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

Fhera Chandra Dewi¹, Karyanto¹, Rustadi¹, Adhi Wibowo²

¹Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung

²Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika

Jl Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

Jurusan Teknik Geofisika, FT UNILA

Email: flerachandra24@gmail.com

ABSTRAK

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. Untuk menghasilkan hiposenter yang akurat maka dilakukanlah relokasi hiposenter dengan menggunakan metode *double difference*. 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. Hasil dari relokasi hiposenter menggunakan *hypoDD* menghasilkan hiposenter yang lebih baik, dibuktikan dengan banyaknya 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 kegempaan nya lebih sedikit terjadi.

ABSTRACT

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. To produce a more accurate hypocenter, the hypocenter relocation is done by using the double difference method. 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. 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.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak dipertemuan 3 lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. 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.

Penentuan lokasi hiposenter gempabumi sangatlah penting dilakukan guna untuk menganalisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola zona subduksi. 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 diperlukan perhitungan ulang dengan teknik relokasi hiposenter untuk memperbaiki akurasi, ketelitian dan ketepatan dalam penentuan posisi hiposenter tersebut. Salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *double difference* (Waldhauser, 2001). Metode ini dipilih karena mampu merelokasi gempa meskipun dengan jumlah data yang banyak sekalipun namun model kecepatan yang digunakan dapat disesuaikan.

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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.

METODE PENELITIAN

Salah satu metode relokasi hiposenter adalah metode *double difference*, yang 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.

Pada **Gambar 1** 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) :

$$\tau_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (1)$$

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 (1).

Kemudian didapatkan residual gempa dimana secara linier menghubungkan waktu tiba observasi dan waktu tiba teoritis T_k^i yang sesuai dengan hiposenter dan parameter gempabumi *i* :

$$r_k^i = \frac{\partial \tau_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i \quad (2)$$

Persamaan (2) 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:

$$r_k^j = \frac{\partial \tau_k^j}{\partial x} \Delta x^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial y} \Delta y^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial z} \Delta z^j + \Delta \tau^j \quad (3)$$

Sehingga selisih antara gempabumi i dan gempabumi j didapatkan:

$$r_k^i - r_k^j = \frac{\partial \tau_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial \tau_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i - \frac{\partial \tau_k^j}{\partial x} \Delta x^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial y} \Delta y^j + \frac{\partial \tau_k^j}{\partial z} \Delta z^j + \Delta \tau^j \quad (4)$$

Dengan asumsi bahwa gempabumi terjadi tersebut berdekatan, maka lintasan dari gempabumi ke stasiun dianggap sama. Persamaan (4) adalah selisih waktu tiba dari gempabumi i dan j terhadap masing-masing parameter (x,y,z,t). Persamaan diatas dapat ditulis sederhana dalam persamaan :

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

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 (5) dapat ditulis dalam bentuk :

$$\Delta d = \frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j \quad (6)$$

Persamaan (6) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta d = \frac{\partial t_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta t_k^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y} \Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta t_k^j \quad (7)$$

Apabila dinyatakan dalam bentuk matriks maka persamaannya akan menjadi :

$$\begin{pmatrix} \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \vdots \\ \Delta d_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial t_1}{\partial x_1} & \frac{\partial t_1}{\partial y_1} & \frac{\partial t_1}{\partial z_1} & 1 \\ \frac{\partial t_2}{\partial x_2} & \frac{\partial t_2}{\partial y_2} & \frac{\partial t_2}{\partial z_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial t_n}{\partial x_n} & \frac{\partial t_n}{\partial y_n} & \frac{\partial t_n}{\partial z_n} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t \end{pmatrix} \quad (8)$$

Atau

$$W \Delta d = W G \Delta m \quad (9)$$

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 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji hasil relokasi hiposenter digunakanlah metoda histogram dengan jumlah *travel time* yang digunakan adalah fasa gelombang P sebanyak 530462 dan fasa gelombang S sebanyak 134281 yang merupakan jumlah *travel time* dari 3592 gempabumi yang berhasil direlokasi dan terekam di berbagai jaringan stasiun seismik.

Dari histogram residual waktu tempuh (**Gambar 2**) dapat dilihat bahwa hasil dari relokasi hypoDD yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang baik dan lebih akurat dibandingkan sebelum nya dimana frekuensi residual waktu tempuh mendekati nol sesudah relokasi menunjukkan frekuensi lebih tinggi daripada sebelum relokasi.

