



## Relocation Of Earthquake Distribution In The Bogor Region Using The Double-Difference Method (Hypodd)

Riska Fauziah<sup>1</sup>, Mimin Iryanti<sup>1</sup>, Jajat Jatnika<sup>2</sup>

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi XI) & International Physics Conference (IPC)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

16 Agustus 2025

### Abstract

*This study aims to improve the accuracy of earthquake hypocenter distribution in the Bogor region by applying the Double-Difference relocation method using HypoDD. This study focuses on seismic data collected from 2023 to 2024 around Mount Salak and Halimun Salak National Park (TNGHS). A total of 219 earthquake events were processed, with 186 of them successfully relocated using the iterative least-squares inversion method. This method utilizes the time difference in the arrival of P and S waves from paired events recorded at the same station to reduce the effects of heterogeneity in the subsurface velocity model. The results showed a significant improvement in hypocenter accuracy, with most hypocenters shifting by 1–2 km and located at shallow depths of 5–20 km. The spatial distribution of post-relocation hypocenters forms a linear pattern that is thought to be associated with unmapped active faults and local volcanic zones. Temporally, seismic activity increased between December 2023 and January 2024, dominated by swarm activity potentially related to tectonic or volcanic processes. These results emphasize the importance of continuous seismic monitoring and integration of additional geophysical data to improve subsurface interpretation and support early warning and hazard mitigation in active seismic areas such as Bogor.*

**Keywords:** Hypocenter Relocation · Double-Difference Method · Spatial Temporal · Earthquake · Fault

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak pada zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama: Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Wilayah Bogor, khususnya kawasan Gunung Salak dan Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS), termasuk dalam daerah yang memiliki tingkat aktivitas gempa bumi cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh kombinasi faktor tektonik dan vulkanik yang memengaruhi kawasan tersebut (PVMBG, 2024; Sidarto, 2008). Studi terhadap aktivitas seismik di wilayah ini sangat penting dilakukan karena berkaitan erat dengan upaya mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, serta keselamatan masyarakat yang tinggal di daerah rawan gempa (Tempo.co, 2023).

Setiap tahunnya, gempa bumi dengan berbagai skala terjadi di Indonesia, mulai dari skala kecil hingga besar (BMKG, 2025). Namun, akurasi penentuan lokasi hiposenter gempa yang

---

✉ Riska Fauziah                      Jajat Jatnika  
[Riskafauziah91@upi.edu](mailto:Riskafauziah91@upi.edu)      [jajat.jatnika@bmkg.go.id](mailto:jajat.jatnika@bmkg.go.id)  
Mimin Iryanti  
[Mien\\_iryanti@upi.edu](mailto:Mien_iryanti@upi.edu)

<sup>1</sup> Physics Study Program, Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung, Indonesia.

<sup>2</sup> Bandung Geophysical Station of BMKG. Bandung, Indonesia.

diperoleh masih memiliki keterbatasan, salah satu penyebabnya adalah heterogenitas struktur bawah permukaan yang memengaruhi kecepatan rambat gelombang seismik. Untuk meningkatkan akurasi penentuan lokasi gempa, diperlukan metode relokasi hiposenter yang lebih canggih dan mampu meminimalkan pengaruh struktur bawah permukaan tersebut.

Metode Double-Difference, yang diimplementasikan melalui perangkat lunak HypoDD, merupakan salah satu metode relokasi yang terbukti efektif. Metode ini membandingkan selisih waktu tiba gelombang P dan S dari dua kejadian gempa yang berdekatan pada stasiun yang sama, sehingga dapat mengurangi efek heterogenitas kecepatan gelombang dan menghasilkan resolusi spasial yang lebih tinggi (Waldhauser & Ellsworth, 2000). Selain metode *Double-Difference*, terdapat juga metode relokasi lain seperti *NonLinLoc*, *Joint Hypocenter Determination* (JHD), *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD), pendekatan statistik, dan lain sebagainya. Terdapat studi perbandingan antara metode Double-Difference (HypoDD) dan Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) yang menunjukkan bahwa keduanya mampu meningkatkan akurasi lokasi hiposenter dengan menurunkan nilai RMS serta memperjelas pola distribusi gempa. Namun, HypoDD cenderung menghasilkan distribusi kedalaman yang lebih terfokus, sedangkan MJHD memberikan variasi kedalaman yang lebih luas serta tetap akurat pada kondisi struktur bawah permukaan yang heterogen dan distribusi stasiun yang tidak merata (Rachmadan & Rohadi, 2016; Pane & Elsera, 2020). Lebih lanjut, metode Double-Difference telah berhasil diterapkan di berbagai wilayah, seperti pada relokasi hiposenter di Jawa Timur (Apriliani Putri, 2023), gempa swarm di Pesawaran, Lampung (Izaina Nurfitriana, 2021), serta relokasi gempa di Sesar Garsela, Jawa Barat (Nararya Pramjana, 2021).

Hasil-hasil tersebut memperlihatkan bahwa HypoDD efektif dalam memperjelas klusterisasi gempa, memetakan struktur sesar mikro, serta mengungkap sesar tersembunyi yang sebelumnya tidak teridentifikasi. Metode Double-Difference telah menunjukkan keunggulan dalam pemetaan struktur patahan mikro dan analisis kluster seismik. Oleh karena itu, metode ini dipilih sebagai pendekatan utama dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data seismik melalui relokasi hiposenter guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika aktivitas seismik di wilayah Bogor. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam penyusunan strategi mitigasi bencana yang lebih tepat serta perencanaan tata ruang yang berkelanjutan di daerah rawan gempa.

## METODE

### Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan pola distribusi hiposenter gempa bumi di wilayah Bogor sebelum dan sesudah proses relokasi menggunakan metode *Double-Difference* (HypoDD).

