



Received 00th January 20xx
Accepted 00th February 20xx
Published 00th March 20xx

Open Access

DOI: 10.35472/x0xx0000

RELOKASI HIPOSENTER GEMPA PADA ZONA SUBDUKSI DI SUMATERA BAGIAN BARAT

Fakhriza Syahda ^{*a}, Tedi Yudistira^b, Cahli Suhendi^c

^a Affiliation of Author 1

^b Affiliation of Author 2

^c Affiliation of Author 3

*Corresponding E-mail: fakhrizasyahda1@gmail.com

Abstract: The western Sumatra region is an area that often occurs earthquakes on the island of Sumatra. This earthquake was caused by the region being located in an active subduction zone caused by a meeting of the Indo-Australian plate with the Eurasian plate and in the zone of the Mentawai segment fault. As an effort to mitigate natural disasters, seismic studies are needed in the region to determine the source of earthquakes with high precision. The technique used to relocate earthquakes is a double-difference method. The principle of the double-difference method is the residual time value of the observed travel time and the calculation results between two earthquake events.

The relocation process is divided into two stages, the first phase uses the ph2dt program and the second stage uses the hypoDD program. The results of the relocation provided epicenter coordinate information before relocation which experienced a shift in position. In this processing not only get the epicenter coordinates that have been properly relocated, but get a smaller residual value than before relocation. Based on data processing carried out by the number of earthquakes before the relocation of as many as 2467 events and after relocation, there were 2275 events.

Keywords: Earthquakes, double-difference, relocation

Abstrak: Wilayah Sumatera bagian barat merupakan wilayah yang sering terjadi gempa bumi di pulau Sumatera. Gempa bumi ini diakibatkan wilayah tersebut berada pada zona subduksi aktif yang disebabkan oleh pertemuan lempeng Indo-Australian dengan lempeng Eurasia dan berada pada zona sesar segmen mentawai. Sebagai upaya mitigasi bencana alam, diperlukan studi kegempaan di wilayah tersebut untuk menentukan sumber gempa bumi dengan presisi yang tinggi. Teknik yang digunakan untuk merelokasi gempa bumi adalah metode double-difference. Prinsip dari metode double-difference adalah nilai residual time dari waktu tempuh yang diamati dan hasil perhitungan antara dua event gempa bumi.

Proses relokasi dibagi menjadi dua tahap, tahap pertama menggunakan program ph2dt dan tahap kedua menggunakan program hypoDD. Hasil relokasi memberikan informasi koordinat episenter sebelum relokasi yang mengalami pergeseran posisi. Pada pengolahan ini tidak hanya mendapatkan koordinat episenter yang telah terelokasi dengan baik, melainkan mendapatkan nilai residual lebih kecil dibandingkan sebelum dilakukan relokasi. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan jumlah gempa bumi sebelum dilakukan relokasi sebanyak 2467 event dan setelah dilakukan relokasi menjadi sebanyak 2275 event.

Kata Kunci : Gempa bumi, *double-difference*, relokasi

Introduction / Pendahuluan

Indonesia berada pada zona vulkanik dan tektonik yang sangat aktif karena terletak di daerah dengan aktifitas gempa bumi tinggi. Hal ini terjadi akibat dari pertemuan tiga lempeng bedar dunia yaitu lempeng

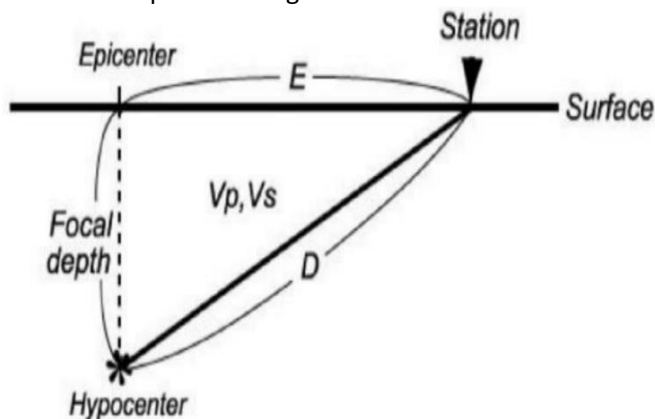
Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi.

