). Metode Double-Difference Untuk Merelokasi Hiposenter Gempabumi Susulan Di Seririt Singaraja. *Kappa Journal*, 8(1), 28–33.
- Basuki, Warsiyah, Triastianti, R. D., & Widyaningsih, T. S. (2025). Teknologi tepat guna pembuatan alat pendeteksi gempa bumi sederhana. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 25(2), 66–74.
- Bidang, A. W. (2020). Pengaruh Penambahan Stasiun-Stasiun Seismik (Stpi, Tsipi, Dan Iwpi) Terhadap Analisa Penentuan Parameter Gempa Bumi Studi Kasus Gempa Bumi Di Wilayah Papua Barat Tahun 2019 – 2020. *Biolearning Journal*, 7(2), 10–13.
- Billings, M. P. (1959). *Structural Geology*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs,.
- BMKG. (2017). *Gempabumi*. <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>
- Bulo, D., Djayus, Supriyanto, & Hendrawanto, B. (2020). Penentuan Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempabumi Berdasarkan Data Seismogram. *Jurnal Geosains*, 3, 1–8.
- Caine, J. S., Evans, J. P., & Forster, C. B. (1996). *Fault zone architecture and permeability structure*. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1996\)024<1025](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024<1025)
- Darman, H. (2012). *Seismic Expression of Tectonic Features in the Lesser Sunda Islands , Indonesia*. 25, 16–25.
- Darman, H., & Sidi, F. (2000). *An Outline of Geology of Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Demets, C., Gordon, R. G., & Argus, D. F. (2010). *Geologically current plate motions*. 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>
- Duha, T., Laia, M., Huda, A. K., & Jasuma, A. (2023). Klasifikasi Data Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Algoritma Naïve Bayes. *Jurnal*

Informatika, 2(1).

- Faiza, N. N., & Ariyanto, P. (2024). Kegempaan Tektonik Berdasarkan Nilai Variasi Spasio-Temporal Wilayah Bali Dan Nusa Tenggara Analysis Level Of Seismicity And Tectonic Earthquake Risk Based On The Value Of Spatio- Temporal Variation In Bali And Nusa Tenggara. *Jurnal BMKG*, 5(2), 18–25.
- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian Region Tectonics of the Indonesian Region. *U.S Geological Survey*, 1078.
- Helmy, Nurfaizi, & Ulumi. (2019). *Peran Kementerian Agama Dalam Mitigasi Bencana di Banten*. Jakarta: Kementrian Agama RI.
- Hermansyah, D., Sukrisna, B., & Minardi, S. (2020). Geomagnet Fault Identification In Taman Ayu Village Gerung Sub- District West Lombok District Using Geomagnetic Method. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 06(02), 145–155.
- Iskandar, & Yunanto, S. (2025). Relevansi Peran Pemuka Agama Islam dalam Mitigasi Bencana. *Jurnal ISO*, 1, 1–7.
- Jannah, I. N., Anggono, T., T. Y. M., Fisika, D., Sains, F., Diponegoro, U., Penelitian, P., & Lipi, F. (2016). Aplikasi Metode Double Difference Dalam Transisi Antara Busur Banda Dan Busur Sunda. *Youngster Physics Journal*, 5(3), 113–121.
- Kadir, A., Putra, K., & Sungkar, M. (2019). Pengaruh Parameter Dinamik Gempa Dalam Perencanaan Bangunan Pada Daerah Banda Aceh Dan Aceh Besar. *Journal Of The Civil Engineering Student*. 1(3), 1–7.
- Kearey, T. L. P., Klepeis, K. A., & Vine, F. J. (2009). *Global Tectonics*.
- Kemenag. (2010). *PENCIPTAAN BUMI*. Jakarta: Kementrian Agama RI.
- Kemenag. (2012). *Al-Qur'an dan Tafsirnya*. Jakarta: Kementrian Agama RI.
- Kennett, B. L. N., Engdah, E. R., & Buland, R. (1995). *Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes*. 108–124.
- Lira, N. (2017). Analisis Parameter Seismik Gempabumi Wilayah Lengan Timur Sulawesi Dengan Metode Empiris. *Skripsi*.
- Lu, K., Cao, Z., Hou, M., Jiang, Z., Shen, R., Wang, Q., Sun, G., & Liu, J. (2018). The Mechanism Of Earthquake. *International Journal Of Modern Physics B*, 32(21), 1–42. <https://doi.org/10.1142/S0217979218500807>
- Mccaffrey, R. (1988). Active Tectonics Of The Eastern Sunda And Banda Arcs. *Journal Of Geophysical Research*, 93(88).
- Nisa, H. Q., Retno, Y. U., & Sri, A. R. (2022). Menganalisis Bencana Alam Gempa Bumi Dalam Perspektif Al-Quran. *Jurnal Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam Dan Sains*, 4, 257–260. <https://ejournal.uin-suka.ac.id/saintek/kiiis/article/view/3225>