Dalam sebaran *event* gempa sebelum (ditunjukkan pada **Gambar 3**) dan sesudah dilakukan relokasi (ditunjukkan pada **Gambar 4**) ini terlihat sebaran gempabumi paling dominan adalah gempa dengan kedalaman dangkal. Dari hasil relokasi yang

didapat, dapat dilihat perbedaan hiposenter gempabumi yang lebih terfokus dibandingkan dengan sebelum direlokasi.

Distibusi Event Gempa

Jumlah gempabumi yang berhasil terelokasi adalah sebanyak 3592 *event* dari 3630 *event* gempabumi. Gempabumi yang tidak terelokasi tersebut dapat disebabkan saat proses relokasi terdapat *event* yang tidak memenuhi kriteria yang sesuai dengan input yang telah diberikan, dan juga kemudian terdapat beberapa gempabumi yang menjadi *airquake* yaitu gempabumi yang berlokasi diatas permukaan setelah direlokasi. Hal tersebut dapat terjadi karena terdapat *event* gempa yang tidak berpasangan sehingga tidak dapat dilakukan relokasi dengan metode *double difference* ini.

Untuk melihat perbedaan hasil relokasi lebih detail maka dibuatlah perbesaran wilayah atau *zooming* yang terfokus secara lebih detail pada wilayah-wilayah tertentu, dalam hal ini dibuat fokus untuk wilayah A dan wilayah B yang ditunjukkan pada **Gambar 5** dan hasilnya pada **Gambar 6**.

Dan dari hasil *zooming* tersebut dapat lebih jelas terlihat pergeseran dari titik-titik episenter sebelum dan sesudah relokasi. Untuk sebelum relokasi, titik dari episenter lebih menyebar dan sesudah relokasi maka titik tersebut lebih mendekat dan terfokus menuju zona subduksi di wilayah barat Sumatera.

Dari data hiposenter gempabumi sebelum relokasi dan sesudah relokasi dapat digambarkan dalam pemodelan 3D yang ditunjukkan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

Pola Penunjaman (Subduksi)

Dari hasil *plotting* episenter data gempabumi sebelum dan sesudah relokasi tidak terlalu detail terlihat perubahan episenternya, oleh karena itu untuk melihat pola penunjaman dari Lempeng Indo-Australian dan Lempeng

Eurasia dibuatlah 6 penampang skema irisan vertikal yang dibuat terhadap lintang dan bujur. Penampang tersebut dibuat sejajar mengikuti arah pola penunjaman dan tegak lurus dengan zona subduksi (**Gambar 9**).

Sebelum relokasi terdapat hiposenter gempabumi dengan kedalaman 10 km (*fix depth*) dan hiposenter tersebut kemudian berubah setelah dilakukan nya relokasi. Distribusi hiposenter sebelum relokasi terlihat menyebar dan setelah dilakukannya relokasi menunjukkan distribusi hiposenter yang lebih rapat dan berdekatan serta lebih terfokus mengikuti pola tektonik atau mendekati zona subduksi. Hasil dari penampang A-A' ditunjukkan pada **Gambar 10** sedangkan hasil dari penampang B-B' ditunjukkan pada **Gambar 11**.

Pada **Gambar 12** penampang C-C' menunjukkan adanya *seismic gap* yang berjarak 190-220 km dari titik C. Begitu juga pada **Gambar 13** penampang D-D' menunjukkan adanya *seismic gap* yang berjarak 170-190 km dan 270-310 km dari titik D. *Seismic gap* merupakan wilayah yang aktif secara tektonik namun tidak terdapat kejadian gempa. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan wilayah tersebut merupakan wilayah akumulasi energi atau sudut elastisitas dari lempeng yang mengalami penunjaman. Tidak adanya aktivitas kegempaan di wilayah tersebut bukan berarti menjadikannya wilayah yang aman, namun justru dapat mengindikasikan kegempaan yang bisa kapan saja dan sewaktu-waktu melepaskan energi secara tiba-tiba dan lebih besar. Penampang A-A' dan penampang B-B' berasosiasi dengan segmen Sianok dan Suliti di daerah Padang, sedangkan penampang C-C' dan penampang D-D' berasosiasi dengan segmen Siulak dan Ketaun di daerah Jambi yang merupakan bagian dari sesar besar Sumatera.