### Waktu dan tempat penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data gempa bumi yang terjadi selama periode 2023 hingga 2024 di wilayah Bogor sekitar Gunung Salak hingga Taman Nasional

Gunung Halimun Salak (TNGHS), Provinsi Jawa Barat, dengan rentang koordinat  $106,3915^\circ$  BT –  $106,9234^\circ$  BT dan  $-6,9569^\circ$  LS –  $-6,4748^\circ$  LS.

### Target dan subjek penelitian

Penelitian ini menargetkan seluruh kejadian gempa bumi yang terekam di wilayah Bogor selama periode pengamatan. Data awal terdiri dari 219 event gempa bumi yang dianalisis. Selanjutnya, dilakukan seleksi berdasarkan kualitas data dan ketepatan waktu kedatangan gelombang, sehingga diperoleh 186 event yang memenuhi kriteria untuk proses relokasi hiposenter.

### Prosedur penelitian

Prosedur penelitian meliputi beberapa tahap:

1. Pra-pemrosesan data, meliputi pemilihan wilayah studi serta konversi data katalog gempa dan data stasiun dari BMKG menggunakan Python dan Excel agar sesuai format input ke ph2dt.
2. Pengelompokan pasangan gempa menggunakan program ph2dt dengan pengaturan parameter MINQGHT, MAXDIST, MAXSEP, MAXNGH, MINLNK, MINOBS, dan MAXOBS.
3. Proses relokasi hiposenter dilakukan dengan metode *iterative least-square inversion* menggunakan HypoDD. Prinsip *double-difference* dalam HypoDD meminimalkan kesalahan model kecepatan dengan memanfaatkan perbedaan waktu tempuh relatif antara dua gempa yang direkam pada stasiun yang sama, dirumuskan sebagai:

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (1)$$

Persamaan di atas didefinisikan sebagai persamaan *Double Difference*, dimana:

$(t_k^i - t_k^j)^{obs}$  = merupakan residual waktu tempuh pengamatan dari sumber ke  $i$  dan sumber ke  $j$  ke penerima  $k$ .

$(t_k^i - t_k^j)^{cal}$  = merupakan residual waktu tempuh kalkulasi dari sumber ke  $i$  dan sumber ke  $j$  ke penerima  $k$

dengan

$dr_k^{ij}$  = Sisa waktu tempuh kedua gempa bumi  $i$  dan  $j$  ke stasiun pengamatan  $k$  (waktu tempuh residual)

$i$  dan  $j$  = dua hiposenter yang berdekatan

$k$  dan  $i$  = dua stasiun yang merekam kedua peristiwa seismik.

$t_k^i$  = waktu tempuh gempa bumi  $i$  ke stasiun  $k$

$t_k^j$  = waktu tempuh gempa bumi  $j$  ke stasiun  $k$

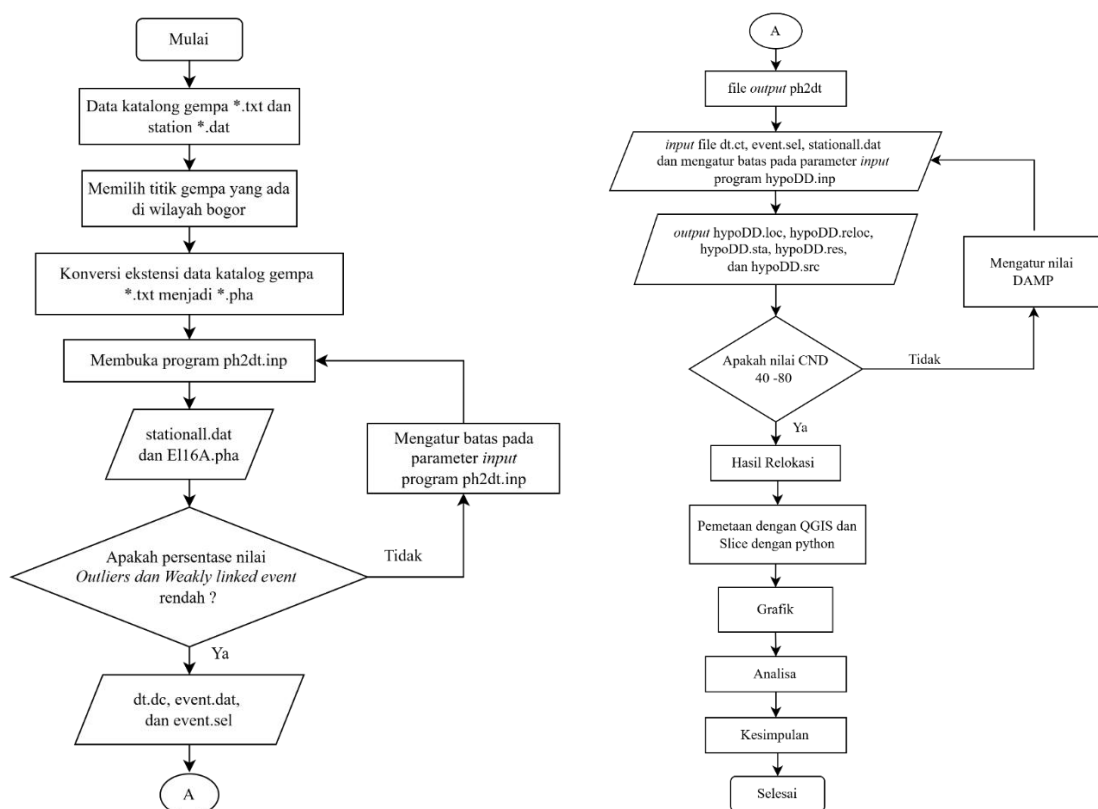
$t^{obs}$  = waktu perjalanan pengamatan (direkam oleh stasiun penerima)

$t^{cal}$  = waktu tempuh kalkulasi.