Sumatera merupakan salah satu pulau yang aktif terjadi gempa bumi, karena adanya penujaman (subduction),

dimana lempeng Indo-Australia yang masuk ke dalam lempeng Eurasia, sehingga membentuk jalur gempa bumi di Laut Sumatera Indonesia. Bagian barat pulau Sumatera menimbulkan patahan besar Sumatera (*Great Sumatera Fault*).

Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan karena berada pada zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, yang berada dibagian barat pulau Mentawai. Lempeng Indo-Australia yang terus menerus mensubduksi lempeng Eurasia mengakibatkan terbentuknya bidang zona penunjaman dangkal yang biasa disebut "*Megathrust*" (mega patahan naik yang berkemiringan landai).

Hiposenter adalah titik awal terjadinya gempa bumi yang terjadi akibat adanya perlepasan energi. Hiposenter merupakan salah satu parameter yang dapat dihitung. Untuk memudahkan penentuan lokasi hiposenter dapat menggunakan asumsi seperti pembuatan diagram Wadati, yang menganggap bumi terdiri dari lapisan homogen.



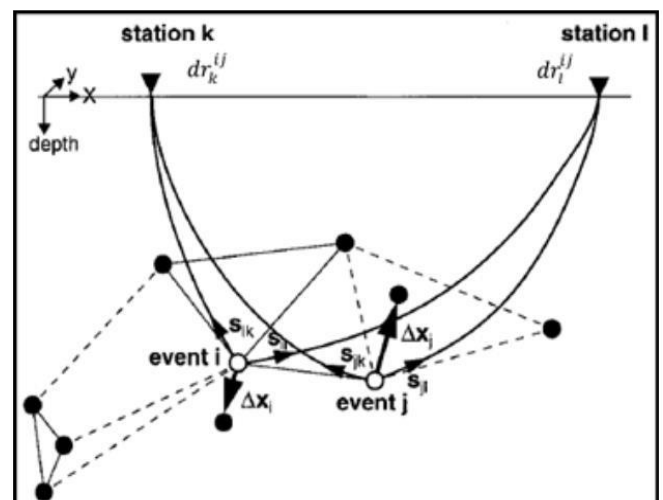
Gambar 1. Jarak hiposenter (Hurukawa, dkk., 2008)

Dimana D adalah jarak hiposenter terhadap stasiun pencatat, E adalah jarak episenter terhadap stasiun pencatat.

Penentuan parameter hiposenter sebelumnya ditentukan dengan menggunakan waktu tiba gelombang P dan gelombang S dari beberapa stasiun. Penentuan lokasi hiposenter dapat mengalami kekeliruan salah satunya dipengaruhi oleh ketidaksesuaian model kecepatan lapisan yang digunakan. Untuk mengetahui lokasi hiposenter gempa tersebut dengan lebih akurat, dilakukan elokasi hiposenter. Relokasi hiposenter merupakan koreksi

lintang, bujur, dan kedalaman dari gempa bumi. Pada penelitian ini, melakukan relokasi hiposenter gempa bumi di Sumatera bagian barat dengan menggunakan metode *double-difference*. Metode *double-difference* digunakan karena metode ini mampu merelokasi posisi hiposenter dan dapat meminimalkan kesalahan model kecepatan. Metode *double-difference* menggunakan waktu tempuh antar pasangan gempa ke suatu stasiun pengamat.

Metode *double-difference* merupakan metode pengembangan dari metode Geiger. Metode *double-difference* merupakan salah satu metode yang dapat menentukan lokasi hiposenter dengan menggunakan data relatif waktu tempuh antar dua titik hiposenter. Prinsip metode *double-difference* yaitu apabila terdapat dua sumber gempa yang memiliki jarak relatif lebih dekat satu sama lain dibandingkan dengan jarak kedua sumber gempa ke stasiun pencatatnya. Maka *raypath* (lintasan penjalaran) dari kedua sumber gempa dapat dianggap sama. Dengan asumsi tersebut, maka selisih waktu tempuh antar kedua gempa yang terekam pada satu stasiun yang sama maka dapat dianggap sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter. Sehingga kesalahan model kecepatan yang digunakan dapat meminimalisasi tanpa menggunakan koreksi stasiun (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).



