

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI BANTEN 14
JANUARI 2022 MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

(Skripsi)

Oleh

Regita Pramesti

1915051004



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

**RELOKASI HIPOCENTER GEMPABUMI BANTEN 14
JANUARI 2022 MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE
DIFFERENCE***

Oleh

REGITA PRAMESTI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI BANTEN 14 JANUARI 2022 MENGUNAKAN METODE *DOUBLE DIFFERENCE*

Oleh

Regita Pramesti

Indonesia yang terletak di tiga lempeng besar dunia menempatkannya di wilayah rawan gempa dan banyak letusan gunung berapi. Dilihat dari lokasi pusat gempabumi, kedalaman, dan data mekanisme sumber, gempabumi Banten 14 Januari 2022 disebabkan karena adanya aktivitas zona penujaman lempeng yang memiliki mekanisme sesar naik (*thrust fault*) dan memiliki arah relatif barat laut – timur tenggara. Penulis merelokasi lokasi pusat gempa menggunakan metode *double difference*. Prinsip dari metode ini yaitu apabila jarak 2 event gempa yang berdekatan lebih dekat daripada jarak gempa dengan stasiun, dapat diasumsikan bahwa sinar dan bentuk gelombang dari kedua kejadian seismik tersebut hampir identik. Pada penelitian ini merelokasi data *mainshock* dan *aftershock* gempabumi Banten 14 Januari 2022 dari data BMKG – Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan posisi titik gempa atau sumber gempabumi yang terjadi untuk mendapatkan lokasi asal gempa yang dapat dijadikan acuan dalam studi seismik selanjutnya. Jumlah gempa yang berhasil dipindahkan sebanyak 36 dari 46 kejadian. Gempabumi yang tidak terelokasi disebabkan karena tidak memenuhi syarat dalam program *ph2dt* dan ada beberapa gempabumi yang mengalami *airquake* (bergesernya posisi hiposenter gempabumi ke atas permukaan). Hasil relokasi menggunakan program *hypoDD* menunjukkan peningkatan posisi lebih baik, terbukti dengan jumlah waktu tempuh yang tersisa setelah relokasi mendekati nol (0).

Kata Kunci : Gempabumi, Relokasi hiposenter, *Double Difference*.

ABSTRACT

RELOCATION OF THE HYPOCENTER OF THE BANTEN EARTHQUAKE ON JANUARY 14, 2022 USING THE DOUBLE DIFFERENCE METHOD

By

Regita Pramesti

Indonesia, which is located on three major plates of the world, is prone to earthquakes and many volcanic eruptions. Judging from the location of the earthquake center, depth, and source mechanism data, the Banten earthquake of January 14, 2022 was caused by the activity of a plate subduction zone that has a thrust fault mechanism and has a relative northwest - southeast direction. The author relocated the epicenter location using the double difference method. The principle of this method is that if the distance between two adjacent earthquake events is closer than the distance between the earthquake and the station, it can be assumed that the rays and waveforms of the two seismic events are almost identical. In this study, the mainshock and aftershock data of the Banten earthquake of January 14, 2022 were relocated from the BMKG - North Lampung Class III Geophysical Station data, which aims to determine the level of accuracy of the position of the earthquake point or the source of the earthquake that occurred to obtain the location of the earthquake origin that can be used as a reference in further seismic studies. The number of earthquakes that were successfully relocated was 36 out of 46 events. The earthquakes that were not relocated were because they did not meet the requirements of the ph2dt program and there were several earthquakes that experienced airquakes (shifts in the position of the earthquake hypocenter to the surface). The results of relocation using the hypoDD program show a better improvement in position, as evidenced by the amount of travel time remaining after relocation being close to zero (0).

Keywords : Earthquake, Hypocenter Relocation, and Double Difference.

Judul Skripsi

: **RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI BANTEN
14 JANUARI 2022 MENGGUNAKAN METODE
DOUBLE DIFFERENCE**

Nama Mahasiswa

: **Regita Pramesti**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1915051004**

Program Studi

: **Teknik Geofisika**

Fakultas

: **Teknik**



1. **Komisi Pembimbing**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rustadi, S.Si., M.T.

NIP 19720511 199710 1 002

I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng.

NIP 19880505 201903 1 019

2. **Ketua Jurusan Teknik Geofisika**

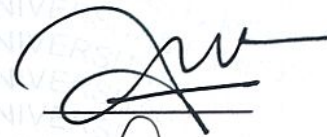
Karyanto, S.Si., M.T.

NIP 19691230 199802 1 001

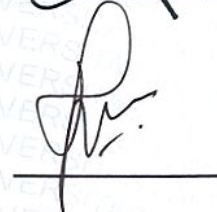
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Rustadi, S.Si., M.T.**



Sekretaris : **I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng.**



Anggota : **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Agustus 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagai maupun keseluruhan dengan judul “Relokasi Hiposenter Gempabumi Banten 14 Januari 2022 Menggunakan Metode *Double Difference*” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang telah berlaku.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2023



Regita Pramesti
NPM. 1915051004

RIWAYAT HIDUP



Regita Pramesti lahir di Natar pada tanggal 6 Januari 2002, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Supriyadi dan Ibu Kuspriyanti. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari Taman kanak-kanak (TK) Tunas Melati II pada tahun 2007 hingga 2008 Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Dasar (SD) hingga tahun 2014 di SD IT Harapan Bangsa Natar. Lalu, menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP)

hingga tahun 2016 di SMP Negeri 2 Bandar Lampung dan dilanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 7 Bandar Lampung hingga tahun 2019. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Universitas Lampung Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur SNMPTN 2019.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika Unila, penulis aktif mengikuti beberapa organisasi intra dan ekstra kampus. Untuk organisasi intra kampus diantaranya pada tahun 2020 sebagai Sekretaris Humas Fossi-FT Unila dan sebagai Wakil Ketua Umum (2021), Koordinator Divisi Kestari Pansus FT Unila (2020), Ketua Komisi I DPM FT Unila (2022), dan Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana sebagai Anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat (2021) dan sebagai Ketua Divisi Kerohanian (2022). Pada organisasi ekstra kampus diantaranya Muslimah Khansa *Community* sebagai *co-founder*, Forum Ukhuwah Lembaga Dakwah Kampus Teknik (FULDKT) sebagai Bendahara Umum (2021), Komunitas Mari Berfaedah sebagai Bendahara Umum (2023), dan Relawan di Madrasah Relawan Dewan Dakwah Lampung. Penulis juga menerima pendanaan PMW (Program Mahasiswa Wirausaha) pada tahun 2021, Juara 1 Lomba Podcast tingkat universitas, dan Juara 3 *Paper Competition* GWES 2022.

Pada Juli 2022 penulis melakukan Kerja Praktik di BMKG Lampung Utara serta penulis memulai Penelitian Tugas Akhir pada Bulan Februari 2023 di BMKG Lampung Utara. Penulis berhasil lulus dengan gelar Sarjana Teknik pada tanggal 7 Agustus 2023.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkat rahmat, karunia serta hidayahnya sehingga terselesaikan skripsi ini dengan lancar.

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayah dan Ibu tercinta,

SUPRIYADI dan KUSPRIYANTI

Terima kasih karena selalu ada dan menjadi rumah pertama penulis untuk menghadapi permasalahan yang ada. Selalu memberikan doa', kasih sayang, dan dukungan tiada hentinya. Allah memberikan kedua orang tua yang sayang dan selalu mendukung sehingga menghantarkan penulis sampai di titik ini. Penulis berharap setiap proses yang penulis lalui selalu ada kehadiran kedua orang tua penulis, sehingga penulis bisa membahagiakan mereka.

Adik-ku tersayang,

IFTAHLANA EL SHIRAZY

Terima kasih karena sudah membuat hari-hari penulis jadi berwarna dengan lawakan garingnya dan berantem kecilnya. Terima kasih juga karena selalu ikut bahagia setiap penulis berhasil melewati masa-masa sulit (seminar KP sampai kompre). Penulis berharap, apa yang sudah penulis lakukan selama ini bisa dijadikan contoh yang baik untukmu di masa depan nanti.

MOTTO

“Dan sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya”

- **HR. Ahmad Ath Thabrani**

“Tidak perlu menjelaskan tentang dirimu kepada siapapun, karena yang menyukaimu tidak butuh itu dan yang membencimu tidak akan percaya itu”

- **Ali Bin Abi Thalib**

“Dan berjihadlah kamu pada jalan Allah dengan jihad yang sebenar-benarnya. Dia telah memilih kamu dan Dia sekali-kali tidak menjadikan untuk kamu dalam agama suatu kesempitan”

- **Q.S. Al-Hajj [22] : 78**

“Tetaplah rendah hati dan terus belajar”

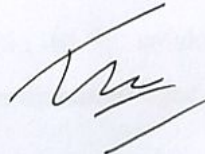
- **Anonymous**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis haturkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi dengan judul **“RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI BANTEN 14 JANUARI 2022 MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE DIFFERENCE*”** dengan sebaik-baiknya. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang sudah terlibat selama penulisan skripsi ini. Akhirnya penulis menyadari bahwa banyak terdapat kekurangan-kekurangan dalam penulisan laporan akhir ini, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, kapanpun, dan di mana pun untuk kebaikan ilmu pengetahuan bersama.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2023

Penulis,



Regita Pramesti
NPM. 1915051004

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Kerja Praktik yang berjudul **“ANALISIS PELURUHAN GEMPABUMI BANTEN 14 JANUARI 2022 MENGGUNAKAN METODE OMORI, MOGI-UTSU I, DAN MOGI-UTSU II”** dengan sebaik-baiknya. Sholawat beriring salam selalu tercurahkan kepada Nabiullah Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam yang telah membawa kita dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang

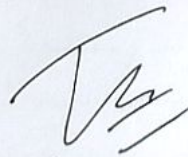
Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
2. Bapak Rustadi, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing I tugas akhir penulis yang sudah sabar membimbing penulis sampai dengan selesai.
3. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng. selaku dosen pembimbing II penulis yang dengan sabar memberikan masukan-masukannya pada perjalanan skripsi penulis.
4. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji tugas akhir penulis yang banyak memberikan masukan agar skripsi penulis menjadi tugas akhir terbaik bagi penulis.
5. Seluruh dosen dan staff di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung
6. Mas Bigar Kristantyo S.Tr. selaku pembimbing dari Stasiun Kelas III BMKG Kota Bumi, Lampung Utara atas waktu, bimbingan, dan semangat selama melakukan kerja praktik di BMKG Lampung Utara.
7. Bapak Anton Sugiharto, S.Kom selaku kepala Stasiun Geofisika Kelas III BMKG Kota Bumi, Lampung Utara.

8. Mba Quart Ferrina, S.Tr. selaku pembimbing tugas akhir penulis dari BMKG Lampung Utara yang sudah pelan-pelan mengajarkan penulis berkaitan dengan tugas akhir penulis.
9. Kedua orang tua yang penulis sayangi, Bapak Supriyadi dan Ibu Kuspriyanti atas doa', dukungan, dan semangat yang selalu diberikan disetiap waktu.
10. Adik yang penulis sayangi walaupun terkadang ngeselin, Iftahlana El Shirazy atas semangat dan hiburannya setiap hari.
11. Seseorang yang penulis sayangi, mas awan yang selalu memberikan support terbaiknya disaat penulis merasa terbebani dengan semua keadaan dan selalu ada disaat sedih maupun bahagiannya penulis.
12. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung penulis, TirenQ, MimingQ, DitakQ, AyuuuQ, BefriQ, UplahQ, MitakQ, Niken, Aule, Jay, Upik, Mba Isti atas semua motivasi, dorongan untuk mengerjakan laporan dan semangat untuk lulus.
13. Teman-teman Teknik Geofisika 2019 yang selalu memberikan warna-warni kehidupan di kampus dan selalu menjadi support dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman Fossi-FT Unila periode 2021 yang walaupun sudah selesai kepengurusan tetap selalu menjaga silaturahmi dan cerita yang tak pernah selesai.
15. Keluarga besar Bp. Paimo dan Bp. Suhadi Kasno yang memberikan dukungan kepada penulis baik moril maupun materil.
16. Dan semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2023

Penulis,



Regita Pramesti
NPM. 1915051004

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACK	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lokasi Daerah Penelitian	4
2.2. Geologi Regional	4
2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	5
III. TEORI DASAR	9
3.1. Pengertian Gempabumi.....	9

