

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI WILAYAH
SUMATERA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN METODE
*DOUBLE-DIFFERENCE (HYPODD)***

(Skripsi)

Oleh

HERA CHANDRA DEWI



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2018**

ABSTRACT

THE RELOCATION OF EARTHQUAKE HYPOCENTER IN SOUTHERN SUMATERA USING *DOUBLE DIFFERENCE (HYPODD)* METHOD

By

Fhera Chandra Dewi

Southern Sumatra is a prone area of earthquake due to the subduction of tectonic plates that are Indo-Australian Plate and Eurasian Plate. The tectonic condition of this region needs to be identified by determining the hypocenter of the earthquake that occurred. Accuracy in the determining the hypocenter has a certain error rate so. Therefore, to make it more accurate, relocation should be done to redefine the earthquake hypocenter. To produce a more accurate hypocenter, the hypocenter relocation is done by using the double difference method. Basically, the principle of the double-difference method is that if the distance between two adjacent earthquake events is closer than the distance between the earthquake events to the station, then the second ray path of the two earthquake events can be considered as approximately equal. In this study, the data was in the form of arrival time data of P and S waves from April 2009 to December 2017 with coordinates 0° to 7° latitude and 98° to 106° longitude. The number of relocated earthquakes was 3592 of 3630 earthquakes. Some earthquakes were not relocated because in the relocation process there were several earthquakes that became airquake. Airquake is an earthquake that is located above the surface after being relocated. The results of the hypo-centered relocation using hypoDD showed a better hypocenter, proved by the large amount of residual travel time after the near-zero relocation and earthquake with 10 km depth changed and described tectonic clearer tectonic patterns and subduction. The distribution of earthquakes sourced from the subduction zone of the Indo-Australian and Eurasian Plate encounters shown by earthquake distributions that were getting deeper to the east. In addition, the angle of subduction from north to south seemed increasingly steep as the age of the subduction zone to the south getting older and was not easily broken so less earthquake occurred.

Keywords: Earthquake, hypocenter relocation, Double Difference (HypoDD), Subduction zone.

ABSTRAK

RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI WILAYAH SUMATERA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE- DIFFERENCE* (HYPODD)

Oleh
Fhera Chandra Dewi

Sumatera Bagian Selatan merupakan daerah yang rawan terhadap bencana gempabumi karena adanya aktifitas tumbukan lempeng tektonik yaitu Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Kondisi tektonik wilayah ini perlu diketahui dengan melakukan penentuan hiposenter dari gempa yang terjadi. Akurasi dalam penentuan hiposenter memiliki tingkat kesalahan tertentu sehingga perlu dilakukan relokasi untuk menentukan ulang hiposenter gempabumi agar menjadi lebih akurat. Untuk menghasilkan hiposenter yang lebih akurat ini dilakukanlah relokasi hiposenter dengan menggunakan Metode *Double Difference*. Pada dasarnya prinsip dari Metode *Double Difference* adalah jika jarak antara dua *event* gempabumi yang berdekatan lebih dekat dibandingkan jarak antara event gempabumi ke stasiun, maka *ray path* kedua *event* gempabumi tersebut dapat dianggap mendekati sama. Pada penelitian ini data yang digunakan berupa data *arrival time* gelombang P dan S pada rentang waktu April 2009 s.d Desember 2017 dengan koordinat 0° s.d 7° LS dan 98° s.d 106° BT. Jumlah gempabumi yang terelokasi adalah sebanyak 3592 dari 3630 gempabumi. Gempabumi yang tidak terelokasi disebabkan saat proses relokasi terdapat beberapa gempabumi yang menjadi *airquake*. *Airquake* adalah gempabumi yang berlokasi di atas permukaan setelah direlokasi. Hasil dari relokasi hiposenter menggunakan *hypoDD* menghasilkan hiposenter yang lebih baik, dibuktikan dengan banyaknya waktu residual waktu tempuh setelah relokasi yang mendekati nilai nol dan gempabumi dengan kedalaman 10 km mengalami perubahan serta lebih dapat menggambarkan pola tektonik dan subduksi. Distribusi gempabumi bersumber dari zona subduksi dari pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, ditunjukkan dengan distribusi gempa yang semakin dalam ke arah Timur. Serta sudut penunjaman subduksi Utara ke Selatan terlihat semakin curam karena usia dari zona subduksi semakin ke Selatan semakin tua dan tidak mudah patah sehingga tingkat kegempaannya lebih sedikit terjadi.

Kata kunci: Gempabumi, Relokasi hiposenter, *Double Difference* (HypoDD), Zona Subduksi

**RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI WILAYAH
SUMATERA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN METODE
*DOUBLE-DIFFERENCE (HYPODD)***

Oleh
FHERA CHANDRA DEWI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2018**

Judul Skripsi : **RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI
WILAYAH SUMATERA BAGIAN SELATAN
MENGUNAKAN METODE *DOUBLE-
DIFFERENCE* (HYPODD)**

Nama Mahasiswa : **Fhera Chandra Dewi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051026

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

Pembimbing II

Rustadi, S.Si., M.T.
NIP 19720511 199703 1 002

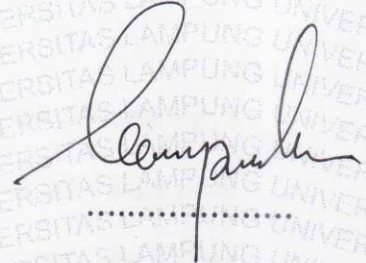
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

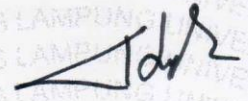
Ketua : Karyanto, S.Si., M.T.



Sekretaris : Rustadi, S.Si., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**



Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 04 Juli 2018

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juli 2018



Fhera Chandra Dewi

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Karang Menjangan, pada tanggal 24 April 1996, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Sutrisno dan Ibu Ernawati. Penulis menempuh Pendidikan di Taman Kanak-kanak Islam Terpadu (TKIT) Bustanul Ulum Kab. Lampung Tengah pada tahun 2002, pendidikan di Sekolah Dasar Islam Terpadu (SDIT) Bustanul Ulum Kec. Terbanggi Besar Kab. Lampung Tengah pada tahun 2008, pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 3 Way Pengubuan Kec. Way Pengubuan Kab. Lampung Tengah pada tahun 2011, dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Terbanggi Besar Kec. Terbanggi Besar Kab. Lampung Tengah pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan seperti Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik sebagai Eksekutif Muda pada periode 2014/2015, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Universitas Lampung sebagai staff Kementerian Pergerakan dan Pemberdayaan Wanita (PPW) pada periode 2015/2016, Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG) pada periode 2015/2016 dan 2016/2017 sebagai anggota biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga (KRT). Selain organisasi internal kampus, penulis juga aktif dalam organisasi eksternal yaitu sebagai anggota SEG (*Society of Exploration Geophysicsts*) Universitas Lampung.

Pada bulan Januari tahun 2017 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata di Desa Bangunrejo, Kec. Bangunrejo, Kab. Lampung Tengah. Pada bulan Agustus tahun 2017 penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta dengan judul **“Klasifikasi Jenis Gempa bulan Agustus 2016 dan Penentuan Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Merapi pada tanggal 29-30 Juli 2017 dengan Menggunakan Software Seiscomp3”**. Dan pada bulan Februari-Maret tahun 2018 penulis melaksanakan Tugas Akhir (TA) di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di Kotabumi, Lampung Utara dengan judul **“Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera bagian Selatan Menggunakan Metode *Double Difference* (HypoDD)”**. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan Pendidikan sarjananya pada 04 Juli 2018.

PERSEMBAHAN

Aku persembahkan Karya Kecil ku ini untuk

Allah S.W.T

*Atas segala karunia-Mu yang senantiasa
aku rasakan dalam menyelesaikan skripsiku ini*

***Papa dan Mamiku Tercinta
(Bambang Sutrisno dan Ernawati)***

*Kalian adalah alasan untuk tetap berjuang. Terimakasih yang tak
terkira atas segala doa, keringat, lelah dan kebaikan serta cinta kasih
dan sayang yang senantiasa selalu kalian berikan kepadaku. Semoga
panjang umur, sehat selalu dan tetap disampingku untuk membimbingku
dalam menjalani kehidupan ini. Maafkan aku yang belum bisa
membahagiakan dan membanggakan kalian. Aku sayang kalian,
malaikatku..*

***Kakak dan adikku Tersayang
(Diky Anton Mahendra dan Jefri Ardiansyah)***

Terimakasih atas segala dukungan dan semangat yang kalian berikan

Keluarga Besar ku

*Berkat dukungan dan doa-doa serta nasihat yang kalian berikan dalam
menempuh pendidikan ku, terimakasih atas semuanya*

Sahabat-sahabatku

*Atas segala waktu yang diberikan dalam suka dan duka kalian selalu ada
untuk mendukungku, terimakasih telah mewarnai hidupku*

***Teknik Geofisika Angkatan 2014
Keluarga Besar Teknik Geofisika Unila
Almamater Tercinta Unila***

MOTTO

Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan pada ilmu pengetahuan.

(Ali bin Abi Thalib)

Dan hanya kepada Tuhanmulah (Allah S.W.T) hendaknya kamu berharap.

(Qs. Al Insyirah: 8)

Selalu ada harapan bagi mereka yang berdoa dan selalu ada jalan bagi mereka yang berusaha.

Segala apa yang kita usahakan pasti akan membuahkan hasil yang terbaik, terlepas itu sesuai atau tidak dengan yang kita inginkan.

(Fhera Chandra Dewi)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahiwabarakatuh.

Alhamdulillah, Puji dan Syukur yang tidak terhingga penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya, rezeki, petunjuk, dan ilmu kepada penulis, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dalam rangka memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Fakultas Teknik Universitas Lampung. Shalawat dan salam semoga selalu untuk nabiNya yakni Muhammad S.A.W. yang selalu dirindukan syafaatnya kelak di akhirat.

Skripsi yang berjudul **“Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera bagian Selatan Menggunakan Metode *Double Difference* (HypoDD)”** merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di BMKG Kotabumi, Lampung Utara.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat untuk penambahan ilmu dimasa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahiwabarakatuh.

Penulis

Fhera Chandra Dewi

SANWACANA

Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan yaitu:

1. **Allah S.W.T** yang senantiasa memberi nikmat dan berkah Nya dalam melancarkan segala proses tugas akhir hingga akhirnya dapat terselesaikan dengan baik.
2. **Mami dan Papaku** tercinta, atas segala kasih dan sayang yang telah diberikan, atas segala do'a, dukungan dan motivasi yang diberikan. Semoga Allah memberikan kita umur yang panjang dalam kesehatan dan kebahagiaan agar kelak bersama-sama kita dapat menikmati keberhasilanku.
3. **Kakak dan Adikku**, terimakasih telah mendukungku, selalu ada untuk menghiburku dan memberikan semangat.
4. **Keluarga besarku**, atas segala dukungan serta nasihat yang diberikan dalam menempuh pendidikan ku selama ini.
5. **Bapak Adhi Wibowo, S.T., M.Sc.**, selaku pembimbing sewaktu penelitian tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian.
6. **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing I atas semua kesabaran, bimbingan, kritikan, saran dan kesedian untuk meluangkan waktu disela-sela kesibukan.

7. **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya, memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
8. **Bapak Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus penguji dalam sidang skripsi, terimakasih atas segala kritik dan saran serta ilmu yang telah diberikan.
9. **Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing akademik selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
10. Seluruh **dosen pengajar** Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.
11. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Marsuno, Mbak Dhea** dan **Mas Dayat** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi.
12. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kotabumi sebagai institusi yang telah memberi kesempatan untuk melaksanakan Tugas Akhir.
13. **Bapak Joharman, S.H** selaku pimpinan BMKG Kotabumi yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir.
14. **Mba Ferina** yang telah banyak membantu dan memotivasi serta memberikan tempat tinggal yang nyaman bagi penulis selama melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi.
15. **Pak Heru** dan **Ibu Diah, Ine** juga **Mepi** yang telah banyak membantu dan memberikan keceriaan selama masa-masa tugas akhir dikotabumi.
16. Seluruh pegawai **BMKG Kotabumi** yang telah banyak membantu penulis saat melaksanakan Tugas Akhir.

17. Teman seperjuangan melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi, **Agnes Cahya Windiyanti** telah berbagi ilmu dan berjuang ngedraft bersama-sama.
18. Teman seperjuangan KP/TA di BMKG Kotabumi, **Arie Satria, Bovi Datria, M. Abdullah Ali**, dan **Kak Putri Ambarsari** yang telah banyak berbagi ilmu, pengalaman serta memberikan semangat, semoga kelak sukses dan dipertemukan kembali dalam keadaan baik.
19. Teman-teman **Korakora Squad** : **Alfan, Agung, Ida, Windi** dan **Isti** yang telah mendukung serta memberikan keceriaan pada masa-masa perkuliahan.
20. Sahabat ku **Widhia Ekma Ningtyas** dan **Ridha Nur Asyi**, tempat berbagi suka maupun duka, terimakasih atas segalanya.
21. Teman-teman seangkatan 2014 : **Windi, Agra, Agung, Budi, Amir, Andi, Alfa, Alfan, Arief, Aul, Aziz, Cinthia, Delvia, Desta, Diana, Dicky, Dimas, Ewin, Evi, Fajar, Faqih, Filza, Fitria, Gaffar, Galang, Ghiat, Helbrat, Ida, Ikhwan, Ilham, Indra, Isti, Jefri, Martin, Azri, Morales, Farizi, Asrin, Niko, Zaki, Romi, Nabila, Nana, Norman, Ideng, Nupit, Tiwi, Pungky, Malik, Iqbal, Rhaka, Ridho, Aldi, Rita, Pakde, Dharta, Sofyan, Kiki, Umidiana, Ipeh, Viska, Ino, Witta dan Yuda.**
22. Terimakasih banyak atas semua pihak yang terlibat dan tidak dapat disebutkan satu persatu, semoga segala kebaikan kalian dibalas oleh Allah S.W.T.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna bagi kita semua. Aamiin.

