

# RELOKASI GEMPABUMI MENGGUNAKAN METODE TELESEISMIC DOUBLE DIFFERENCE DI WILAYAH JAWA

## EARTHQUAKE RELOCATION USING THE DOUBLE DIFFERENCE TELESEISMIC METHOD IN THE JAVA REGION

Tio Azhar Prakoso Setiadi<sup>\*1,2</sup>, Yunus Daud<sup>1</sup>, Agustya Adi Martha<sup>2</sup>, Supriyanto Rohadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jl. Margonda Raya, Jawa Barat

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl. Angkasa I no 2, Kemayoran, Jakarta

\*E-mail: tio.prakoso08@gmail.com

Naskah masuk: 16 November 2021 Naskah diperbaiki: 09 Desember 2021 Naskah diterima: 10 Desember 2021

### ABSTRAK

Relokasi hiposenter penting dilakukan untuk mendapatkan lokasi gempabumi yang akurat untuk studi relokasi struktur tektonik secara detail, seperti identifikasi pola bidang patahan, pola zona subduksi, dan identifikasi batas lempeng. Salah satu metode relokasi hiposenter terbaru adalah metode *teleseismic Double-Difference* (teletomoDD) yang menggunakan koordinat *spherical* model dan kecepatan seismik 3D. Penelitian ini dilakukan dengan merelokasi gempabumi yang terjadi di sekitar wilayah Jawa. Jumlah gempabumi yang direlokasi sebanyak 3570 dari 3653 event. Hasil dari relokasi hiposenter menunjukkan hiposenter yang lebih baik, yaitu gempabumi dengan kedalaman tertentu (*fixed depth* = 10 km) telah terelokasi dan distribusi hiposenter yang didapat menunjukkan pola penunjaman yang berasosiasi dengan pola subduksi dan patahan aktif di Pulau Jawa.

**Kata kunci:** relokasi, gempabumi, teletomoDD, Jawa

### ABSTRACT

*Hypocenter relocation is important to obtain accurate earthquake locations for detailed tectonic structure studies, such as identification of fault plane patterns, subduction zone patterns, and plate boundary identification. One of the newest hypocenter relocation methods is the teleseismic Double-Difference (teletomoDD) method which uses spherical model coordinates and 3D seismic velocity. This research was conducted by relocating earthquakes that occurred around Java. The number of earthquakes that were relocated was 3570 from 3653 events. The results of the hypocenter relocation show a better hypocenter, namely an earthquake with a certain depth (fixed depth = 10 km) has been relocated and the distribution of the hypocenter obtained shows a subduction pattern associated with subduction patterns and active faults in Java.*

**Keywords:** relocation, earthquake, teletomoDD, Java

## 1. Pendahuluan

Pulau Jawa memiliki struktur tektonik yang kompleks, dimana adanya aktivitas subduksi antara Lempeng Indo-Australia yang menunjani Lempeng Eurasia yang terjadi di sepanjang Pulau Jawa. Aktivitas tektonik ini menyebabkan terbentuknya berbagai struktur geologi di Pulau Jawa, salah satunya yaitu aktivitas patahan lokal. Beberapa patahan lokal di Pulau Jawa yang aktivitas tektoniknya tergolong aktif, yaitu Patahan Cimandiri, Patahan Lembang, Patahan Baribis, Patahan Opak, dan sebagainya [1]. Keberadaan aktivitas tektonik pada zona subduksi dan patahan lokal sudah beberapa kali mengakibatkan kerusakan materil dan menimbulkan korban jiwa.

Sejarah gempabumi kuat dan merusak yang pernah terjadi di wilayah Jawa yaitu gempabumi Bantul (M 5.9) tanggal 27 Mei 2006, gempabumi dan tsunami Pangandaran (M 7.7) tanggal 17 Juli 2006, gempabumi Tasikmalaya (M 7.0) tanggal 2 September 2009, gempabumi Tasikmalaya (M 6.9) tanggal 15 Desember 2017, gempabumi Lebak (M 6.1) tanggal 23 Januari 2018, gempabumi Banten (M 6.9) tanggal 2 Agustus 2019, dan gempabumi Malang (M 6.1) tanggal 12 April 2021 [2].