Pada **Gambar 14** penampang E-E' dan **Gambar 15** penampang F-F' terdapat pada melewati gunungapi dan akan membentuk

suatu pola penunjaman daerah yang diteliti. Distribusi hiposenter gempabumi pada kedua penampang ini menunjukkan bahwa kedalaman hiposenter hasil relokasi sesuai dengan pola penunjaman, dimana hiposenter nya mengikuti arah penunjamannya. Hasil irisan penampang E-E' tersebut menunjukkan hiposenter kedalaman maksimal 340 km sedangkan hasil irisan penampang F-F' menunjukkan hiposenter kedalaman maksimal 220 km. Penampang E-E' berasosiasi dengan segmen Manna dan melewati Gunung Patah di daerah Bengkulu. Sedangkan penampang F-F' berasosiasi dengan segmen Kumering dan melewati Gunung Suoh di daerah Lampung. Segmen-segmen tersebut merupakan bagian dari sesar besar sumatera.

Dari distribusi gempa hasil penampang tersebut dapat dilihat bahwa zona penunjaman yang semakin kearah timur menunjukkan distribusi gempa yang semakin dalam pula, hal ini membuktikan gempabumi tersebut bersumber dari zona subduksi dari pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Wilayah Sumatera mempunyai kondisi tektonik yang paling aktif di sepanjang busur Sunda. *Slab* subduksi di Sumatera berusia lebih muda (49-96 *Ma*) dan mempunyai sudut penunjaman yang lebih landai yaitu 30° (kedalaman *slab* sekitar 250 km) dari pada *slab* subduksi di selatan Jawa hingga Nusa Tenggara (96-134 *Ma*) serta mempunyai kedalaman *slab* mencapai 670 km dan sudut penunjaman hingga sebesar 60° (Schoffel and Das, 1999).

Salah satu hal yang berpengaruh terhadap sudut penunjaman adalah umur dari kerak bumi yang membentuk zona subduksi. Dari gambaran hasil penampang vertikal dapat dilihat untuk sudut penunjaman subduksi di Sumatera bagian Selatan dari utara ke selatan terlihat semakin curam karena sebenarnya usia dari zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia semakin ke

selatan semakin tua dan tidak mudah patah sehingga tingkat kegempaannya lebih sedikit terjadi. Semakin ke selatan maka semakin dalam gempa yang terjadi dan gempa yang paling dalam tersebut terjadi pada lempeng yang menunjam pertama kali dan lebih dulu masuk ke dalam lempeng yang ditunjam. Sedangkan semakin ke utara terlihat semakin landai karena usia dari zona subduksi nya lebih muda dan lebih rapuh serta mudah mengalami gesekan sehingga tingkat kegempaannya lebih banyak terjadi. Karena semakin ke utara maka lempeng tersebut menunjam lebih akhir sehingga lebih dangkal dibandingkan lempeng di selatan yang lebih dalam. Dari zona penunjaman dan subduksi lempeng akhirnya dapat menggambarkan aktivitas gempa yang terjadi.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil relokasi metode *double-difference* menunjukkan perubahan 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 kegempaan lebih sedikit terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BMKG atas data yang diberikan, Bapak Adhi Wibowo sebagai pembimbing lapangan, serta Bapak Karyanto dan Bapak Rustadi yang telah membimbing penulis dan memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bormann, P., 2002. “*New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*” Vol 1. GeoForschungs Zentrum Potsdam (GFZ). Germany.
- 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.
- 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.
- 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.
- Schoffell, 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.
- Wagner, D., Koulakov, I., Rabbel, W., Luehr, B. G., Wittwer, A., Kopp, H., Bohm, M., Asch, G and the 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, *Jurnal Geofisika* Vol. 13 No. 1.

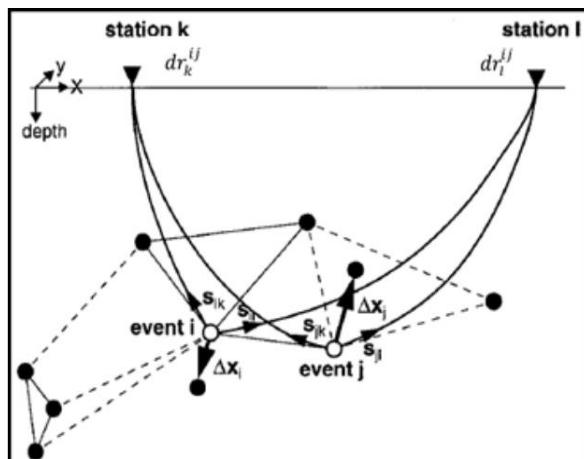
LAMPIRAN

Tabel 1. Model kecepatan gelombang P dan S (Wagner dkk., 2007; Kennett dkk., 1995)