Hasil penting yang perlu diperhatikan dalam pemrosesan dengan HypoDD adalah nilai *CND* (*Condition Number* dari sistem persamaan *Double-Difference*) serta nilai residu. Nilai *CND* merepresentasikan rasio antara nilai eigen maksimum dan minimum pada persamaan yang digunakan dalam program HypoDD, dengan rentang ideal berada pada kisaran 40 hingga 80.

4. Pemetaan hasil relokasi menggunakan QGIS.
5. Analisis spasial, distribusi kedalaman, residual, *time series*, dan *rose* diagram dilakukan menggunakan Python untuk menginterpretasikan data secara menyeluruh.

Untuk memperjelas tahapan penelitian yang dilakukan, alur proses relokasi hiposenter gempa bumi dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Di Wilayah Bogor Menggunakan Metode Double-Difference (Hypod).

### Data dan instrumen

Rancangan penelitian yang digunakan adalah studi observasional dengan pendekatan data sekunder dari Stasiun Geofisika Bandung, yang terdiri atas katalog gempa, data stasiun, waktu kedatangan gelombang (*arrival time*), dan model kecepatan gelombang. Instrumen utama yang digunakan meliputi perangkat lunak Cygwin (ph2dt dan HypoDD), QGIS, Excel, dan Python.

### Teknik pengumpulan data

Data dikumpulkan melalui pengunduhan katalog gempa dari BMKG dan stasiun seismik dari Stasiun Geofisika Bandung. Proses konversi data dilakukan menggunakan Python dan Excel agar sesuai dengan format input Ph2dt dan HypoDD.

### Teknik analisis data

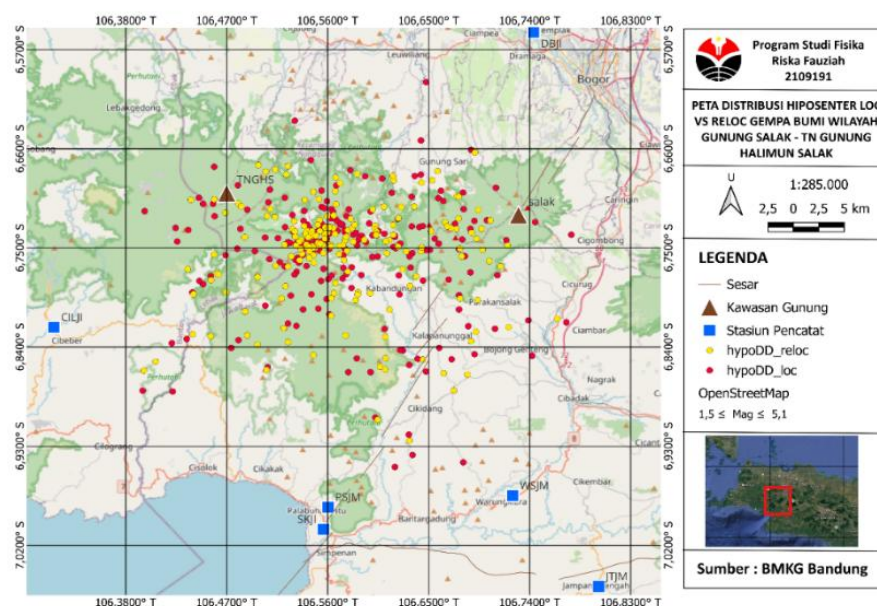
Analisis data menggunakan metode *double-difference* yang mampu meminimalkan pengaruh heterogenitas kecepatan gelombang yang tidak terukur dengan memanfaatkan selisih waktu tempuh antar event pada stasiun yang sama. Analisis meliputi perbandingan posisi awal (*loc*) dan hasil relokasi (*reloc*), distribusi spasial dan kedalaman gempa, perhitungan residual

sebagai indikator akurasi, serta visualisasi pergeseran, *time series*, dan orientasi dominan gempa menggunakan QGIS dan Python. Metode ini efektif untuk meningkatkan resolusi spasial lokasi hiposenter dan mengidentifikasi zona seismik aktif yang tersembunyi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Hasil relokasi hiposenter menunjukkan bahwa dari total 219 event gempa bumi yang digunakan sebagai data awal, sebanyak 209 event memenuhi kriteria untuk penentuan lokasi hiposenter awal (*loc*) menggunakan proses *ph2dt*. Tahap ini merupakan prosedur awal dalam analisis seismotektonik sebelum dilakukan relokasi dengan metode *Double-Difference* yang diimplementasikan pada perangkat lunak HypoDD. Proses relokasi dilakukan melalui pendekatan *trial and error* guna mengoptimalkan parameter inversi dan meminimalkan nilai residual waktu tiba. Hasilnya, sebanyak 186 kejadian gempa bumi berhasil direlokasi dengan peningkatan ketelitian posisi hiposenter, sehingga distribusi spasial dan temporal dapat dianalisis secara lebih rinci untuk mengidentifikasi struktur sesar aktif maupun zona seismik tersembunyi di wilayah studi.