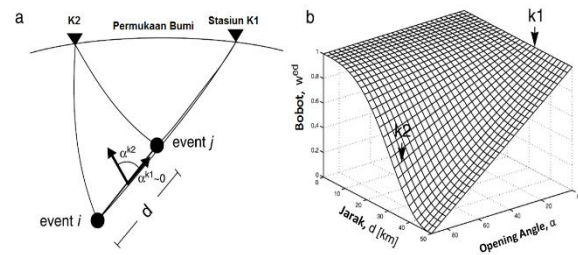
Dalam studi kegempaan, penentuan parameter hiposenter secara akurat sangatlah penting terutama dalam analisis tingkat lanjut yang berkaitan dengan tektonismenya. Penentuan lokasi hiposenter yang akurat diperlukan untuk analisis struktur tektonik secara detail, seperti identifikasi pola bidang patahan, pola zona subduksi, dan identifikasi batas lempeng.

Untuk mengetahui lokasi hiposenter tersebut dengan lebih akurat, maka dalam studi ini dilakukan relokasi hiposenter dengan metode Teleseismic Double-Difference (TeletomoDD). Metode ini dapat menghitung banyak data gempabumi di wilayah penelitian yang luas secara bersamaan dengan model kecepatan 3D dan akurasi tinggi [3]. Metode TeletomoDD telah digunakan oleh beberapa penelitian, salah satunya untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang lebih akurat di wilayah Bali dan Nusa Tenggara [4]. Hasil sebaran hiposenter yang akurat akan memudahkan proses interpretasi kondisi tektonik di wilayah Jawa.

## 2. Metode Penelitian

**Data.** Penelitian ini menggunakan data arrival time yang di *download* dari katalog BMKG untuk wilayah Jawa dengan rentang waktu yang digunakan dari November 2008 hingga September 2020. Jumlah data yang diperoleh adalah 3653 event [5].

Pada saat ini telah dikembangkan teknik relokasi hiposenter untuk mendapatkan hiposenter yang akurat, salah satunya yaitu menggunakan metode TeletomoDD. Metode ini merupakan pengembangan dari metode *Double-Difference* (DD). Pada awalnya metode DD digunakan dalam koordinat kartesian, kemudian dikembangkan untuk koordinat *spherical* [6]. Fungsi pembobotan ( $w$ ) dalam metode DD bergantung pada jarak antar gempabumi dan opening angle ( $\alpha$ ) yang merupakan *take-off angle* dari titik tengah pasangan gempabumi. Fungsi  $w$  berbanding terbalik dengan jarak antar gempabumi dan *opening angle*. Ilustrasi metode DD untuk jarak teleseismik dapat dilihat pada Gambar 1.

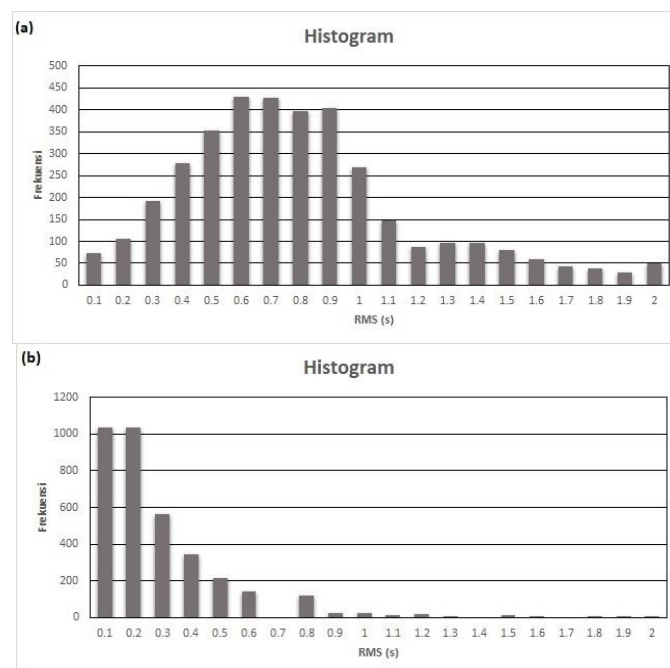


**Gambar 1. (a) Skema dari metode teleseismik DD dan (b) Permukaan 3D**

Penelitian oleh Pesicek, dkk. (2010) mengembangkan metode DD untuk kasus teleseismik dengan mengadopsi metode penjejakan sinar gelombang Pseudo-Bending untuk kasus *spherical earth* [7]. Model kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model kecepatan 3D [8]. Model kecepatan 3D digunakan untuk mengakomodasi heterogenitas struktur bawah permukaan di Indonesia.