Penulis

Fhera Chandra Dewi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4

C. Batasan Masalah	4
D. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Daerah Penelitian	6
B. Tektonik Pulau Sumatera.....	7
C. Studi Relokasi Hiposenter.....	11
III. TEORI DASAR	
A. Klasifikasi Gempabumi	13
B. Teori <i>Elastic Rebound</i>	15
C. Pergerakan Lempeng Tektonik.....	16
D. Gelombang Seismik	19
E. Parameter Sumber Gempa	23
F. Metode Penentuan Episenter.....	26
G. Metode <i>Double Difference</i>	30
IV. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	35
B. Data Penelitian dan Perangkat Lunak	35
C. Pengolahan Data.....	36
D. Diagram Alir	42
E. Time Schedule	43
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Pengamatan	44
1. Histogram Residual.....	44
2. Sebelum Relokasi.....	46
3. Sesudah Relokasi	47

B. Pembahasan.....	48
1. Distribusi <i>Event</i> Gempa	48
2. Pola Penunjaman (Subduksi)	54
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	66
B. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta geologi Sumatera	6
Gambar 2. Peta tektonik Indonesia.....	7
Gambar 3. Tektonik dari Lempeng India dan Lempeng Australia. Batas antara Lempeng India dan Lempeng Australia ditunjukkan dengan garis putus-putus (<i>Wharton Ridge</i>)	8
Gambar 4. Sembilan belas segmen sesar Sumatera	10
Gambar 5. Peta seismisitas wilayah Sumatera bagian Selatan periode April 2009-Desember 2017.....	11
Gambar 6. (a) Data dari katalog <i>Northern California Seismic Network</i> (NCSN) di patahan Northern Hayward dan (b) Hasil setelah relokasi <i>double-difference</i>	12
Gambar 7. Model <i>Elastic Rebound</i>	15
Gambar 8. Pergerakan lempeng tektonik	17
Gambar 9. Batas-batas lempeng tektonik.....	17
Gambar 10. Simulasi gerakan gelombang P dan S	21
Gambar 11. Gelombang <i>love</i> dan gelombang <i>Rayleigh</i>	22
Gambar 12. Diagram wadati	23
Gambar 13. Jarak hiposenter	24
Gambar 14. Penentuan episenter metode lingkaran	27
Gambar 15. Penentuan episenter metode geiger	29
Gambar 16. Penentuan episenter metode grid search.....	30

Gambar 17. Ilustrasi dari algoritma metode <i>double difference</i>	31
Gambar 18. Data <i>arrival time</i>	36
Gambar 19. Data stasiun	37
Gambar 20. Parameter input pada program ph2dt	37
Gambar 21. Hasil input parameter pada program ph2dt	38
Gambar 22. Pemilihan <i>damping</i> optimum untuk iterasi 1 sampai 8	39
Gambar 23. Hasil input data pada program hypodd.....	40
Gambar 24. <i>Plotting</i> titik hiposenter gempabumi dengan GMT.....	41
Gambar 25. Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 26. Histogram waktu tempuh sebelum dan sesudah relokasi	45
Gambar 27. Event gempabumi sebelum relokasi.....	46
Gambar 28. Event gempabumi sesudah relokasi.....	47
Gambar 29. (a) Persebaran episenter sebelum relokasi dan (b) sesudah relokasi	51
Gambar 30. (a) Perbedaan episenter sebelum relokasi di wilayah A dan wilayah B dan (b) Perbedaan episenter sesudah relokasi di wilayah A dan wilayah B	52
Gambar 31. Pemodelan 3D persebaran hiposenter sebelum relokasi	53
Gambar 32. Pemodelan 3D persebaran hiposenter sebelum relokasi	53
Gambar 33. Pemodelan 3D persebaran hiposenter sesudah dan sebelum relokasi	53
Gambar 34. Irisan penampang vertikal	55
Gambar 35. (a) Penampang A-A' sebelum relokasi dan (b) Penampang A-A' sesudah relokasi.....	57
Gambar 36. (a) Penampang B-B' sebelum relokasi dan (b) Penampang B-B' sesudah relokasi	58
Gambar 37. (a) Penampang C-C' sebelum relokasi dan (b) Penampang C-C' sesudah relokasi	59

Gambar 38. (a) Penampang D-D' sebelum relokasi dan (b) Penampang D-D' sesudah relokasi.....	60
Gambar 39. (a) Penampang E-E' sebelum relokasi dan (b) Penampang E-E' sesudah relokasi.....	62
Gambar 40. (a) Penampang F-F' sebelum relokasi dan (b) Penampang F-F' sesudah relokasi	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Segmen utama sesar sumatera.....	9
Tabel 2. Model kecepatan gelombang P dan S	34
Tabel 3. <i>Time schedule</i> penyusunan skripsi	43
Tabel 4. Klasifikasi jumlah event gempabumi sebelum proses relokasi dan sesudah relokasi	49

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada *Ring of Fire in Pacific Rims* (rangkaiian jalur gunung api aktif yang tersebar diatas lempeng bumi) dan terletak dipertemuan 3 lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tersebut bergerak relatif antara yang satu terhadap yang lainnya. Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia yang bertumbukan berpengaruh terhadap wilayah Indonesia bagian barat (Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara), sedangkan tumbukan antara kedua lempeng tersebut dengan Lempeng Pasifik berpengaruh terhadap wilayah Indonesia bagian timur (Irian dan Maluku Utara).

Adanya proses pergerakan lempeng-lempeng tektonik ini menyebabkan wilayah Indonesia menjadi wilayah yang rawan terhadap bencana alam gempabumi tektonik. Salah satunya adalah wilayah Pulau Sumatera, khususnya Sumatera bagian Selatan. Hal ini diakibatkan karena adanya zona penunjaman (*subduction zone*) Lempeng Indo-Australia yang bergerak dari arah barat daya menunjam ke dalam Lempeng Eurasia yang berada di sebelah timur laut. Di sebelah Barat Pulau

Sumatera dikenal dengan adanya jalur gempa mediteran dan di darat Pulau Sumatera terdapat Patahan Besar Sumatera (*Great Sumatran Fault*) yang membujur disepanjang Bukit Barisan dan membentang dari Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat sampai ke Teluk Lampung. Sehingga wilayah Sumatera bagian Selatan tersebut memiliki tingkat seismisitas yang cukup tinggi sebagai penyebab terjadinya bencana alam gempabumi.

Akurasi penentuan lokasi titik hiposenter gempabumi memiliki tingkat kesalahan (*error*) yang berbeda yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya seperti jaringan stasiun seismik, distribusi data gempa, pembacaan waktu tiba gempa dan model struktur kecepatan (Palvis, 1986). Penentuan lokasi hiposenter gempabumi sangatlah penting dilakukan guna untuk menganalisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola zona subduksi. Dengan begitu kondisi tektonik serta seismisitas wilayah penelitian sebagai penyebab terjadinya gempabumi dapat diketahui. Akurasi untuk penentuan hiposenter sangat bergantung pada kualitas model struktur kecepatan gelombang gempa yang digunakan yaitu besarnya kecepatan gelombang gempa yang merupakan fungsi dari kedalaman dan dinyatakan dalam model satu dimensi. Semakin sesuai nya model kecepatan yang digunakan maka akan semakin meningkat pula akurasi dalam penentuan hiposenter tersebut. Dalam sistem peringatan dini gempa bumi, model kecepatan gelombang gempa umumnya menggunakan model kecepatan global sehingga akurasi dalam penentuan hiposenter nya kurang optimal. Sehingga diperlukan perhitungan ulang dengan teknik relokasi hiposenter untuk memperbaiki akurasi, ketelitian dan ketepatan

dalam penentuan posisi hiposenter sehingga nantinya akan didapatkan posisi hiposenter yang lebih baik dan akurat dibandingkan sebelumnya.

Penentuan lokasi titik hiposenter gempabumi telah banyak dilakukan dan dikembangkan melalui berbagai macam Teknik dan metode. Salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *double difference* (Waldhauser, 2001). Metode *double difference* ini merupakan salah satu metode relokasi hiposenter yang dikembangkan dari metode geiger dengan menggunakan data waktu tempuh residual dari dua hiposenter gempa yang berdekatan ke setiap stasiun seismograf pencatatnya. Metode ini pertama kali diperkenalkan dan dikembangkan oleh Felix Waldhauser dan Ellsworth pada tahun 2000 dan implementasi dari metode ini adalah software *hypoDD* versi 1.0-03/2001 yang dibuat guna untuk memudahkan perhitungan dalam merelokasikan hiposenter. Metode *double difference* menggunakan data waktu tempuh antara pasangan gempa yang berdekatan ke stasiun pengamat. Prinsip dari metode ini adalah jika terdapat dua gempa yang memiliki jarak lebih dekat satu sama lainnya dibandingkan dengan jarak gempa tersebut ke stasiun pencatatnya, maka *ray path* atau penjalaran lintasan dari kedua gempa tersebut dapat dianggap sama. Dengan asumsi tersebut, maka selisih waktu tempuh antara kedua gempa yang terekam pada satu stasiun yang sama selanjutnya dapat dianggap hanya sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter tersebut. Sehingga kesalahan model kecepatan yang digunakan dapat diminimalisasi.

Penelitian ini difokuskan untuk mengaplikasikan metode *double-difference* untuk merelokasi gempabumi wilayah Sumatera bagian Selatan. Metode ini dipilih karena

mampu merelokasi gempa meskipun dengan jumlah data yang banyak sekalipun namun model kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan. Sehingga diharapkan dengan mengaplikasikan metode *double-difference* akan diperoleh posisi hiposenter gempabumi wilayah Sumatera bagian Selatan dengan lebih baik dan akurat sehingga bermanfaat dalam studi kegempaan lebih lanjut.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini meliputi :

1. Melakukan relokasi data hiposenter gempabumi wilayah Sumatera bagian Selatan dengan menggunakan metode *double-difference*.
2. Menganalisis perbedaan hasil sebaran kegempaan wilayah Sumatera bagian Selatan sebelum dilakukan relokasi dan sesudah dilakukan relokasi.
3. Menganalisis struktur tektonik wilayah Sumatera bagian Selatan secara detail.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Data yang digunakan adalah data katalog gempabumi (x, y, z, t) wilayah Sumatera bagian Selatan periode April 2009 – Desember 2017 dengan batas koordinat 0° LS - 7° LS dan 98° BT - 106° BT dari BMKG.
2. Parameter yang direlokasi adalah hiposenter (bujur, lintang dan kedalaman) dan waktu terjadinya gempabumi (*origin time*).

3. Model kecepatan yang digunakan dalam relokasi gempabumi adalah untuk kedalaman <20 km menggunakan interpolasi dari model Wagner dkk., 2007, kedalaman >20 km menggunakan interpolasi dari model ak135 (Kennett dkk., 1995), dan model referensi gelombang S menggunakan nilai yang ditentukan dari V_p/V_s yaitu 1,78 (Wibowo, 2017).
4. *Clustering* yang digunakan adalah *distance clustering*, yaitu pengelompokan hiposenter berdasarkan jarak.

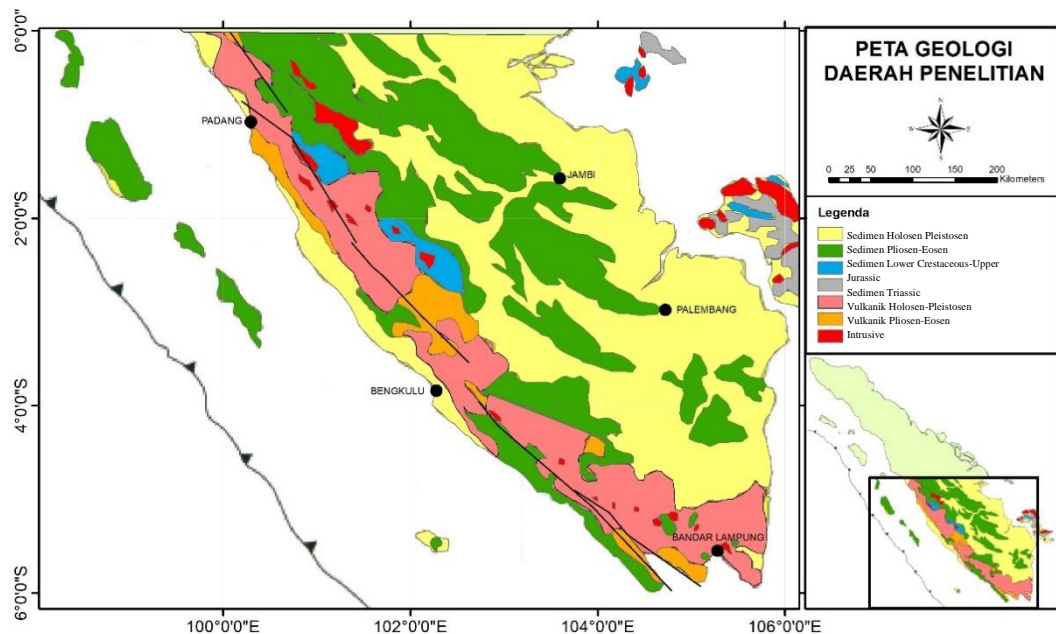
D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu diharapkan mampu memberikan informasi mengenai posisi hiposenter gempabumi wilayah Sumatera bagian Selatan yang lebih akurat pada rentang waktu April 2009 – Desember 2017 sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi. Selain itu diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai studi relokasi posisi hiposenter gempabumi.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada koordinat 0° LS - 7° LS dan 98° BT - 106° BT yang mencakup wilayah Sumatera bagian selatan yaitu Selat Sunda, Lampung, Palembang, Bengkulu, Jambi, dan Padang. Kelompok geologi pada wilayah tersebut berupa kelompok sedimen, vulkanik dan instrusif. Peta dan posisi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

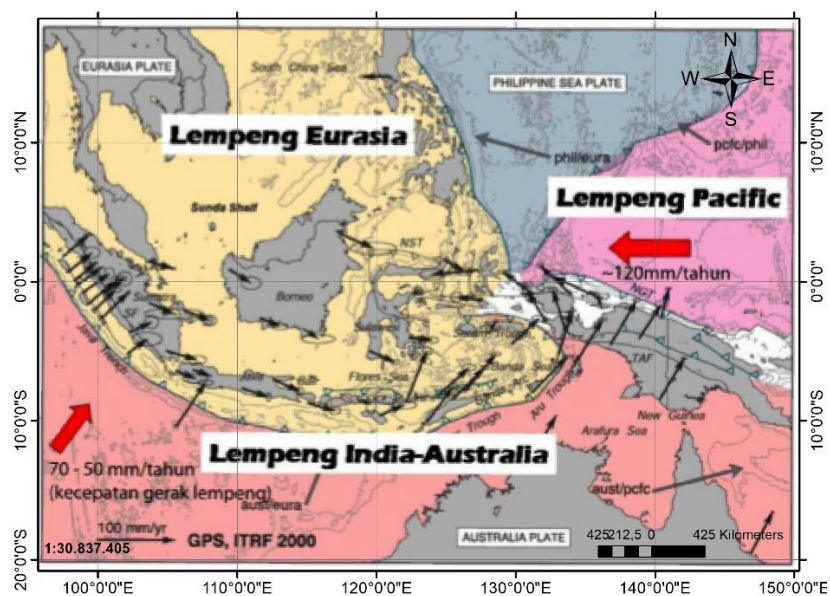


Gambar 1. Daerah Penelitian (Modifikasi dari Stephenson dan Aspden, 1982)

B. Tektonik Pulau Sumatera

Lempeng India dan Lempeng Australia mengalami pergerakan relatif ke arah utara menuju ke bawah Lempeng Eurasia dengan kecepatan yaitu sebesar 6 cm/tahun. Pulau Sumatera sendiri berada diantara kedua lempeng tersebut sehingga di sebelah barat merupakan zona pertemuan antara Lempeng India-Australia dan Lempeng Eurasia yang disebut zona subduksi atau zona penunjaman lempeng.