- Pavlis, G. L. (1986). *Appraising earthquake hypocenter location errors: A complete, practical approach for single-event locations.* : . Bulletin of the Seismological Society of America 76.
- Puslitbang, P. (2017). *Buku Peta Gempa 2017*. <https://sianiparl17.files.wordpress>
- Reynolds, J. (1998). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*.
- Risanti, H., Prastowo, T. (2021). Estimasi Parameter A -Value Dan B -Value Untuk Analisis Studi Seismisitas Dan Potensi Bahaya Bencana Gempa Tektonik Di Wilayah Maluku Utara. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 10(2015), 1–10.
- Scholz, B. C. H., & Oligney, R. (2002). *Book Reviews The color of oil: The history , the money and the.*
- Shearer, P. M. (1997). *Application to the Whittier aftershock sequence Narrows California*. 102(134), 8269–8283.
- Shohaya, J. N., Chasanah, U., Mutiarani, A., P, L. W., & Madlazim. (2013). Survey Dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 3(2), 18–27.
- Sibson, R. H. (1989). Earthquake faulting as a structural process. *Journal Of Structural Geology*, 11(1).
- Sili, P. D., & Fauzi, A. (2013). *Penentuan Seismisitas dan Tingkat Risiko Gempa Bumi*. Universitas Brawijaya Press. <https://books.google.co.id>
- Silver, A., Breen, N. A., & Hussong, M. (1986). Multibeam Study Of The Flores Back Arc Thrust Belt, Indonesia. *Journal Of Geophysical Research*, 91(4).
- Silver, E. A., & Joyodiwiryo, Y. (1983). Back Arc Thrusting In The Eastern Sunda Arc-Continent Collison. *Journal Of Geophysical Research*, 88, 7429–7448.
- Simanjuntak, A. V. H., Geeofisika, S., Ie, M., & Aceh, B. (2017). Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus : Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa). *Jurnal Fisika FLUX*, 14, 19–26.
- Siswowidjoyo. (1996). *Aktivitas Vulkanik Dengan Letusan Gunungapi*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Sunardi, B., Rohadi, S., Masturyono, Widiyantoro, S., Sulastri, Susilanto, P., Hardy, T., & Setyonegoro, W. (2012). Relokasi Gempabumi Wilayah Jawa Menggunakan Teknik Double Difference, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika (JMG)*, 179–188.
- Syifa, A., Husna, N. M., Abdillah, H., Susiawati, W., & Nisa, M. (2026). *Hiperbola Dan Narasi Bencana Alam: Studi Surah Al-Zalzalah*.
- Tantyoko, H., Sari, D. K., & Wijaya, A. R. (2023). Prediksi Potensial Gempa Bumi Indonesia Menggunakan Metode Random Forest Dan Feature

- Selection. *Indonesia Journal Information System*, 6, 83–89.
- Tiyow, S., Silangen, P. M., & Mandang, T. (2022). Identifikasi Mekanisme Kedalaman Gempa Vulkanik Gunungapi Soputan Menggunakan Data Seismik Vulkanik Dalam Periode April-Mei 2014. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 3(1), 49–54.
- Tumangkeng, C. S., Wenas, D. R., & Umboh, S. I. (2020). Model Kecepatan 1d Gelombang P Dan Relokasi Hiposenter Wilayah Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Menggunakan Metode Couple Velocity-Hypocenter. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 1–7.
- Wagner, D., Koulakov, I., Rabbel, W., Luehr, B., Wittwer, A., Kopp, H., Bohm, M., Asch, G., & Scientists, M. (2007). Joint inversion of active and passive seismic data in Central Java. *Geophysical Journal International*, 923–932. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03435.x>
- Waldhauser, F. (2001). HypoDD -- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Location. *U.S Geological Survey*, 1–25.
- Waldhauser, F., & Ellsworth, W. L. (2000). A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California. *U.S Geological Survey*, 1353–1368.
- Wibowo, S. N. E. (2008). Analisa Statistik Seismisitas Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Periode 1973-2007. *Skripsi*.
- Wulandari, S., Parera, A. F. T., & Lubis, L. H. (2021). Relokasi Gempabumi Di Sesar Renun A, B, Dan C Dengan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-DD). *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 4(02).
- Zuhriyandi, & Alfannaja, M. (2023). Penafsiran Ayat-Ayat Tentang Teknologi dan Inovasi Dalam Al- Qur'an: Implikasi Untuk Pengembangan Ilmu Pengetahuan di Era Modern. *Jurnal Cendekia Ilmiah*, 2(6), 616–626.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Hypodd.loc* NTB (Informasi kejadian gempa sebelum direlokasi)