3.2. Sumber Gempabumi	9
3.3. Klasifikasi Gempabumi	11
3.4. Ukuran Kekuatan Gempa.....	13
3.5. Teori <i>Elastic Rebound</i>	16
3.6. Pergerakan Lempeng Tektonik	17
3.7. Parameter Gempabumi.....	19
3.8. Gelombang Seismik	22
3.8.1. Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>).....	22
3.8.2. Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>)	23
3.9. Metode <i>Double Difference</i>	24
3.10. Mekanisme Sumber Gempabumi.....	28
3.10.1. Sesar Bumi (<i>Earth Fault</i>) dan Orientasinya	28
IV. METODE PENELITIAN	32
4.1. Waktu dan Tempat Kegiatan.....	32
4.2. Alat dan Bahan.....	33
4.3. Prosedur Penelitian	33
4.3.1. Studi Literatur	33
4.3.2. Pengolahan Data	34
4.4. Diagram Alir	42
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
5.1. Hasil	43
5.1.1. Sebelum Relokasi.....	43
5.1.2. Sesudah Relokasi	44
5.1.3. Grafik Perbandingan Nilai Residual	45
5.1.4. Model Kecepatan	47
5.2. Pembahasan.....	48
5.2.1. Distribusi Event Gempabumi.....	48
5.2.2. Pola Penujaman (Subduksi)	49
5.2.3. Mekanisme Fokal.....	52
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	54
6.1. Kesimpulan	54
6.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.....	4
2. Peta geologi regional daerah penelitian	5
3. Diagram stratigrafi regional	8
4. Peta sumber gempabumi patahan (<i>fault</i>).....	10
5. Sumber gempabumi subduksi (<i>Megathrust</i>)	11
6. Teori <i>elastic rebound</i> (a) <i>ductile stick</i> (b) <i>brittle stick</i>	17
7. Ilustrasi pergerakan tanah sebelum, setelah, dan saat terjadinya gempa	17
8. Diagram Wadati	20
9. Ilustrasi episenter dan hiposenter	21
10. Ilustrasi gelombang P, gelombang S, gelombang <i>love</i> , dan gelombang <i>rayleigh</i>	24
11. Ilustrasi metode <i>double difference</i>	25
12. Model kecepatan IASP91	27
13. Sesar naik (<i>thrust fault</i>).....	29
14. Sesar turun (<i>normal fault</i>)	29
15. Sesar mendatar (<i>strike-slip fault</i>)	30
16. Kombinasi sesar (<i>oblique fault</i>)	30
17. Diagram bola fokal (<i>equal area projection</i>)	31
18. Data <i>arrival time</i> gelombang P dan S dengan format *.pha	35
19. Data stasiun dengan format *.dat	36
20. Parameter input pada program ph2dt	37
21. Hasil input parameter pada program ph2dt.....	38
22. Pemilihan <i>damping optimum</i> untuk iterasi 1 sampai 9	39
23. Hasil input data pada program hypoDD.....	40
24. <i>Plotting</i> titik hiposenter gempabumi dengan GMT	41
25. Diagram alir	42
26. <i>Event</i> gempabumi sebelum relokasi.....	43
27. <i>Event</i> gempabumi sesudah relokasi	44
28. Histogram residual sebelum relokasi	45
29. Histogram residual sesudah relokasi.....	46

30. Histogram gabungan sebelum dan sesudah relokasi.....	46
31. (a) Sebelum relokasi dan (b) Sesudah relokasi	49
32. (a) Irisan penampang vertikal sebelum relokasi dan (b) Irisan penampang vertikal sesudah relokasi	50
33. (a) Penampang A-A' sebelum direlokasi dan (b) Penampang A-A' sesudah direlokasi (c) Penampang B-B' sebelum direlokasi dan (D) Penampang B-B' sesudah direlokasi	51
34. Peta mekanisme sumber gempa bumi utama dan gempa bumi susulan dengan magnitudo terbesar (<i>Focal Mechanism</i>)	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Magnitudo dan kelas kekuatan gempa	14
2. Skala intensitas <i>modified mercalli (MMI scale)</i>	15
3. Hubungan antara magnitudo dan intensitas gempa	16
4. Model kecepatan gelombang P dan S	27
5. <i>Time shedule</i>	28
6. Hasil relokasi gempabumi menggunakan model kecepatan IASP91.....	47
7. Orientasi bidang sesar gempa utama 6,5 Banten 14 Januari 2022.....	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia berada pada lempeng besar di dunia yang menyebabkan Indonesia berada di daerah yang sering terjadinya gempabumi serta banyak letusan gunung berapi. Zona tektonik di Indonesia terbilang aktif karena pertemuan lempeng yang sangat kompleks dan pembentukan titik pertemuan.

Gempabumi adalah gerakan bolak-balik disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba di wilayah batuan lemah. Peristiwa seismik sangat erat kaitannya dengan patahan atau kegiatan tektonik. Titik gempa yang berada di dalam bumi disebut hiposenter, selama dipermukaan bumi disebut episentrum.

Terdapat sejumlah metode yang telah digunakan untuk menentukan lokasi hiposenter agar semakin akurat. Salah satunya yaitu metode *double difference*. Data yang digunakan yaitu data waktu tempuh antara pasang gempa dan satu stasiun pengamatan. Prinsip dari metode ini yaitu apabila jarak antara dua pasang gempabumi, jalur sinar dan bentuk gelombang kedua gempa dapat dianggap hampir identik.

Bambang., dkk 2012 menerapkan algoritma *double difference* untuk wilayah Jawa dan hasil relokasi menunjukkan perpindahan sekitar pusat lebih dari 50 km dalam 7 gempabumi, relokasi menggunakan hypoDD memperlihatkan kualitas yang meningkat dan dapat dilihat dari residual

yang diperoleh setelah relokasi yang dipindahkan relatif terhadap sisa pra-relokasi dan metode ini ditemukan cukup efektif untuk relokasi gempabumi lokal.

Fhera., dkk 2019 menggunakan metode *double difference* untuk merelokasi gempabumi di bagian selatan Sumatera dan menunjukkan pergeseran hiposenter yang semakin akurat yang dibuktikan dengan residual pasca relokasi bergerak mendekati nol.

Dari lokasi pusat gempabumi, *depth*, dan data mekanisme sumber, gempabumi Banten 14 Januari 2022 diakibatkan oleh aktivitas zona subduksi lempeng dengan mekanisme sesar naik cenderung relatif barat-barat laut-timur-tenggara. Pada penelitian ini merelokasi data *mainshock* dan *aftershock* gempabumi Banten 14 Januari 2022 selama enam hari sampai dengan tanggal 20 Januari 2022 dari data BMKG-Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan posisi titik gempa atau sumber gempabumi yang terjadi untuk mendapatkan lokasi asal gempa yang dapat dijadikan acuan dalam studi seismik selanjutnya.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan keakuratan posisi sumber gempabumi menggunakan metode *double difference*.
2. Membandingkan posisi hiposenter sebelum dan sesudah direlokasi menggunakan metode *double difference*.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian menggunakan data dan program yang digunakan. Data yang digunakan yaitu data *mainshock* dan *aftershock* gempa bumi Banten 14 Januari 2022 selama enam hari sampai dengan tanggal 20 Januari 2022 yang diambil dari BMKG-Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara. Program yang digunakan yaitu *hypoDD*, *cygwin*, dan *visual studio code*.

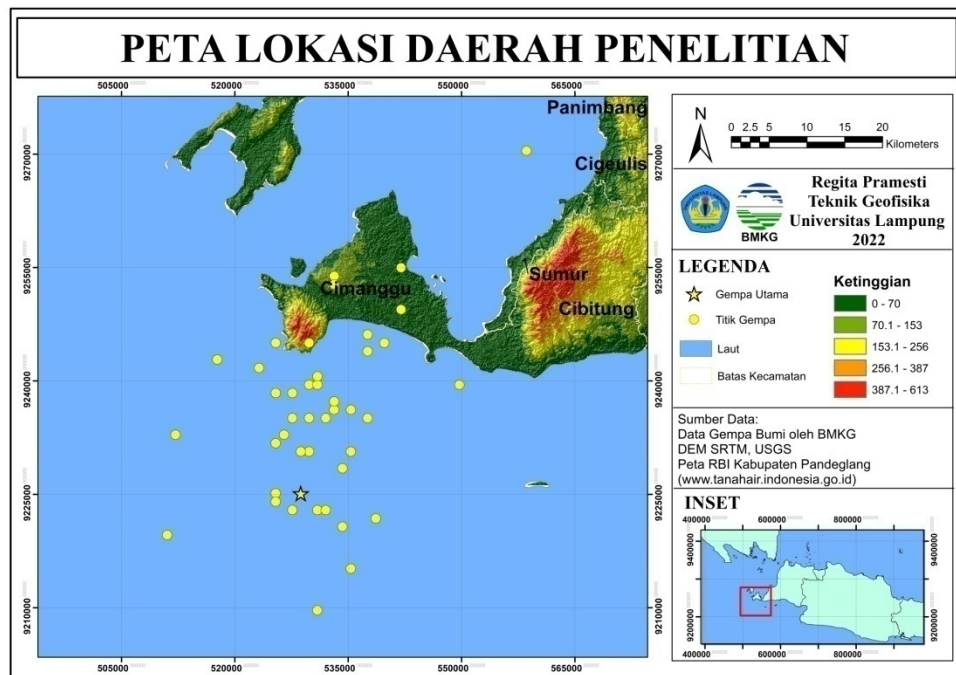
1.4. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai posisi hiposenter *mainshock* dan *aftershock* gempa bumi Banten 14 Januari 2022 selama enam hari sampai dengan tanggal 20 Januari 2022 yang lebih akurat sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Penelitian berada di Kecamatan Sumur, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Daerah terjadinya gempa bumi Banten pada tanggal 14 Januari 2022 terletak pada koordinat 7.01 °LS dan 105.26 °BT. Untuk peta lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

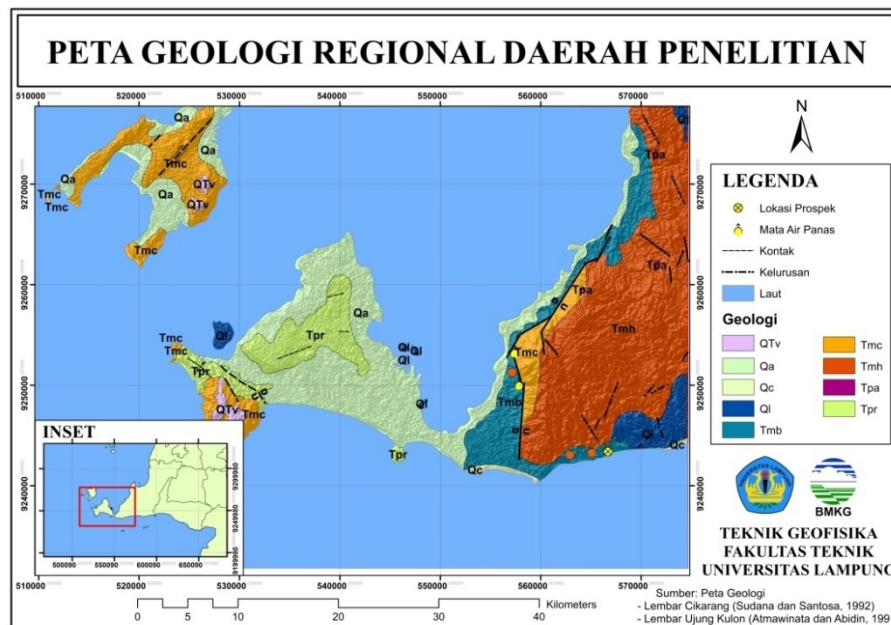


Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (Modifikasi dari USGS 2014)

2.2. Geologi Regional

Struktur geologi Kabupaten Pandeglang terdiri dari sesar, lipatan dan patahan, masih dari tektonik yang telah berlangsung jutaan tahun. Patahan menjadi zona rawan dan berperan dalam pembentukan kegempaan.

Dalam penelitian risiko seismik, perlu dilakukan identifikasi secara geologis dan seismik keberadaan beberapa daerah sumber seismik aktif yang memiliki potensi seismik yang signifikan dan kontribusi terhadap daerah tersebut. Pada Kecamatan Sumur terdapat episenter yang berkumpul di sebelah selatan daerah penelitian yang terletak pada patahan lokal yaitu Patahan Sumur dan juga berada di Laut Selatan Jawa. Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (Modifikasi dari Sudana dan Santosa, 1992; Atmawinata dan Abidin, 1991)

2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten dibagi menjadi beberapa formasi, yaitu:

2.3.1. Aluvium (Qa)

Aluvial merupakan endapan kuartar yang menyusun daerah penelitian. Aluvium yaitu berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, lumpur, dan kerakal batu apung.

2.3.2. Endapan Undak Pantai (Qc)

Endapan Undak Pantai yaitu kerikil, pasir, lempung, rombakan batu gamping koral atau cangkang moluska. Endapan Undak Pantai ini termasuk endapan kuarter *recent*.