## 3. Hasil dan Pembahasan

**Validasi.** Untuk menguji hasil relokasi, dilakukan pengujian distribusi *Root Mean Square* (RMS) residual sebelum dan setelah relokasi. Nilai RMS residual ini berkaitan dengan keakuratan suatu metode. Hasil relokasi hiposenter dengan metode TeletomoDD memberikan nilai RMS residual yang lebih baik (gambar 2).



**Gambar 2. Distribusi RMS residual time sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan relokasi hiposenter.**

**Hasil Relokasi TeletomoDD.** Penentuan hiposenter awal dan setelah relokasi menggunakan metode teletomoDD untuk data gempabumi wilayah Jawa tahun 2008-2020 mendapatkan hasil relokasi gempabumi sebanyak 3.570 events. Berkurangnya jumlah events gempabumi dari data awal yang digunakan karena pada proses relokasi terdapat events yang tidak memenuhi kriteria yang sesuai dengan input yang diberikan.

Distribusi hiposenter sebelum relokasi, banyak sekali gempabumi dengan kedalaman 10 km (*fix depth*), dan dianggap belum akurat akibat model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan satu dimensi yang bersifat global. Penentuan parameter hiposenter belum akurat karena ditujukan untuk memberikan informasi sesegera mungkin bagi masyarakat. Setelah dilakukan relokasi hiposenter terlihat perubahan kedalaman gempabumi yang signifikan terutama pada gempabumi dengan kedalaman dangkal (kedalaman < 60 km) di wilayah Jawa (gambar 3).

Distribusi episenter gempabumi di wilayah Jawa sebelum dan setelah relokasi dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b. Jika dilihat secara horizontal, seismisitas sebelum dan setelah relokasi tidak menunjukkan perubahan posisi episentrum yang signifikan. Karena itu, dilakukan analisis irisan penampang vertikal untuk melihat pola penunjaman dan sebaran posisi hiposenter dari A-A' hingga D-D' dengan lebar sebesar 110 km pada tiap irisan vertikal.

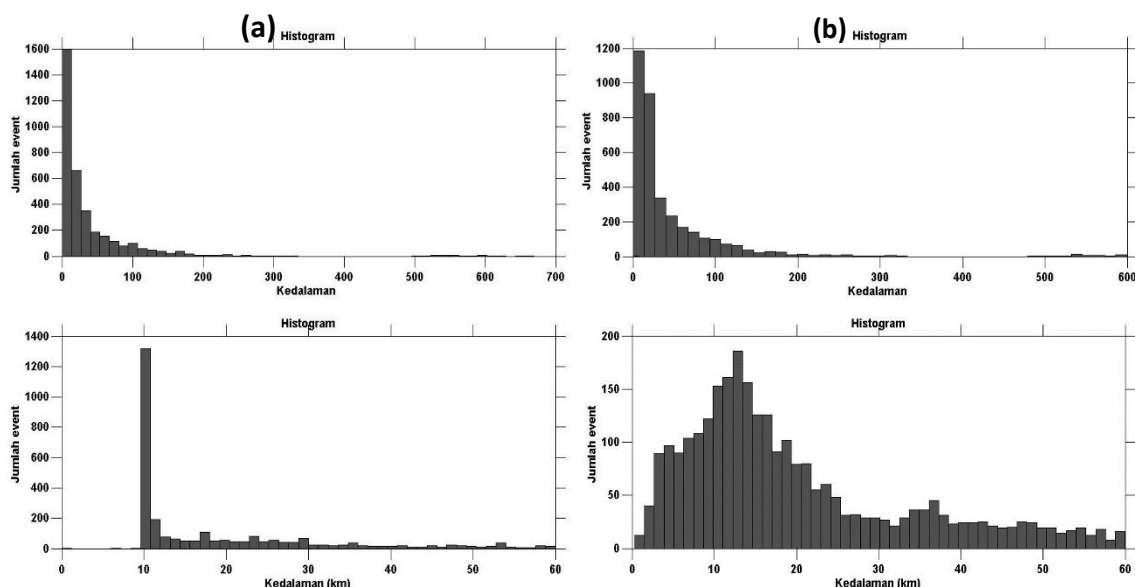
Irisan vertical A-A' – D-D' menunjukkan pola distribusi hiposenter yang hampir sama, namun

setelah dilakukan relokasi kedalaman pada sumber gempabumi cenderung lebih dalam dan tepat mengikuti arah trench. Gempabumi mengumpul membentuk satu klaster.