ID	LAT	LON	DEP	X	Y	Z	EX	EY	EZ	YR	MO	DY	HR	MI	SC	MAG	CID
1	-7.9	117.57	10	42.3442	30.871	-6.8158	0	0	0	2014	2	27	18	44	3.6	4.3	1
2	-8.36	117.27	35	9.2689	-20.0029	18.1842	0	0	0	2014	3	31	12	24	11.19	4.1	1
3	-8.35	117.42	35	25.7948	-18.897	18.1842	0	0	0	2014	4	9	17	30	18.32	4.1	1
4	-8.16	119.11	34	212.0345	2.1162	17.1842	0	0	0	2014	5	30	0	51	42.53	4.2	1
5	-7.78	118.58	35	153.7015	44.1424	18.1842	0	0	0	2014	6	12	5	39	24.11	4.1	1
6	-8.34	116.16	10	-113.022	-17.7911	-6.8158	0	0	0	2014	8	21	10	22	9.63	4.4	1
7	-7.86	119.02	10	202.1906	35.2948	-6.8158	0	0	0	2014	8	27	23	29	47.5	4.2	1
8	-7.88	119.09	34	209.9021	33.0829	17.1842	0	0	0	2014	12	8	15	28	48.87	4	1
9	-8.26	118.65	10	161.3239	-8.9434	-6.8158	0	0	0	2014	12	12	17	50	28.2	4.4	1
10	-8.06	117.73	35	59.97	13.1757	18.1842	0	0	0	2015	1	20	5	21	30.03	4.8	1
11	-8.07	118.21	10	112.8694	12.0698	-6.8158	0	0	0	2015	4	6	23	17	42.52	4.2	1
12	-8.33	116.09	10	-120.736	-16.6851	-6.8158	0	0	0	2015	5	4	10	21	22.64	4.4	1
13	-8.01	117.65	35	51.1561	18.7055	18.1842	0	0	0	2015	5	21	13	33	13.82	4.1	1
14	-7.81	119.06	34	206.6128	40.8246	17.1842	0	0	0	2015	6	19	2	54	46.38	4.2	1
15	-8.38	116.1	10	-119.627	-22.2149	-6.8158	0	0	0	2015	6	28	11	37	40.7	4.3	1
16	-8.18	118.29	10	121.6698	-0.0958	-6.8158	0	0	0	2015	7	31	22	26	6.3	5	1
17	-8.2	117.73	35	59.9597	-2.3077	18.1842	0	0	0	2015	10	12	5	11	12.02	4	1
18	-7.97	117.49	35	33.5225	23.1293	18.1842	0	0	0	2015	11	8	22	54	5.96	4.7	1
19	-7.79	119.04	34	204.4132	43.0365	17.1842	0	0	0	2015	11	16	3	11	50.84	4.5	1
20	-8.28	119.21	10	223.0209	-11.1553	-6.8158	0	0	0	2015	11	17	19	7	40.82	4.4	1
21	-7.81	119.01	34	201.101	40.8246	17.1842	0	0	0	2016	2	29	12	5	37.72	4.1	1
22	-7.82	119.1	34	211.0201	39.7186	17.1842	0	0	0	2016	4	2	9	47	36.69	4.2	1
23	-7.81	119	34	42.3442	30.871	-6.8158	0	0	0	2016	4	2	13	10	11.54	4.1	1

Dst.

Lampiran 2 *Hypodd.reloc* NTB (Informasi kejadian gempa setelah direlokasi)