Gambar 2. Ilustrasi metode *double-difference* (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)

Pada **Gambar 2** terdapat lingkaran berwarna hitam dan putih merupakan titik sebaran hiposenter gempa yang dihubungkan dengan event gempa sekitarnya, data korelasi (ditunjukkan dengan garis tebal) dan 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 yaitu melewati medium dengan kecepatan yang sama. Arah panah Δx_i dan Δx_j menunjukkan vektor relokasi gempa yang akan terjadi.

Waktu tempuh residual relatif antara kedua hiposenter yang saling berdekatan dalam satu kelompok (*cluster*) dapat ditulis sebagai berikut:

$$dr_{kj}^{ij} = (t_k^i - t_j^i)^{obs} - (t_k^i - t_j^i)^{cal} \quad (1)$$

Dimana:

dr_{kj}^{ij} : selisih antara waktu tiba gelombang observasi dengan waktu tiba kalkulasi pada gempa bumi i dan gempa bumi j .

t_k^i : waktu tempuh dari gempa i yang direkam oleh stasiun k

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

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

Nilai residual dari *travel time* untuk pasangan *event* dapat dihitung dari selisih *event* i dan *event* j terhadap masing-masing parameter (x, y, z, t).

Persamaan (1) dalam bentuk sederhana dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta d = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_j^i}{\partial m} \Delta m^j \quad (2)$$

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan metode *double-difference*, disusun dalam bentuk matriks untuk sejumlah gempa bumi yang diamati oleh stasiun dapat ditulis sebagai berikut (Waldhauser dan Ellsworth, 2000):

$$\Delta \mathbf{d} = \mathbf{G} \Delta \mathbf{m} \quad (3)$$

Dimana $\Delta \mathbf{d}$ adalah matriks waktu residual berdimensi $M \times 1$. $\mathbf{M}$ dan $\mathbf{G}$ merupakan jumlah data observasi dan matriks Jacobi yang berdimensi $M \times 4N$, N dan $\Delta \mathbf{m}$ adalah jumlah gempa bumi dan matriks perubahan model yang berdimensi $4N \times 1$.

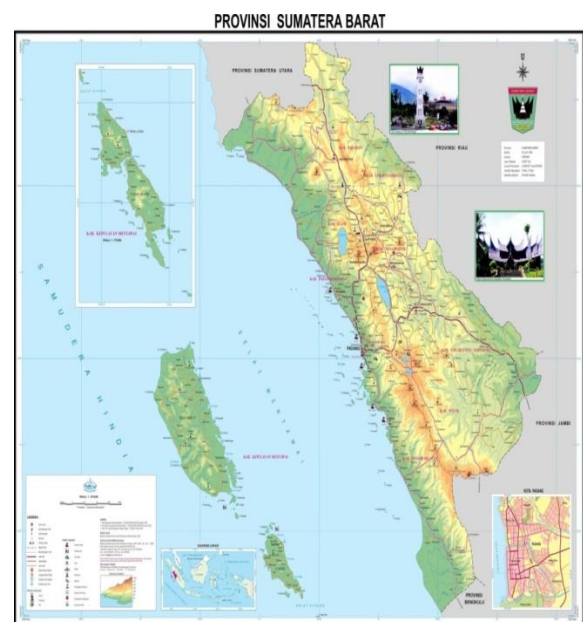
Penentuan posisi hiposenter terus dilakukan dengan melakukan iterasi sampai mendapatkan hasil nilai residual

antara waktu tempuh observasi dengan kalkulasi yang mendekati nilai minimum. Penentuan hiposenter dipengaruhi oleh model kecepatan pada daerah penelitian. Model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan 1-D gelombang P.

Hasil dari pengolahan metode *double-difference* menunjukkan adanya pengcluster antara beberapa *event*. Hasil relokasi hiposenter yang didapatkan benar atau salah dapat dilihat dari nilai residual waktu tempuh. Dilakukan dengan cara membandingkan frekuensi residual antara sebelum relokasi dengan setelah relokasi hiposenter. Apabila residual mendekati nilai minimum (nol) itu menunjukkan antara model bumi dengan kenyataan tidak terlalu jauh berbeda dan sebaliknya.

Method / Metode

Penelitian ini adalah relokasi hiposenter dengan menggunakan data *Arrival Time* dari periode tahun 2010 hingga 2017 dengan jumlah data gempa bumi sebanyak 2467 *event*. Wilayah penelitian adalah wilayah Sumatera bagian Barat dengan koordinat -5.5° s.d 3.9° LS dan 94.6° s.d 105.88° BT yang diperoleh dari katalog BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika).