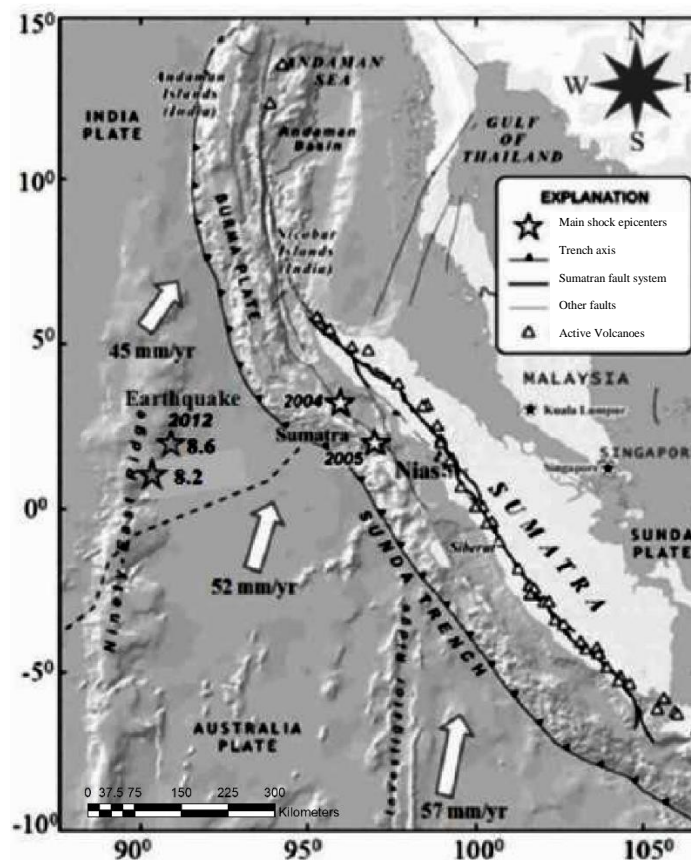
Penyusupan Lempeng benua membentuk sistem busur subduksi Sumatera. Lempeng benua tersebut berumur tua dan juga tebal meliputi busur vulkanik, kapur dan tersier. Penyusupan batuan sedimen elastis yang sangat tebal di zona subduksi Sumatera terdorong ke atas yang kemudian membentuk rangkaian kepulauan salah satunya yaitu Pulau Sumatera. Di sepanjang pantai barat Sumatera inilah merupakan jalur subduksi. Akibat dari adanya jalur subduksi tersebut menjadikan sebagian besar wilayah Sumatera ini khususnya Sumatera bagian Selatan sangat rentan terhadap adanya bahaya bencana alam gempa bumi. Gambaran tektonik kepulauan Indonesia dan Lempeng tektonik nya ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Tektonik Indonesia (Irsyam, dkk., 2010)

a. Zona Patahan Sumatera

Proses tumbukan lempeng-lempeng tektonik di wilayah Sumatera membentuk patahan-patahan yang disebut patahan besar Sumatera dan juga Sesar Mentawai. Patahan Sumatera terbentang dari Aceh sampai Teluk Semangko. Sedangkan Sesar Mentawai yang terletak dilaut berada di antara cekungan muka dan zona prisma akresi di bagian barat Pulau Sumatera (Hidayati dkk., 2010). Sesar Sumatera memiliki aktivitas seismik yang sangat tinggi dan Sesar Mentawai sebagian wilayahnya memiliki aktivitas seismik yang juga cukup tinggi (Mustafa, 2010). Pergerakan relatif antara pertemuan Lempeng India dan Lempeng Australia yang menuju ke arah Lempeng Eurasia dari utara ke selatan yaitu sebesar 45 mm/tahun, 52 mm/tahun, dan 57 mm/tahun (McCaffrey, 2009) ditunjukkan pada **Gambar 3**.

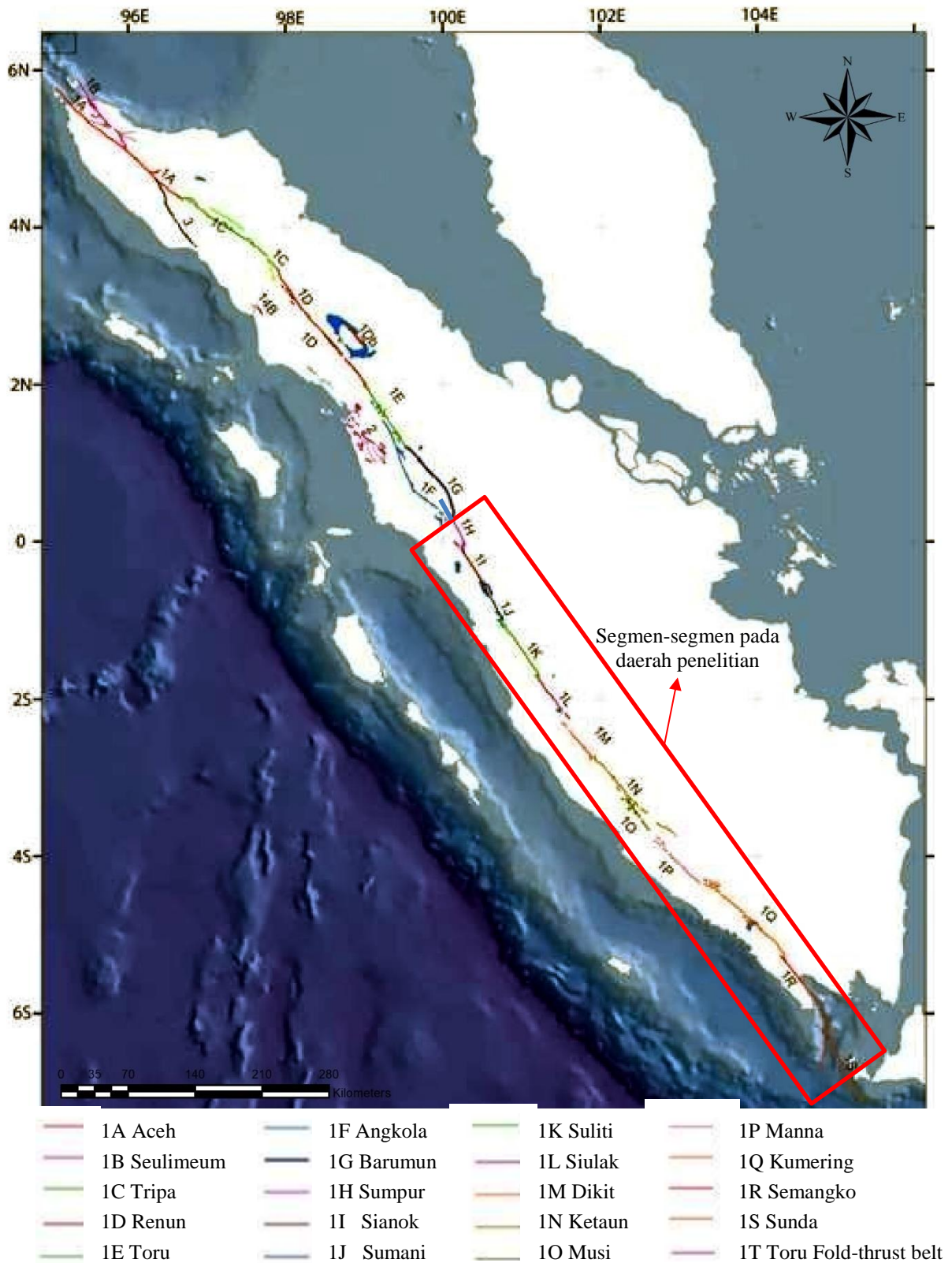


Gambar 3. Tektonik Lempeng India dan Lempeng Australia. Batas antara Lempeng India dan Lempeng Australia ditunjukkan dengan garis putus-putus (*Wharton Ridge*). (McCaffrey, 2009).

Sesar Sumatera terdiri dari segmen-segmen sepanjang 1.900 km yang terjadi akibat dari adanya tekanan miring dari tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng India-Australia sebesar $10^{\circ}\text{N} - 7^{\circ}\text{S}$. Terdapat 19 segmen Sesar Sumatera dengan Panjang segmen berkisar 60 – 200 km dan 12 segmen diantaranya termasuk ke dalam wilayah penelitian, ditunjukkan pada **Gambar 4**. Titik koordinat Segmen utama Sesar Sumatera dan panjang masing-masing segmen serta catatan kegempaan yang pernah terjadi pada segmen tersebut ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Segmen utama Sesar Sumatera (Sieh dan Natawidjaja, 2000)

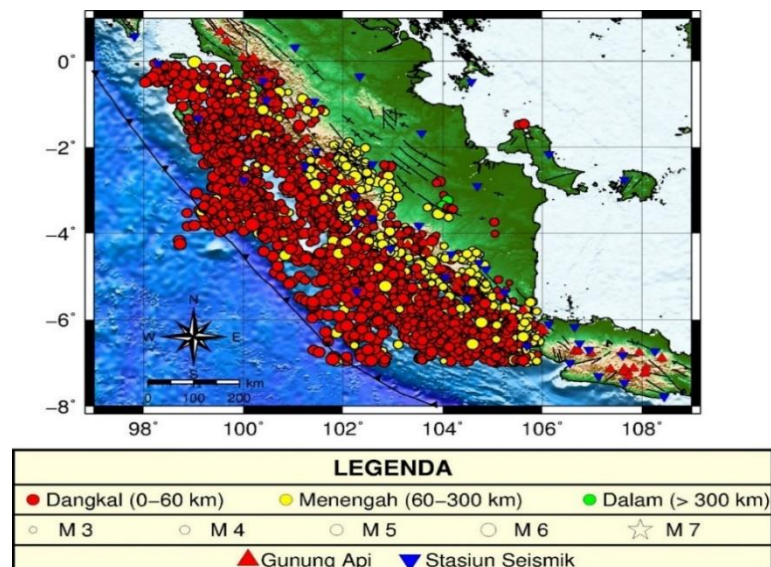
No	Segmen	Koordinat	Panjang (km)	Catatan Gempa besar
1	Sunda	$6,75^{\circ}\text{LS} - 5,9^{\circ}\text{LS}$	~150	tidak ada catatan
2	Semangko	$5,9^{\circ}\text{LS} - 5,25^{\circ}\text{LS}$	65	1908
3	Kumering	$5,3^{\circ}\text{LS} - 4,35^{\circ}\text{LS}$	150	1933; 1994
4	Manna	$4,35^{\circ}\text{LS} - 3,8^{\circ}\text{LS}$	85	1893
5	Musi	$3,65^{\circ}\text{LS} - 3,25^{\circ}\text{LS}$	70	1979
6	Ketaun	$3,35^{\circ}\text{LS} - 2,75^{\circ}\text{LS}$	85	1943; 1952
7	Dikit	$2,75^{\circ}\text{LS} - 2,3^{\circ}\text{LS}$	60	tidak ada catatan
8	Siulak	$2,25^{\circ}\text{LS} - 1,7^{\circ}\text{LS}$	70	1909; 1995
9	Suliti	$1,75^{\circ}\text{LS} - 1,0^{\circ}\text{LS}$	95	1943
10	Sumani	$1,0^{\circ}\text{LS} - 0,5^{\circ}\text{LS}$	60	1926
11	Sianok	$0,7^{\circ}\text{LS} - 0,1^{\circ}\text{LU}$	90	1822; 1926
12	Sumpur	$0,0 \text{ LU} - 0,3^{\circ}\text{LU}$	35	tidak ada catatan
13	Barumun	$0,3^{\circ}\text{LU} - 1,2^{\circ}\text{LU}$	125	tidak ada catatan
14	Angkola	$0,3^{\circ}\text{LU} - 1,8^{\circ}\text{LU}$	160	1892
15	Toru	$1,2^{\circ}\text{LU} - 2,0^{\circ}\text{LU}$	95	1984; 1987
16	Renun	$2,0^{\circ}\text{LU} - 3,55^{\circ}\text{LU}$	220	1916; 1921; 1936
17	Tripa	$3,2^{\circ}\text{LU} - 4,4^{\circ}\text{LU}$	180	1990; 1997
18	Aceh	$4,4^{\circ}\text{LU} - 5,4^{\circ}\text{LU}$	200	tidak ada catatan
19	Seulimeum	$5,0^{\circ}\text{LU} - 5,9^{\circ}\text{LU}$	120	1964



Gambar 4. Sembilan belas Segmen Sesar Sumatra
(Natawidjaja dan Triyoso, 2007)

b. Zona Subduksi Sumatera

Zona subduksi Sumatera merupakan wilayah yang paling sering melepaskan energi gempabumi. Sehingga wilayah Sumatera bagian Selatan memiliki tingkat seismisitas yang tinggi, ditunjukkan pada **Gambar 5**.