ID	LAT	LONG	DEP	X	Y	Z	EX	EY	EZ	YR	MO	DY	HR	MI	SC	MG	NCTP	NCTS	RCT	CID
1	-7.92899	117.5179	8.170	36.5947	27.6654	-8.6451	0.9807	1.0516	1.235	2014	2	27	18	44	4.480	4.3	279	11	0.25	1
2	-8.30385	117.2285	9.996	4.7016	-13.7934	-6.8186	1.1665	1.1769	1.267	2014	3	31	12	24	9.690	4.1	146	33	0.26	1
3	-8.35278	117.4127	14.440	24.9953	-19.2043	-2.3746	0.9631	1.1319	1.054	2014	4	9	17	30	17.420	4.1	208	21	0.23	1
4	-8.10235	119.1314	8.471	214.4043	8.4922	-8.3451	1.3321	1.1587	0.8162	2014	5	30	0	51	41.270	4.2	85	3	0.25	1
5	-7.81559	118.5961	17.806	155.4712	40.2061	0.9913	1.2315	0.9369	0.9482	2014	6	12	5	39	22.610	4.1	164	19	0.23	1
6	-8.31898	116.1799	7.608	-110.834	-15.4667	-9.2063	0.9623	0.9495	0.7972	2014	8	21	10	22	9.910	4.4	324	56	0.22	1
7	-7.8471	118.9938	8.276	199.3103	36.7211	-8.5392	2.1046	1.5518	1.7476	2014	8	27	23	29	48.440	4.2	73	1	0.18	1
8	-7.88354	118.9877	12.093	198.6253	32.6918	-4.7229	1.2415	0.9623	1.1749	2014	12	8	15	28	47.670	4	146	0	0.23	1
9	-8.19696	118.5656	9.768	152.0358	-1.9719	-7.047	1.3541	1.2713	0.797	2014	12	12	17	50	29.080	4.4	181	6	0.26	1
10	-8.04692	117.7049	39.776	57.1986	14.6221	22.9616	0.9832	1.0406	1.8145	2015	1	20	5	21	28.440	4.8	441	50	0.22	1
11	-8.08129	118.1244	5.785	103.4327	10.821	-11.0296	1.2191	1.3101	0.7972	2015	4	6	23	17	42.620	4.2	133	18	0.22	1
12	-8.26775	116.1058	10.432	-119.006	-9.8009	-6.3831	1.0358	1.2158	1.3986	2015	5	4	10	21	23.460	4.4	204	43	0.25	1
13	-8.00363	117.617	39.272	47.5173	19.4099	22.4573	1.0084	1.1152	2.2834	2015	5	21	13	33	13.030	4.1	318	25	0.23	1
15	-8.3198	116.0858	13.496	-121.2	-15.5566	-3.3186	0.98	0.9385	1.385	2015	6	28	11	37	41.390	4.3	211	28	0.23	1
16	-8.17477	118.214	5.182	113.2928	0.483	-11.6325	1.4276	1.3893	1.5638	2015	7	31	22	26	6.180	5	150	12	0.27	1
17	-8.18721	117.687	15.214	55.2202	-0.8936	-1.601	0.9448	1.0568	1.7743	2015	10	12	5	11	10.590	4	235	41	0.23	1
19	-7.81307	118.9713	35.558	196.835	40.4852	18.742	1.2751	0.8902	1.6265	2015	11	16	3	11	50.130	4.5	227	10	0.23	1
20	-8.28944	119.1682	6.376	218.4091	-12.1993	-10.439	1.3544	1.1852	1.0063	2015	11	17	19	7	41.360	4.4	160	4	0.24	1
21	-7.8275	118.9712	20.692	196.816	38.8895	3.8765	1.2304	0.9277	1.9462	2016	2	29	12	5	37.280	4.1	227	11	0.23	1
22	-7.80123	119.0342	22.970	203.7741	41.7944	6.154	1.4369	0.942	1.5364	2016	4	2	9	47	35.710	4.2	121	2	0.22	1
23	-7.83723	118.9804	35.385	197.8314	37.8131	18.5694	1.2907	0.9419	1.8313	2016	4	2	13	10	11.100	4.1	158	11	0.24	1

Dst.

Lampiran 3 *Hypodd.res* NTB

STA	DT	C1	C2	IDX	QUAL	RES
SRBI	-10.900.002	1	250	3	10.000	-0.051155067
IGBI	-0.9900017	1	250	3	10.000	-0.084001602
JAGI	-10.800.018	1	250	3	10.000	-0.064822151
JAGI	-0.8100014	1	250	3	10.000	0.205178299
KAPI	27.500.000	1	250	3	10.000	0.227384033
KAPI	39.799.957	1	250	4	10.000	-0.166544922
MMRI	33.899.994	1	250	3	10.000	-0.004138207
MMRI	37.099.991	1	250	3	10.000	0.315861481
TTSI	19.099.960	1	250	3	10.000	-0.211120255
DNP	0.1800003	1	302	3	10.000	0.092175789
IGBI	-0.1100006	1	302	3	10.000	-0.242665543
JAGI	0.1100006	1	302	3	10.000	0.129202698
JAGI	-0.1599998	1	302	3	10.000	-0.140797775
KAPI	32.099.991	1	302	3	10.000	0.17089856
BKSI	29.699.974	1	302	3	10.000	-0.309086731
BASI	37.099.991	1	302	3	0.5	-0.176126709
EDFI	45.499.954	1	302	3	10.000	0.389304382
GMJI	0.3400002	1	302	3	10.000	0.396691162
BNSI	32.399.979	1	302	3	10.000	0.231363068
SPSI	29.499.969	1	302	3	10.000	0.168956787
MMRI	44.300.003	1	302	3	10.000	0.264090332
TTSI	26.100.006	1	302	3	10.000	-0.023340973
KPJI	0.4400024	1	302	3	10.000	0.338146301

Dst.