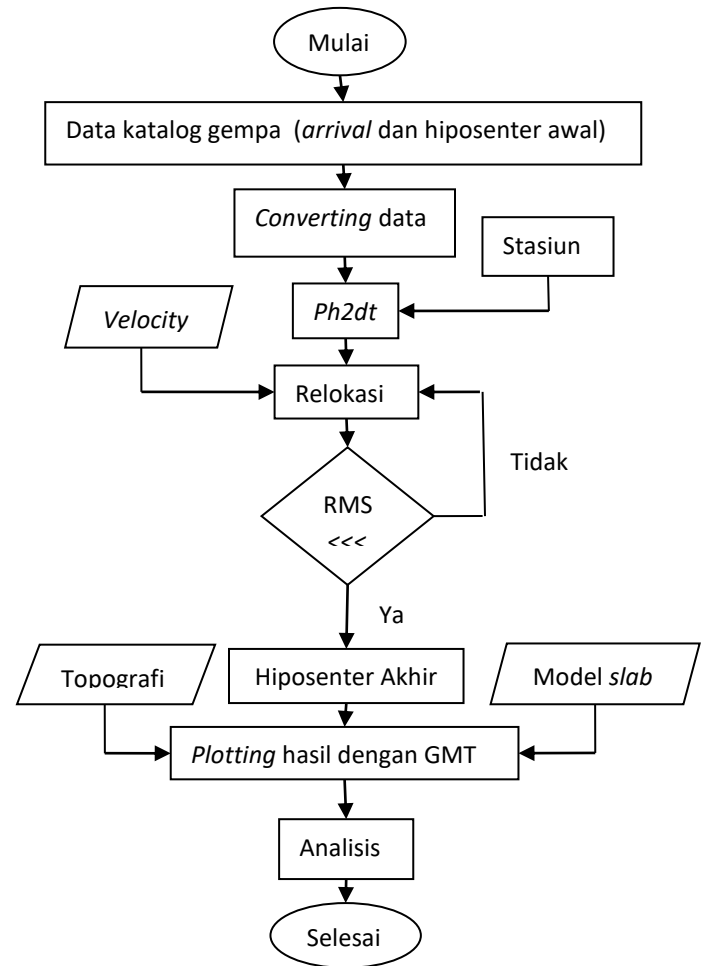


Gambar 3. Peta regional Sumatera Barat (BIG, 2010)

Parameter yang digunakan untuk relokasi hiposenter adalah lintang, bujur, kedalaman, dan waktu terjadinya gempa bumi. Selanjutnya data akan diolah dan dilakukan analisis. Langkah-langkah pengolahan data untuk menghasilkan data relokasi hiposenter sebagai berikut:

- Formata data sebagai input untuk relokasi
Mengubah format data katalog gempa bumi dari BMKG (*.txt) menjadi data inputan untuk pengolahan program *ph2dt* (*.pha).
- Relokasi gempa bumi dengan menggunakan metode *double-difference*
Data gempa bumi direlokasi menggunakan metode *double-difference* dengan bantuan *software hypoDD*. Data hasil dari pengolahan *ph2dt* dijadikan input dalam program *hypoDD*. Hasil dari pengolahan *hypoDD* merupakan parameter gempa bumi setelah dilakukan relokasi.
- Plotting data relokasi gempa bumi
Parameter yang digunakan adalah koordinat stasiun, data *event* sebelum relokasi, data *event* setelah relokasi, dan data topografi. Menggunakan *software* GMT.
- Membuat penampang melintang (*cross-section*)
Setelah hasil data relokasi diplotting, selanjutnya melakukan *cross-section* untuk melihat persebaran hiposenter sebelum dan setelah dilakukan relokasi dengan menggunakan *software* GMT.
- Analisis sebaran hiposenter sebelum dan setelah relokasi hiposenter gempa bumi
Data katalog yang telah direlokasi selanjutnya dianalisis sebaran hiposenter dan dibandingkan dengan data sebelum relokasi.