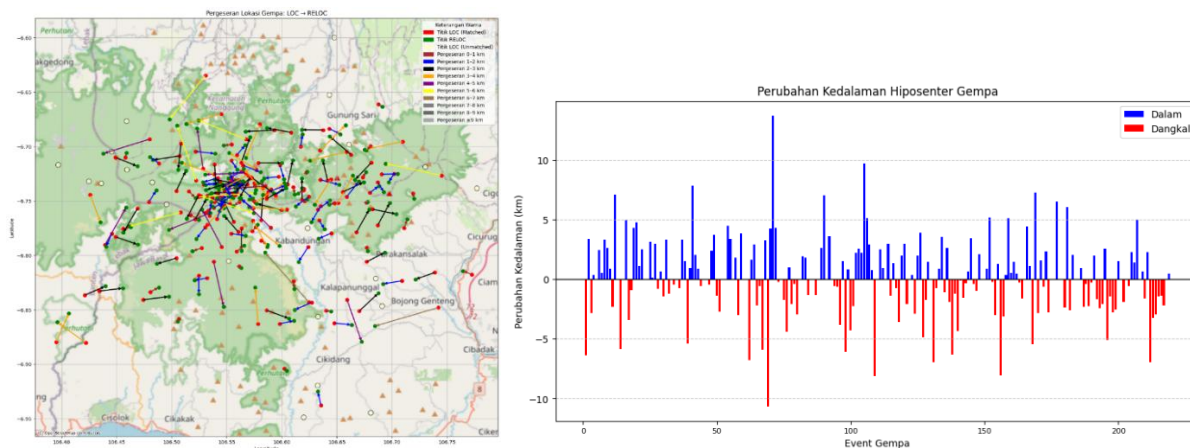


Gambar 2. Peta Sebaran Hiposenter di Wilayah Bogor

Berdasarkan Gambar 2, distribusi hiposenter gempa bumi di wilayah Gunung Salak–TNGHS menunjukkan perbedaan signifikan antara lokasi awal (*loc*) dan hasil relokasi (*reloc*). Sebelum relokasi, hiposenter tersebar acak dan meluas di seluruh area studi yang ditandai oleh titik berwarna merah. Setelah diproses menggunakan metode HypoDD, sebarannya menjadi lebih terpusat serta mengikuti orientasi struktur geologi yang ditandai oleh titik berwarna kuning. Perubahan ini menunjukkan bahwa metode relokasi berhasil mengurangi ketidakpastian posisi hiposenter.

### Pembahasan

Proses relokasi hiposenter gempa bumi tidak hanya memberikan informasi mengenai posisi baru hiposenter, tetapi juga mengindikasikan perubahan vektor pergeseran sumber gempa bumi secara signifikan. Perubahan ini merupakan hasil peningkatan akurasi estimasi lokasi gempa melalui metode *Double-Difference* (HypoDD), yang mampu mengoreksi ketidakakuratan posisi awal akibat keterbatasan distribusi stasiun seismik dan heterogenitas kecepatan gelombang.

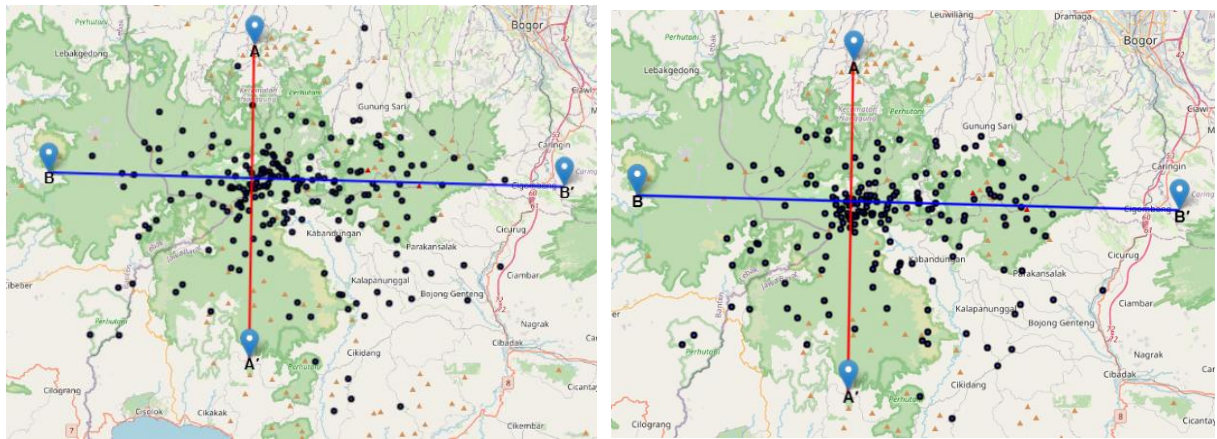


Gambar 3. Perubahan Posisi dan Kedalaman Hiposenter Gempa Bumi

Gambar 3 memperlihatkan pergeseran lokasi hiposenter dari posisi awal (loc) ditandai titik berwarna merah ke hasil relokasi (reloc) ditandai titik berwarna hijau, yang dihubungkan dengan garis berwarna sesuai besar pergeseran. Sebagian besar pergeseran horizontal berada pada rentang 1–2 km, menunjukkan bahwa posisi awal sudah cukup akurat, namun proses relokasi dengan metode HypoDD berhasil meningkatkan akurasi estimasi posisi relatif antar event. Perbaikan ini diperoleh melalui koreksi terhadap ketidakakuratan katalog awal dan kompensasi keterbatasan distribusi stasiun seismik, sehingga menghasilkan resolusi spasial yang lebih tinggi dan distribusi hiposenter yang lebih representatif terhadap struktur geologi aktif di wilayah studi.

Perubahan kedalaman hiposenter umumnya disebabkan penggunaan model kecepatan sederhana, distribusi stasiun yang terbatas, serta heterogenitas medium bawah permukaan yang memengaruhi estimasi waktu tempuh gelombang seismik. Metode HypoDD meminimalkan bias ini dengan membandingkan perbedaan waktu kedatangan antar event berdekatan, sehingga menghasilkan estimasi lokasi relatif yang lebih akurat. Pada grafik, batang biru menunjukkan hiposenter yang lebih dalam dibanding posisi awal, sedangkan batang merah menunjukkan yang lebih dangkal. Sebagian besar perubahan kedalaman berkisar  $\pm 5$  km, namun beberapa kejadian menunjukkan perbedaan lebih dari 10 km. Kedalaman yang menjadi lebih dangkal dapat mengindikasikan sumber gempa berada dekat permukaan, umumnya terkait aktivitas sesar dangkal atau patahan aktif di kerak atas, yang berpotensi menimbulkan dampak lebih besar di permukaan akibat minimnya peredaman energi gelombang seismik.