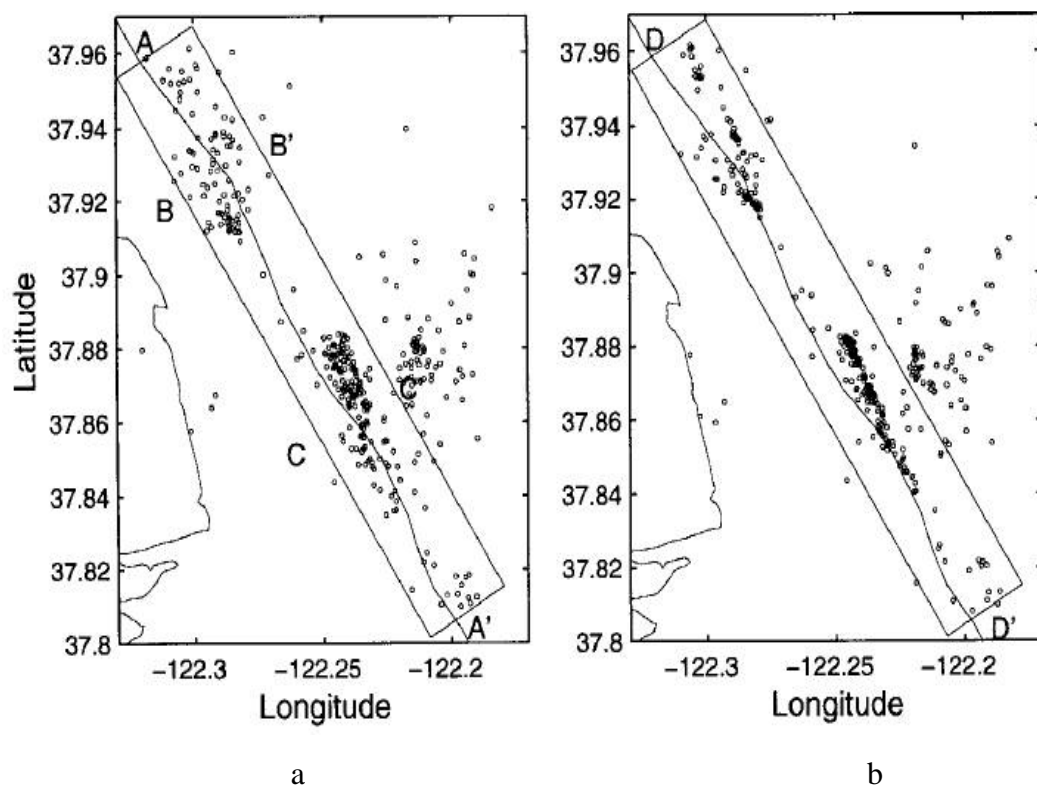


Gambar 5. Peta seismisitas wilayah Sumatera bagian Selatan periode April 2009-Desember 2017

C. Studi Relokasi Hiposenter

Akurasi penentuan lokasi titik hiposenter gempabumi memiliki tingkat kesalahan (*error*) yang berbeda yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya seperti jaringan stasiun seismik, distribusi data gempa, pembacaan waktu tiba gempa dan model struktur kecepatan (Palvis, 1986). Sehingga lokasi titik hiposenter pada data katalog gempabumi tidak selalu menunjukkan lokasi titik hiposenter secara tepat dan akurat. Untuk itu maka diperlukan pengembangan metode untuk melakukan relokasi hiposenter gempabumi guna untuk mendapatkan titik hiposenter yang lebih akurat dibandingkan dengan sebelumnya.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam melakukan relokasi adalah metode relokasi *double-difference* yang pertama kali dikembangkan oleh Felix Waldhauser. Metode relokasi *double-difference* mempunyai asumsi bahwa apabila terdapat dua gempa bumi dengan jarak yang lebih kecil dibandingkan dengan jarak gempa tersebut terhadap stasiun maka *raypath* (penjalaran lintasan) dari kedua gempa tersebut dapat dianggap sama (Waldhauser dan Ellsworth, 2000). Felix Waldhauser menerapkan metode relokasi *double-difference* tersebut yakni di patahan Northern Hayward, California pada tahun 2000 (ditunjukkan pada **Gambar 6**). Data yang digunakan adalah data dari katalog *Northern California Seismic Network* (NCSN) tahun 1984-1998. Hasil relokasi yang dilakukan tersebut menunjukkan bahwa titik hiposenter dari katalog yang sebelumnya tersebar menjadi lebih terfokus dan menunjukkan patahan yang sebenarnya.



Gambar 6. (a) Data dari katalog *Northern California Seismic Network* (NCSN) di patahan Northern Hayward, California dan (b) Hasil setelah relokasi metode *double-difference* (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).

BAB III. TEORI DASAR

A. Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi adalah suatu peristiwa bergetarnya bumi yang dihasilkan dari gelombang seismik akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba. Berdasarkan sumber terjadinya gempa, gempabumi dikelompokkan (Subardjo dan Ibrahim, 2004) menjadi:

1. Gempabumi Tektonik, yaitu gempabumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik aktif seperti tumbukan antar lempeng samudera maupun lempeng benua.
2. Gempabumi Vulkanik, yaitu gempabumi yang terjadi karena adanya aktivitas vulkanik gunungapi seperti naiknya magma akibat desakan dari dalam gunungapi ke permukaan.
3. Gempabumi Runtuhan, yaitu gempabumi yang terjadi karena adanya suatu runtuhan atau longsoran dari batuan.
4. Gempabumi Buatan, yaitu gempabumi yang terjadi karena dibuat oleh manusia, seperti ledakan dinamit atau ledakan nuklir.

Berdasarkan dalamnya sumber gempabumi, gempabumi dikelompokkan (Subardjo

dan Ibrahim, 2004) menjadi :

1. Gempabumi dangkal (kedalaman 0 - 60 km)
2. Gempabumi menengah (kedalaman 60 – 300 km)
3. Gempabumi dalam (> 300 km)

Berdasarkan kekuatan gempa nya, gempabumi diklasifikasikan (Subardjo dan Ibrahim, 2004) menjadi:

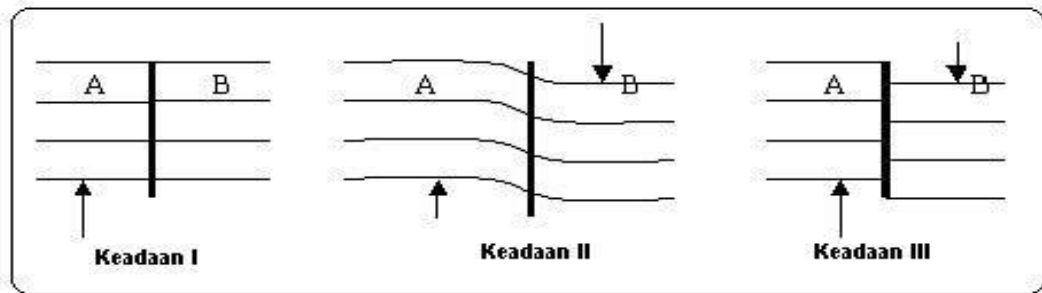
1. Gempa sangat besar, $M > 8,0$
2. Gempa besar, $7,0 < M < 8,0$
3. Gempa sedang, $4,5 < M < 7,0$
4. Gempa mikro, $1,0 < M < 4,5$
5. Gempa ultra mikro, $M < 1,0$

Pola umum terjadinya gempabumi menurut pengelompokan Mogi, dibedakan dalam 3 jenis (Subardjo dan Ibrahim, 2004) yaitu :

1. Tipe I : yaitu terjadinya gempabumi utama (*main shock*) tanpa diawali gempa perdahuluan (*fore shock*), namun diikuti dengan banyak gempabumi susulan (*after shock*). Gempabumi tipe I ini merupakan gempa bumi yang paling umum terjadi.
2. Tipe II : yaitu terjadinya gempabumi utama (*main shock*) yang diawali oleh gempa-gempa pendahuluan (*fore shock*) dan kemudian diikuti oleh gempa susulan (*after shock*) yang berjumlah cukup banyak.
3. Tipe III : yaitu gempabumi yang terjadi tanpa adanya gempabumi utama (*main shock*), biasa disebut gempabumi “swarm”.

B. Teori *Elastic Rebound*

Teori Elastisitas (*Elastic Rebound Theory*) yang pertama kali dikemukakan oleh seorang *seismologist* Amerika bernama Reid menjelaskan mengenai proses terjadinya gempa bumi yang terdapat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Model *Elastic Rebound* (Subardjo dan Ibrahim, 2004)

Keadaan I merupakan suatu lapisan batuan yang belum mengalami perubahan bentuk secara geologi. Aktivitas dan pergerakan didalam bumi terjadi terus menerus yang lama kelamaan akan mengalami *stress* atau tekanan dan energinya terakumulasi sehingga dapat merubah bentuk geologi dari lapisan tersebut. Keadaan II dimana suatu lapisan batuan telah mengalami *stress* sehingga menyebabkan perubahan bentuk geologi. Pada daerah A mengalami *stress* ke atas, dan daerah B mengalami *stress* ke bawah. Proses tersebut terjadi terus menerus sehingga *stress* yang terkandung pada daerah ini cukup besar dan mampu berubah menjadi gesekan antara daerah A dan daerah B. Pada dasarnya batuan memiliki suatu tingkat keelastisitas tertentu dan apabila lapisan batuan tersebut sudah mencapai tingkat elastisitas yang maksimum dan tidak mampu lagi untuk menahan *stress*, maka akan terjadi deformasi berupa patahan secara tiba-tiba. Pada keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang sudah mengalami deformasi berupa patahan. Patahnya batuan tersebut merupakan sumber dari terjadinya gempa bumi.

C. Pergerakan Lempeng Tektonik

Zona pergerakan lempeng tektonik (**Gambar 8**) terbagi menjadi 3 (Awaludin, 2011), yang ditunjukkan pada **Gambar 9**, yaitu :

1. Zona Divergen

Zona divergen merupakan zona dimana adanya pergerakan antara dua lempeng tektonik atau lebih dan bergerak saling menjauh satu sama lainnya.

2. Zona Konvergen

Zona konvergen merupakan zona pergerakan dua lempeng tektonik yang bergerak saling mendekat dan dibedakan menjadi :

a. Zona Tumbukan

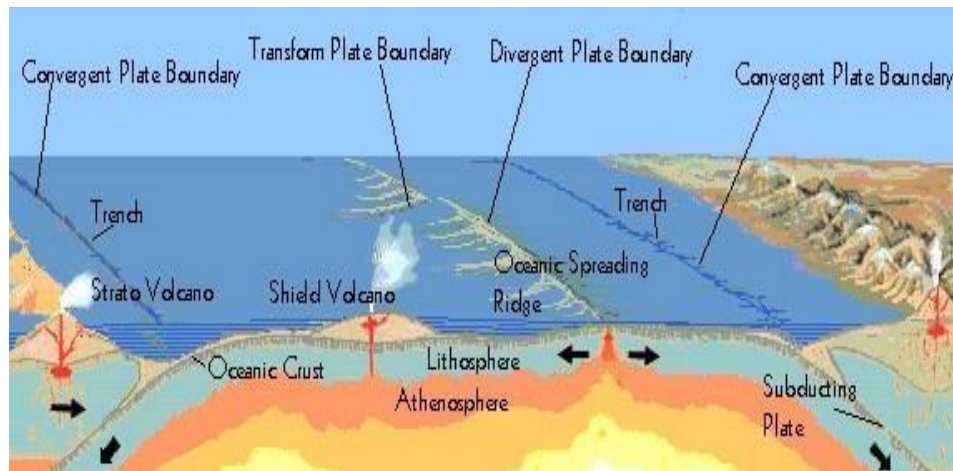
Zona tumbukan merupakan zona pertemuan antara dua lempeng tektonik dengan berat jenis sama yang bergerak saling mendekat. Proses tumbukan ini dapat menyebabkan terbentuknya pegunungan lipatan seperti Pegunungan Himalaya dan Pegunungan Andes. Aktifitas tumbukan lempeng ini merupakan sumber dari terjadinya gempa tektonik dangkal dan gempa vulkanik.

b. Zona Subduksi

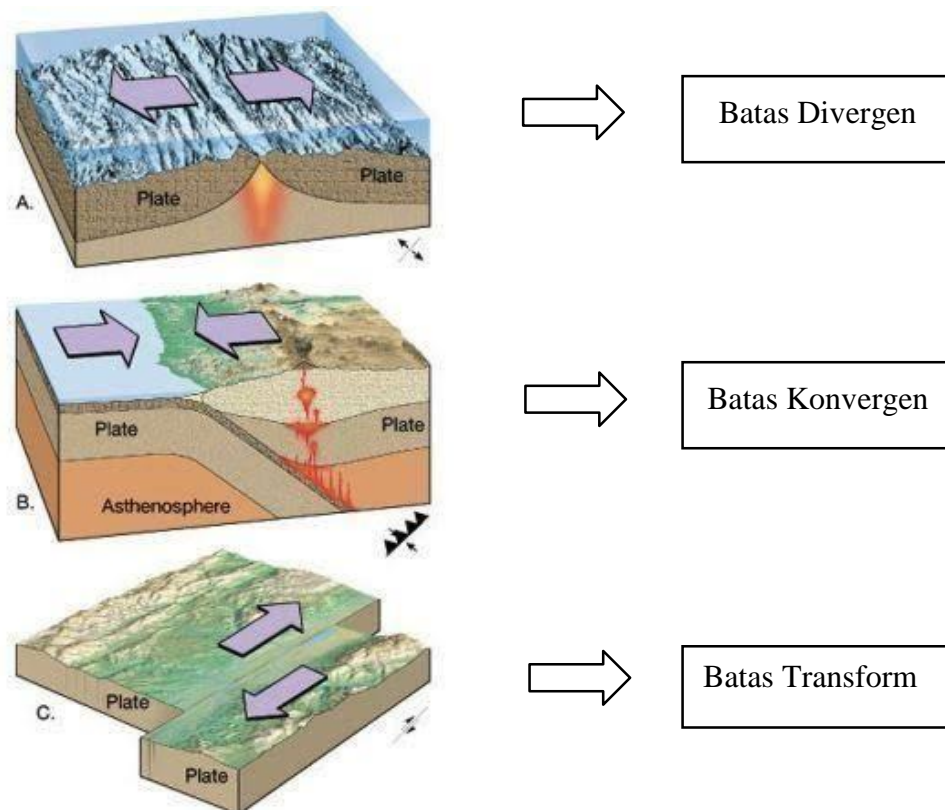
Zona Subduksi merupakan zona pertemuan antara dua lempeng tektonik dengan berat jenis yang berbeda dan bergerak saling mendekat, akibatnya lempeng yang lebih berat akan menyusup dan menunjam ke bawah lempeng yang lebih ringan. Zona subduksi ini ditandai dengan adanya palung laut atau *trench* sebagai batas pertemuan antara kedua lempeng. Selain itu, pada zona subduksi juga terdapat rangkaian gunung api yang sejajar *trench* sebagai akibat dari melelehnya lempeng yang menunjam pada kedalaman 100-400 km. Aktifitas merupakan sumber dari terjadinya gempa tektonik dangkal, menengah, dalam serta gempa vulkanik.