2.3.3. Batu Gamping Terumbu (Ql)

Formasi ini tersusun oleh terumbu karang berkapur dan breksi karang, berwarna putih sampai abu-abu, coklat, mengkristal, berongga, mengandung karang. Batugamping terumbu karang diendapkan pada lingkungan laut dangkal berumur Pleistosen-Holosen.

2.3.4. Batuan Gunung Api Payung (QTV)

Gunung Api Payung memiliki ketinggian sebesar 480 mdpl. Batuan dari Gunung Api Payung yaitu berupa Lava bersusunan andesit-basalt, tufa berbatu apung, dan breksi lahar.

2.3.5. Formasi Cimapag (Tmc)

Formasi memiliki bagian atas dan bawah, bagian bawah yaitu petrografi terbreksikan dari berbagai material, lava andesitik, batupasir, argillit, batugamping, batubatuan, aglomerasi dan tuf; Atasnya meliputi tuf dasit, lava andesitik, dan tuf breksi. Diperkirakan berumur Miosen Awal. Formasi Cimapag dapat dibandingkan dengan Formasi Cikacana Lembaran Ujungkulon yang umurnya tidak lebih dari Miosen (Atmawinata, 1986 dalam Sudana dan Santosa, 1992). Ketebalannya sekitar 400 m. Formasi Bojongmanik ditindih secara tidak tepat di atas formasi ini, dan basal andesit diterobos secara lokal (Sudana dan Santosa, 1992).

2.3.6. Formasi Ciramea (Tpr)

Formasi Ciramea merupakan kumpulan batuan sedimen berumur Pliosen yang tersusun oleh breksi andesit dengan sisipan batulempung tufan, batupasir gampingan, batupasir tufan, tuf apung, dan kayu tererosi.

2.3.7. Formasi Bojongmanik (Tmb)

Batupasir bergantian dengan napal, batu bulat, batugamping, tufa dan lignit. Batupasir berwarna abu-abu, kuning kecokelatan kotor, kebiruan. Berbutir halus hingga kasar, dengan komponen bersudut hingga membulat, potensi bersarang yang buruk, terdapat mineral mafik, feldspar, kalsit, kuarsa, glotonit, bentuk fosil, moluska, dan klasifikasi struktural dan interseksi. Bersama-sama, di tempat ini ada lensa batu kapur dengan kerang. Ketebalan formasi ini kira-kira sampai dengan 400 m. Formasi Cipacar, Formasi Bojong, dan Formasi Honje semuanya melingkupi dan menutupi Formasi Bojongmanik.

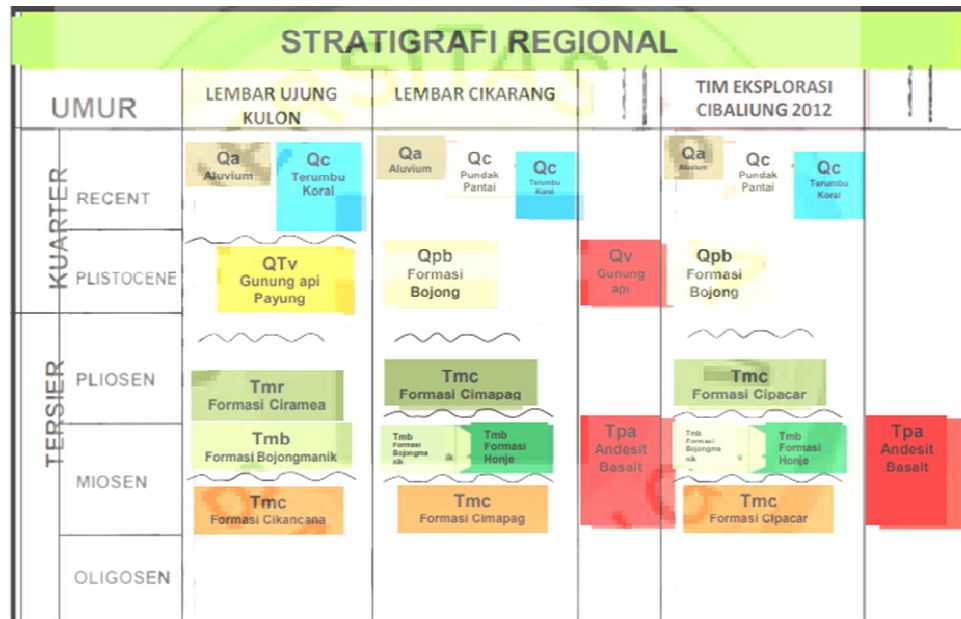
2.3.8. Formasi Honje (Tmh)

Macadam vulkanik, tuf, lava andesit, basal, batu pasir. Breksi vulkanik berwarna abu-abu, coklat, hitam dan merah. Bahan-bahannya bervariasi dalam ukuran mulai dari kerikil hingga batang kayu. Andesit, basalt porfiri, kuarsa, silika, kalsedon, obsidian, batuapung, dan kayu *gripped* adalah beberapa bentuk *angular* hingga *spherical* yang terkandung dalam blok dasar tufa pasir halus hingga kasar. Lokasi ini memiliki banyak urat kuarsa tipis yang mengandung bijih atau mineral sulfida. Formasi ini diperkirakan berumur Miosen Akhir. Ketebalan Formasi Honje diperkirakan antara 500 m dan 600 m.

2.3.9. Andesit-Basalt (Tpa)

Batuan yang menembus Formasi Comapag dan Honje antara lain andesit dan basal yang diperkirakan berumur Pliosen (Sudana dan Santosa, 1992).

Berikut merupakan diagram stratigrafi regional daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram stratigrafi regional (PT. Cibaliung Sumberdaya, 2010)

III. TEORI DASAR

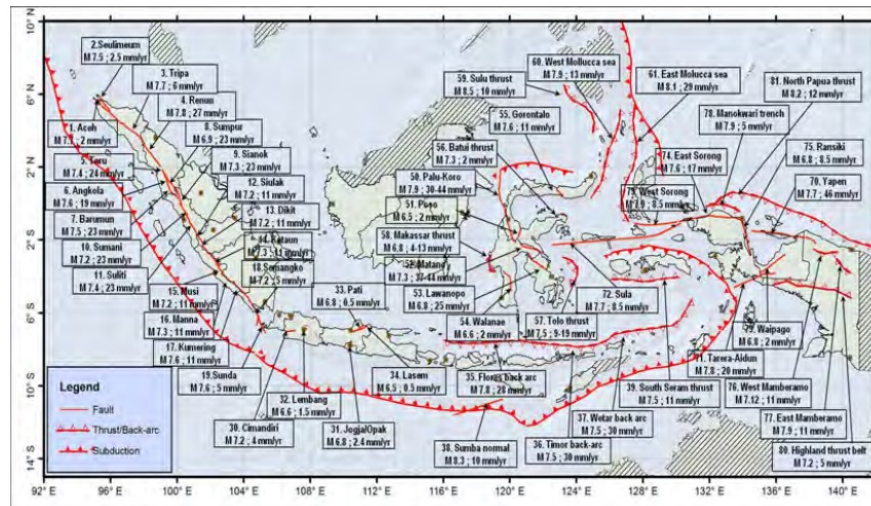
3.1. Pengertian Gempabumi

Gempabumi merupakan guncangan di permukaan bumi disebabkan oleh pergerakan yang cepat pada lapisan batuan terluar bumi. Gempabumi terjadi ketika energi yang tersimpan dalam bumi, biasanya dalam bentuk tegangan pada batuan, secara tiba-tiba terlepas. Energi ini dirambatkan ke permukaan bumi oleh gelombang gempabumi. Atau dengan kata lain gempabumi adalah gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tanah yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah (Soetoto, 2017).

3.2. Sumber Gempabumi

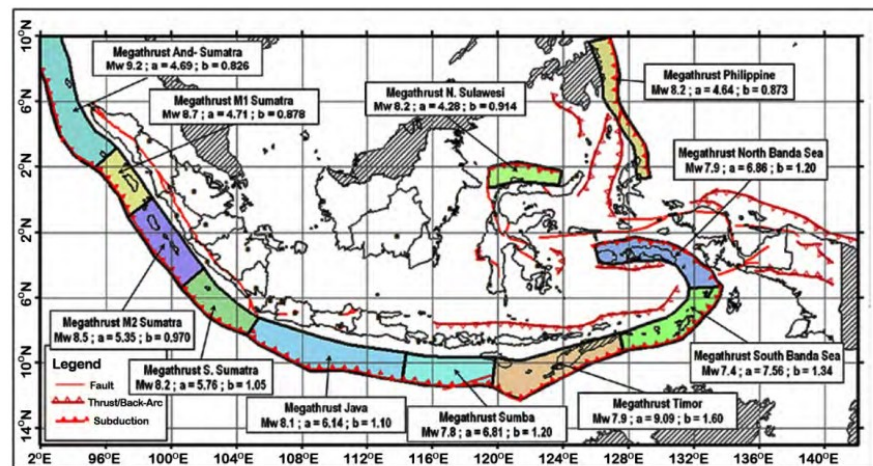
Suatu sumber gempa memiliki daerah dengan besaran gempa yang sama, dimana setiap daerah memiliki peluang yang sama untuk terjadinya gempa di masa yang akan datang. Menurut analisis bahaya gempa, ada tiga jenis gempa : sesar, subduksi, dan sumber gempa *background*.

Zona patahan adalah daerah di mana gempabumi patahan kerak dangkal sering terjadi dan memiliki sistem *strike-slip*, *reverse*, atau normal. Asal gempa sesar dangkal disimulasikan pada kedalaman 15 km. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 4 (Riyanti dan Rasimeng, 2019).



Gambar 4. Peta sumber gempa bumi patahan (*fault*) (Tim Revisi Peta Gempabumi Indonesia, 2010)

Karena kerapatan relatif litosfer samudera yang lebih tinggi karakter litosfer yang lebih lemah, litosfer samudera bergerak ke bawah menuju litosfer *terrestrial*, menyebabkan *megathrust*. Untuk sampel fitur dari data *historis*, tingkat subduksi dapat berupa tingkat pengulangan M_{max} . Area *megathrust* kedalaman 50 km adalah batas atas. Ketika gempa terjadi sebagai gempa *intramass* di wilayah dengan kedalaman lebih dari 50 km atau di zona *benioff* yang diwakili oleh model sumber gempa tanah dalam, karena pada kondisi kedalaman ini batuan lebih lunak, maka mekanisme gempa bukanlah hasil dari pertemuan dua bidang datar seperti pada Gambar 5 (Riyanti dan Rasimeng, 2019).



Gambar 5. Sumber gempa bumi subduksi (*Megathrust*) (Tim Revisi Gempabumi, 2010)

Masih belum jelas dari mana zona *background* itu berasal. Meskipun demikian, sejumlah gempa bumi (peristiwa seismik yang tidak diketahui) ditemukan di sini (Riyati dan Rasimeng, 2019).

3.3. Klasifikasi Gempabumi

Berdasarkan sumber terjadinya gempa, Hoernes (Subarjo dan Ibrahim, 2004) mengelompokkan menjadi :

1. Gempa tektonik adalah gempa bumi yang terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik, seperti saat lempeng-lempeng penyusun kerak bumi bertabrakan.
2. Gempa vulkanik yaitu gempa yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi, contohnya tekanan magma gunung berapi di permukaan. Kekuatan gempa ini kurang dari 4 *skala richter* dan merupakan gempa sedang.
3. Gempa runtuh yaitu gempa bumi yang terjadi akibat runtuhnya formasi batuan atau akibat runtuhannya. Gempa ini sangat kecil sehingga getarannya tidak dapat dirasakan dan hanya dapat dideteksi dengan seismometer. Gejala yang terjadi merupakan tremor dan biasa terjadi terutama di daerah pegunungan.

4. Gempa buatan adalah gempabumi buatan manusia yang sengaja dipicu oleh manusia, seperti penggunaan dinamit atau ledakan nuklir selama pencarian sumber daya mentah pertambangan.

Berdasarkan kedalaman sumber gempa, Bath (Subardjo dan Ibrahim, 2004) mengelompokkan gempabumi menjadi :

1. Gempabumi Dangkal (kedalaman 0 – 60 km)

Patahan besar yang bergerak atau bergeser akibat pergerakan lempeng seringkali dikaitkan dengan gempabumi dangkal yang terjadi di permukaan. Kerusakan structural akibat gempa ini sangat parah, ini karena getaran seismik dirasakan di permukaan akibat kedekatan hiposenter dengan permukaan bumi. Meskipun besar gempa hanya 4-5 skala *ricther*, namun mampu menyebabkan kerusakan structural. Sedangkan gempa dangkal yang terjadi di lepas pantai dapat memicu tsunami jika skala *richternya* lebih besar dari 6.