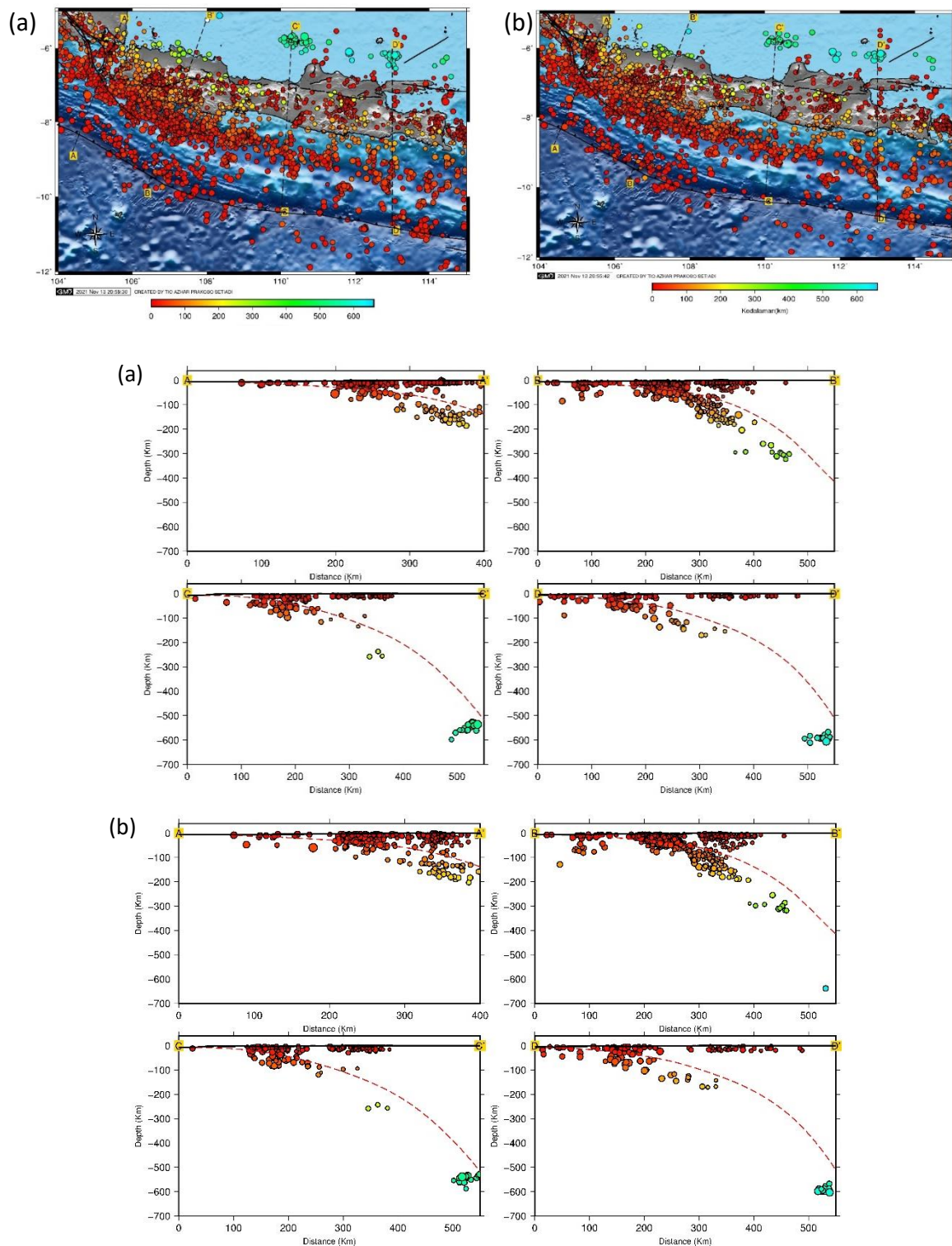
Hasil irisan vertikal C-C dan D-D' sebelum dan sesudah relokasi terlihat distribusi sebaran hiposenter tersebut menunjukkan tunjaman slab yang tajam. Tunjaman slab yang tajam berkaitan dengan usia slab di bawah Pulau Jawa yang relatif lebih tua, Hal ini juga didukung oleh banyaknya patahan normal di daerah fore-arc yang mengindikasikan dominasi slab-pull force dibandingkan dengan slab-push force di daerah ini [9]. Gempabumi dangkal dengan kedalaman kurang dari 60 km di daratan, menunjukkan adanya kluster – kluster dan lineasi yang berkaitan dengan struktur patahan yang ada di Pulau Jawa [10].