3. Zona Transform

Zona transform adalah zona persinggungan antara dua lempeng tektonik yang bergerak relatif sejajar serta berlawanan arah sehingga pada batas antara kedua lempeng ini terjadi gesekan. Aktivitas ini merupakan sumber dari terjadinya gempa dangkal dan bersifat merusak.



Gambar 8. Pergerakan lempeng tektonik (Subardjo dan Ibrahim, 2004)



Gambar 9. Batas-batas lempeng tektonik (Subardjo dan Ibrahim, 2004)

D. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang energi yang merambat disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, seperti adanya patahan atau ledakan. Energi tersebut akan merambat ke seluruh bagian bumi dan terekam oleh seismometer. Akibat yang ditimbulkan dari adanya gelombang seismik tersebut adalah berupa kejadian gempa bumi. Perambatan dari gelombang seismik tergantung pada sifat keelastisitasan yang dimiliki oleh suatu batuan yang dilewati. Gelombang seismik terdiri dari Gelombang badan dan Gelombang Permukaan.

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang seismik yang merambat di dalam bumi. Berdasarkan arah penjalaran dan gerak partikelnya, gelombang badan dapat dibedakan menjadi gelombang Primer (*P-wave*) dan gelombang Sekunder (*S-wave*).

- *P-wave* atau Gelombang Primer

Gelombang P atau gelombang primer merupakan gelombang yang tercatat pertama kali pada alat seismometer. Hal tersebut disebabkan karena gelombang P ini memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain. Bentuk penjalaran gelombang P adalah longitudinal yaitu gelombang yang arah gerak partikelnya sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang P ini dapat menjalar di semua jenis medium. Arah perambatan gelombang P yang melalui suatu medium mengalami tekanan (*stress*) dan meregang seperti spiral yang sering disebut dengan *Push-Pull Wave* atau *Compressional Wave*. Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah :

$$V_P = \alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Dimana V_p adalah kecepatan gelombang P, λ adalah konstanta *Lame*, μ adalah *rigiditas* dan ρ adalah densitas (massa jenis) batuan.

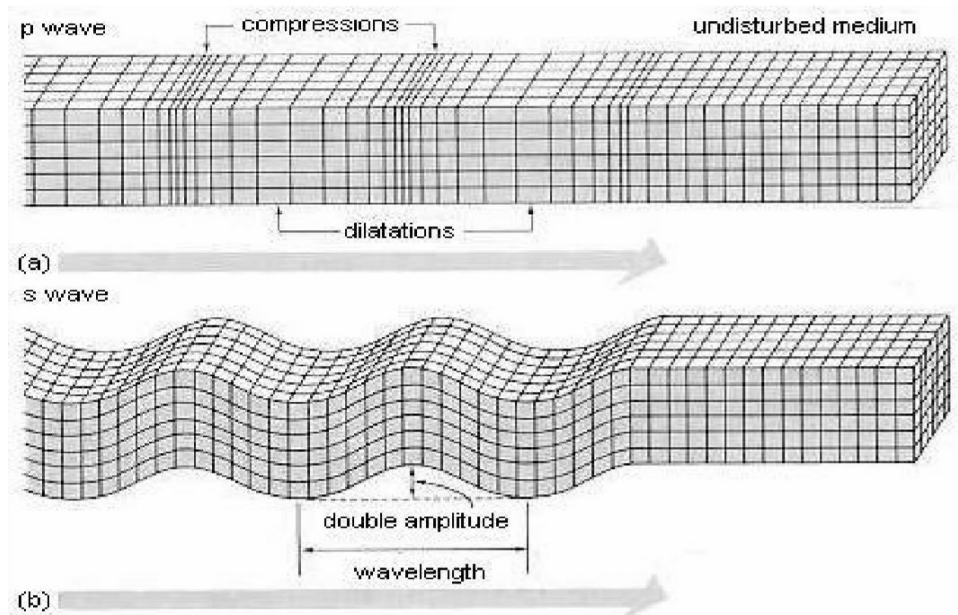
- *S-wave* atau Gelombang Sekunder

Gelombang S atau gelombang sekunder merupakan gelombang seismik yang memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan gelombang P. gelombang S ini merupakan gelombang transversal yaitu gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus dengan arah perambatannya. Gelombang ini akan tercatat pada alat seismometer setelah gelombang P tercatat lebih dulu dikarenakan waktu perambatannya lebih lambat. Gelombang S ini tidak dapat merambat di medium cair dan hanya dapat merambat di medium padat saja. Persamaan dari kecepatan gelombang S adalah :

$$V_s = \beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

dimana V_s adalah kecepatan gelombang S, μ adalah *rigiditas* dan ρ adalah densitas (massa jenis) batuan.

Ilustrasi dari pergerakan gelombang badan ditunjukkan pada **Gambar 10**. Gelombang badan menyebabkan adanya gerakan partikel-partikel media terhadap arah penjalaran gelombang. Apabila arah getaran gelombang S terpolarisir pada bidang vertikal, maka gelombang tipe ini disebut sebagai gelombang SV. Namun apabila arah getarannya terpolarisir pada bidang horizontal, maka gelombang ini tipe ini disebut sebagai gelombang SH.



Gambar 10. Ilustrasi gerakan gelombang P dan S (Hidayati, 2010)

b. Gelombang Permukaan (*Surface wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang seismik yang hanya merambat di permukaan bumi saja. Semakin dalam nya gelombang merambat, maka amplitudonya akan semakin melemah. Seperti contohnya gelombang air yang mengalir diatas permukaan bumi, memiliki gerakan yang lebih lambat dibandingkan dengan gelombang badan. Gelombang Permukaan dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu gelombang *Love* dan Gelombang *Rayleigh*.

- Gelombang *Rayleigh*

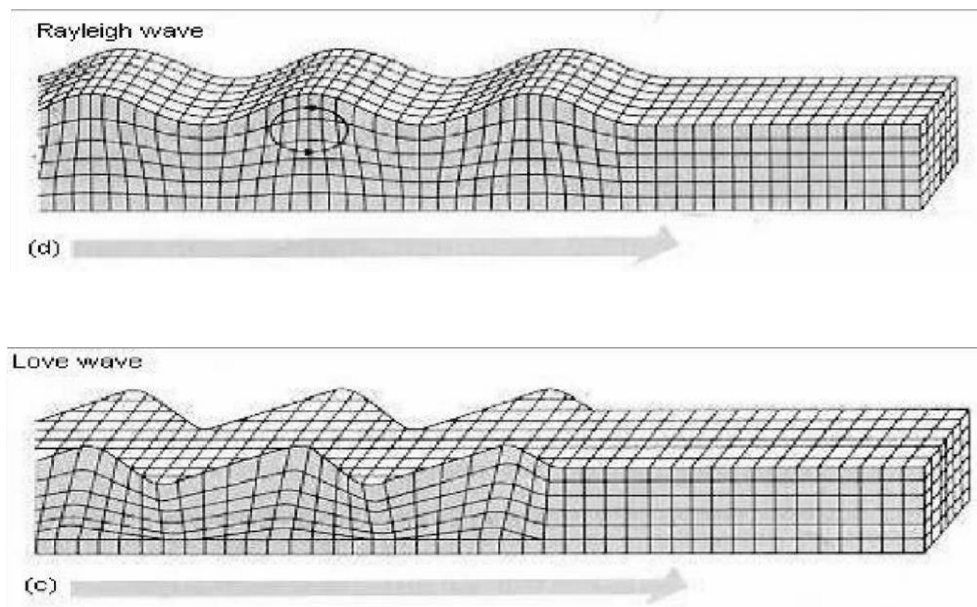
Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang yang merambat di permukaan saja dan hanya dapat merambat pada media padat serta arah gerak partikelnya berlawanan arah dengan arah perambatannya. Gerakan partikel dari gelombang *Rayleigh* merupakan kombinasi dari gerakan partikel Gelombang P dan Gelombang S.

- Gelombang *Love*

Gelombang *Love* adalah gelombang yang hanya merambat pada batas lapisan permukaan saja dan hanya bergerak pada bidang horisontal saja (Putri, 2012).

Gelombang *Love* adalah Gelombang Permukaan yang gerakan dari partikelnya mirip dengan Gelombang S, yaitu terjadi secara transversal. Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang semakin bertambahnya kedalaman gelombang tersebut merambat, maka amplitudonya akan terus meningkat dan gelombang ini merupakan gelombang permukaan yang terbesar.

Gelombang *Love* memiliki kecepatan perambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gelombang *Rayleigh*. Ilustrasi perambatan gelombang permukaan ditunjukkan pada **Gambar 11**.



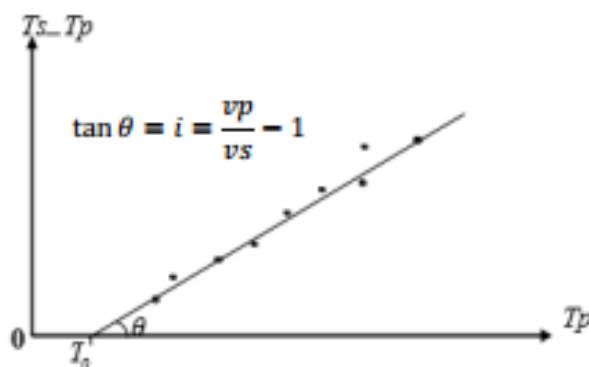
Gambar 11. Gelombang *love* dan gelombang *Rayleigh* (Hidayati, 2010)

E. Parameter Sumber Gempa

Informasi seismik yang berkaitan dengan kejadian kegempaan dapat berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang, yang kemudian diproses secara manual atau non manual akan menjadi data yang kemudian dapat dibaca. Informasi berupa data tersebut selanjutnya akan mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan juga analisis sehingga nantinya menjadi suatu parameter gempabumi. Parameter-parameter gempabumi tersebut meliputi :

a. Waktu terjadinya gempa (*Origin time*)

Origin time atau waktu terjadinya gempabumi merupakan waktu dimana terjadinya pelepasan energi pertama kali pada lempeng tektonik bumi yang mengalami tekanan akibat tumbukan ataupun gesekan yang dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*). Pada umumnya, *Origin time* dapat ditentukan menggunakan diagram wadati yaitu pada perpotongan garis T_p ketika $T_s - T_p$ sama dengan nol yang ditunjukkan pada **Gambar 12**.