2. Gempabumi Menengah (kedalaman 60 – 300 km)

Jauh di dalam kerak bumi, gempa menengah dapat ditemukan. Sedemikian rupa sehingga klasifikasi gempabumi tidak dapat dijelaskan dengan adanya patahan permukaan. Namun, mekanisme terjadinya gempa tersebut masih dapat diperkirakan.

3. Gempabumi Dalam (> 300 km)

Gempa dalam adalah gempabumi yang disebabkan oleh pergerakan kerak benua. Gempabumi dalam ini sangat sering terjadi. Namun karena letaknya di kedalaman di bawah 300 km, getarannya tidak dirasakan manusia.

Berdasarkan waktunya, gempabumi dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu :

1. Gempabumi utama (*main shock*) yaitu gempa awal yang terjadi akibat kontak lempeng-lempeng.
2. Gempabumi susulan (*aftershock*) yaitu gempa susulan setelah guncangan awal, gempa kedua, ketiga, keempat, dan seterusnya.
3. Gempabumi *swarm* yaitu gempabumi yang kejadiannya berada pada zona labil (batuan kapur) dan memiliki amplitudo yang kecil $\pm 2-3$ skala richter.

3.4. Ukuran Kekuatan Gempa

Ukuran kekuatan gempabumi dapat dinyatakan dalam skala *richter* atau *Modified Mercalli* (MMI). Dalam skala *richter* mengukur magnitudo gempa berdasarkan amplitudo yang terjadi sehingga lebih objektif, sedangkan skala *Modified Mercalli* mengukur intensitas gempa berdasarkan efeknya terhadap manusia atau bangunan sehingga lebih bersifat subjektif (Ihsan, 2008).

Berikut merupakan klasifikasi yang menggambarkan tingkatan magnitudo dan kekuatan gempa, pengaruhnya, serta perkiraan jumlah gempa yang terjadi setiap tahunnya yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Magnitudo dan kelas kekuatan gempa (Ihsan, 2008)

Magnitudo Gempa	Kelas Kekuatan Gempa	Pengaruh Gempa	Perkiraan Kejadian Tahun
< 2,5	<i>Minor earthquake</i>	Biasanya tidak terasa, tapi bisa terekam oleh seismograf	900.000
2,5 – 4,9	<i>Light earthquake</i>	Selalu dirasakan, tetapi lebih sedikit kerusakan	30.000
5,0 – 5,9	<i>Moderate earthquake</i>	Menyebabkan kerusakan pada bangunan dan struktur lainnya	500
6,0 – 6,9	<i>Strong earthquake</i>	Kemungkinan menyebabkan kerusakan yang signifikan, di daerah berpenduduk tinggi	100
7,0 – 7,9	<i>Major earthquake</i>	Kerusakan besar	20
≥ 8,0	<i>Great earthquake</i>	Dapat meluluhlantahkan daerah yang dekat dengan pusat gempa	1 (rentang waktu 5 – 10 thn)

Adapun skala intensitas *Modified Mercalli* (MMI scale) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Skala intensitas *Modified Mercalli* (MMI Scale) (Ihsan, 2008)

Skala Intensitas	Keterangan
I	Tidak dirasakan oleh semua orang, hanya tercatat oleh alat perekam yang sensitif
II	Getaran dirasakan oleh orang yang sedang beristirahat, terutama yang berada di lantai atau di atasnya
III	Banyak benda yang bergoyang dan bergetar
IV	Bergetar seperti truk yang lewat. Jendela, pintu, dan piring bergetar
V	Getaran dirasakan oleh orang-orang di luar gedung, orang yang tidur terbangun, benda-benda yang tidak stabil di atas meja jatuh atau jatuh, pintu bergerak untuk membuka dan menutup.
VI	Semua orang kaget, banyak orang takut keluar rumah, sulit berjalan, jendela pecah, meja dan kursi dipindahkan..
VII	Berdiri tegak sulit, pengemudi dan kendaraan terasa bergetar, batu bata berjatuhan.
VIII	Pengemudi terganggu, dinding bangunan retak
IX	Warga panik, tembok bangunan rusak parah, pipa bawah tanah bocor
X	Sebagian konstruksi pintu gerbang dan dindingnya rusak serta pondasi, tanggul dan bendungan rusak parah, rel kereta api sedikit bengkok dan banyak titik longsor.
XI	Lintasan kereta api rusak parah, pipa bawah tanah putus
XII	Terjadi kehancuran total, bangunan rusak, benda-benda terlempar ke udara.

Adapun perbandingan antara skala *richter* dengan skala *modified* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan antara magnitudo dan intensitas gempa (Ihsan, 2008)

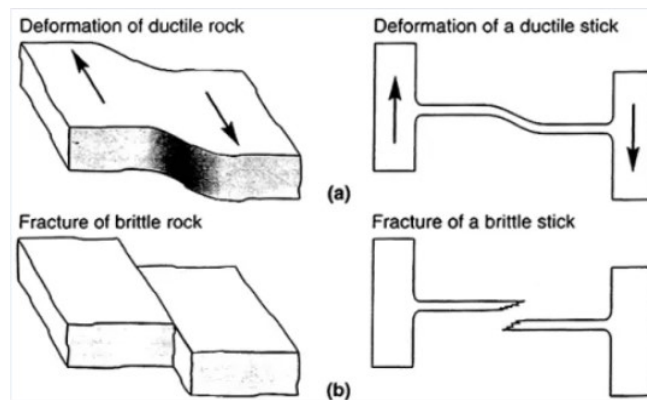
Magnitude (<i>richter</i>)	Intensitas (MMI)	Pengaruh-pengaruh Tipikal
≤ 2	I – II	Tidak terasa
3	III	Terasa, tetapi tidak ada kerusakan
4	IV – V	Terasa, barang bergerak, tetapi tidak ada kerusakan struktural
5	VI – VII	Ada beberapa kerusakan structural (dinding yang retak)
6	VII – VIII	Rusak menengah, dinding hancur
7	IX - X	Rusak besar, ada bangunan yang hancur
≥ 8	XI - XII	Rusak total

3.5. Teori *Elastic Rebound*

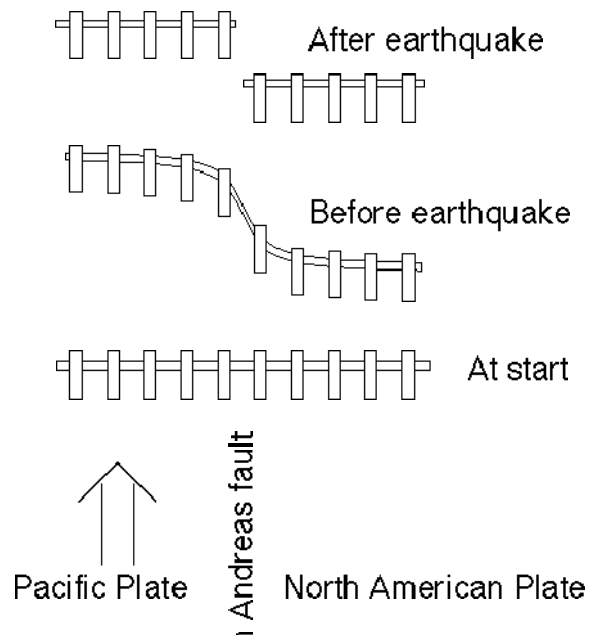
Seorang seismolog Amerika bernama Reid (K.E Bullen dan B. Bolt, 1985) mengajukan teori *elastic rebound*, yang menjelaskan mengapa gempabumi terjadi. Gagasan ini menyatakan bahwa gempabumi terjadi di daerah yang *terdistorsi*. Ketegangan dan regangan pada strata bumi inilah yang menyebabkan deformasi batuan. Karena itu, daya dukung batuan akhirnya mencapai batasnya dan mengakibatkan retakan atau patahan yang tiba-tiba. Gempabumi akan diciptakan oleh pelepasan energi stress ini.

Menurut *teori elastic rebound* (Gambar 6.), besarnya kerusakan suatu batuan disebabkan oleh pelepasan energi yang dipengaruhi oleh karakteristik batuan tersebut. Energi dilepaskan secara perlahan saat batuan bersifat *ductile* (elastis). Sebuah batu akan pecah lebih cepat dan menghasilkan gempabumi jika bersifat *brittle* (rapuh). Energi akan terus disimpan setelah gempabumi sampai terjadi lagi suatu hari nanti.

Ilustrasi pergerakan tanah sebelum, setelah, dan saat terjadinya gempa bumi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Teori *elastic rebound* (a) *Ductile stick* (b) *Brittle stick* (Reid, 1982)



Gambar 7. Ilustrasi pergerakan tanah sebelum, setelah, dan saat terjadinya gempa bumi (Reid, 1982)

3.6. Pergerakan Lempeng Tektonik

Teori tektonik lempeng, yang didasarkan pada sejumlah asumsi, menjelaskan bagaimana lempeng berinteraksi dan apa yang terjadi sebagai akibatnya.

1. Material Di zona penyebaran dasar laut, material lempengan baru terbentuk. *Mid ocean ridges* yang aktif adalah tempat terbentuknya

material litosfer samudera.

2. Saat material litosfer baru terbentuk, ia dimasukkan ke dalam pelat keras ini.
3. Penyebaran dasar laut harus diimbangi dengan pengangkatan lempeng-lempeng lain karena ukuran permukaan bumi tidak berubah.
4. Tanpa konektor apapun, pelat litosfer dapat menyampaikan tekanan pada jarak horizontal yang cukup jauh.

Zona pergerakan lempeng tektonik terbagi menjadi 3 (Awaludin, 2011) yaitu :

1. Zona Divergen, adalah daerah tempat dua atau lebih lempeng tektonik bergerak dan menjauh satu sama lain.
2. Zona Konvergen yaitu dua lempeng tektonik yang bergerak mendekat satu sama lain di wilayah dan dibedakan menjadi :
 - a. Zona Tumbukan merupakan daerah di mana dua lempeng tektonik dengan kepadatan yang sama bertemu dan bergerak menuju satu sama lain. Pegunungan seperti Himalaya dan Andes dapat terlipat akibat fenomena ini. Gempa vulkanik dan gempa tektonik dangkal keduanya disebabkan oleh aksi tumbukan lempeng ini.
 - b. Zona subduksi merupakan tempat dua lempeng tektonik bertemu ketika mereka berdekatan dan memiliki kepadatan yang berbeda, menyebabkan lempeng yang lebih berat berbenturan dan tenggelam di bawah lempeng yang lebih ringan. Pada zona ini terdapat palung atau *trench* dan juga adanya jajaran vulkanik yang sejajar dengan *trench* akibat lelehan lempeng subduksi di kedalaman 100 sampai 400 km.

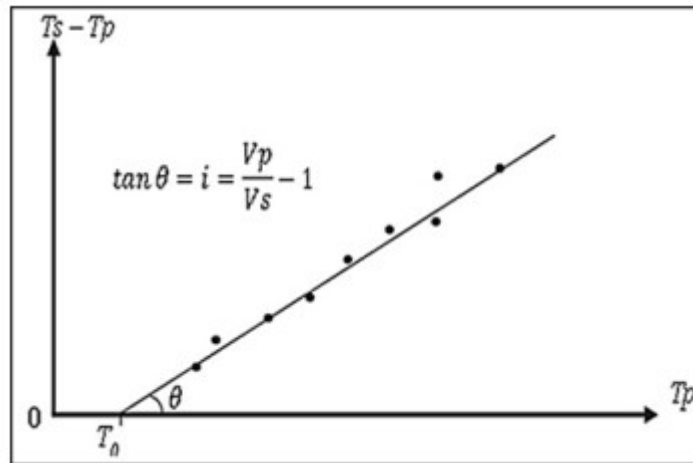
3. Zona subduksi, merupakan tempat dua lempeng tektonik bertemu ketika mereka berdekatan dan memiliki kepadatan yang berbeda, menyebabkan lempeng yang lebih berat berbenturan dan tenggelam di bawah lempeng yang lebih ringan. Pada zona ini terdapat palung atau *trench* dan juga adanya jajaran vulkanik yang sejajar dengan *trench* akibat lelehan lempeng subduksi di kedalaman 100 sampai 400 km.
4. Zona Transform, merupakan zona kontak 2 lempeng tektonik yang bergerak sejajar dan berlawanan satu sama lain, sehingga terjadi gesekan antara dua zona tersebut. Hal ini merupakan sumber terjadinya gempa dangkal yang merusak.