Distribusi hiposenter di Pulau Jawa memiliki kesenjangan aktivitas gempabumi (*seismic gap*) pada zona subduksi di wilayah Selatan Jawa bagian tengah hingga selatan. Kesenjangan aktivitas gempabumi tersebut menggambarkan bahwa tidak ada kejadian gempabumi yang terekam pada kedalaman tersebut di wilayah penelitian.

Pada penelitian ini, terdapat kekosongan hiposenter dengan kedalaman 300 hingga 500 km. Kejadian tersebut bisa saja terjadi karena adanya pelelehan sebagian batuan pada lapisan mantel. Pelelehan tersebut merupakan kondisi suhu pada lapisan astenosfer yang lebih tinggi dibandingkan suhu leleh lapisan batuan pada hiposenter tersebut [11].



**Gambar 3.** Histogram kejadian gempabumi berdasarkan kedalaman, sebelum relokasi (a) dan setelah relokasi gempabumi (b).



**Gambar 4.** Peta sebaran episenter dan irisan penampang vertikal segment A-A', B-B', C-C', dan D-D' sebelum relokasi (a) dan setelah relokasi (b).

#### 4. Kesimpulan

Hasil relokasi dengan metode teleseis tomography menunjukkan keunggulan dari distribusi RMS residual yang mendekati nol jauh lebih banyak, dan perubahan lokasi hiposenter hasil relokasi pada kedalaman tertentu (*fixed depth* = 10 km) mengalami

perubahan kedalaman yang acak berasosiasi dengan pola subduksi dan patahan aktif di Pulau Jawa. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memperbarui katalog gempa bumi dan studi tektonik tingkat lanjut.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG yang telah mendukung dan menyediakan data gempabumi, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Gambar – gambar pada penelitian ini diplot menggunakan program Generic Mapping Tools [12].

## Daftar Pustaka

- [1] Pusat Gempa Nasional., 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017, Bandung.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika., 2019. Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak Indonesia Tahun 1821-2018, Jakarta.
- [3] Pesicek, J.D., Thurber, C.H., Zhang, H., DeShon, H.R., Engdahl, E.R., Widiyantoro, S., 2010. Teleseismic Double-Difference relocation of earthquakes along the Sumatra Andaman subduction zone using a 3-D model, *Journal of Geophysical Research*, Vol.115, B10303, AGU. DOI: 10.1029/2010JB007443.
- [4] Setiadi, T.A.P., Rohadi, S., 2018. Relokasi Gempa Bumi Teleseismic Double-Difference di Wilayah Bali - Nusa Tenggara dengan Model Kecepatan 3D, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 9 No. 1, April 2018: 45 – 52.
- [5] BMKG, 2020. Earthquake repository, BMKG Data Repository, <http://repogempa.bmkg.go.id/query.php> diakses pada tanggal 1 November 2020.
- [6] Waldhauser, F., Schaff, D., 2007, Regional and teleseismic double-difference earthquake relocation using waveform cross-correlation and global bulletin data, *J. Geophys. Res.*, 112, B12301.
- [7] Koketsu K. Sekine S. 1998 Pseudo-bending method for three-dimensional seismic ray tracing in a spherical earth with discontinuities *Geophys. J. Int* 132 427434
- [8] Simmons, N.A., S.C. Myers, G. Johannesson, and E. Matzel (2012). "LLNL-G3Dv3: Global P-wave tomography model for improved regional and teleseismic travel time prediction," *J. Geophys. Res.*, 117, doi:10.1029/2012JB009525.
- [9] Abercrombie, R.E., Antolik, M., Felzer, K. & Ekström, G. (2001). "The 1994 Java tsunami earthquake: Slip over a subducting seamount". *J. Geophys. Res.* 106(B4), 6595–6607
- [10] S. Lallemand, A. Heuret, dan D. Boutelier, "On the Relationships Between Slab Dip, Back-arc Stress, Upper Plate Absolute Motion, and Crustal Nature in Subduction Zones," *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 6, no. 9, 2005, doi:10.1029/2005GC000917
- [11] I. Koulakov, M. Bohm, G. Asch, B. -G. Lühr, A. Manzanares, K. S. Brotopuspito, P. Fauzi, M. A. Purbawinata, N. T. Puspito, A. Ratdomopurbo, H. Kopp, W. Rabbal, E. Shevkunova, "P and S Velocity Structure of the Crust and The Upper Mantle Beneath Central Java from Local Tomography Inversion," *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 112, no. B8, 2007.
- [12] P. Wessel dan W. H. Smith, "New, Improved Version of Generic Mapping Tools Released," *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 79, no. 47, pp. 579, 1998.