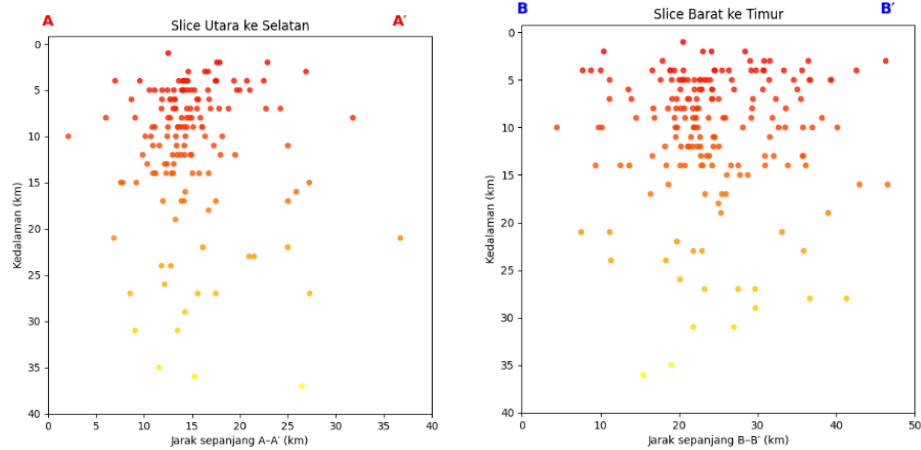
Untuk menganalisis sebaran hiposenter, dibuat penampang vertikal dan horizontal yang memperlihatkan konsentrasi kejadian pada bidang tertentu dan pola persebaran yang mengindikasikan keberadaan struktur sesar atau zona lemah bawah permukaan. Sebaran ini konsisten dengan mekanisme sesar sebagai bidang diskontinuitas elastis tempat akumulasi dan pelepasan energi, yang memicu gempa ketika tegangan melebihi kekuatan batuan.