Berdasarkan penjabaran diatas dapat disimpulkan tahapan pengolahan data sebagai berikut:

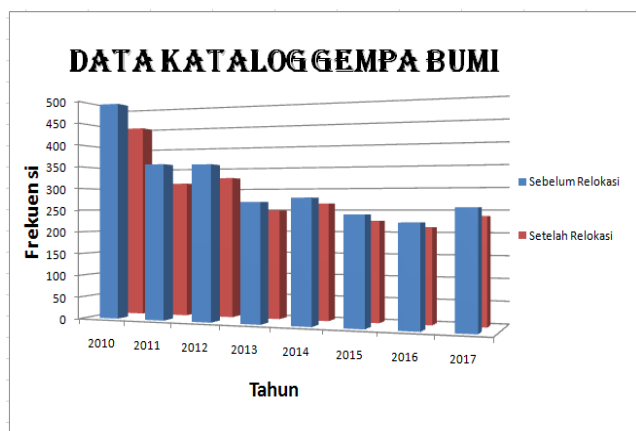


Gambar 4. Diagram alir

Results And Discussion

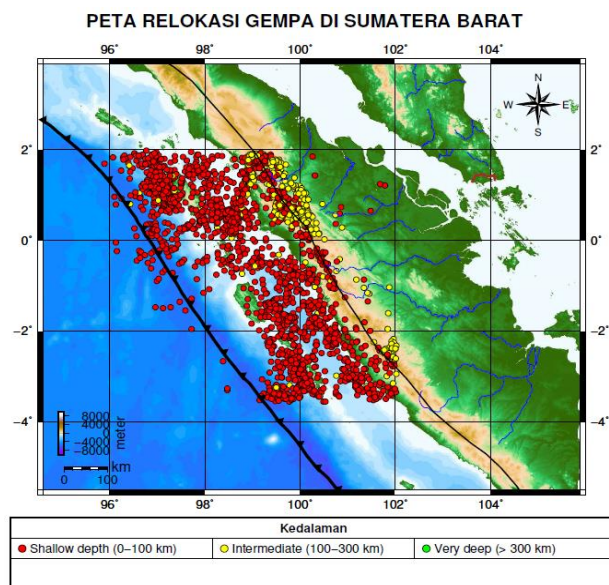
Pada penelitian ini saya menggunakan data katalog waktu tiba gelombang. Data katalog yang digunakan dari tahun 2010 sampai tahun 2017. Format data yang digunakan untuk menentukan relokasi gempa bumi terdiri dari parameter yaitu data *arrival time*, koordinat, kecepatan dan kedalaman.

Gambar 5 menunjukkan jumlah gempa mulai tahun 2010 sampai tahun 2017 yang merupakan data gempa sebelum dilakukan relokasi berwarna biru dan data gempa setelah dilakukan relokasi berwarna merah. Dapat dilihat jumlah data gempa sebelum dilakukan relokasi sebanyak 2467 *event* dan setelah dilakukan relokasi sebanyak 2283 *event*.



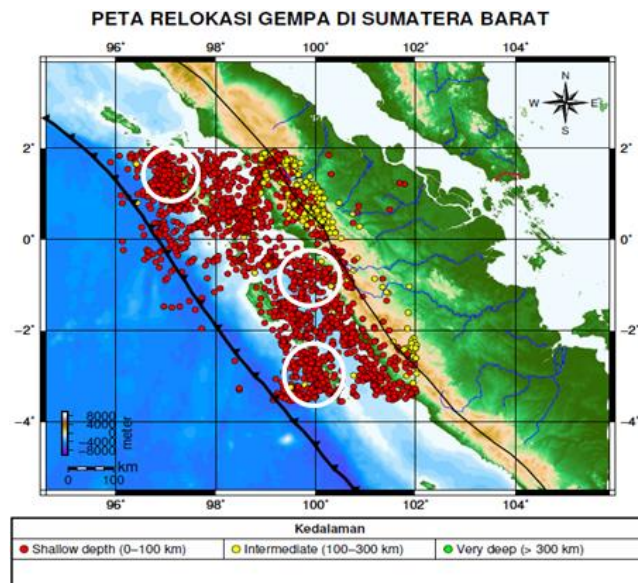
Gambar 5. Data katalog gempa bumi tahun 2010 sampai tahun 2017

Hasil pengolahan hiposenter dengan menggunakan program *hypoDD* merupakan data hiposenter yang telah direlokasi. Selanjutnya hasil hiposenter yang telah direlokasi akan dilakukan *plotting* dengan menggunakan *software GMT (Generic Mapping Tools)*.