Lampiran 4 *Hypodd.loc* NTT (Informasi kejadian gempa sebelum direlokasi)

ID	LAT	LON	DEP	X	Y	Z	EX	EY	EZ	YR	MO	DY	HR	MI	SC	MAG	CID
2	-8.32	124.91	24	220.3714	-36.6011	4.0414	0	0	0	2014	1	24	13	37	46.15	4.2	1
3	-8.43	122.19	31	-80.4678	-48.7665	11.0414	0	0	0	2014	1	26	13	50	8.39	4.2	1
4	-8.6	122.16	31	-83.7554	-67.5676	11.0414	0	0	0	2014	1	26	14	3	48.14	4.4	1
5	-8.23	124.58	33	182.9235	-26.6476	13.1414	0	0	0	2014	2	10	18	6	20.24	5.5	1
6	-8.14	124.90	27	218.216	-16.6941	7.0414	0	0	0	2014	2	10	19	8	8.18	4.2	1
7	-8.27	125.37	10	269.9793	-31.0714	-9.9586	0	0	0	2014	2	24	20	8	32.82	4.4	1
8	-7.55	126.12	35	354.0436	48.5566	15.0414	0	0	0	2014	3	31	10	56	15.51	4.3	1
9	-7.63	122.55	35	-40.8401	39.7091	15.0414	0	0	0	2014	4	2	3	1	26.93	4.5	1
10	-7.11	124.84	10	212.9632	97.2182	-9.9586	0	0	0	2014	5	6	12	58	47.6	4.3	1
11	-7.61	122.23	35	-75.0334	41.921	15.0414	0	0	0	2014	7	17	8	56	52.03	4	1
12	-8.41	125.26	10	257.8117	-46.5546	-9.9586	0	0	0	2014	8	21	20	23	57.64	4.3	1
13	-8.13	122.25	11	-73.8841	-15.5882	-8.3586	0	0	0	2014	9	14	9	54	58.64	4.2	1
14	-8.17	122.57	10	-38.6095	-20.0119	-9.9586	0	0	0	2014	10	2	18	33	4.84	4.4	1
15	-8.11	120.79	10	-234.822	-13.3762	-9.9586	0	0	0	2014	11	15	21	22	16.6	4.4	1
16	-8.46	123.01	10	10.9861	-52.0843	-9.9586	0	0	0	2014	11	28	3	0	9.65	4.4	1
17	-8.53	122.94	35	3.2731	-59.8259	15.0414	0	0	0	2014	11	28	3	0	45.77	4.1	1
18	-8.47	122.05	31	-94.7878	-53.1903	11.0414	0	0	0	2014	11	30	18	22	19	4	1
19	-7.40	126.05	35	346.3831	65.1458	15.0414	0	0	0	2015	3	5	14	32	21.75	4.5	1
20	-8.07	125.82	35	319.651	-8.9524	15.0414	0	0	0	2015	3	6	8	58	40.76	4.4	1
21	-8.24	119.83	53	-339.487	-27.7535	33.6414	0	0	0	2015	3	18	22	33	13.84	4.3	1
22	-8.37	124.98	24	228.0714	-42.1308	4.0414	0	0	0	2015	4	26	13	14	24.83	4.5	1
23	-7.41	122.12	10	-87.1865	64.0399	-9.9586	0	0	0	2015	5	19	14	19	46.16	4	1

Dst.

Lampiran 5 *Hypodd.reloc* NTT (Informasi kejadian gempa setelah direlokasi)