3.7. Parameter Gempabumi

Karakteristik gempa dapat digunakan sebagai data dasar untuk pengolahan, analisis seismik, dan aplikasi lainnya. Parameter gempabumi antara lain :

1. Waktu Kejadian Gempa (*Origin Time*)

Origin time merupakan waktu pertama kali terjadinya gempa yang dinyatakan dalam tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinat*). Teknik sederhana yang dapat digunakan untuk menentukan *origin time* gempa adalah diagram wadati. Prinsipnya dengan memanfaatkan selisih waktu tiba antara gelombang P dan gelombang S ($T_s - T_p$) yang selanjutnya diplot terhadap waktu tiba gelombang P (T_p). Hasil plot tersebut berbentuk kurva linear. Berikut merupakan diagram wadati yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Wadati

Diagram Wadati, menentukan jarak hiposenter dan memahami rasio V_p/V_s medium semuanya dapat digunakan untuk menilai pembacaan gelombang P dan S. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung diagram wadati :

$$\tan \alpha = \frac{T_s - T_p}{T_p - T_o} = \frac{V_p}{V_s} - 1 \quad (1)$$

Sehingga didapatkan persamaan (2) dalam menentukan rasio V_p/V_s :

$$\begin{aligned} \frac{V_p}{V_s} - 1 &= \frac{T_s - T_p}{T_p - T} \\ \frac{V_p}{V_s} &= \frac{T_s - T}{T_p - T} + 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan :

T_o = Origin Time

T_p & T_s = Waktu tiba gelombang (P & S)

V_p/V_s = Rasio kecepatan gelombang (P & S)

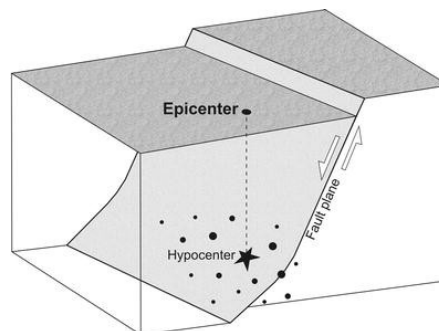
Karena diagram reservoir tidak digunakan untuk mengembangkan model struktur bumi, hanya diasumsikan bahwa struktur bumi adalah homogen. Hiposenter harus dipindahkan karena waktu asal yang dibaca menunjukkan posisi hiposenter yang salah..

2. Episenter

Episenter adalah proyeksi pusat gempa sejajar dengan hiposenter ke permukaan bumi. Lintang dan bujur digunakan untuk menyatakan posisi episenter baik dalam koordinat kartesian atau geografis.

3. Hiposenter

Hiposenter adalah pusat gempa yang letaknya di dalam bumi. Jaraknya dari permukaan bumi diukur dalam satuan kilometer (km) (Sunarjo dkk., 2012). Ketika hiposenter sebenarnya adalah sebuah bidang yang luasnya bergantung pada kualitas energi, terkadang ia didefinisikan sebagai sebuah titik. Ilustrasi episenter dan hiposenter gempabumi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi episenter dan hiposenter

4. Magnitudo

Magnitudo adalah kekuatan gempa diukur dari besarnya, yang mengukur energi yang dilepaskan di pusat gempa. Magnitudo adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kuat tidaknya suatu gempa. Satuan besaran yang digunakan adalah skala *richter*.

3.8. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat akibat perubahan kerak bumi (patahan, dll). Kualitas elastis batuan yang dilalui gelombang seismik menentukan seberapa jauh jarak tempuhnya.

Gelombang seismik terdiri dari dua jenis gelombang yaitu sebagai berikut :

3.8.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang seismik yang bergerak di seluruh bumi ke segala arah. Gelombang badan dapat dikategorikan menjadi gelombang primer dan gelombang sekunder berdasarkan arah perambatan dan kecepatan partikel.

1. Gelombang Primer (*P-wave*)

Dengan kecepatan sekitar 6 km/s gelombang P yang juga dikenal sebagai gelombang primer merupakan gelombang tercepat jika dibandingkan dengan gelombang lain karena merupakan gelombang longitudinal yang dipadatkan dengan gerakan partikel sejajar dengan arah rambat. Karena kecepatannya yang lebih besar daripada gelombang lainnya, gelombang ini adalah gelombang pertama yang terdeteksi di seismometer. Berikut persamaan kecepatan gelombang P :

$$V_p = \alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (3)$$

Keterangan :

V_p = Kecepatan gelombang P

λ = Konstanta *Lame*

μ = *Ridigitas*

ρ = Densitas (massa jenis) batuan

2. Gelombang Sekunder (*S-wave*)

Gelombang transversal adalah gelombang S yang juga disebut gelombang sekunder. Karena gerakan partikel tegak lurus terhadap arah gelombang transmisi, gelombang ini dikenal sebagai gelombang geser. Hanya media padat yang memungkinkan perambatan gelombang S. persamaan berikut mewakili kecepatan gelombang S :

$$V_S = \beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (4)$$

Keterangan :

V_S = Kecepatan gelombang S

μ = *Ridigitas*

ρ = Densitas (massa jenis) batuan

Gelombang badan menyebabkan partikel media bergerak ke arah perambatan gelombang. Gelombang SV adalah jenis gelombang yang terjadi ketika arah osilasi gelombang S terpolarisasi dalam bidang vertikal. Namun, jenis gelombang ini dikenal sebagai gelombang SH jika arah getarannya terpolarisasi pada bidang horizontal.

3.8.2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

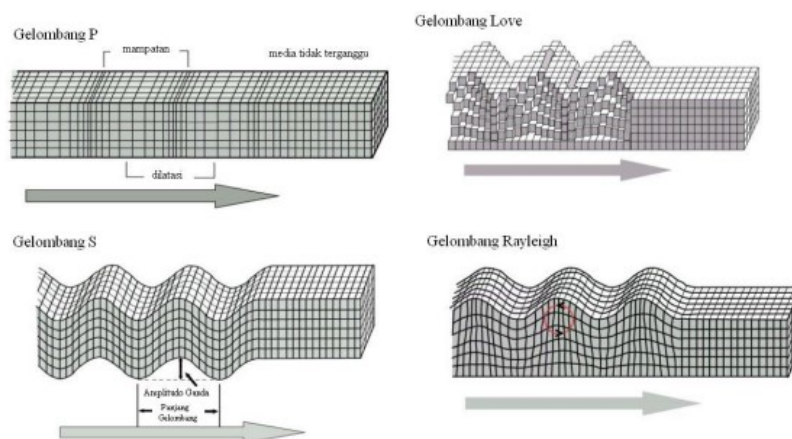
Gelombang permukaan merupakan gelombang yang terjadi akibat interaksi antara gelombang badan dengan bagian permukaan. Gelombang ini menjalar di sepanjang lapisan permukaan bumi. Gelombang permukaan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Gelombang *Rayleigh* (R)

Gelombang *rayleigh* merupakan getaran partikel batuan yang bergerak dalam orbit melingkar yang berbentuk elips dalam kaitannya dengan arah gelombang dalam media homogen.

2. Gelombang *Love* (L)

Gelombang *love* merupakan getaran partikel tanpa komponen gerak horizontal partikel yang dihasilkan dari interaksi gelombang SH dengan permukaan tanah lunak. Gambar 10 menampilkan contoh gelombang P, gelombang S, gelombang *love*, dan gelombang *rayleigh*.



Gambar 10. Ilustrasi gelombang P, gelombang S, gelombang *love*, dan gelombang *rayleigh* (Bolt, 1970)

3.9. Metode *Double Difference*

Metode *double difference* adalah pendekatan untuk merelokasi hiposenter. Pendekatan ini menggunakan informasi waktu tempuh antara dua gempa bumi sebagai sumber datanya. Menurut konsep panduan metode ini, jalur sinar dan bentuk gelombang dari dua gempa bumi dapat dianggap hampir identik jika pemisahannya dari stasiun seismik sangat minim.

Menurut teori ini, perbedaan waktu tempuh antara dua gempa bumi yang terdeteksi stasiun yang sama hanya dianggap sebagai fungsi jarak antara dua hiposenter.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan *double-difference* (Waldhauser dan Ellsworth, 2000) :

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{ca} \quad (5)$$

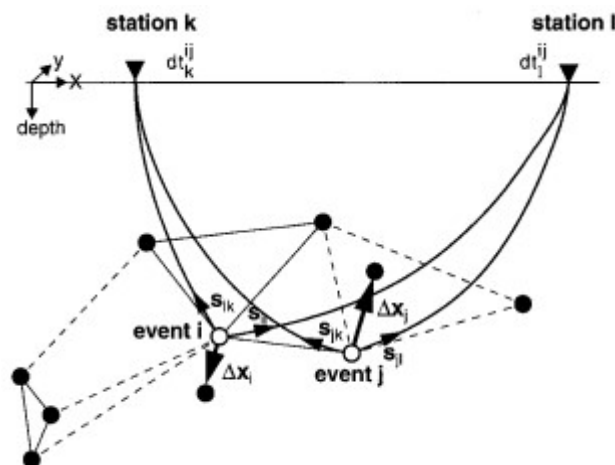
Keterangan :

i dan j = dua hiposenter yang berdekatan

k = stasiun yang sama yang merekam kejadian gempa

dr_k^{ij} = nilai residu waktu tempuh pengamatan dikurangi waktu tempuh perhitungan dari model gempa i dan gempa j yang diterima oleh stasiun k

Berikut merupakan ilustrasi dari metode *double difference* yang ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi metode *double difference*

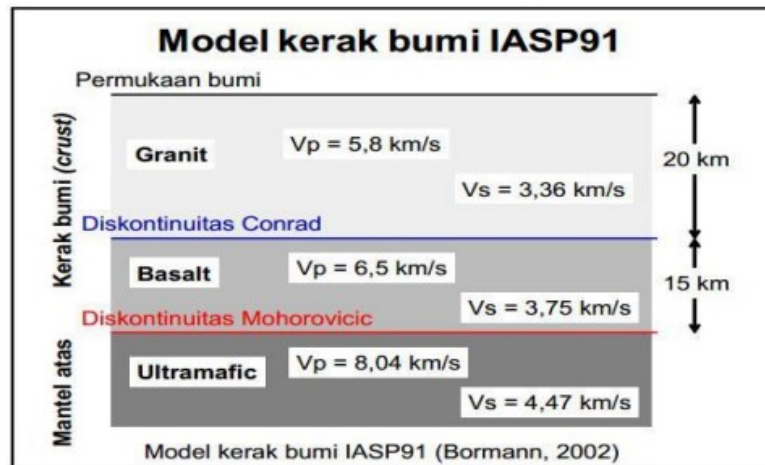
Gambar 11 menampilkan hiposenter terkait dengan hiposenter tetangga menggunakan korelasi silang dan data katalog, seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran kosong dan lingkaran hitam. Data katalog

diwakili oleh garis putus-putus, sedangkan data korelasi silang diwakili oleh garis padat.

Lingkaran putih mewakili aktivitas gempa. I dan J terekam di stasiun I dan K dengan jarak tempuh yang bervariasi. Garis panah tebal (Δx) menunjukkan hasil relokasi yang dihitung dengan metode *double difference*. Perbedaan waktu antara kejadian gempa dikenal sebagai dt yang merekam *event* I dan J di stasiun K dan I (Imre. J., 2006).

I dan J direkam pada stasiun pencatat yang sama (k dan l) menghasilkan residual yang nilainya bervariasi dengan presisi, pada hypoDD perhitungan akan dilanjutkan sampai nilai residual terbaik tercapai.

Model kecepatan IASP91, dibuat oleh *International Association of Seismology and Physics* (IASP) menggunakan pemodelan berdasarkan ribuan data gembang P dan S yang dikumpulkan oleh ribuan seismometer di seluruh dunia, digunakan dalam metode *double difference*. Hanya ada parameter kecepatan gelombang P dan S dalam model IASP91. Dua lapisan diskontinuitas di mantel bumi dihitung pada 410 - 660 km (Gambar 12).



Gambar 12. Model kecepatan IASP91 (Putri, 2012)

Model kecepatan gelombang P dan S oleh IASP91 ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Model kecepatan gelombang P dan S (Wadner dkk., 2007; Kennett dkk., 1995; Wibowo, 2017)

Kedalaman (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	V_p/V_s (km/s)
0	5	2.81	1.78
5	5	2.81	1.78
10	6	3.37	1.78
15	6.75	3.79	1.78
25	7.11	3.99	1.78
35	7.24	4.07	1.78
45	7.37	4.14	1.78
60	7.6	4.27	1.78
75	7.77	4.37	1.78
90	7.95	4.47	1.78
105	8.04	4.52	1.78
120	8.05	4.52	1.78
165	8.13	4.57	1.78
210	8.21	4.61	1.78
450	8.3	4.66	1.78

3.10. Mekanisme Sumber Gempabumi

Gempabumi disebabkan adanya gerakan suatu sesar dengan karakter gerak tertentu. Model gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempabumi dapat diketahui berdasarkan momen tensor gempabumi. Momen tensor ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempabumi (Ndeo, 2012). Pergerakan sesar merupakan salah satu parameter sumber penyebab terjadinya deformasi vertikal pada daerah sumber dan mengakibatkan gempabumi tektonik. Parameter sesar dikenal juga dengan mekanisme fokal. Mekanisme fokal adalah arah dan orientasi sesar pada gempa bumi tektonik. Mekanisme fokal terbagi menjadi empat jenis yaitu *strike slip*, *normal*, *reverse* dan *oblique reverse* (Shearer, 2009). Secara umum sudut pembentuk parameter sesar yaitu sudut *strike*, *dip* dan *slip*.