Gambar 6. Peta sebelum relokasi hiposenter

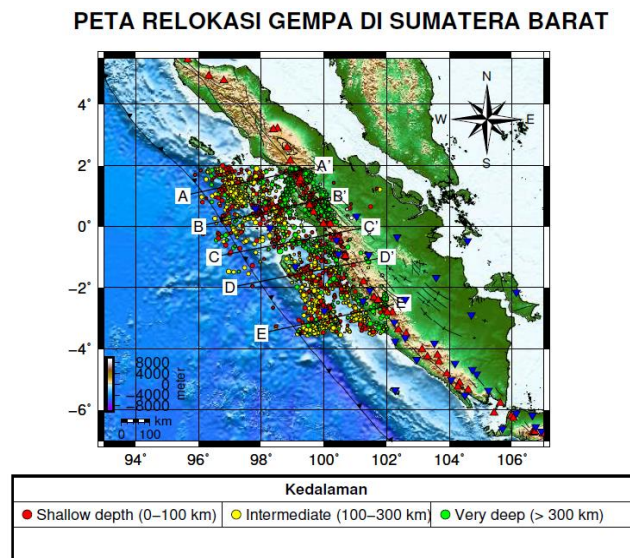
Pada **Gambar 6** dapat dilihat persebaran hiposenter sebelum dilakukan relokasi. Kedalaman hiposenter sekitar kedalaman dangkal sampai sangat dalam dan kedalaman hiposenter lebih dominan yaitu kedalaman dangkal sekitar 0 – 100 km.



Gambar 7. Peta setelah relokasi hiposenter

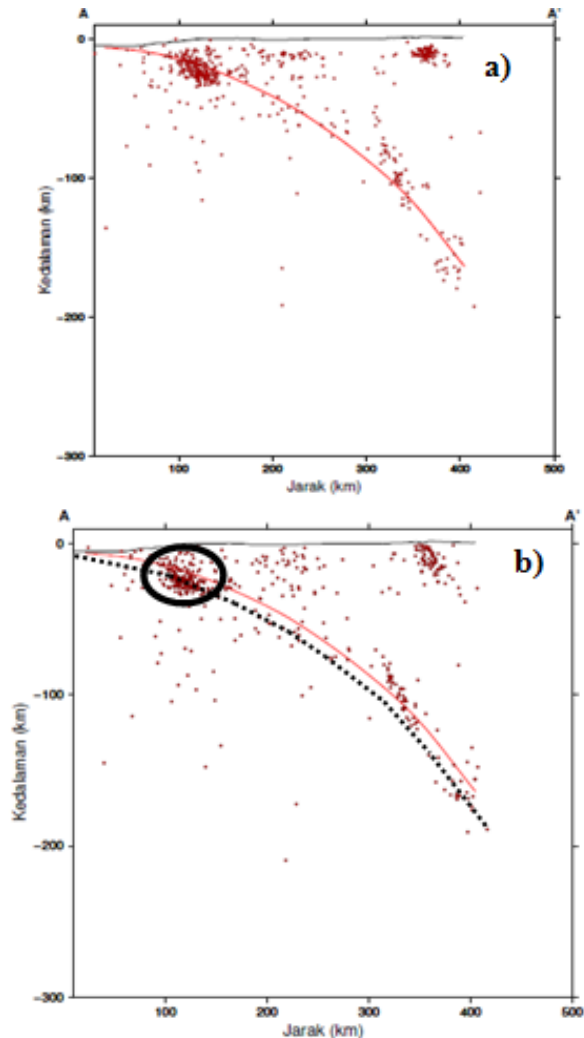
Gambar 7 persebaran hiposenter setelah relokasi hiposenter mengalami pengelompokan (*cluster*) antara hiposenter yang memiliki jarak yang relatif berdekatan. Kedalaman hiposenter sekitar kedalaman dangkal sampai sangat dalam dan kedalaman hiposenter lebih dominan yaitu kedalaman dangkal sekitar 0 – 100 km.

Setelah data relokasi didapat selanjutnya membentuk peta *cross-section* untuk mengetahui tektonik wilayah Sumatera bagian barat. Dapat dilihat pada **Gambar 8**.