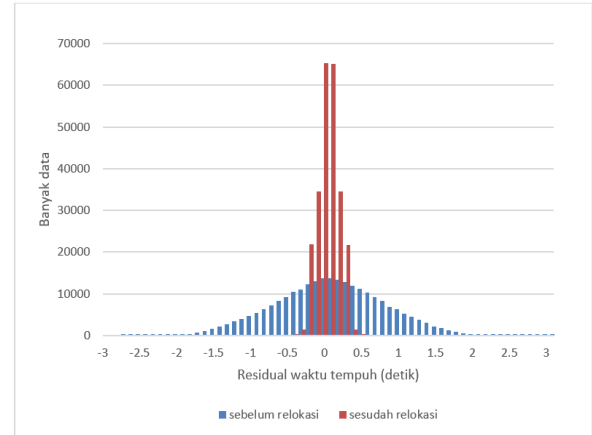
Kedalaman (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)
0	5	2.81
5	5	2.81
10	6	3.37
15	6.75	3.79
25	7.11	3.99
35	7.24	4.07
45	7.37	4.14
60	7.6	4.27
75	7.77	4.37
90	7.95	4.47
105	8.04	4.52
120	8.05	4.52
165	8.13	4.57
210	8.21	4.61
450	8.3	4.66

Tabel 2. Klasifikasi jumlah gempa bumi sebelum dan sesudah relokasi

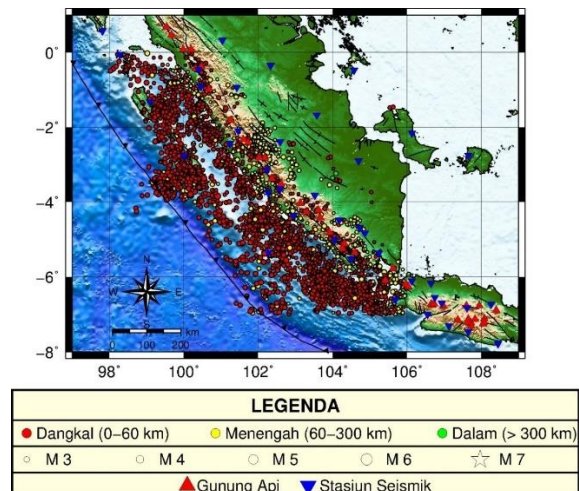
No	Jenis Gempa	Sebelum relokasi	Sesudah relokasi
1	Dangkal	3048	3050
2	Menengah	579	539
3	Dalam	3	3
Jumlah		3630	3592
Persentase		1.04%	98.96%



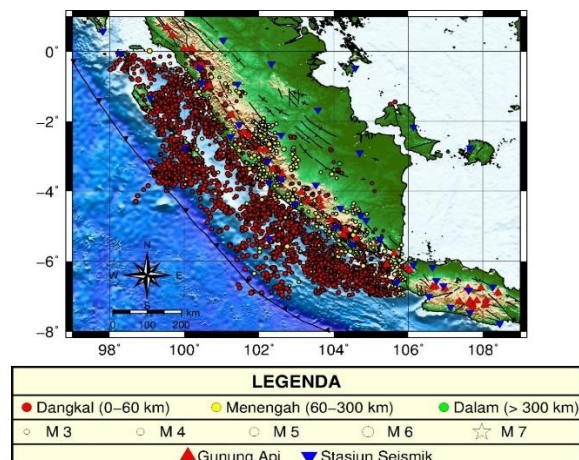
Gambar 1. Ilustrasi double difference (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)



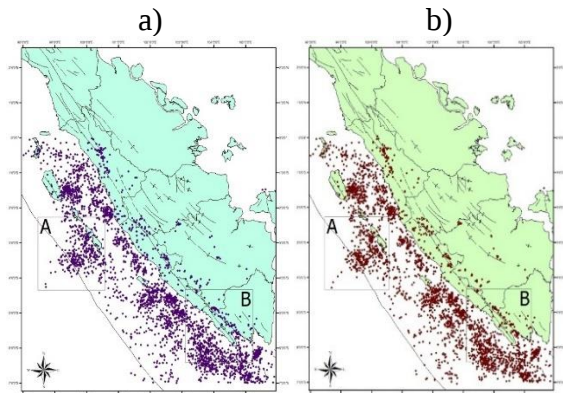
Gambar 2. Histogram waktu tempuh sebelum dan setelah relokasi