Mekanisme sumber gempa atau *focal mechanism* adalah istilah yang digunakan untuk menerangkan sifat penjalaran energi gempabumi yang berpusat pada hiposenter atau fokus gempabumi. Sesar sering dianggap sebagai mekanisme penjalaran energi gelombang elastis pada fokus tersebut, sehingga dengan memperoleh arah gerakan sesar dan arah bidang sesar untuk suatu gempabumi diperoleh solusi mekanisme sumber gempabumi.

3.10.1. Sesar Bumi (*Earth Fault*) dan Orientasinya

Sesar adalah celah pada kerak bumi yang berada pada perbatasan antara dua lempeng tektonik. Gempabumi sangat dipengaruhi oleh pergerakan batuan dan lempeng pada sesar ini. Terdapat tiga jenis sesar penyebab gempabumi, yaitu sesar turun, sesar naik, dan sesar geser. Selain ketiga jenis sesar tersebut, dikenal pula sesar yang merupakan kombinasi antara sesar mendatar dan sesar naik/turun yang disebut *oblique fault*.

Bila batuan yang mampu merosot ke bawah akibat batuan penumpu dikedua sisinya bergerak saling menjauh, sesarnya dinamakan sesar

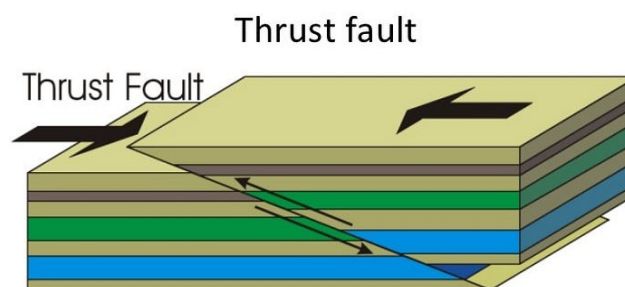
normal (*normal fault*). Bila batuan yang mampu terangkat ke atas akibat batuan penumpu dikedua sisinya bergerak saling mendorong, sesarnya dinamakan sesar terbalik (*reverse fault*). Bila kedua batuan pada sesar bergerak saling bergeser horizontal, sesarnya dinamakan sesar geseran-jurus (*strike-slip fault*).

Orientasi bidang patahan ditentukan oleh parameter bidang patahan yang terdiri dari *strike*, *dip*, dan *rake*.

1. *Strike* (Φ) adalah sudut yang dibentuk oleh jurus sesar dengan arah utara. Strike diukur dari arah utara ke arah timur searah dengan jarum jam hingga jurus patahan ($0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$).
2. *Dip* (δ) adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal dan diukur pada bidang vertikal dengan arahnya tegak lurus jurus patahan ($0^\circ \leq \delta \leq 360^\circ$).
3. *Rake* (λ) adalah sudut yang dibentuk arah *slip* dan jurus patahan. *Rake* berharga positif pada patahan naik (*thrust fault*) dan negatif pada patahan turun (*normal fault*) ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$).

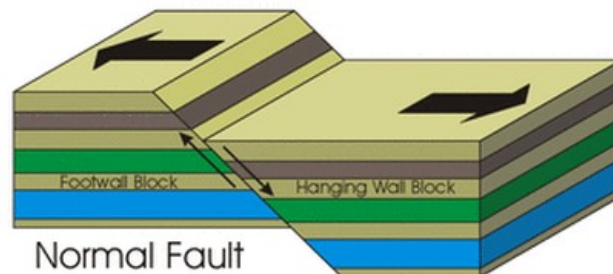
Berdasarkan genetisnya atau gaya yang bekerja padanya, sesar dibagi menjadi :

1. Sesar naik (*reverse* atau *thrust fault*) yaitu bila *hanging wall* pada sesar tersebut relatif naik terhadap *foot wall*. Parameter jenis ini akan memenuhi nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$, serta nilai λ terletak pada rentang $(\pi, 0)$.



Gambar 13. Sesar naik (*thrust fault*)

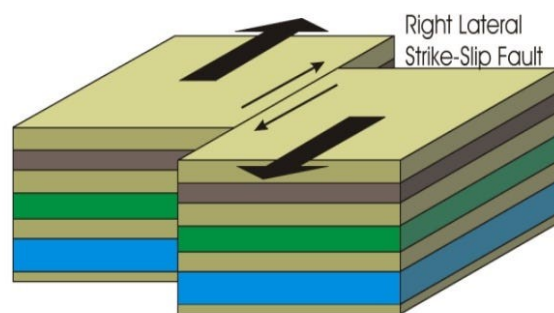
2. Sesar turun (*normal fault*) yaitu sesar di mana *hanging wall* pada sesar tersebut relatif turun terhadap *foot wall*. Parameter jenis ini akan memenuhi nilai $\delta \neq 0$ atau $\delta \neq \pi/2$, serta nilai λ terletak pada rentang $(-\pi, 0)$.



Gambar 14. Sesar turun (*normal fault*)

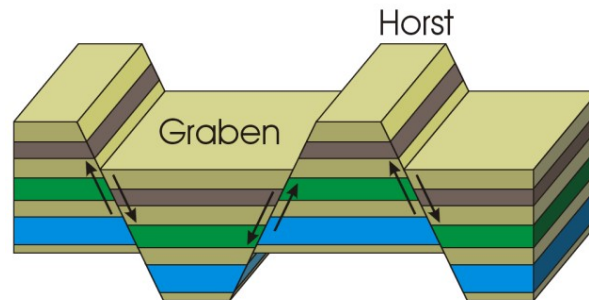
3. Sesar mendatar (*strike slip fault*) yaitu sesar dengan arah gerakan bergerak mendatar relatif satu sama lain. Parameter jenis ini akan memenuhi nilai $\delta = \pi/2$, serta nilai $\lambda = 0$ atau $\lambda = \pi/2$, sesar dibagi atas :
- Strike slip left lateral fault (sinistral strike slip fault)*, bila *hanging wall* bergerak ke kiri dan nilai $\lambda = 0$.
 - Right lateral strike slip fault (dextral strike slip fault)*, bila bergerak ke kanan dan nilai $\lambda = \pi = 180^\circ$.

Strike-Slip Fault



Gambar 15. Sesar mendatar (*strik slip fault*)

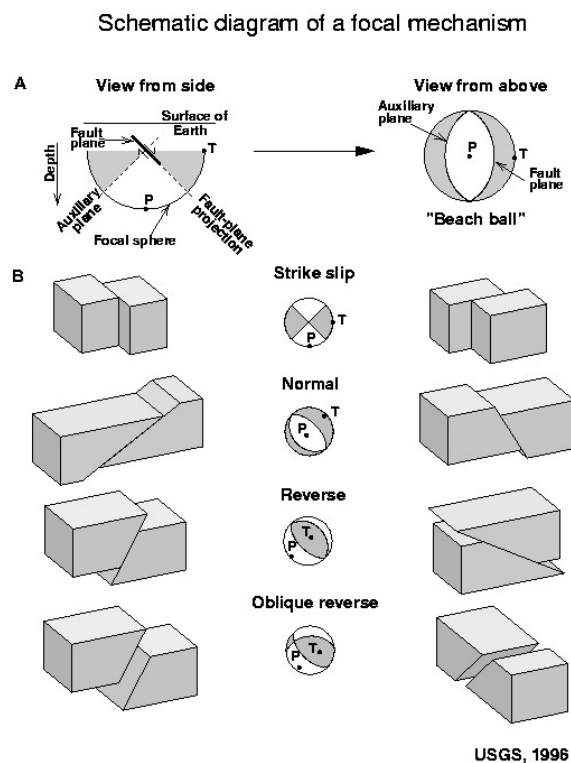
4. Gerakan kombinasi antara sesar mendatar dengan sesar naik atau turun disebut *oblique fault*.



Gambar. 16. Kombinasi sesar (*oblique fault*)

Dari diagram bola fokal dengan menggunakan proyeksi luasan sama (*equal area projection*), dapat dibaca orientasi bidang nodal yaitu *strike*, *dip*, dan *rake/slip*. Hal penting untuk menentukan orientasi diagram tersebut adalah salah satu dari bidang nodal harus menjadi arah sesar gempa (Hamilton, W. 1979).

Berikut Gambar 17 merupakan gambaran dari diagram bola fokal yang menggambarkan arah sesar patahan.



Gambar. 17. Diagram bola fokal (*equal area projection*)

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Kegiatan

Tugas Akhir ini dilaksanakan selama 2 bulan pada :

Waktu : 1 Februari – 10 Juli 2023

Tempat : BMKG – Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara, Jl.
Raden Intan No. 219, Kota Alam, Kec. Kotabumi Sel.,
Kab. Lampung Utara, Lampung 34519

4.2. Alat dan Bahan

Untuk kelancaran pelaksanaan penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai penunjang. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data Gempabumi Banten tanggal 14 – 20 Januari 2022
2. *Matlab*
3. *Cygwin*
4. *Notepad++*
5. *HypoDD*
6. *Software excel*
7. GMT
8. *Visual Studio Code*
9. Laptop

4.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

4.3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data. Data terkait penelitian, termasuk tinjauan literature dan teori fundamental digunakan untuk memudahkan penelitian. Pada tahapan studi literatur, penulis mempelajari metode penentuan episenter gempa bumi yaitu khususnya yang dipakai di penelitian ini yaitu Metode *Double Difference*. Metode ini digunakan untuk merelokasi gempa bumi Banten 14 Januari 2022. Penulis juga mempelajari mengenai manual hypoDD, program *cygwin*, dan GMT (*The Generic Mapping Tools*).

4.3.2. Pengolahan Data

Pada pengolahan data menggunakan data gempa selama 6 hari. Metode *double difference* adalah salah satu yang digunakan. Program seperti hypoDD, *cygwin*, *matlab*, dan *excel* digunakan untuk pemrosesan. Posisi gempa akan lebih tepat ditentukan dengan prosedur relokasi gempa bila menggunakan metode *double difference*.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan data gempa bumi yang diambil dari katalog BMKG Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara yaitu data *arrival time* (waktu datang gelombang) gelombang P dan S dengan format *.pha serta data stasiun dengan format *.dat. Stasiun yang membaca data Gempabumi Banten 14 Januari 2022 berjumlah 57 stasiun. Adapun nama-nama stasiun yang digunakan adalah sebagai berikut : BLSI, CBJI, CGJI, CMJI,

2. CNJI, DBJI, KASI, KLI, LHSI, LWLI, MASI, MDSI, SBJI, SKJI, UBSI, BKJI, CIJI, CSJI, JBJI, JPJI, LLSI, PKSI, PPLI, PSLI, PTJI, UTSI, WLJI, ABSM, BLSM, BOSM, CBJM, CCJM, CSJM, CWJM, JTJM, LESM, LHSM, LLSM, MBSM, MKSM, MTSM, PKJM, PPSM, PSJM, PSSM, SCJM, SSJM, SUSM, TSJM, ULSM, UTSM, WSJM, BBJI, MNAI, KSI, KLSI, dan LEM.

Berikut merupakan data *arrival time* gelombang P dan S dengan format *.pha dan data stasiun dengan format *.dat yang ditunjukkan oleh Gambar 18 dan Gambar 19.

1	#	2022	01	19	01	39	44.5	-7.46	106.02	17	3.86	3.0	0.0	0.84
2	CSJI				10.00		1.000	P						
3	CSJI				18.00		1.000	S						
4	SKJI				13.00		1.000	P						
5	SKJI				23.00		1.000	S						
6	PSJM				14.00		1.000	P						
7	PSJM				22.00		1.000	S						
8	WSJM				15.00		1.000	P						
9	WSJM				26.00		1.000	S						
10	JTJM				15.00		1.000	P						
11	JTJM				27.00		1.000	S						
12	CGJI				16.00		1.000	P						
13	CGJI				29.00		1.000	S						
14	JBJI				18.00		1.000	P						
15	JBJI				32.00		1.000	S						
16	SSJM				19.00		1.000	P						
17	SSJM				33.00		1.000	S						
18	CNJI				18.00		1.000	P						
19	CNJI				33.00		1.000	S						
20	DBJI				20.00		1.000	P						
21	DBJI				36.00		1.000	S						
22	CBJI				20.00		1.000	P						
23	CBJI				37.00		1.000	S						
24	CCJM				20.00		1.000	P						
25	CCJM				35.00		1.000	S						
26	SCJM				23.00		1.000	P						
27	SCJM				40.00		1.000	S						
28	SBJI				23.00		1.000	P						
29	SBJI				42.00		1.000	S						
30	PTJI				23.00		1.000	P						
31	CBJM				24.00		1.000	P						
32	CBJM				42.00		1.000	S						
33	PSLI				26.00		1.000	P						
34	PSLI				48.00		1.000	S						
35	BBJI				26.00		1.000	P						
36	BBJI				48.00		1.000	S						
37	JPJI				28.00		1.000	P						

Gambar 18. Data *arrival time* gelombang P dan S dengan format *.pha

Berikut merupakan data *arrival time* gelombang P dan S dengan format *.pha dan data stasiun dengan format *.dat yang ditunjukkan oleh Gambar 18 dan Gambar 19.