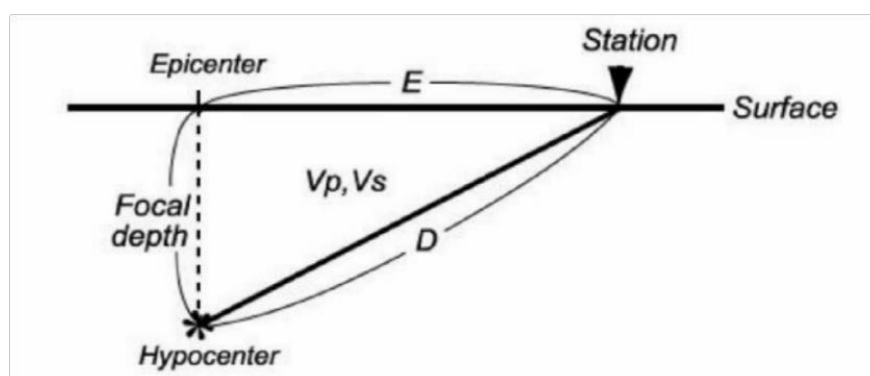
Gambar 12. Diagram Wadati (Hurukawa, dkk., 2008)

Dimana T_p adalah waktu tiba gelombang P, T_s adalah waktu tiba gelombang S, T_o

adalah *origin time*, V_p adalah kecepatan gelombang P dan V_s adalah kecepatan gelombang S. Model struktur dalam bumi tidak diperhatikan dalam penggunaan diagram wadati, sehingga hanya mengasumsikan struktur bumi yang bersifat homogen. Hasil dari pembacaan *origin time* ini menunjukkan hiposenter yang kurang akurat, sehingga harus dilakukan relokasi ulang untuk mengetahui hiposenter yang lebih akurat dengan struktur bumi yang heterogen.

b. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat gempa bumi yang berada di dalam bumi. Kadangkala hiposenter diasumsikan sebagai sebuah titik, namun pada kenyataan sebenarnya hiposenter merupakan sebuah bidang yang luasnya tergantung pada besarnya energi yang dilepaskan. Diagram wadati juga dapat digunakan untuk menentukan posisi dari hiposenter, dengan mengasumsikan bahwa lapisan bumi adalah homogen. Penentuan hiposenter dengan diagram wadati ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Jarak hiposenter (Hurukawa, dkk., 2008)

Dari **Gambar 13**, D adalah jarak hiposenter dengan stasiun pencatat, dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$D = T_{po} * V_p \quad (3)$$

$$\begin{aligned} D &= T_{so} * V_s = (T_s - T_o) * V_s \\ &= \{(T_s - T_p) + (T_p - T_o)\} * V_s \\ &= (T_{sp} + T_{po}) * V_s \text{ dimana } T_{sp} \text{ adalah } T_s - T_p. \end{aligned} \quad (4)$$

T_s merupakan waktu tiba gelombang S, T_p merupakan waktu tiba gelombang P, V_p merupakan kecepatan gelombang P dan V_s merupakan kecepatan gelombang S. Dari persamaan 3 dan 4 diatas, dapat diketahui jarak dari stasiun pencatat ke pusat gempa bumi atau hiposenter.

c. Episenter

Episenter merupakan proyeksi dari hiposenter di permukaan bumi yang tegak lurus hiposenter tersebut. Lokasi titik episenter dibuat dalam koordinat kartesian atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

d. Magnitudo

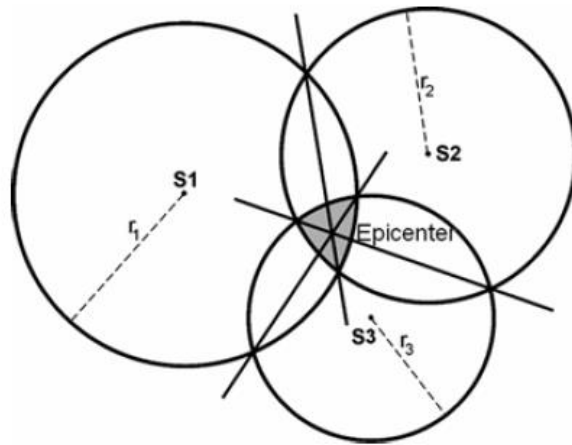
Magnitudo merupakan ukuran kekuatan gempa bumi, yaitu parameter gempa yang mengukur besarnya energi gempa bumi yang dilepaskan dari sumbernya. Jadi pengukuran magnitudo yang dilakukan di berbagai tempat yang berbeda harus menghasilkan nilai yang sama walaupun gempa yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda. Magnitudo ini menjadi parameter yang digunakan sebagai tolak ukur kuat atau tidaknya gempa bumi yang terjadi. Satuan magnitudo yang dipakai adalah Skala Richter.

F. Metode Penentuan Episenter

Penentuan lokasi sumber gempa bumi memerlukan data waktu tiba gelombang seismik sekurang – kurangnya yaitu 4 data waktu tiba gelombang P. Sedangkan penentuan magnitudo gempa bumi memerlukan pengukuran amplitude dan periode atau lamanya gelombang tersebut tercatat di suatu stasiun seismik. Selain itu juga diperlukan data posisi (letak koordinat) stasiun pencatat yang digunakan dan model kecepatan gelombang seismik. Episenter gempa dapat di tentukan secara *manual* menggunakan metode lingkaran, dan juga dapat ditentukan menggunakan program komputer yaitu dengan metode Geiger dan Grid Search. Untuk lebih jelasnya, metode-metode tersebut adalah sebagai berikut :

a. Metode Lingkaran

Metode lingkaran menggunakan data waktu tiba gelombang P dan S dengan menggunakan minimal tiga stasiun pencatat yaitu S_1 , S_2 dan S_3 yang kemudian dapat dibuat masing-masing lingkaran dari masing-masing pusat stasiun dan jari-jari r_1 , r_2 dan r_3 yang ditunjukkan pada **Gambar 14**. Jari-jari lingkaran adalah didapat dari perhitungan jarak hiposenter $d = (T_p - T_0) \cdot \alpha$, dimana α adalah kecepatan gelombang P, T_p adalah waktu kedatangan gelombang P, sedangkan T_0 adalah waktu terjadinya gempa di sumber. Koordinat titik episenter berada di dalam daerah yang diasir dimana ketiga lingkaran saling berpotongan yang sebelumnya didapat dengan cara membuat garis perpotongan dari masing-masing lingkaran yang berpotongan. Perkiraan paling tepat adalah perpotongan yang dihasilkan berupa titik, namun tidak selalu ketiga lingkaran tersebut dapat berpotongan di satu titik, hal tersebut dapat mengindikasikan adanya kesalahan pada observasi.



Gambar 14. Penentuan episenter metode lingkaran (Bormann, 2002)

Jarak hiposenter dari masing-masing stasiun yang dibuat dapat dihitung dengan menggunakan formula Omori yaitu :

$$D = k * T_{sp} \quad (5)$$

Dimana k adalah konstanta Omori dan T_{sp} adalah selisih waktu tiba gelombang P dan S. Nilai k juga dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$k = \frac{V_p}{\frac{V_p}{V_s} - 1} \quad (6)$$

Dimana :

V_p : kecepatan gelombang P

V_s : kecepatan gelombang S

Apabila besarnya kecepatan gelombang P (V_p) di kerak bumi sekitar 5.7-6.0 km/s maka V_p/V_s bernilai sekitar 1.73, dan hampir semua gempa bumi yang terjadi memiliki nilai k sekitar 8 km/s.

b. Metode Geiger

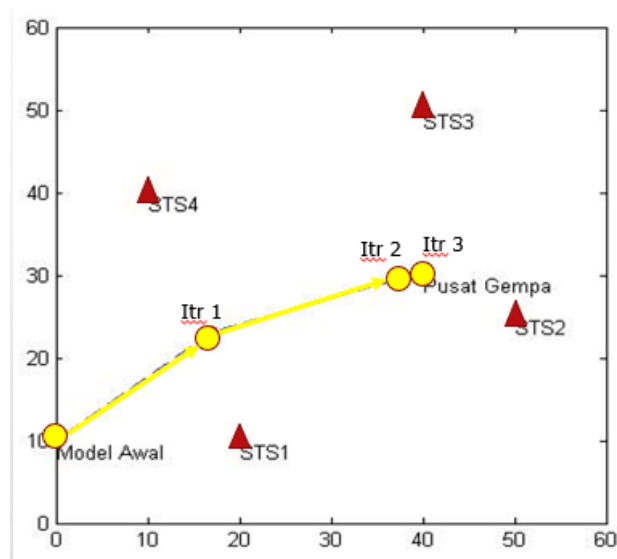
Data yang digunakan dalam Metode Geiger adalah data waktu tiba gelombang P dan atau gelombang S. Metode ini beranggapan bahwa bumi terdiri dari lapisan datar yang homogen, sehingga waktu tiba gelombang gempa yang terjadi karena adanya pemantulan dan pembiasan untuk setiap lapisan dapat dihitung. Dalam prosesnya, Metode Geiger ini dilakukan dengan cara membuat model awal yang dekat dengan stasiun yang pertama kali mencatat adanya kejadian gempa dan kemudian dilakukan perhitungan. Dari hasil perhitungan ini kemudian akan didapatkan residu, yaitu perbedaan antara waktu rambat gelombang yang diamati dengan waktu rambat gelombang yang dihitung untuk setiap stasiun nya. Berikut rumusan dari Metode Geiger yang digunakan :

$$r_i = dt + \frac{\Delta T^i}{\partial x_0} dx + \frac{\Delta T^i}{\partial y_0} dy + \frac{\Delta T^i}{\partial z_0} dz$$

dimana r_i adalah residual atau *deviation time* antara *calculation time* dan *observation time*. Di ruas kanan merupakan perkalian turunan waktu tempuh terhadap posisi hiposenter (x,y,z) serta *origin time*.

Penerapan Metode Geiger ini masih mempunyai kesalahan perhitungan, terutama apabila data yang digunakan berasal dari stasiun dengan jarak yang relatif jauh. Karena jarak yang jauh tersebut menyebabkan variasi kecepatan gelombang seismik tidak dapat dihitung secara tepat. Variasi nilai kecepatan gelombang sebesar lebih kurang 0,2 km/dt ternyata dapat memberikan kesalahan dalam penentuan posisi hiposenter sampai jarak beberapa puluh kilometer. Sehingga Metode Geiger ini hanya dapat diterapkan dengan baik dalam penentuan posisi hiposenter yang bersifat lokal.

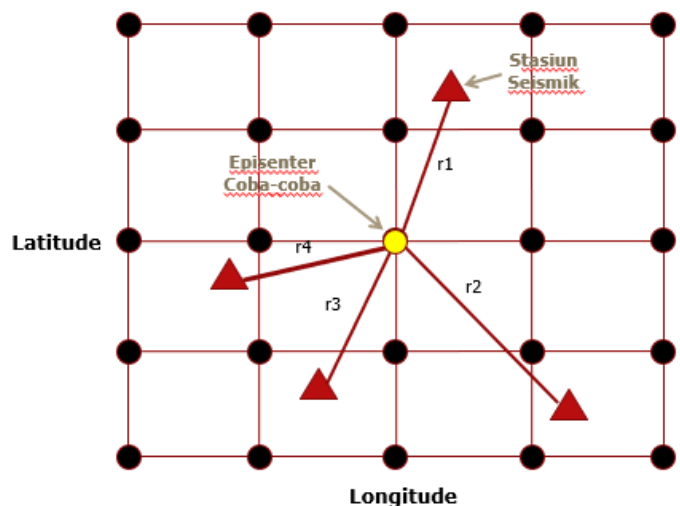
Konsep dasar dari metode Geiger adalah perhitungan waktu tiba gelombang seismik merupakan persamaan Non-Linier, sehingga tidak bisa dilakukan perhitungan inversi secara langsung. Untuk itu dibutuhkan pendekatan linier dalam menyelesaikan permasalahan Inversi Non-Linier. Dan juga diperlukan lokasi awal sumber gempa bumi coba-coba yang cukup dekat dengan lokasi sumber gempa bumi sebenarnya, ilustrasi dari metode ini ditunjukkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Penentuan Episenter metode geiger (BMKG, 2014)

c. Metode Grid Search

Metoda Grid Search dilakukan dengan membuat grid dalam ruang di suatu area yang diduga menjadi lokasi sumber gempa bumi. Titik-titik grid (ditunjukkan titik warna hitam) adalah hiposenter coba-coba, yang ditunjukkan pada **Gambar 16**. Titik grid yang memiliki nilai kesalahan minimum (*minimum error*) merupakan lokasi yang diduga sebagai sumber gempa bumi.



Gambar 16. Penentuan Episenter metode grid search (BMKG, 2014)

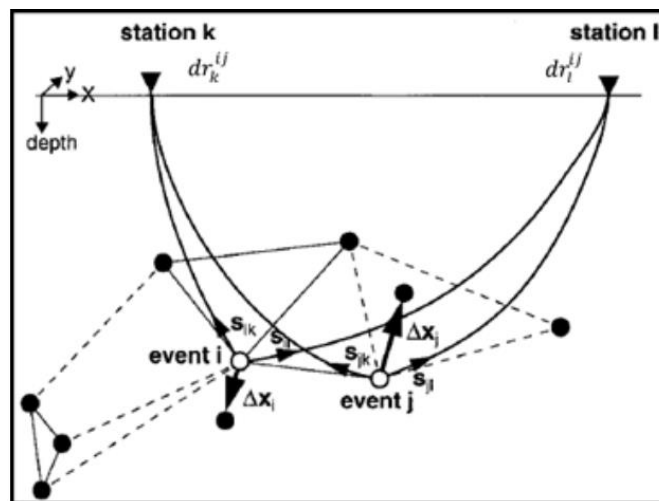
Solusi Metode Grid Search akan semakin akurat jika grid yang dibuat semakin rapat, tetapi dengan grid yang sangat rapat tersebut akan membutuhkan waktu komputasi atau perhitungan yang semakin lama dan membutuhkan waktu yang lebih lama.

G. Metode *Double-Difference*

Secara teoritis, metode *double difference* merupakan suatu pengembangan dari metode Geiger dengan menggunakan data relatif waktu tempuh antar dua titik hiposenter. Prinsip dari metode ini adalah jika terdapat dua gempa yang memiliki jarak lebih dekat satu sama lainnya dibandingkan dengan jarak gempa tersebut ke stasiun pencatatnya, maka *ray path* atau penjalaran lintasan dari kedua gempa tersebut dapat dianggap sama (dapat dilihat ilustrasi metode *double difference* pada **Gambar 17**). Dengan asumsi tersebut, maka selisih waktu tempuh antara kedua gempa yang terekam pada satu stasiun yang sama selanjutnya dapat dianggap hanya sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter tersebut. Sehingga kesalahan model

kecepatan yang digunakan dapat diminimalisasi tanpa menggunakan koreksi stasiun (Waldhauser dan Ellsworth , 2000).

Metode *double-difference* ini menggunakan data katalog gempabumi dan juga *waveform crosscorrelation*. Data tersebut masih memiliki kesalahan (*error*) ketika adanya variasi kecepatan yang tidak dimodelkan, contohnya seperti stasiun pencatat yang letaknya lebih tinggi atau lebih rendah dan adanya kontras kecepatan di dekat stasiun. Dengan menggunakan metode relokasi gempabumi *double-difference*, kesalahan akibat hal tersebut dapat dikurangi dan diminimalkan tanpa membutuhkan koreksi dari stasiun. Kelebihan metode *double-difference* ini adalah dapat merelokasikan hiposenter sehingga tampak pola seismisitas yang lebih jelas. Adapun ilustrasi dari metode ini dapat dilihat pada **Gambar 17**.



Gambar 17. Ilustrasi dari metode *double difference* (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).