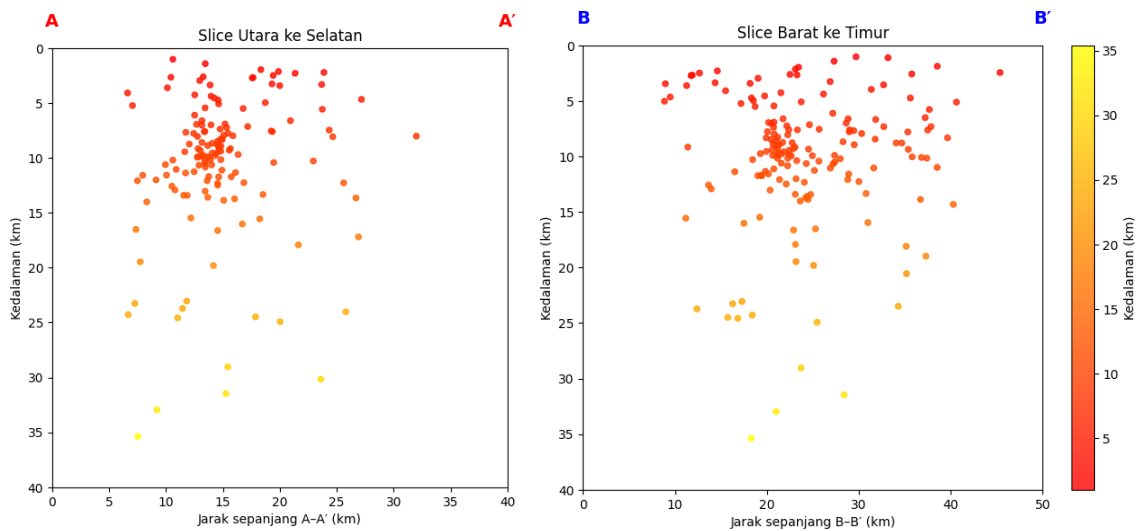
Sebelum Relokasi

Sesudah Relokasi

Gambar 4. Slice Sebaran Hiposenter Gempa Bumi Sebelum dan Sesudah Relokasi



Sebelum Relokasi

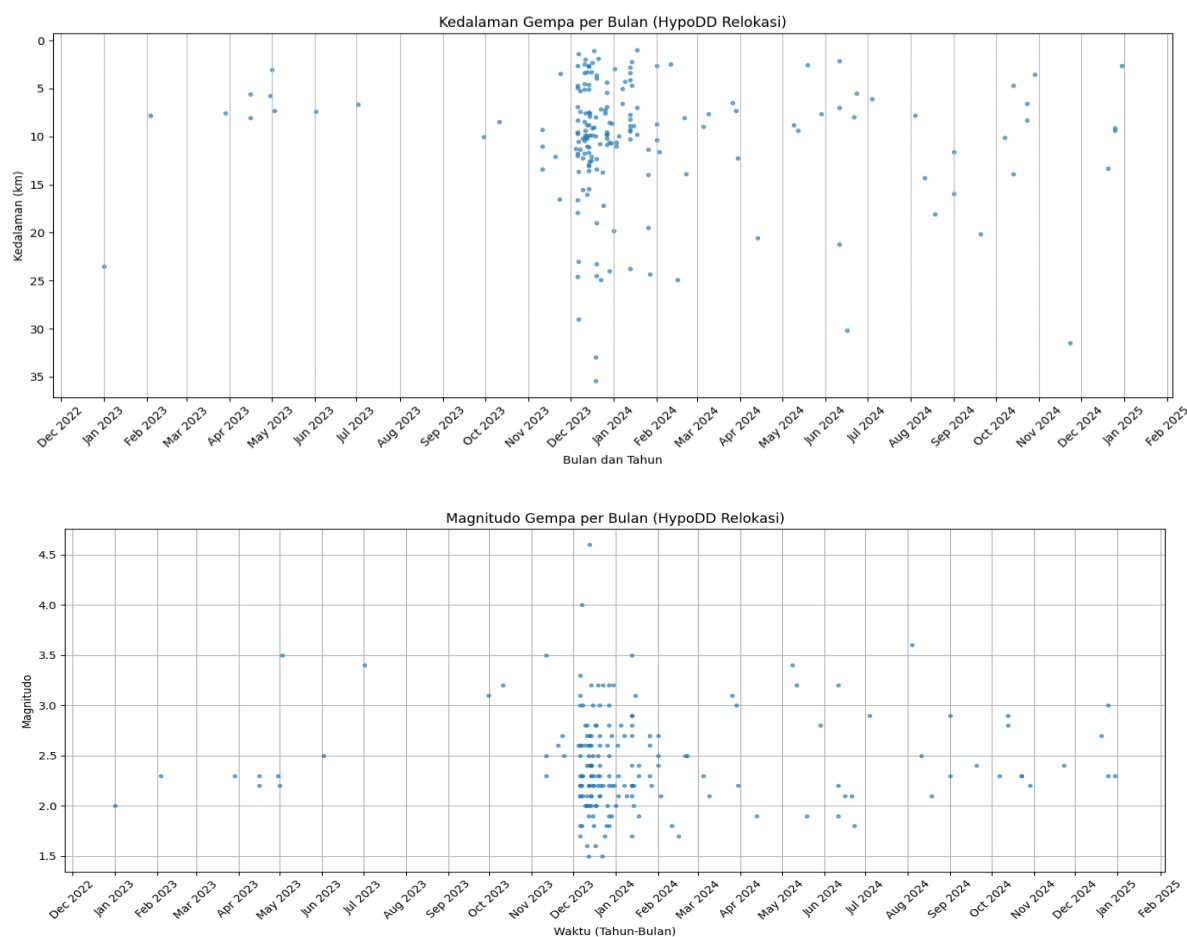


Sesudah Relokasi

Gambar 5. Pola Sebaran Hiposenter Gempa Bumi Sebelum dan Sesudah Relokasi

Hasil antara penampang seismik sebelum dan sesudah relokasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi posisi hiposenter. Sebelum relokasi, sebaran gempa tampak acak dan tidak memperlihatkan pola struktural yang jelas. Setelah relokasi menggunakan metode *double-difference*, distribusi gempa menjadi lebih terkonsentrasi dan merepresentasikan pola geologi yang lebih konsisten. Penampang A–A' menampilkan pola memanjang dengan kemiringan ke arah tenggara pada kedalaman 5–12 km, mengindikasikan keberadaan zona rekahan atau sesar aktif yang berperan sebagai jalur dominan pelepasan energi seismik. Sementara itu, penampang B–B' menunjukkan persebaran yang lebih acak dengan dominasi gempa dangkal, namun terdapat zona konsentrasi pada kedalaman 5–15 km yang mengarah pada indikasi deformasi dangkal atau sesar lokal. Temuan ini memperkuat dugaan bahwa wilayah studi memiliki zona aktif seismik yang sebelumnya belum teridentifikasi dengan baik.

Untuk mengetahui dinamika aktivitas seismik dari waktu ke waktu, dilakukan analisis *time series* kemunculan gempa bumi. Analisis *time series* kedalaman gempa dilakukan setiap bulan seperti pada Gambar 6 menunjukkan variasi kedalaman sepanjang waktu. Peningkatan frekuensi gempa pada periode tersebut mengindikasikan fase akumulasi atau pelepasan stres pada zona sesar yang sebelumnya teridentifikasi dalam analisis penampang.



Gambar 6. Time Series Sebaran Hiposenter Gempa Bumi dan Magnitudonya

Gambar 6 menunjukkan distribusi kedalaman hiposenter gempa setiap bulan setelah dilakukan relokasi menggunakan metode HypoDD. Sebaran kedalaman didominasi oleh gempa pada rentang 5–20 km, dengan sedikit kejadian yang lebih dangkal (<5 km) maupun lebih dalam

(>25 km). Aktivitas gempa paling padat tercatat antara Desember 2023 hingga Januari 2024, menunjukkan periode aktivitas seismik yang lebih tinggi. Aktivitas ini didominasi oleh gempa bermagnitudo di bawah 5, dengan pola yang menyerupai gempa swarm, yaitu serangkaian gempa dengan magnitudo relatif mirip (sekitar 1.0–4.5), terjadi dalam waktu berdekatan dan tanpa satu kejadian utama (*mainshock*) yang dominan. Pola swarm umumnya diasosiasikan dengan aktivitas vulkanik akibat pergerakan magma atau fluida panas di zona rekahan, tetapi gempa swarm juga dapat dipicu oleh mekanisme tektonik (diakibatkan aktivitas pada sistem sesar aktif), tergantung pada geologi dan dinamika lokal wilayah. Berdasarkan lokasi dan periode kemunculannya, konsentrasi aktivitas ini kemungkinan merefleksikan proses tektonik aktif di sekitar Gunung Salak dan sekitarnya.