ID	LAT	LONG	DEP	X	Y	Z	EX	EY	EZ	YR	MO	DY	HR	MI	SC	MG	NCTP	NCTS	RCT	CID
2	-8.27348	124.9053	51.920	218.7654	-31.4558	31.9612	2.8896	1.6849	5.7403	2014	1	24	13	37	46.500	4.2	122	0	0.263	1
3	-8.27934	122.1876	17.763	-80.7431	-32.1041	-2.1959	1.3883	1.366	1.6625	2014	1	26	13	50	7.570	4.2	94	7	0.328	1
5	-8.19153	124.559	20.049	180.6179	-22.3931	0.0904	1.5579	1.1714	2.3736	2014	2	10	18	6	19.440	5.5	236	4	0.281	1
6	-8.08217	124.8351	39.238	211.0757	-10.2983	19.2794	2.2296	1.7429	2.3953	2014	2	10	19	8	7.520	4.2	110	0	0.327	1
7	-8.23317	125.2891	5.074	261.0792	-26.9982	-14.884	2.4572	1.8366	1.4351	2014	2	24	20	8	33.620	4.4	137	0	0.247	1
8	-7.56959	126.0342	36.699	343.4701	46.39	16.7418	2.01	1.7493	2.6651	2014	3	31	10	56	14.300	4.3	151	3	0.262	1
9	-7.62229	122.468	28.392	-49.8816	40.562	8.4344	1.7758	1.325	4.288	2014	4	2	3	1	25.590	4.5	271	68	0.266	1
10	-7.20809	124.9214	10.200	220.8138	86.3698	-9.7572	1.5679	1.2064	2.3965	2014	5	6	12	58	47.820	4.3	175	8	0.248	1
11	-7.61955	122.2231	41.614	-76.9	40.8649	21.6564	1.5175	1.2367	1.7085	2014	7	17	8	56	50.510	4	293	28	0.275	1
13	-8.12646	122.2071	14.865	-78.6149	-15.1964	-5.0939	1.5363	1.3687	1.3631	2014	9	14	9	54	58.770	4.2	385	28	0.297	1
14	-8.15421	122.4676	14.773	-49.8926	-18.2655	-5.1844	1.8684	1.1697	2.3765	2014	10	2	18	33	6.540	4.4	199	29	0.259	1
15	-8.07924	120.7729	6.428	-236.712	-9.9747	-13.5291	1.0481	1.1925	0.9357	2014	11	15	21	22	16.680	4.4	389	29	0.282	1
16	-8.38565	122.9714	5.080	5.6362	-43.862	-14.8778	1.6294	1.7986	1.1656	2014	11	28	3	0	9.100	4.4	172	11	0.298	1
18	-8.38813	122.0492	11.658	-95.9891	-44.1358	-8.3011	1.8438	1.9475	2.0959	2014	11	30	18	22	17.400	4	83	19	0.249	1
19	-7.44517	125.9864	21.417	338.2412	60.1506	1.4591	1.4783	1.2833	1.8495	2015	3	5	14	32	20.120	4.5	93	0	0.228	1
20	-8.05465	125.7563	17.856	312.6383	-7.2552	-2.1013	1.799	1.3301	3.1802	2015	3	6	8	58	40.300	4.4	161	11	0.298	1
21	-8.23813	119.8764	33.291	-335.477	-27.5468	13.3329	1.1364	1.3642	4.3805	2015	3	18	22	33	11.720	4.3	139	5	0.251	1
22	-8.29864	124.9739	48.869	226.3172	-34.2386	28.9101	3.1863	2.4071	5.8274	2015	4	26	13	14	25.010	4.5	99	0	0.276	1
23	-7.42411	122.1283	9.970	-87.3684	62.4793	-9.9872	1.1699	1.0176	0.8838	2015	5	19	14	19	46.150	4	217	31	0.277	1
24	-8.17088	125.3029	35.465	262.6127	-20.1095	15.5059	1.33	1.2319	1.3273	2015	6	27	10	8	21.760	4.2	200	5	0.243	1
25	-8.11732	123.0168	16.153	10.6398	-14.1852	-3.8058	1.6945	1.3787	2.853	2015	8	17	23	39	32.000	5	270	20	0.279	1
26	-8.48823	122.0609	7.675	-94.6897	-55.2067	-12.2823	1.8064	1.8396	1.4373	2015	9	30	6	44	58.390	4.2	191	2	0.278	1

Dst.

Lampiran 6 *Hypodd.res* NTT

STA	DT	C1	C2	IDX	QUAL	RES
KDI	-0.7200012	2	31	3	10.000	-0.551672424
FITZ	0.5800018	2	31	3	10.000	-0.031801205
SANI	0.8000031	2	80	3	10.000	0.109251717
PLAI	-0.6999969	2	80	3	10.000	0.574171265
TTSI	-12.000.046	2	80	3	10.000	-0.572271912
FITZ	-11.999.969	2	80	3	10.000	-0.034638649
SOEI	0.5799999	2	68	3	10.000	0.056057392
SOEI	-0.0499992	2	68	3	10.000	-0.573941833
WSI	-0.1199951	2	68	3	0.5	-0.14048967
PLAI	-0.3199997	2	68	3	10.000	-0.053512909
FITZ	0.0299988	2	68	3	10.000	0.068813354
SOEI	0.2299995	2	67	3	10.000	-0.232432281
SANI	0.3300018	2	67	3	10.000	0.111370277
PLAI	-14.700.012	2	67	3	0.5	-0.005303842
FITZ	-0.0899963	2	67	3	10.000	0.039165897
SOEI	-0.4599991	2	32	3	10.000	-0.315317505
SOEI	0.1700001	2	32	3	10.000	0.314681641
FITZ	-19.599.915	2	32	3	10.000	0.018127522
SOEI	0.2799988	2	22	3	10.000	0.133808151
SOEI	-0.3500004	2	22	3	10.000	-0.49619101
FITZ	0.480011	2	22	3	10.000	-0.062812729
SOEI	0.6200008	2	57	3	10.000	-0.512881592
SOEI	12.500.000	2	57	3	10.000	0.117117622

Dst.