Pada **Gambar 17** tersebut terdapat lingkaran berwarna hitam dan putih yang merupakan titik sebaran hiposenter gempa yang dihubungkan dengan event gempa disekitarnya oleh data *cross-correlation* (ditunjukkan dengan garis tebal) atau

katalog (ditunjukkan dengan garis putus-putus). Gempa i dan gempa j yang ditunjukkan dengan lingkaran putih terekam pada stasiun yang sama (stasiun k dan stasiun l) dengan selisih waktu tempuh d_k^i dan d_l^i . Karena dekatnya posisi antara kedua gempa tersebut, maka *raypath* kedua nya dianggap sama yakni melewati medium dengan kecepatan yang sama. Arah panah Δx_i dan Δx_j menunjukkan vektor relokasi gempa yang akan terjadi.

Dengan menggunakan teori penjalaran sinar, maka persamaan waktu tiba gelombang badan τ untuk gempabumi i dari stasiun k dapat didefinisikan sebagai sebuah integral lintasan (Waldhauser dan Ellsworth , 2000) :

$$\tau_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (7)$$

Dengan τ^i adalah waktu kejadian dari gempabumi i , u adalah *slowness field*, dan ds adalah sebuah elemen dari panjang lintasan. Hubungan antara waktu tiba dan lokasi gempabumi tidak linier, sehingga digunakan ekspansi deret Taylor untuk melinierkan pada Persamaan (7). Kemudian didapatkan residual gempabumi dimana secara linier menghubungkan waktu tiba observasi dan waktu tiba teoritis T_k^i yang sesuai dengan hiposenter dan parameter gempabumi i :

$$r_k^i = \frac{\partial \tau_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i \quad (8)$$

Persamaan (8) merupakan persamaan dimana gempabumi i yang terekam pada stasiun k . Dalam metode relokasi *double difference* ini, persamaan tersebut dihubungkan dengan gempabumi lain.

Sedangkan untuk gempabumi j yang teramati pada stasiun k yaitu:

$$r_k^j = \frac{\partial \tau_k^j}{\partial x} \Delta x^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial y} \Delta y^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial z} \Delta z^j + \Delta \tau^j \quad (9)$$

Sehingga selisih antara gempabumi i dan gempabumi j didapatkan:

$$r_k^i - r_k^j = \frac{\partial \tau_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i - \frac{\partial \tau_k^j}{\partial x} \Delta x^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial y} \Delta y^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial z} \Delta z^j + \Delta \tau^j \quad (10)$$

Dengan asumsi bahwa gempabumi terjadi tersebut berdekatan, maka lintasan dari gempabumi ke stasiun dianggap sama. Persamaan (10) adalah selisih waktu tiba dari gempabumi i dan j terhadap masing- masing parameter (x,y,z,t). Persamaan diatas dapat ditulis sederhana dalam persamaan :

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (11)$$

Dengan dr_k^{ij} adalah selanjutnya disebut persamaan *Double Difference* dr_k^{ij} adalah selisih antara waktu tiba gelombang observasi dan waktu tiba kalkulasi pada gempabumi i dan gempabumi j (Yadnya, dkk.,2012).

Selanjutnya Persamaan (11) dapat ditulis dalam bentuk :

$$\Delta d = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta d = \frac{\partial t_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta t_k^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y} \Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta t_k^j \quad (13)$$

Apabila dinyatakan dalam bentuk matriks maka persamaannya akan menjadi :

$$\begin{pmatrix} \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \vdots \\ \Delta d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial t_1}{\partial x_1} & \frac{\partial t_1}{\partial y_1} & \frac{\partial t_1}{\partial z_1} & 1 \\ \frac{\partial t_2}{\partial x_2} & \frac{\partial t_2}{\partial y_2} & \frac{\partial t_2}{\partial z_2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial t_n}{\partial x_n} & \frac{\partial t_n}{\partial y_n} & \frac{\partial t_n}{\partial z_n} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t \end{pmatrix} \quad (14)$$

Atau

$$W \Delta d = W G \Delta m \quad (15)$$

dimana Δd adalah matriks waktu residu berdimensi $M \times 1$. M dan G berturut-turut merupakan jumlah data observasi *double-difference* dan matriks Jacobi yang

berdimensi $M \times 4N$, N dan Δm berturut-turut adalah jumlah gempa bumi dan matriks perubahan model yang berdimensi $4N \times 1$, sedangkan W merupakan matriks diagonal yang menjadi pembobotan dalam persamaan perhitungan waktu tempuh gelombang.

Dalam relokasi dengan metode *double-difference* ini menggunakan model kecepatan gelombang P yang berasal dari interpolasi model Wagner dkk., 2007 untuk kedalaman hingga 20 km dan model kecepatan *ak135* (Kennett, dkk., 1995) untuk kedalaman lebih dari 20 km. Sedangkan untuk model kecepatan gelombang S menggunakan nilai rasio V_p/V_s sebesar 1,78 (Wibowo, 2017) seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Model kecepatan gelombang P dan S (Wagner 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

IV. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Tugas Akhir dilakukan di “Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kotabumi” pada 07 Februari 2018 s.d 26 Maret 2018 dan dilanjutkan di “Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung” pada 27 Maret 2018 s.d Juni 2018. Tema dari Tugas Akhir ini adalah “Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Sumatera bagian Selatan Menggunakan Metode *Double-Difference* (hypoDD)”.

B. Data Penelitian dan Perangkat Lunak

Data dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data katalog gempabumi (x, y, z, t) wilayah Sumatera bagian Selatan periode April 2009 - Desember 2017 dengan batas koordinat 0° LS - 7° LS dan 98° BT - 106° BT dari BMKG.
2. *Software* hypoDD untuk pengolahan data relokasi gempabumi dengan menggunakan metode hypoDD.
3. *Software* GMT (*The Generic Mapping Tools*) dan ArcGis untuk melakukan *plotting* peta sebelum relokasi maupun hasil dari relokasi.
4. *Software* Matlab untuk pembuatan gambaran 3D hasil persebaran hiposenter.
5. *Software* Microsoft Excel untuk membuat histogram data waktu tempuh sebelum dan sesudah relokasi.

C. Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahap pengolahan data sebagai berikut:

1. Menyiapkan data gempa bumi yang didapat dari katalog BMKG berupa data *arrival time* gelombang P dan S dengan format *.pha dan data stasiun dengan format *.dat yang dapat dilihat pada **Gambar 18 dan Gambar 19**.

Pada data *arrival time*, parameter yang digunakan pada baris pertama adalah tahun, bulan, hari, menit, detik, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo, eror horizontal, eror kedalaman, RMS waktu tempuh dan event ID, pada baris kedua adalah nama stasiun, waktu tempuh absolut, pembobotan, jenis fase (P atau S). Sedangkan pada data stasiun, parameter yang digunakan adalah nama stasiun, lintang dan bujur.

1	#	2009	04	15	11	53	12.0	-3.77	105.42	10.0	3.6	0.0	0.0	1.429	
2		PPBI		28.40			1.000	P							
3		BLSI		29.10			1.000	P							
4		LWLI		30.70			1.000	P							
5		KASI		33.10			1.000	P							
6		TPI		42.20			1.000	P							
7		BLSI		48.20			1.000	S							
8		KSI		48.40			1.000	P							
9		PPBI		52.40			1.000	S							
10		LWLI		55.60			1.000	S							
11		TPI		72.60			1.000	S							
12	#	2009	04	15	16	39	56.0	-0.43	100.49	10.0	3.9	0.0	0.0	0.513	
13		PPI		1.60			1.000	P							
14		PPI		4.10			1.000	S							
15		PDSI		8.50			1.000	P							
16		PDSI		15.40			1.000	S							
17		BKNI		17.20			1.000	P							
18		BKNI		31.00			1.000	S							
19		RGRI		33.10			1.000	P							
20		KRJI		34.30			1.000	P							
21	#	2009	04	15	16	43	16.0	-0.41	100.47	10.0	4.0	0.0	0.0	0.845	
22		PPI		2.70			1.000	P							
23		PDSI		9.10			1.000	P							
24		PDSI		16.50			1.000	S							
25		BKNI		17.00			1.000	P							
26		SDSI		21.90			1.000	P							
27		BKNI		31.70			1.000	S							
28		RGRI		34.00			1.000	P							
29		KRJI		35.40			1.000	P							
30		RGRI		57.90			1.000	S							
31		KSI		61.60			1.000	P							
32	#	2009	04	15	17	47	28.0	-3.27	100.15	42.0	5.5	0.0	0.0	1.234	

Gambar 18. Data *arrival time*

1	CMJI	-7.783696	108.448516	60
2	BBJI	-7.4625467	107.649856	646
3	CNJI	-7.309	107.13	582
4	SKJI	-7.0053	106.5563	100
5	LEM	-6.8266	107.6175	1293
6	LEM	-6.8266	107.6175	1293
7	JCJI	-6.7344	108.2631	86
8	CBJI	-6.698052	106.934951	1002
9	CGJI	-6.6135	105.6928	85
10	DBJI	-6.5538	106.7497	211
11	TNGI	-6.172	106.647	40
12	TNG	-6.1719	106.6469	46
13	SBJI	-6.1117	106.1318	64
14	KASI	-5.52361	104.495964	42
15	BLSI	-5.367548	105.24521	143
16	EGSI	-5.35241	102.27629	36
17	LWLI	-5.017472	104.058914	934
18	KLI	-4.836292	104.870452	61
19	KLSI	-4.6871	104.7317	81
20	MDSI	-4.486037	104.17823	135
21	MNAI	-4.36048	102.95571	154
22	LHSI	-3.826624	103.52333	179
23	UBSI	-3.7611	102.2714	28
24	KSI	-3.651	102.59292	517
25	MASI	-3.141521	102.239608	378
26	PMBI	-2.90243	104.69925	25
27	PPSI	-2.766	100.01	16
28	TPI	-2.75637	107.65342	54
29	MKBI	-2.4474	101.23958	62

Gambar 19. Data stasiun

2. Menjalankan input parameter kedalam program ph2dt dengan langkah mengganti nama file stasiun dan nama file PHA yang sesuai serta mengubah nilai parameter kontrol yaitu MINWGHT, MAXDIST, MAXSEP, MAXNGH, MINLNK, MINOBS, dan MAXOBS yang ditunjukkan pada **Gambar 20**.

```

1  * ph2dt.inp - input control file for program ph2dt
2  * Input station file:
3  sensorhypodd.dat
4  * Input phase file:
5  lampung.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 40 90 4 4 90
15

```

Gambar 20. Parameter input pada program ph2dt

Parameter kontrol pada program ph2dt yang dapat diganti yaitu MINWGHT (minimum pembobotan picking), MAXDIST (jarak maksimum antara pasangan event dengan stasiun, MAXSEP (separasi hiposentral maksimum antar pasangan event dalam km), MAXNGH (jumlah maksimum tetangga per event), MINLNK (jumlah minimum hubungan/link yang disyaratkan untuk mendefinisikan satu tetangga), MINOBS (jumlah minimum hubungan/link tiap pasang tersimpan), dan MAXOBS (jumlah maksimum hubungan/link tiap pasang tersimpan tergantung pada jarak pasangan event).

Berikut merupakan tampilan dari hasil input parameter kontrol pada program ph2dt yang ditunjukkan pada **Gambar 21**.

```

~/hypodd/src/hypodd
Fhera@DESKTOP-DJNN0TP ~/hypodd/src/ph2dt
$ ./ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v2.1b - 08/2012)... Thu Feb 22 14:35:04 2018

reading data ...
> stations = 41
> events total = 3708
> events selected = 3708
> phases = 51364
forming dtimes...
> stations selected = 40
> P-phase pairs total = 585479
> S-phase pairs total = 141453
> outliers = 16685 ( 2%)
> phases at stations not in station list = 0
> phases at distances larger than MAXDIST = 1155
> P-phase pairs selected = 530462 ( 90%)
> S-phase pairs selected = 134281 ( 94%)
> weakly linked events = 2882 ( 77%)
> linked event pairs = 95847
> average links per pair = 6
> average offset (km) betw. linked events = 25.3887177
> average offset (km) betw. strongly linked events = 25.3887177
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 40.

Done. Thu Feb 22 14:37:26 2018

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 40.000 90 4 4 90

```

Gambar 21. Hasil input parameter pada program ph2dt

3. Menyiapkan data output dari hasil input dalam program ph2dt berupa data differensial (dt.ct) dan data absolut (event.dat; event.sel; station.sel) untuk kemudian melakukan input data tersebut kedalam program hypoDD.
4. Menjalankan input data differensial dan data absolut ke dalam program hypoDD dengan cara melakukan iterasi untuk menghasilkan data yang baik agar menghasilkan faktor kualitas *conditional number of damping* (CND) sebesar 40-80 melalui pemilihan *damping* optimum yang ditunjukkan pada **Gambar 22**.