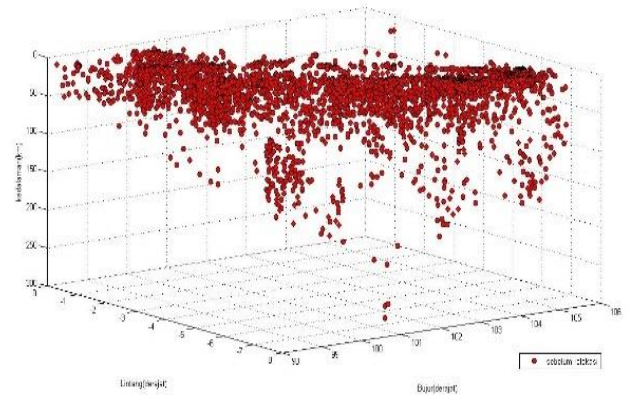
Gambar 3. Event gempa sebelum relokasi



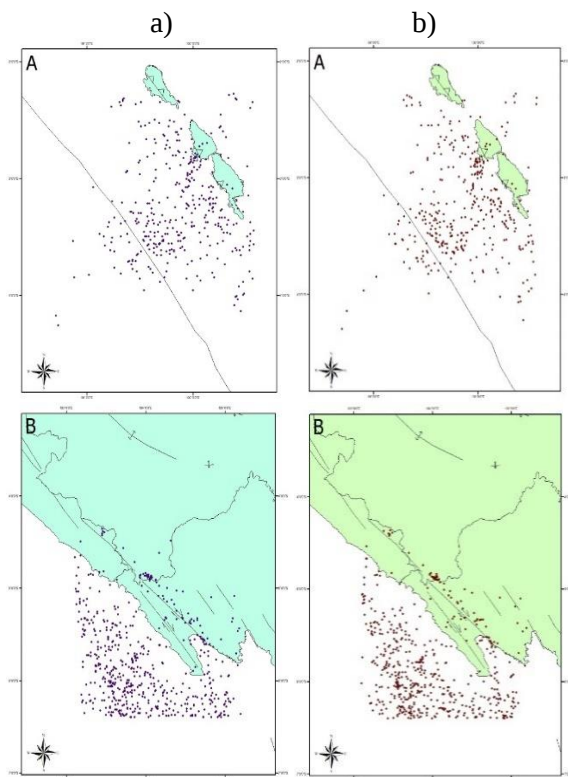
Gambar 4. Event gempa sesudah relokasi



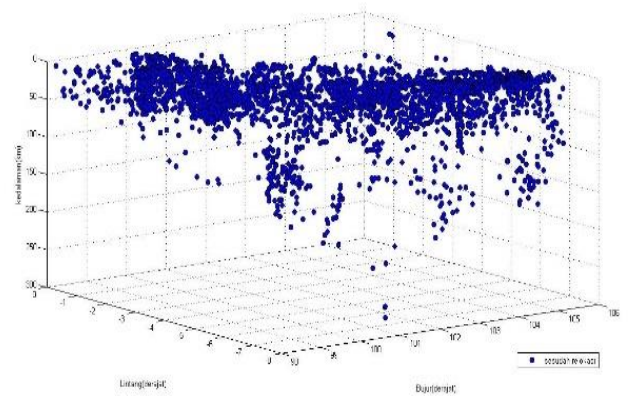
Gambar 5. (a) Persebaran episenter sebelum relokasi dan (b) sesudah relokasi



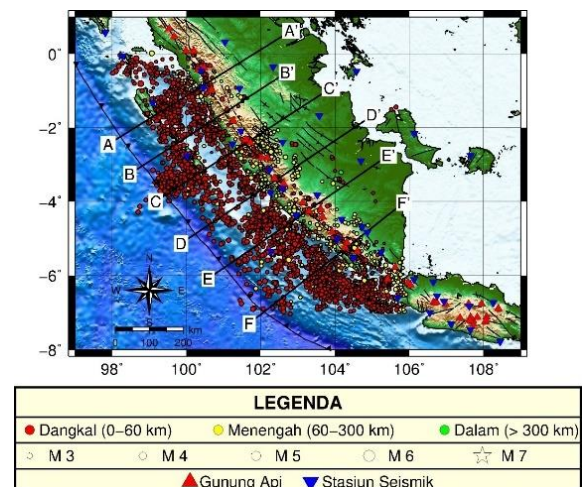
Gambar 7. Pemodelan 3D persebaran hiposenter sebelum relokasi