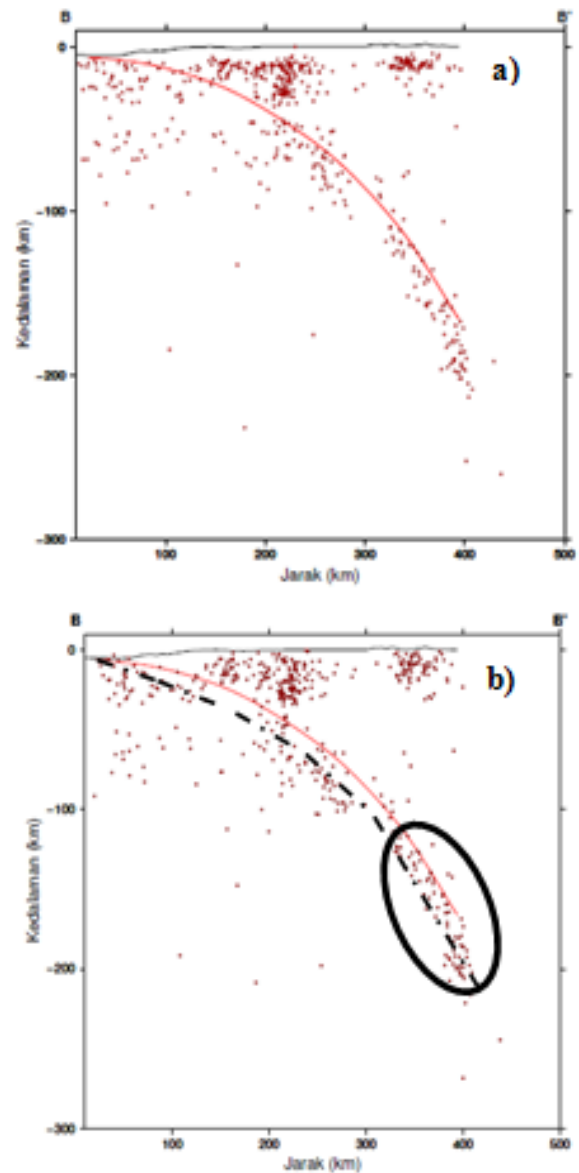
Gambar 8. Peta *cross-section* daerah penelitian

Pada **Gambar 8** terdapat penampang A-A', B-B', C-C', D-D', dan E-E' melintang di bagian barat pulau Sumatera. Penampang tersebut melihatkan persebaran hiposenter didaerah tersebut lebih berkelompok dan rapat, yang berada didekat zona subduksi.



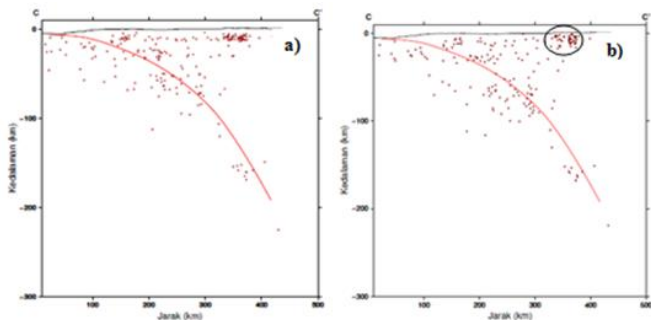
Gambar 9. Peta cross section line A dan line A' a) sebelum relokasi hiposenter, b) setelah relokasi hiposenter pada daerah penelitian.

Gambar 9 adalah sebaran hiposenter gempa bumi yang merupakan hasil *cross-section*. Garis yang berwarna merah adalah model *slab*. Pada **Gambar 9 b** adalah model *slab* setelah relokasi hiposenter, pengelompokan titik hiposenter lebih rapat dapat dilihat pada lingkaran yang berwarna hitam. Garis-garis putus kemungkinan model slab yang telah diperbaharui.