Secara keseluruhan, hasil relokasi hiposenter berhasil meningkatkan resolusi spasial dan temporal dibandingkan katalog awal. Data menunjukkan pola klusterisasi yang lebih terstruktur, distribusi kedalaman yang lebih jelas, serta indikasi adanya sesar aktif atau rekahan tersembunyi yang sebelumnya tidak teridentifikasi. Selain itu, terdeteksi pula fenomena swarm pada periode tertentu yang mengindikasikan keterkaitan antara dinamika tektonik dan aktivitas vulkanik di wilayah penelitian. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperbaiki akurasi lokasi hiposenter, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik seismisitas lokal di Bogor, khususnya di kawasan Gunung Salak–TNGHS.

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa relokasi hiposenter menggunakan metode *Double-Difference* (HypoDD) secara signifikan meningkatkan akurasi penentuan lokasi gempa bumi di wilayah Bogor. Dari total 219 kejadian awal, hanya 186 gempa yang berhasil direlokasi setelah proses penyaringan data, dengan sebagian besar mengalami pergeseran posisi sejauh 1–2 km dan kedalaman tergolong gempa dangkal. Secara spasial, sebaran hiposenter hasil relokasi tampak lebih terstruktur, terutama pada penampang vertikal dan horizontal yang mengindikasikan potensi keberadaan struktur geologi aktif atau sesar yang belum terpetakan. Secara temporal, teridentifikasi peningkatan aktivitas gempa pada Desember 2023 hingga Januari 2024 dengan pola klusterisasi dan karakteristik gempa swarm.

Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan pemantauan lanjutan di kawasan Gunung Salak dan TNGHS, khususnya pada zona dengan konsentrasi aktivitas gempa dan indikasi keberadaan sesar yang belum teridentifikasi. Integrasi data lain, seperti deformasi permukaan, GPS, InSAR, geolistrik, maupun tomografi, juga direkomendasikan untuk memperkaya interpretasi struktur bawah permukaan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem peringatan dini sekaligus strategi mitigasi bencana di wilayah rawan seismik seperti Bogor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, M., Parera, A. F. T., & Nasution, N. (2021). Relokasi hiposenter gempabumi di segmen ( Toru , Angkola , Barumon ) dengan menggunakan metode double difference ( hypo-dd ). *Pendidikan Fisika Dan Sains*, 4(2), 24–29.
- Badan Geologi. (2025). Analisis geologi kejadian gempa bumi merusak di Kota Bogor tanggal 10 april 2025. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. <https://geologi.esdm.go.id/media-center/analisis-geologi-kejadian-gempa-bumi-merusak-di-kota-bogor-tanggal-10-april-2025>



- BPBD Kota Banda Aceh. (2018, Agustus 5). Pengertian gempa bumi, jenis-jenis, penyebab, akibat dan cara menghadapi gempa bumi. <https://bpbpd.bandaacehkota.go.id/2018/08/05/pengertian-gempa-bumi-jenis-jenis-penyebab-akibat-dan-cara-menghadapi-gempa-bumi/>
- Dahlia, B., Ngatijo, Dewi, I. K., Kurniawan, S. E., & Shandy Yogaswara. (2022). Relokasi hiposenter gempabumi dengan menggunakan metode double difference serta implikasinya terhadap seismotektonik di wilayah Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Kebumihan*, 7(2), 18–25.
- Dewi, F. C., Riset, K., Dan, T., Tinggi, P., Lampung, U., Teknik, F., & Geofisika, J. T. (2018). Sumatera bagian selatan menggunakan metode.
- Erdiansyah, E., Iryanti, M., & Wardhana, D. D. (2015). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Magnetotellurik Daerah Sekitar Bogor Jawa Barat Sebagai Potensi Sistem Hidrokarbon. *Fibusi (Jurnal Online Fisika)*, 3(1).
- Irsan, F., Amirrullah, J., & Eliza Maryana, Y. (2021). Pemetaan zonasi resapan air di kawasan Bogor. *Jurnal Prodi Agribisnis*, 2(1), 21–29. <https://doi.org/10.56869/kaliagri.v2i1.191>
- Katalog, R., Di, G., Gempa, P., Tawakal, M. I., Rini, V. S., & Januarti, Y. (2024). Regional ii Tangerang Selatan menggunakan metode double difference ( hypodd ) earthquake catalog relocation at the regional earthquake center ii Tangerang Selatan using double difference method ( hypodd ). 5(4), 1–7.
- Kompas.com. (2020). Analisis bmg soal gempa bumi magnitudo 3,5 yang guncang Kabupaten Bogor malam ini. <https://www.kompas.com/tren/read/2020/08/09/213921165/analisis-bmg-soal-gempa-magnitudo-35-yang-guncang-kabupaten-bogor-malam>
- Kuarter, G., & Eosen-miosen, C. B. (2025). Evolusi cekungan sedimen dan gross depositional environment di bawah evolusi cekungan sedimen dan gross depositional environment di bawah gunung api kuarter , cekungan Bogor pada eosen-miosen. *February*, 0–7.
- Linda, F., & Lepong, P. (2019). Interpretasi kecepatan gelombang seismik refraksi tomografi dalam penentuan litologi bawah permukaan di Desa Bhuana Jaya (studi kasus : Pt. Khotai Makmur Insan Abadi). *Jurnal Geosains Kutai Basin*, (2)(2), 1–8.
- Liputan6.com. (2019). Gempa bumi Bogor magnitudo 4 tektonik dan dangkal akibat aktivitas sesar citarik. <https://www.liputan6.com/news/read/4045185/gempa-bogor-magnitudo-4-tektonik-dan-dangkal-akibat-aktivitas-sesar-citarik>
- Mahardhikka, N. P., Latifah, E., Sabtaji, A. (2021). Relokasi hiposenter dengan metode double-difference (dd) di Sesar Garsela, Jawa Barat. skripsi, fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam, universitas negeri malang. [Online]. Available: <http://repository.um.ac.id/id/eprint/148627>
- Mardiana, U., Alfadli, M. K., Natasia, N., & Mutaqin, D. Z. (2019). Kerentanan gerakan tanah di Desa Warungmenteng Sub Das Cibadak, Lereng Bagian Timur Gunung Salak. *Dharmakarya*, 8(1), 65. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v8i1.19165>
- Misbahusudur, M. H., Fisika, R. S., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Syarif, N. (2023). Double-difference di wilayah Lampung periode.
- Muhlis. (2018). Relokasi hiposenter gempa bumi menggunakan metode double difference di daerah (Cianjur-Sukabumi). *Pengabdian Masyarakat*.
- Nurfitriona, I., Wibowo, A., & Rudianto, R. (2021). Relokasi gempa bumi swarm di Pesawaran-Lampung, Januari 2021. *Jurnal Geocelbes*, 5(1), 91–101. <https://doi.org/10.20956/geocelbes.v5i1.13328>
- Oktaviana, J. I. (2018). Relokasi hiposenter gempabumi wilayah Jawa Timur menggunakan metode double- difference (pp. 1–96).
- Pane, R. S., & Elsera, E. M. (2020). Aplikasi Metode Modified Joint Hypocenter Determination (MJHD) dan Hypocenter Double Difference (HYPODD) untuk Relokasi Gempabumi Swarm di Wilayah Mamasa. *Pros Semin Nas Fis PPs UNM*, 2, 100-3.
- Pratama, I. W., Hanif, I. M., Hidayatullah, & Pramumijoyo, S. (2017). Studi petrogenesa batuan beku di daerah Semono dan sekitarnya, Kecamatan Kaligesing Dan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah dengan metode sayatan tipis. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-*