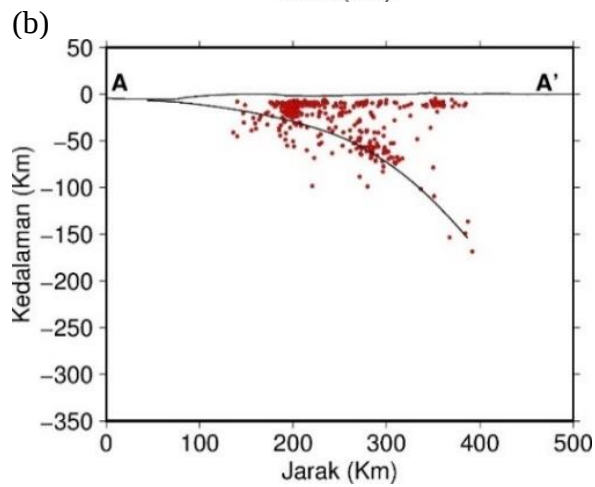
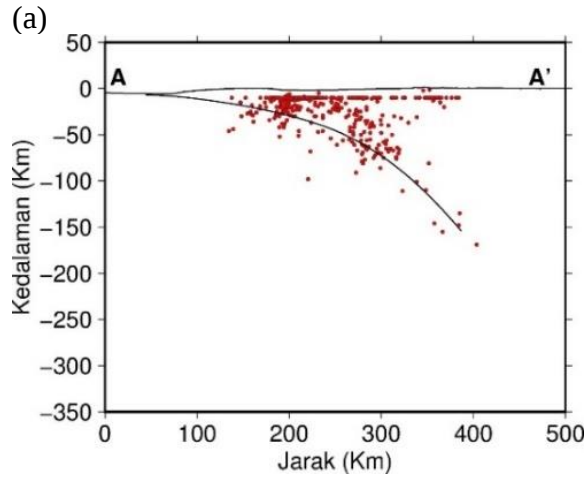
Gambar 6. (a) Perbedaan episenter sebelum relokasi di wilayah A dan wilayah B dan (b) Perbedaan episenter sesudah relokasi di wilayah A dan wilayah B.



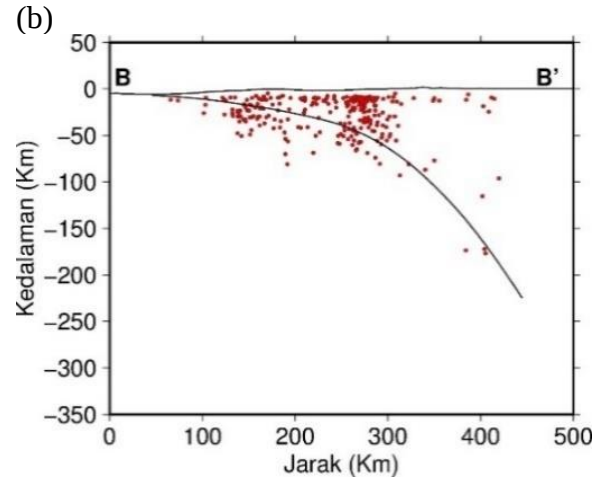
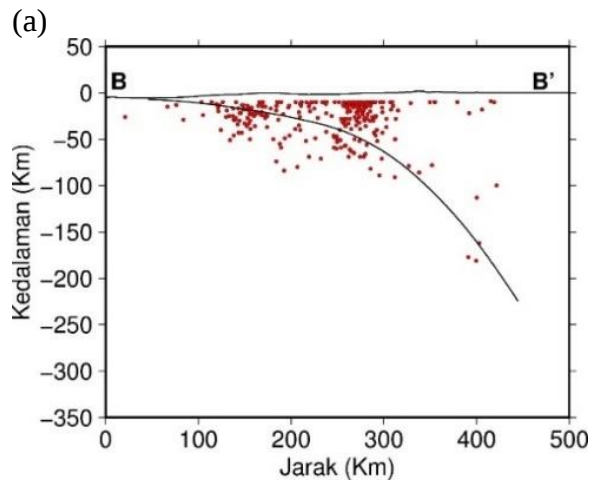
Gambar 8. Pemodelan 3D persebaran hiposenter sesudah relokasi