Lampiran 7 Inputan *Ph2dt* dan *Hypodd**(Ph2dt.inp)*

```
* ph2dt.inp - input control file for program ph2dt
* Input station file:
station.dat
* Input phase file:
phase.dat
*MINWIGHT: min. pick weight allowed [0]
*MAXDIST: max. distance in km between event pair and stations [200]
*MAXSEP: max. hypocentral separation in km [10]
*MAXNGH: max. number of neighbors in km [10]
*MINLINK: min. number of links required to define a neighbor [8]
*MINOBS: min. number of links per pair saved [8]
*MAXOBS: max. number of links per pair saved [20]
*MINWIGHT MAXDIST MAXSEP MAXNGH MINLINK MINOBS MAXOBS
0      1500      300      30      4      4      50
```

(Hypodd.inp)

```
*RELOC.INP:
*--- input file selection
* cross correlation diff times:
dt.cc
*catalog P diff times:
dt.ct
*event file:
event.dat
*station file:
station.dat
*--- output file selection
*original locations:
hypoDD.loc
*relocations:
hypoDD.reloc
*station information:
hypoDD.sta
*residual information:
hypoDD.res
*source parameter information:
hypoDD.src
*--- data type selection:
* IDAT: 0 = synthetics; 1= cross corr; 2= catalog; 3= cross & cat
* IPHA: 1= P; 2= S; 3= P&S
* DIST: max dist [km] between cluster centroid and station
* IDAT IPHA DIST
      2   3   1250
*--- event clustering:
* OBSCC: min # of obs/pair for crosstime data (0= no clustering)
* OBSCT: min # of obs/pair for network data (0= no clustering)
* OBSCC OBSCT
      1   4
*--- solution control:
* ISTART: 1 = from single source; 2 = from network sources
* ISOLV: 1 = SVD, 2=lsqr
* NSET: number of sets of iteration with specifications following
* ISTART ISOLV NSET
      2       2   4
```

Lampiran 8 Outputan *Ph2dt* dan *Hypodd*

(Wilayah NTB)

```
$ ./ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v1.3 - 08/2010)...

reading data ...
> stations = 2566
> events total = 312
> events selected = 312
> phases = 38200
forming dtimes...
> P-phase pairs total = 280904
> S-phase pairs total = 17413
> outliers = 6782 ( 2 %)
> phases at stations not in station list = 0
> phases at distances larger than MAXDIST = 191509
> P-phase pairs selected = 85299 ( 30 %)
> S-phase pairs selected = 11044 ( 63 %)
> weakly linked events = 3 ( 0 %)
> linked event pairs = 5846
> average links per pair = 16
> average offset (km) betw. linked events = 20.7753983
> average offset (km) betw. strongly linked events = 20.7753983
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 130.579605

Done.

Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minwght,maxdist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
0.00000000 800.000000 300.000000 30 4 4 50
```

```
$ ./hypoDD hypoDD.inp
starting hypoDD (v1.3 - 11/2010)... Tue May 12 14:12:53 2026
INPUT FILES:
cross dtme data: dt.cc
catalog dtme data: dt.ct
events: event.dat
stations: station.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sta
source parameters: hypoDD.src
Relocate all clusters
Relocate all events
Reading data ... Tue May 12 14:12:53 2026
# events = 312
# stations < maxdist = 237
# catalog P dtimes = 100801
# catalog S dtimes = 11727
# dtimes total = 112528
# events after dtme match = 311
# stations = 158
clustering ...
Clustered events: 311
Isolated events: 0
# clusters: 1
Cluster 1: 311 events

RELOCATION OF CLUSTER: 1 Tue May 12 14:12:54 2026
-----
Initial trial sources = 311

IT EV CT RMSCT RMSST DX DY DZ DT OS AQ CND
1 98 88 704 -21.5 0 1255 1835 3650 262 0 3 67
2 1 97 84 664 -5.7 2301 1120 1621 2921 229 1417 0 66
3 2 97 78 521 -21.5 1836 527 702 897 116 1414 0 61
4 3 97 73 427 -18.1 1466 310 392 627 67 1831 0 57
5 4 97 70 372 -13.0 1224 219 283 426 46 1679 0 55
6 5 96 67 334 -10.2 1098 195 248 345 38 1686 0 61
7 6 96 64 305 -8.8 901 165 206 277 30 1678 0 61
8 7 96 61 283 -7.1 826 145 177 247 25 1673 0 59
9 8 95 59 264 -6.9 798 130 157 227 21 1663 0 56
10 9 95 56 244 -7.4 804 136 156 234 22 1645 0 67
11 10 95 54 229 -6.3 791 119 136 223 18 1609 0 65
12 11 95 52 213 -6.9 693 100 117 198 16 1595 0 62
13 12 95 50 200 -6.3 622 86 103 181 13 1599 0 62
14 13 95 48 186 -6.7 646 84 100 207 13 1626 0 66
15 14 94 46 179 -3.9 522 76 87 148 12 1589 0 65
16 15 94 44 166 -7.2 522 66 76 128 10 1585 0 60
17 16 94 42 155 -6.8 482 57 65 106 9 1579 0 60
```