- 10 Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia, September, 1203–1215.
- Putri, A., Fisika, P. S., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Syarif, N. (2023). Double difference di wilayah Jawa Timur berdasarkan data seismogram tahun 2010-2022.
- PVMBG. (2024). Tipe gunung api di Indonesia: a, b, dan c. *Magma Indonesia*. <https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/tipe-gunung-api-di-indonesia-a-b-dan-c>
- Rachmadan, A., Rohadi, S., Merdijanto, U., & Heryanto, D. T. (2016). RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI WILAYAH SUMATRA BARAT MENGGUNAKAN METODE MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 17(2).
- Raharjo, P., Mellawati, J., & SBS, Y. (2016). Analisis Supposed capable fault sebagai data dukung rencana tapak PLTN Bojonegara, Propinsi Banten. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 18(1), 39. <https://doi.org/10.17146/jpen.2016.18.1.2857>
- Rahayu, N. L. P., Trisuandayani, N. K., & Mursiantyo, A. (2021). Relokasi hiposenter gempabumi susulan di seririt pada 14 november 2019 dengan metode double difference. *Buletin Fisika*, 24(1), 40. <https://doi.org/10.24843/bf.2023.v24.i01.p06>
- Republika.co.id. (2024). Kota Bogor dan sekitarnya diguncang gempa bumitiga kali sehari. <https://rejabar.republika.co.id/berita/slalig282/kota-bogor-dan-sekitarnya-diguncang-gempa-tiga-kali-sehari>
- Rohmiasih, F., Andi, A., & Wibowo, N. B. (2023). Relocation of the hypocenter of an earthquake with the double difference method in the regional study area of Yogyakarta. *Jurnal Geocelbes*, 7(2), 176–185. <https://doi.org/10.20956/geocelbes.v7i2.22223>
- Sidarto. (2008). Dinamika Sesar Citarik. *Jurnal Geologi Dan Sumber Daya Mineral*, 18(3), 149–162.
- Sinaga, V. I. C., Aolindar, M. A. F., Pramudita, M. A. N., Supendi, P., Kirana, K. H., & Hasanah, M. U. (2023). Relocation of earthquake hypocenter using double-difference method in western part of Sumatera. *Journal of Physics: Conference Series*, 2582(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2582/1/012004>
- Supendi, P., Nugraha, A. D., Puspito, N. T., Widiyantoro, S., & Daryono, D. (2018). Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis. *Geoscience Letters*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0130-y>
- Syahda, F., Yudistira, T., & Suhendi, C. (2019). Relokasi hiposenter gempa pada zona subduksi di Sumatera bagian barat. *Journal of Science and Applicative Technology*, x(xx), 20. <https://doi.org/10.35472/x0xx0000>
- Tempo. (2023, Oktober 5). Pulau Jawa dikepung sesar aktif, berpotensi gempa. *Tempo.co*. <https://www.tempo.co/lingkungan/pulau-jawa-dikepung-sesar-aktif-berpotensi-gempa-70982>
- Ulfiana, E., Climatological, M., & Agency, G. (2018). Analisis relokasi hiposenter gempabumi menggunakan algoritma double difference wilayah Sulawesi Tengah ( periode januari-april. november.
- Waldhauser, F., & 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(6), 1353-1368.
- Waldhauser, F. (2001). hypoDD: A computer program to compute double-difference earthquake locations (2001). *USGS Open File Rep*, 1–113.
- Wulandari, S., Parera, A. F. T., & Lubis, L. H. (2021). Relokasi gempabumi di Sesar Renun A, B, Dan C dengan menggunakan metode double difference (hypo-dd). *GRAVITASI: Jurnal ...*, 4, 30–35. <https://ejournalunsam.id/index.php/JPFS/article/view/4560>
- Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., Fernandez, S. N., & Rahmadhita, K. A. (2020). Penerapan weighted overlay pada pemetaan tingkat probabilitas zona rawan longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.13>