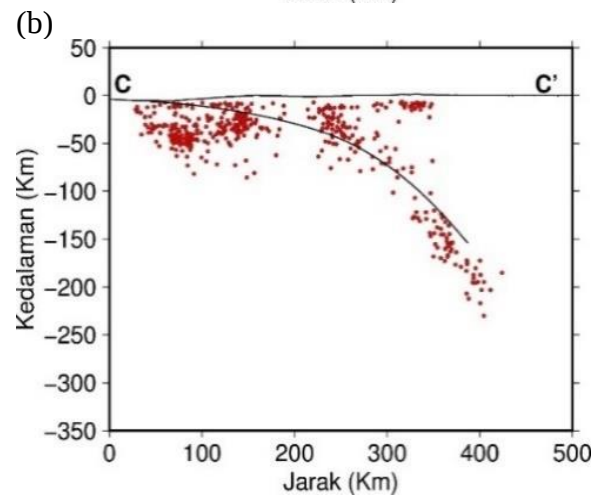
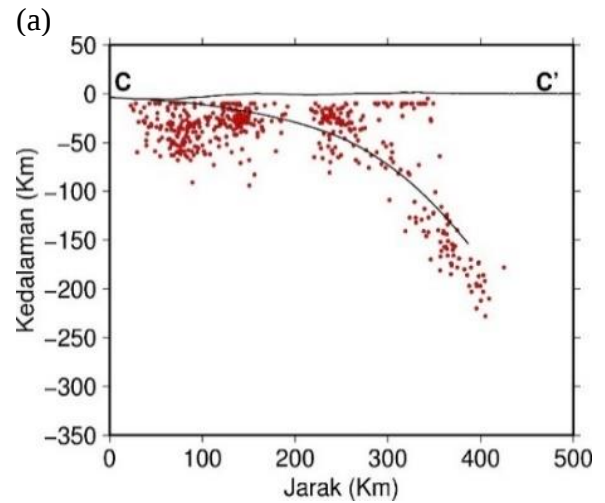
Gambar 9. Irisan penampang vertikal



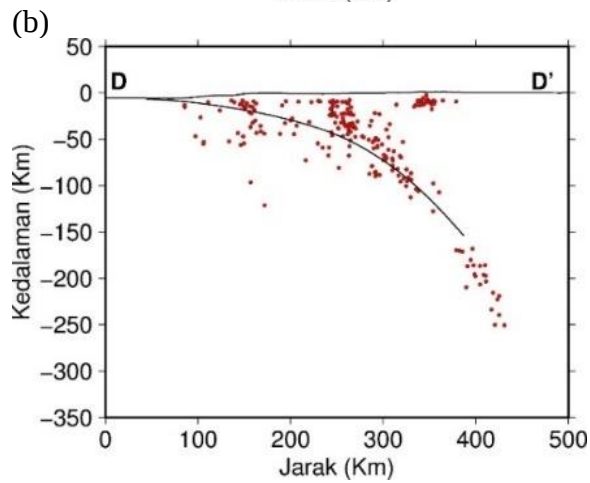
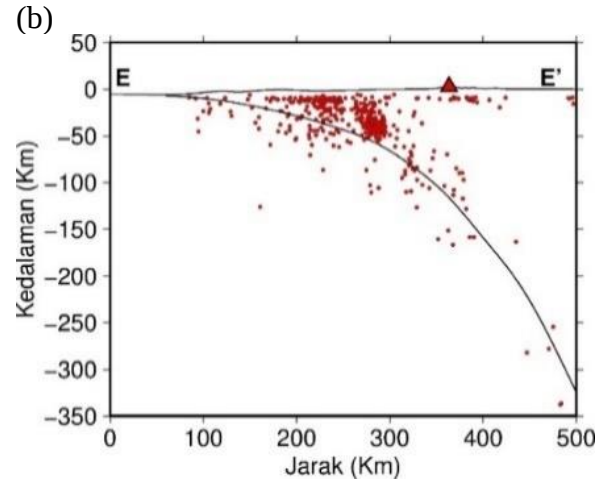
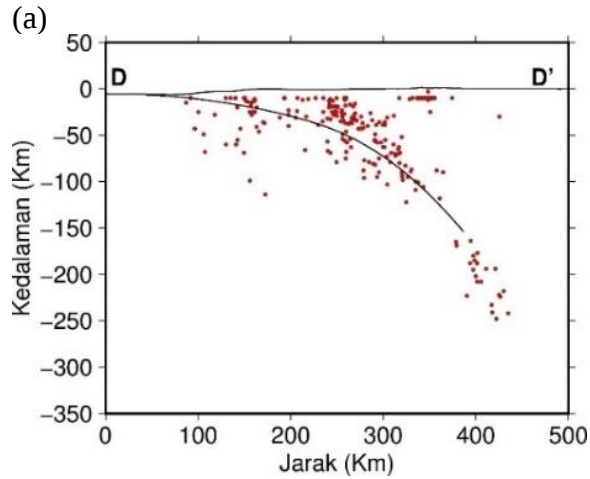
Gambar 10. (a) Penampang A-A' sebelum relokasi dan (b) Penampang A-A' sesudah relokasi