(Wilayah NTT)

```
$ ./ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v1.3 - 08/2010)...

reading data ...
> stations = 2566
> events total = 288
> events selected = 288
> phases = 40531
forming dtimes...
> P-phase pairs total = 277229
> S-phase pairs total = 21955
> outliers = 5077 ( 1 %)
> phases at stations not in station list = 0
> phases at distances larger than MAXDIST = 150239
> P-phase pairs selected = 115359 ( 41 %)
> S-phase pairs selected = 14711 ( 67 %)
> weakly linked events = 8 ( 2 %)
> linked event pairs = 5547
> average links per pair = 23
> average offset (km) betw. linked events = 41.2872543
> average offset (km) betw. strongly linked events = 41.2872543
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 263.245728

Done.

Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minwght,maxdist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
0.00000000 1500.000000 300.000000 30 4 4 50
```

```
$ ./hypoDD hypoDD.inp
starting hypoDD (v1.3 - 11/2010)... Thu Apr 23 20:37:57 2026
INPUT FILES:
cross dtme data: dt.cc
catalog dtme data: dt.ct
events: event.dat
stations: station.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sta
source parameters: hypoDD.src
Relocate all clusters
Relocate all events
Reading data ... Thu Apr 23 20:37:57 2026
# events = 288
# stations < maxdist = 205
# catalog P dtimes = 115371
# catalog S dtimes = 14711
# dtimes total = 130082
# events after dtme match = 285
# stations = 141
clustering ...
Clustered events: 285
Isolated events: 0
# clusters: 1
Cluster 1: 285 events

RELOCATION OF CLUSTER: 1 Thu Apr 23 20:37:58 2026
-----
Initial trial sources = 285

IT EV CT RMSCT RMSST DX DY DZ DT OS AQ CND
1 99 85 848 -23.1 0 3062 2300 6294 321 0 5 74
2 1 97 81 801 -5.6 2836 2640 1970 4714 277 1431 0 71
3 2 97 76 610 -23.8 1867 1367 895 1768 135 1420 0 69
4 3 96 70 495 -18.9 1681 786 516 971 73 1704 0 62
5 4 96 65 419 -15.3 1377 536 357 530 46 1884 0 59
6 5 95 61 373 -10.9 1141 428 284 502 39 1914 0 66
7 6 95 59 337 -8.7 1052 225 225 423 30 1902 0 64
8 7 95 56 309 -8.4 947 260 187 360 25 1942 0 61
9 8 95 54 286 -7.4 921 217 163 397 21 1961 0 61
10 9 95 52 266 -6.9 768 195 151 335 22 1975 0 70
11 10 95 50 248 -6.4 796 168 127 254 18 1975 0 70
12 9 95 49 232 -6.4 796 145 104 2285 16 1975 1 65
13 11 94 47 224 -3.7 751 141 102 209 15 1980 0 65
14 12 94 46 213 -6.0 680 119 86 176 13 1970 0 62
15 13 94 45 203 -4.5 594 107 81 183 13 1905 0 68
16 14 94 43 192 -5.2 599 90 72 151 12 1893 0 68
17 15 94 42 183 -4.8 602 81 63 142 10 1844 0 65
18 16 93 41 175 -4.7 538 65 57 143 9 1900 0 63
```



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TEKSI/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110002
Nama : KHURUM MAQSHUROH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : IRJAN, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Dr. ERNA HASTUTI, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Relokasi H-posenter Gempabumi Pada Zona Patahan Kepulauan Nusa Tenggara Menggunakan Metode Double Difference

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	15 Desember 2025	IRJAN, M.Si	Bimbingan Proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	19 Januari 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan Proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	22 Januari 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan Proposal dan tanda tangan seminar proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	27 Februari 2026	IRJAN, M.Si	Revisi Proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	13 Maret 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	07 April 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	08 April 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	30 April 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	04 Mei 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	12 Mei 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	20 Mei 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
12	15 Juni 2026	IRJAN, M.Si	Bimbingan bab 4 dan tanda-tangan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
13	18 Juni 2026	Dr. ERNA HASTUTI, M.Si	Bimbingan Integrasi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
14	22 Juni 2026	Dr. ERNA HASTUTI, M.Si	Bimbingan dan tanda tangan untuk seminar hasil	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui

Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. ERNA HASTUTI, M.Si



Kapri / Kapri

FABID SAMSU HANANTO, S.Si., M.T.

Malang, 23 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1

IRJAN, M.Si