1	#	2022	01	19	01	39	44.5	-7.46	106.02	17	3.86	3.0	0.0	0.84
2	CSJI						10.00	1.000	P					
3	CSJI						18.00	1.000	S					
4	SKJI						13.00	1.000	P					
5	SKJI						23.00	1.000	S					
6	PSJM						14.00	1.000	P					
7	PSJM						22.00	1.000	S					
8	WSJM						15.00	1.000	P					
9	WSJM						26.00	1.000	S					
10	JTJM						15.00	1.000	P					
11	JTJM						27.00	1.000	S					
12	CGJI						16.00	1.000	P					
13	CGJI						29.00	1.000	S					
14	JBJI						18.00	1.000	P					
15	JBJI						32.00	1.000	S					
16	SSJM						19.00	1.000	P					
17	SSJM						33.00	1.000	S					
18	CNJI						18.00	1.000	P					
19	CNJI						33.00	1.000	S					
20	DBJI						20.00	1.000	P					
21	DBJI						36.00	1.000	S					
22	CBJI						20.00	1.000	P					
23	CBJI						37.00	1.000	S					
24	CCJM						20.00	1.000	P					
25	CCJM						35.00	1.000	S					
26	SCJM						23.00	1.000	P					
27	SCJM						40.00	1.000	S					
28	SBJI						23.00	1.000	P					
29	SBJI						42.00	1.000	S					
30	PTJI						23.00	1.000	P					
31	CBJM						24.00	1.000	P					
32	CBJM						42.00	1.000	S					
33	PSLI						26.00	1.000	P					
34	PSLI						48.00	1.000	S					
35	BBJI						26.00	1.000	P					
36	BBJI						48.00	1.000	S					
37	JFJI						28.00	1.000	P					

Gambar 18. Data *arrival time* gelombang P dan S dengan format *.pha

1	BLSI	-5.367600	105.245201	146.0
2	CBJI	-6.698070	106.934853	1002.0
3	CGJI	-6.613500	105.692902	196.0
4	CMJI	-7.783740	108.448517	58.0
5	CNJI	-7.308920	107.129700	592.0
6	DBJI	-6.554250	106.743683	205.0
7	KASI	-5.523480	104.495987	57.0
8	KLI	-4.836400	104.870399	60.0
9	LHSI	-3.826700	103.523300	192.8
10	LWLI	-5.017500	104.058899	935.0
11	MASI	-3.141500	102.239601	391.8
12	MDSI	-4.486030	104.178261	142.0
13	SBJI	-6.111130	106.132401	59.0
14	SKJI	-7.005090	106.563087	94.0
15	UBSI	-3.761020	102.271431	32.8
16	BKJI	-7.363300	108.532204	70.0
17	CIJI	-7.317410	108.195892	418.0
18	CSJI	-7.330170	106.521072	153.0
19	JBJI	-6.483740	106.469849	146.0
20	JPJI	-6.530660	107.417572	165.0
21	LLSI	-3.278430	102.913902	129.0
22	PKSI	-4.042800	103.263901	741.0
23	PPLI	-5.741030	105.144859	63.0
24	PSLI	-5.937320	105.510040	39.0
25	PTJI	-6.255540	106.748833	74.0
26	UTSI	-5.312570	104.550949	882.0
27	WLJI	-6.831100	105.890953	46.0
28	ABSM	-3.425400	102.262001	0.0
29	BLSM	-2.756300	102.155998	0.0
30	BOSM	-4.821300	104.162003	0.0
31	CBJM	-6.935300	107.355003	718.0
32	CCJM	-7.016800	107.140099	0.0
33	CSJM	-6.741000	108.010002	0.0
34	CWJM	-6.742400	107.444801	0.0

Gambar 19. Data stasiun dengan format *.dat

- Menjalankan program ph2dt dengan mengubah parameter control MINWIGHT, MAXDIST, MAXSEP, MAXNGH, MINLNK, MINOBS, dan MAXOBS, serta mengubah file stasiun dan nama file PHA yang sesuai. Adapun penjelasan mengenai parameter-parameter yang ada pada program ph2dt adalah sebagai berikut :

MAXDIST : Jarak max pasangan *event* gempa ke stasiun pencatat (km).

MAXSEPT : Jarak max antar *event* gempabumi yang berpasangan (km).

MAXNGH	: Jumlah max <i>event</i> gempa bumi dalam satu pasangan.
MINLNK	: Jumlah min <i>event</i> gempa bumi dalam satu pasangan.
MINOBS	: Jumlah min stasiun yang mencatat satu <i>event</i> gempa bumi.
MAXOBS	: Jumlah max stasiun yang mencatat satu <i>event</i> gempa bumi.

Berikut merupakan parameter input pada program ph2dt yang ditunjukkan oleh Gambar 20.

```

1  * ph2dt.inp - input control file for program ph2dt
2  * Input station file:
3  Stasiun.txt
4  * Input phase file:
5  taks.pha
6  *MINWGHT: min. pick weight allowed [0]
7  *MAXDIST: max. distance in km between event pair and stations [200]
8  *MAXSEP: max. hypocentral separation in km [10]
9  *MAXNGH: max. number of neighbors per event [10]
10 *MINLNK: min. number of links required to define a neighbor [8]
11 *MINOBS: min. number of links per pair saved [8]
12 *MAXOBS: max. number of links per pair saved [20]
13 *MINWGHT MAXDIST MAXSEP MAXNGH MINLNK MINOBS MAXOBS
14   0      1000    300    30    4    4    50
15
16
17
18

```

Gambar 20. Parameter input pada program ph2dt

Setelah mengubah parameter input pada program di ph2dt selanjutnya menjalankan program ph2dt.inp pada terminal *cygwin*.

Berikut merupakan tampilan dari hasil *running* ph2dt.inp di program *cygwin* yang ditunjukkan oleh Gambar 21 Yang selanjutnya akan menghasilkan *output* berupa data *differensial* (dt.ct) dan data *absolut* (event.dat dan stasiun.dat).

```

supri@LAPTOP-Q6PK07RP /cygdrive/d/My Document/UNILA/TA/hypoDD/HYPODD/HYPODD/src/ph2
dt
$ ./ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v2.1b - 08/2012)...      Thu Jun  1 22:18:46 2023

reading data ...
> stations = 371
> events total = 46
> events selected = 46
> phases = 1462
forming dtimes...
> stations selected = 57
> P-phase pairs total = 10522
> S-phase pairs total = 5309
> outliers = 295 ( 1%)
> phases at stations not in station list = 13
> phases at distances larger than MAXDIST = 0
> P-phase pairs selected = 10200 ( 96%)
> S-phase pairs selected = 5259 ( 99%)
> weakly linked events = 1 ( 2%)
> linked event pairs = 886
> average links per pair = 17
> average offset (km) betw. linked events = 45.4002037
> average offset (km) betw. strongly linked events = 45.4002037
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 220.729645

Done.  Thu Jun  1 22:18:48 2023

Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; station.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minwght,maxdist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
0.00 1000.000 300.000 30  4  4  50

```

Gambar 21. Hasil input parameter pada program ph2dt

4. Mempersiapkan *output* dari program ph2dt yaitu data *differensial* (dt.ct) dan data *absolut* (event.dat; stasiun.dat) untuk kemudian menjadi input di dalam program *hypoDD*. Data yang akan diinput ini diambil dari hasil *output* pada program ph2dt dengan cara *mengcopy file* dt.ct; event.dat; dan stasiun.dat lalu *paste* ke dalam folder program *hypoDD*.
5. Menjalankan program *hypoDD* pada terminal *cygwin* dengan melakukan iterasi untuk mendapatkan data berkualitas tinggi, dan memilih *damping optimum* untuk menghasilkan *conditional number of damping* (CND) antara 40-80.

Berikut merupakan parameter yang digunakan untuk pemilihan *damping* yang *optimum* sehingga menghasilkan *CND* yang baik yaitu sebesar 40-80 yang ditunjukkan oleh Gambar 22.

```

49 * ISTART ISOLV IAQ NSET
50   2      2    1   3
51 *
52 *--- data weighting and re-weighting:
53 * NITER:      last iteration to used the following weights
54 * WTCCP, WTCCS:  weight cross P, S
55 * WTCTP, WTCTS:  weight catalog P, S
56 * WRCC, WRCT:   residual threshold in sec for cross, catalog data
57 * WDCC, WDCT:   max dist [km] between cross, catalog linked pairs
58 * DAMP:        damping (for lsqr only)
59 *
60 * --- CROSS DATA ----- CATALOG DATA ----
61 * NITER WTCCP WTCCS WRCC WDCC WTCTP WTCTS WRCT WDCT DAMP
62   3     -999 -999 -999 -999 1.00 0.8   2   30  21
63   3     -999 -999 -999 -999 1.00 0.8   1.8 30  18
64   3     -999 -999 -999 -999 1.00 0.8   1.5 30  18
65 * 2     -999 -999 -999 -999 0.80 0.6   1.3  5  14
66 * 7     -999 -999 -999 -999 0.50 0.2   4    3   6
67 * 1      1    0.5 -999 -999 1.00 0.5 -999 -999 20 cc
68 * 3      1    0.5  5    3 1.00 0.5  10  10  20 cc
69 * 3      1    0.5  4    2 1.00 0.5  10  10  20 cc
70 *
71 * 1      1    0.5 -999 -999 1.00 0.5   40 -999 20 ct
72 * 5      1    0.5  10    5 1.00 0.5   20  5  20 ct
73 * 5      1    0.5  10    5 1.00 0.5   11  3  20 ct
74 *
75 * --- FORWARD MODEL:
76 * IMOD 0= 1D local, layered, P velocity w/ fixed vp/vs ratio (hypoDD1.0);
77 *      1= 1D local, layered, P velocity w/ variable vp/vs ratio
78 *      9= 3D local model (simulps raytracer)
79 *
80 * --- 1D model, fixed vp/vs ratio:
81 * NLAY:      number of model layers
82 * RATIO:     vp/vs ratio
83 * TOP:       depths of top of layer (km)
84 * VEL:       layer velocities (km/s)
85 * IMOD
86 * NLAY RATIO

```

Gambar 22. Pemilihan *damping optimum* untuk iterasi 1 sampai 9

Berikut merupakan tampilan dari hasil input data dalam program hypoDD yang ditunjukkan pada Gambar 23.

```
# events = 46
# stations < maxdist = 162
# stations w/ neg. elevation (set to 0) = 0
# catalog P dtimes = 7771
# catalog S dtimes = 4013
# dtimes total = 11784
# events after dtime match = 40
# stations = 48
clustering ...
Clustered events: 40
Isolated events: 0
# clusters: 2
Cluster 1: 38 events
Cluster 2: 2 events

RELOCATION OF CLUSTER: 1 Thu Jun 1 22:58:15 2023
-----
Reading data ... Thu Jun 1 22:58:15 2023`
# events = 38
# stations < maxdist = 162
# stations w/ neg. elevation (set to 0) = 0
# catalog P dtimes = 7762
# catalog S dtimes = 4007
# dtimes total = 11769
# events after dtime match = 38
# stations = 48
Initial trial sources = 38
ID ray tracing.
```