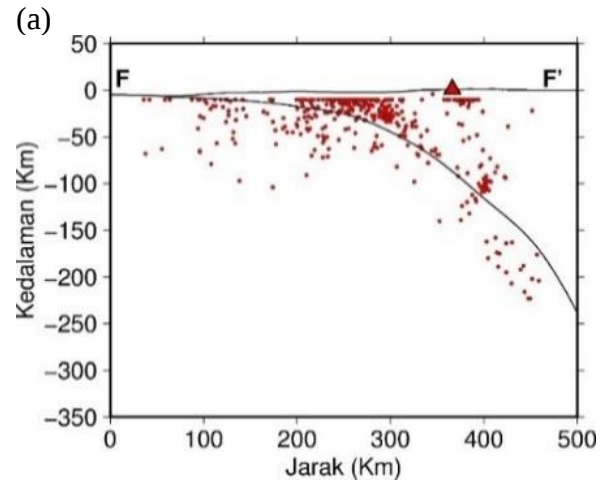
Gambar 11. (a) Penampang B-B' sebelum relokasi dan (b) Penampang B-B' sesudah relokasi



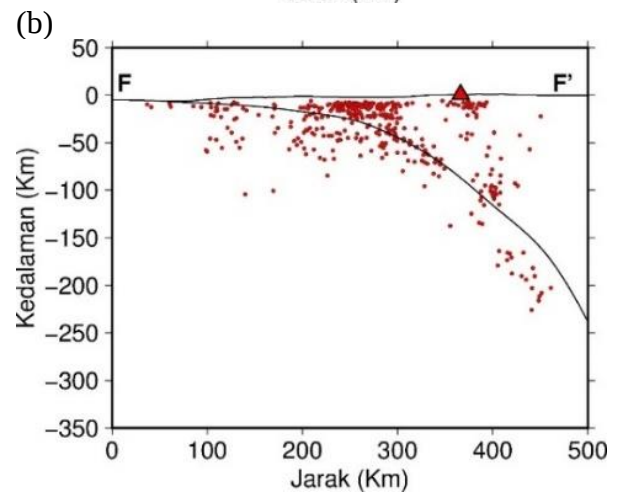
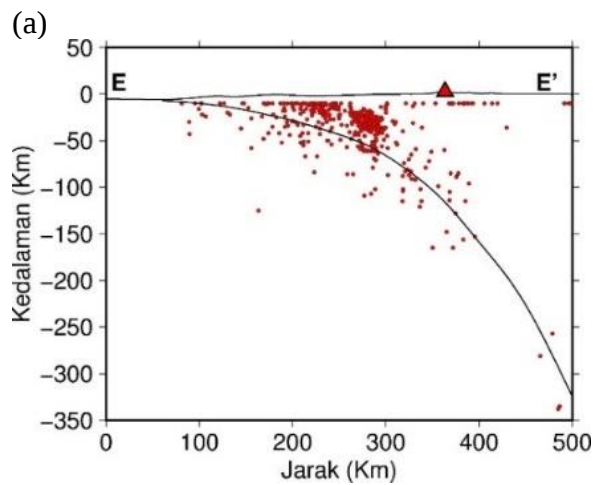
Gambar 12. (a) Penampang C-C' sebelum relokasi dan (b) Penampang C-C' sesudah relokasi



Gambar 14. (a) Penampang E-E' sebelum relokasi dan (b) Penampang E-E' sesudah relokasi



Gambar 13. (a) Penampang D-D' sebelum relokasi dan (b) Penampang D-D' sesudah relokasi



Gambar 15. (a) Penampang F-F' sebelum relokasi dan (b) Penampang F-F' sesudah relokasi