Pada penelitian ini menggunakan *damping* 265 untuk iterasi 1 dan 2, selanjutnya *damping* 241 untuk iterasi 3 dan 4, *damping* 215 untuk iterasi 5 dan 6, dan *damping* 195 untuk iterasi 7 dan 8.

```

*--- data weighting and re-weighting:
* NITER:          last iteration to used the following weights
* WTCCP, WTCCS:   weight cross P, S
* WTCTP, WTCTS:   weight catalog P, S
* WRCC, WRCT:     residual threshold in sec for cross, catalog data
* WDCC, WDCT:     max dist [km] between cross, catalog linked pairs
* DAMP:           damping (for lsqr only)
*   --- CROSS DATA ----- CATALOG DATA ----
* NITER WTCCP WTCCS WRCC WDCC WTCTP WTCTS WRCT WDCT DAMP
  2    -999  -999  -999 -999  1.00  0.8   2   40  265
  2    -999  -999  -999 -999  1.00  0.8   1.9 40  241
  2    -999  -999  -999 -999  1.00  0.8   1.8 40  215
  2    -999  -999  -999 -999  1.00  0.8   1.7 40  195
*  1     1    0.5  -999 -999  1.00  0.5  -999 -999 20  cc
*  3     1    0.5    5    3  1.00  0.5   10   10 20  cc
*  3     1    0.5    4    2  1.00  0.5   10   10 20  cc
*
*  1     1    0.5  -999 -999  1.00  0.5   40  -999 20  ct
*  5     1    0.5   10    5  1.00  0.5   20    5 20  ct
*  5     1    0.5   10    5  1.00  0.5   11    3 20  ct
*
*--- FORWARD MODEL:
* IMOD  0= 1D local, layered, P velocity w/ fixed  $v_p/v_s$  ratio (hypoDD1.0);
*       1= 1D local, layered, P velocity w/ variable  $v_p/v_s$  ratio
*       9= 3D local model (simulps raytracer)
*

```

Gambar 22. Pemilihan *damping* optimum untuk iterasi 1 sampai 8

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

```

~/hypodd/src/hypodd
Fhera@DESKTOP-0JNMOTP ~/hypodd/src/hypodd
$ ./hypodd hypodd.inp
starting hypoDD (v2.1beta - 01/30/2013)... Thu Feb 22 20:19:45 2018
Input parameters: hypodd.inp (hypoDD2.0 format)
INPUT FILES:
  cross dtime data:
  catalog dtime data: dt.ct
  events: event.dat
  stations: station.sel
OUTPUT FILES:
  initial locations: hypoDD.loc
  relocated events: hypoDD.reloc
  event pair residuals: hypoDD.res
  station residuals: hypoDD.sta
  source parameters: hypoDD.src
Use local layered 1D model.
Relocate all clusters
Relocate all events
Remove air quakes.
Reading data ... Thu Feb 22 20:19:45 2018
# events = 3708
# stations < maxdist = 40
# stations w/ neg. elevation (set to 0) = 0
# catalog P dtimes = 530462
# catalog S dtimes = 134281
# dtimes total = 664743
# events after dtime match = 3630
# stations = 40

no clustering performed.

RELOCATION OF CLUSTER: 1 Thu Feb 22 20:22:05 2018
-----
Initial trial sources = 3630
1D ray tracing.

  IT  EV  CT   RMSCT  RMSST  DX  DY  DZ  DT  OS  AQ  CND
     %  %   ms    %    ms   m  m  m  ms  m
1    100 92  518 -17.4    0 1151 1159 2396 135  0  2  79
2  1 100 90  493  -4.9   973 1034 1052 2082 121 549  0  76
3    100 82  466  -5.5   973  645  680 1205  75 549  3  74
4  2 100 80  444  -4.5   722  600  637 1108  69 540  0  72
5    99 73  357 -19.6   722  420  439  793  48 540  1  78
6    99 71  336  -5.8   558  389  407  696  44 487  0  77

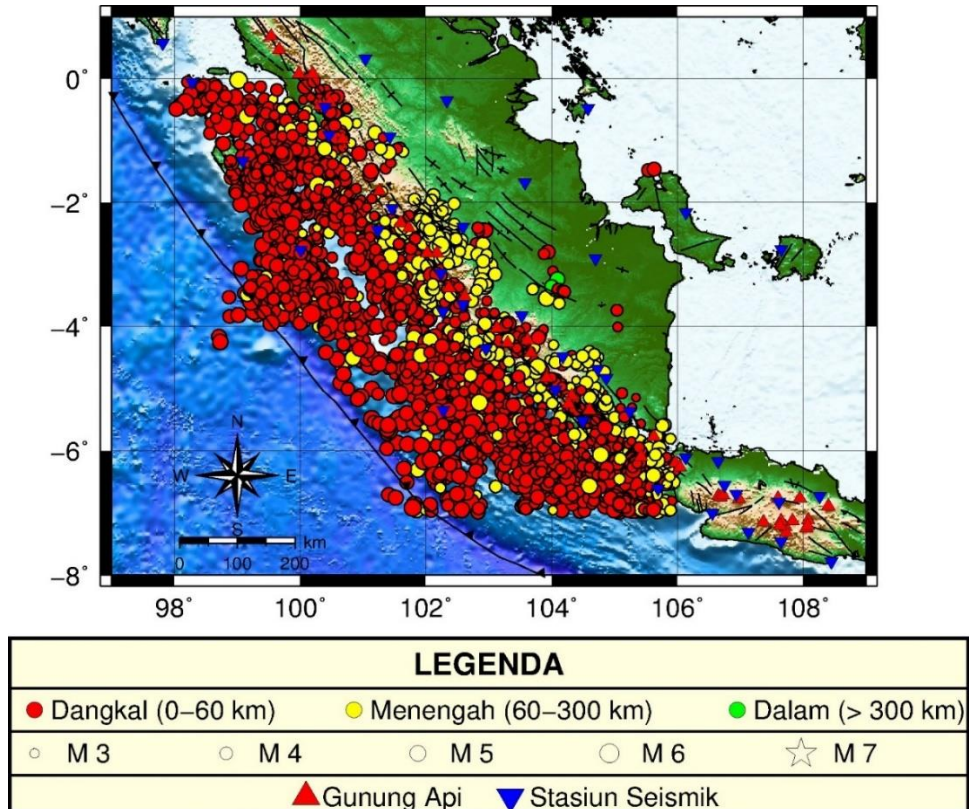
```

Gambar 23 . Hasil input data pada program hypoDD

5. Membuat histogram residual waktu tempuh yang didapat dari output dalam program hypoDD sehingga dapat diketahui selisih terkecil antara waktu tempuh observasi dengan kalkulasi yang digambarkan dari nilai residual waktu tempuh setelah relokasi banyak mendekati nol.

6. Melakukan *plotting* titik hiposenter dengan *software* GMT untuk mengetahui sebaran hiposenter sebelum relokasi dan sesudah relokasi.

Berikut merupakan sebaran *event* gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada **Gambar 24**.

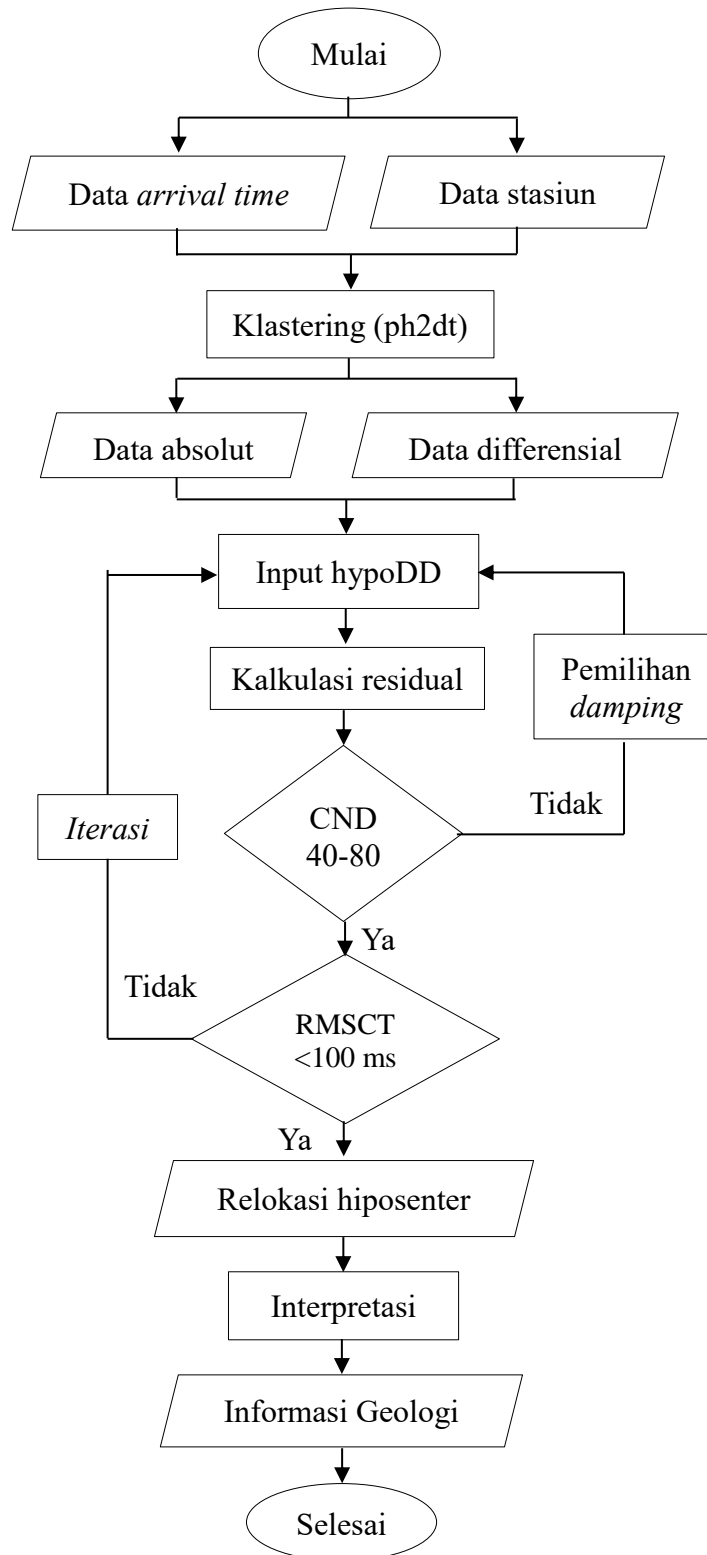


Gambar 24. *Plotting* titik hiposenter gempa bumi dengan GMT

7. Melakukan interpretasi data hasil sebaran hiposenter sebelum dan sesudah relokasi. Interpretasi dilakukan dengan memperhatikan informasi geologi daerah penelitian.

D. Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada **Gambar 25**.



Gambar 25. Diagram Alir Penelitian

E. Time Schedule

Time Schedule dari penyusunan skripsi ini tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3. *Time schedule* penyusunan skripsi

Kegiatan	Jadwal kegiatan				
	Februari	Maret	April	Mei	Juni
Studi literatur					
Pemilihan data					
Pemilihan <i>software</i>					
Pengolahan data					
Penyusunan proposal					
Seminar proposal					
Penyusunan hasil					
Seminar hasil					
Uji komprehensif					

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Hasil relokasi menggunakan metode *double-difference* menunjukkan perubahan lokasi hiposenter yang lebih akurat, dibuktikan dengan banyaknya residual waktu tempuh setelah relokasi yang mendekati nilai nol serta kedalaman gempa 10 km berubah sehingga distribusi kedalamannya lebih bervariasi.
2. Jumlah gempabumi yang berhasil direlokasi sebanyak 3592 dari 3630 gempa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa setelah relokasi hiposenter gempabumi dengan metoda *double-difference* terjadi perubahan posisi hiposenter dan pola distribusi gempabumi yang lebih terfokus dan dapat menunjukkan pola tektoniknya.
3. Distribusi gempabumi wilayah Sumatera bagian Selatan bersumber dari zona subduksi dari pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia, ditunjukkan dengan distribusi gempa yang semakin dalam ke arah timur.
4. Sudut penunjaman subduksi di Sumatera bagian Selatan dari utara ke selatan terlihat semakin curam karena usia dari zona subduksi semakin ke selatan semakin tua dan tidak mudah patah sehingga tingkat kegempaanannya lebih sedikit terjadi.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlunya penambahan data yang meliputi cakupan koordinat daerah penelitian dan interval periode data gempa untuk memudahkan dalam melakukan analisa distribusi kegempaan dan analisa struktur tektonik.
2. Perlunya referensi model kecepatan yang sesuai dengan daerah penelitian agar hasil relokasi yang dilakukan lebih akurat lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A., 2011. Penentuan Waktu Berakhirnya Gempa Susulan untuk Gempabumi Biak 16 Juni 2010. Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Bormann, P., 2002. “*New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*” *Volume 1*. GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ). Germany.
- Hidayati, S., Sumaryono, dan Eka, S., 2010. Tsunami Mentawai 25 Oktober 2010. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, Vol 5 No 3 : 1-11.
- Hurukawa, N., Popa, M., dan Radulian, M., 2008. Relocation of Large Intermediate Depth Earthquakes in The Vrancea Region, Romania, Since 1934 and a Seismic Gap. *Earth, Planets and Space*. 60(6):565-572.
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widianoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrusifak, dan Ridwan, M., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempabumi Indonesia 2010*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kennett, B. L. N., Engdahl, E. R. dan Buland, R., 1995. Constraints on seismic velocities in the earth from traveltimes. *Geophys J. Int.* 122, pp. 108 - 124.
- McCaffrey, R., 2009. The Tectonic framework of the Sumatran subduction zone, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 37, 345–366.
- Mustafa, B., 2010. Analisis Gempa Nias dan Gempa Sumatera Barat dan Kesamaannya yang Tidak Menimbulkan Tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. Vol 2 No 1.
- Natawidjaja, D. and Triyoso W., 2007. The Sumatran Fault Zone — From Source To Hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 1, No 1, 21–47
- Pavlis, G. L., 1986. Appraising earthquake hypocenter location errors: a complete practical approach for single-event location. *Bull Seism. Soc. Am.*, 1600-1717.

- Putri, Y.T., 2012. Relokasi Gempabumi Utama Dan Gempabumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010). Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Schoffel, H. J., dan Das, S., 1999. Fine Details of the Wadati-Benioff Zone Under Indonesia and its Geodynamic Implications. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104 No. B6, pages 13.101 – 13.114.
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D., 2000. Neotectonic of Sumatran fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*. Vol. 105, pp. 28.295 – 28.326.
- Subardjo, dan Ibrahim, G., 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Stephenson, B. dan Aspden, J.A., 1982. *Simplified Geological Map of Northern Sumatra (1:1 500 000)*. Directorate of Overseas Surveys, Keyworth.
- 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.
- Waldhauser, F., 2001. *HypoDD – A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations*. United States Geological Survey.
- 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.
- Yadnya, P.K., Nugraha, A.D., dan Rohadi, S., 2012. Pencitraan Struktur 3-D, Vp, Vs, Rasio Vp/Vs Menggunakan Tomografi *Double Difference* di Wilayah Bali, *J. Geofisika* Vol. 13 No. 1.