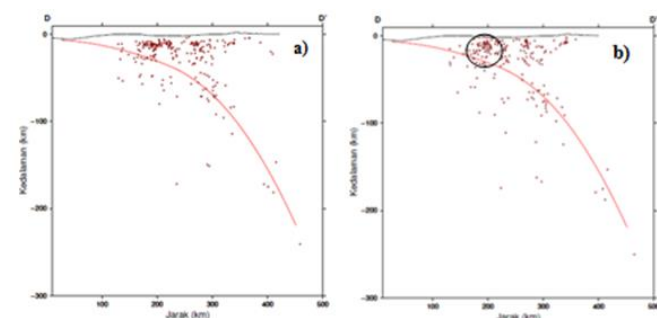


Gambar 10. Peta cross section line B dan line B' a) sebelum relokasi hiposenter, b) setelah relokasi hiposenter pada daerah penelitian

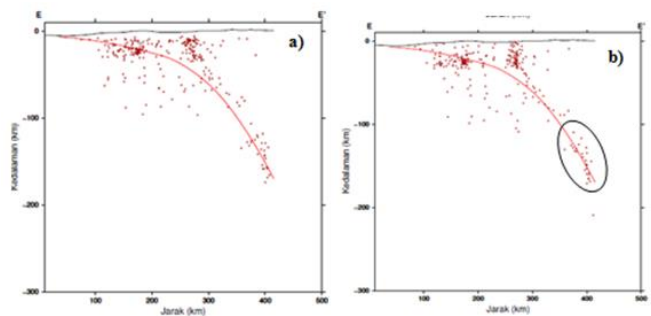
Gambar 10 adalah sebaran hiposenter gempa bumi yang merupakan hasil *cross-section*. Garis yang berwarna merah adalah model *slab*. Pada **Gambar 10 b** adalah model *slab* setelah relokasi hiposenter, pengelompokan titik hiposenter lebih rapat dapat dilihat pada lingkaran yang berwarna hitam. Garis-garis putus kemungkinan model slab yang telah diperbaharui.



Gambar 11. Peta cross section line C dan line C' a) sebelum relokasi hiposenter, b) setelah relokasi hiposenter pada daerah penelitian



Gambar 12. Peta cross section line D dan line D' a) sebelum relokasi hiposenter, b) setelah relokasi hiposenter pada daerah penelitian



Gambar 13. Peta cross section line E dan line E' a) sebelum relokasi hiposenter, b) setelah relokasi hiposenter pada daerah penelitian

Gambar 11, 12, dan 13 adalah sebaran hiposenter gempa bumi yang merupakan hasil cross-section. Garis merah yang terdapat pada gambar merupakan model slab pada daerah penelitian. Pada **Gambar 11, 12, dan 13** bagian b adalah model slab setelah relokasi hiposenter, pengelompokan titik hiposenter lebih rapat dapat dilihat pada lingkaran yang berwarna hitam.

Conclusions / Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian Tugas Akhir, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil relokasi dengan menggunakan metode double difference mampu memberikan nilai yang lebih akurat, hal ini dibuktikan bahwa nilai RMS residual banyak mendekati nilai 0 dilihat dari kurva histogram RMS residual.
2. Hasil relokasi gempa bumi di wilayah Sumatera bagian Barat dengan menggunakan metode double difference memperlihatkan adanya pengelompokan (cluster) posisi hiposenter.

References

- Anonim. 2010. Peta Regional Sumatera Barat. Badan Informasi Geospasial (BIG), Bogor.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), 2017, Katalog Gempabumi Sumatera Barat, Jakarta:BMKG
- Bock, Y., 2003, "Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements", Journal of Geophysical Research Vol.108, No. B8. 2367.
- 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.
- Ibrahim G., dan Subardjo. 2004. "Pengetahuan Seismologi". Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- Lowrie, William. 2007. "Fundamental of Geophysics Second Edition". New York: Cambridge University Press.
- Natawidjaja, Dani Hilman and Triyoso, Wahyu. 2007. "The Sumatran Fault Zone-From Source to Hazard". Journal Earthquake and Tsunami 01, 21.
- Shearer, P. M. 2009. "Introduction to Seismology (Second Edition)". Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego.
- Stein, S., and Wysession, M. 2003. "An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure". Blackwell Publishing, Oxford. 498 pp.

- Waldhauser, F. and Ellsworth, W.L., 2000. "A Double-difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California". *Bull. Seismo. Soc. Am.* Vol. 90, 1353-1368.
- Anggina, W. D., syafrian, dan Andiyansyah, Z. S. 2016. Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Sumatera Barat Menggunakan Metode Double Difference". *Pillar Of Physics*. Vol. 8, 17-24.
- Kennett, B.L.N., Engdahl, E.R., and Buland, R., 1995. Constraint on Seismic Velocities in the Earth from Traveltimes. *Geophys. J. Int.*, Vol. 122, 108 -124.