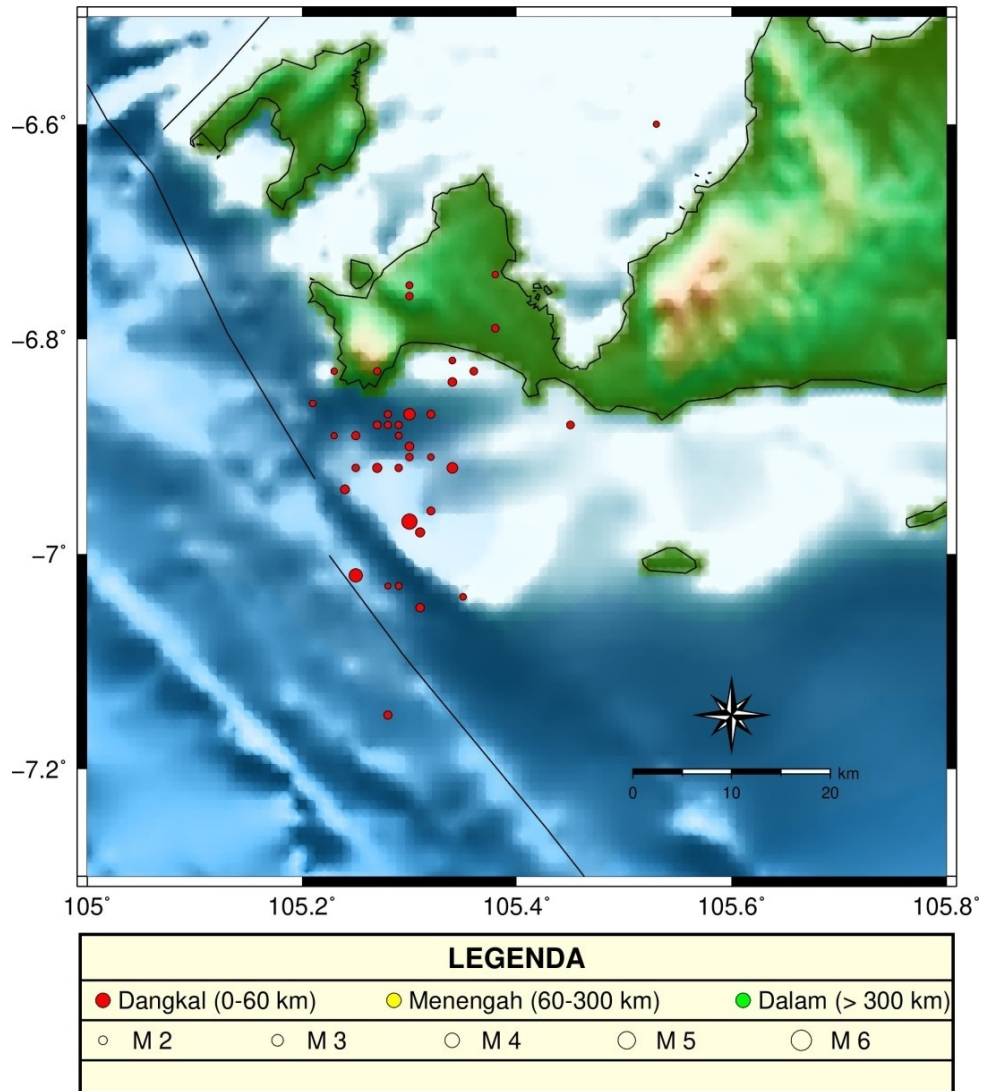
IT	EV	CT	RMSCT	RMSST	DX	DY	DZ	DT	OS	AQ	CND		
	%	%	ms	%	ms	m	m	m	ms	m			
1	1	100	88	587	-11.9	1460	785	1083	1269	124	245	0	77
2	2	100	81	515	-12.4	1151	385	515	509	61	183	0	70
3	3	100	79	466	-9.5	989	256	352	1234	49	997	0	68
4	4	97	73	400	-14.1	836	194	232	299	44	253	0	73
5	5	97	69	363	-9.3	707	200	245	279	45	237	0	72
6	6	97	67	338	-7.0	666	182	201	282	43	209	0	76
7	7	95	58	269	-20.4	714	156	181	217	34	259	0	72
8	8	95	51	217	-19.4	667	143	180	180	29	250	0	67
9	9	95	44	174	-19.6	517	134	199	184	25	261	0	63

```
writing out results ...
Program hypoDD finished. Thu Jun 1 22:58:29 2023
```

Gambar 23. Hasil input data pada program *hypoDD*

5. Membuat histogram residual waktu tempuh yang didapat dari *output* dalam program *hypoDD* untuk mengetahui perbandingan nilai residual waktu tempuh sebelum dan sesudah relokasi dan dikatakan hasil relokasi baik jika sesudah relokasi menunjukkan frekuensi yang tinggi mendekati angka nol (0).

6. Menggunakan perangkat lunak GMT, plot titik hiposenter untuk membandingkan distribusi jiposenter sebelum dan sesudah relokasi.

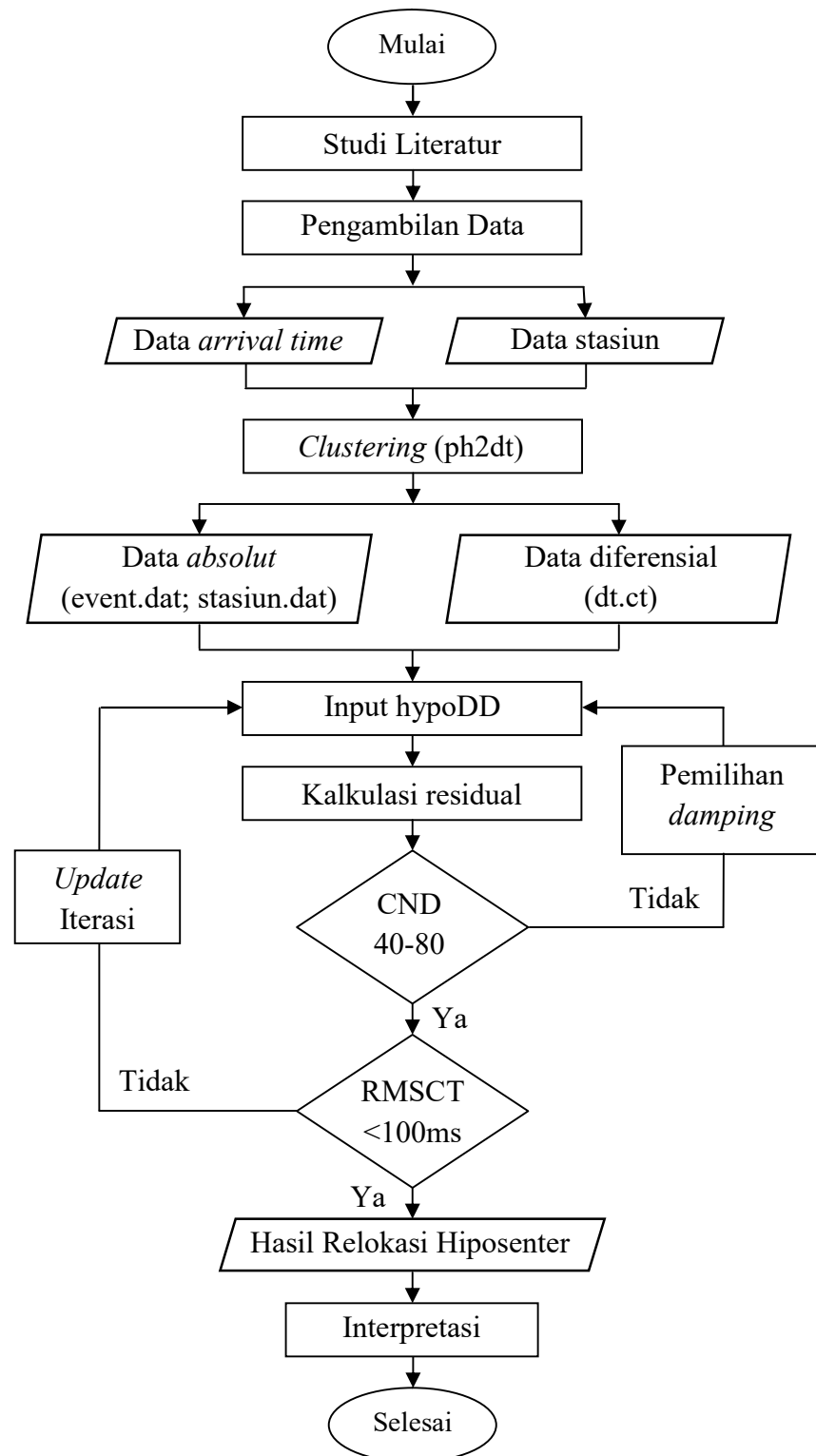


Gambar 24. *Plotting* titik hiposenter gempa bumi dengan GMT

7. Membandingkan distribusi hasil hiposenter sebelum dan sesudah relokasi.

4.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Diagram alir

VI KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi hiposenter dapat direlokasi menggunakan metode *double difference* dengan akurasi lebih yang dibuktikan dengan residual waktu tempuh setelah relokasi mendekati nol (0) dan kedalaman gempa 10 km (*fix depth*) berubah sehingga kedalamannya lebih berfluktuasi.
2. Hasil relokasi menunjukkan bahwa sebaran gempa lebih terkonsentrasi dan dapat menampilkan pola tektoniknya. Sebanyak 36 dari 46 kejadian gempabumi berhasil direlokasi.

7.2. Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya dalam melakukan penelitian kedepannya digunakan data yang lebih banyak dan lebih luas cakupan daerahnya agar menampilkan hasil yang lebih maksimal dan tahu lebih banyak penyebab terjadinya gempabumi yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmawinata, S. dan Abidin, H. Z. 1991. *Geologi lembar Ujung Kulon, Jawa Barat*. Departemen Pertambangan dan Energi Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Bullen, K. E. dan Bolt, A. B. 1985. *An introduction to the theory of seismology*. Cambridge University Press. Melbourne.
- Delfebriyadi. 2008. Studi *hazard* kegempaan wilayah provinsi banten dan DKI Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Andalas*, 1 (30).
- Dewi, F. C., Karyanto, Rustadi, Wibowo, A. 2017. Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera Bagian Selatan Menggunakan Metode *Double Difference* (HYPO-DD). *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 3 (2).
- Douglas, A. 1967. Joint Hypocenter Determination. *Nature*. 215: 47-48.
- Hurukawa, N. dan Imoto, M. 1992. Subducting Oceanic Crust of Philippine Sea and Pasific Plates and Weak Zone Normal Compression in Kanto District, Jepang. *Geophys. J. Int.* 109: 639-652.
- Ibrahim, G. dan Subarjo. 2004. *Buku Seismologi*. BMKG. Jakarta.

- Ihsan, M. 2008. Analisa Ketahanan Gempa Pada Struktur Rumah Tradisional Sumatera. *Skripsi*. Program Studi S1 Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Josef, I. 2006. *Alfred Wegener's Hypothesis on Continental Drift and Its Discussion in Petermanns Geographische Mitteilungen*. 75 (1). 29-35.
- Kennett, B. L. N., Engdahl, E. R. dan Buland, R. 1995. Constraints on seismic velocities in the earth from traveltimes. *Geophys J. Int.* 122: 108 - 124.
- Nishi, K. 2005. *Hypocenter Calculation Software GAD (Geiger's method with Adaptive Damping)*. Silver Expert JICA Indonesia version 1.
- Putri, Y.T. 2012. Relokasi Gempabumi Utama dan Gempabumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010). *Skripsi*. Depok. Universitas Indonesia.
- Reid H. F . 1982. *Elastic Rebound Theory of Earthquake*. BSSA. 11.
- Riyanti, A. dan Rasimeng, S. 2019. Analisis Zona Bahaya Gempabumi Berdasarkan Metode Deterministik dan Pendekatan Geomorfologi Kota Padang Sumatera Barat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*. 5: 101- 115.
- Rodi, W. dan Taksoz, M. N. 2000. *Grid Search Techniques for Seismic Event Location*. Conference paper. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge Earth Resources Lab.
- Sambridge, M. 1999. Earthquake Hypocenter Location Using Genetic Algorithms. *Bulletin Seismological Society of America*. 83 (5): 1467-1491.
- Soetoto. 2017. *Geomorfologi*. Yogyakarta : Penerbit Ombak.

- Sudana, D., dan Santosa, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Cikarang, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sunardi, B., Rohadi, S., Masturyono, Widiyantoro, S., Sulastri, Susilanto, P., Hardy, T., dan Setyonegro, W. 2012. Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Jawa Menggunakan Teknik Double Difference. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*.
- Sunarjo., Gunawan, M. T., dan Pribadi, S. 2012. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta : BMKG.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*.
- Wadati. 1933. On *The Travel Time Of Earthquake Wave*. Part II Geophysics Mag 7.
- Wagner, D., Koulakov, I., Rabbel, W., Luehr, B. G., Wittwer, A., Kopp, H., Bohm, M., Asch, G and ther MERAMEX Scientists. 2007. Joint inversion of active and passive seismic data in Central Java, *Geophys. J. Int.* 10.
- Waldhauser, F., dan Ellsworth, W. L., 2000. A Double-Difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*. 90: 1353–1368.
- Wibowo, A., 2017. Relokasi Hiposenter dan Tomografi Gelombang Seismik Wilayah Sumatera Menggunakan Metode *Double Difference*. Thesis. Program Studi S2 Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.