Pengembangan Inversi Simultan berbasis Markov Chain Monte Carlo (MCMC) untuk Pemodelan Kecepatan Seismik 1-D dan Hiposenter Gempa: Studi Kasus Gempa Cianjur tahun 2022

Riset Peningkatan Kapasitas Dosen Muda PPMI FTTM 2026

Rexha Verdhora Ry[1*], Andri Dian Nugraha[1], Taufik Muhammad Zaki[2]

[1] Kelompok Keahlian Geofisika Global, FTTM, Institut Teknologi Bandung; [2] Program Studi Teknik Geofisika, FTTM, Institut Teknologi Bandung

*Penulis korespondensi: rexha.vry@itb.ac.id

Abstrak

Gempa susulan Gempa Cianjur Mw 5,6 tahun 2022 direlokasi dengan inversi simultan Bayesian berbasis MCMC yang sekaligus menghasilkan model kecepatan 1-D gelombang P dan S. Model yang lebih cepat menggeser hiposenter sedikit lebih dangkal dan ke arah barat laut. Lebih dari 90% dari 514 gempa susulan berada pada kedalaman 1–10 km dan membentuk sistem sesar konjugat dangkal berarah WSW–ENE dan NNW–SSE.

Kata kunci: Gempa Cianjur 2022; relokasi gempa susulan; MCMC Bayesian; inversi simultan; model kecepatan 1-D.

Pendahuluan

- Jawa Barat memiliki sesar aktif (Cimandiri, Lembang, Baribis) akibat konvergensi Lempeng Australia di bawah Sundaland.
- Gempa Cianjur Mw 5,6 (21 November 2022): 602 korban jiwa dan 58.356 rumah rusak; sumbernya sesar dangkal yang belum terpetakan di Cugenang.
- Lokasi gempa rutin memakai model kecepatan asumsi sehingga kedalaman bisa bias dan geometri sesar kabur.

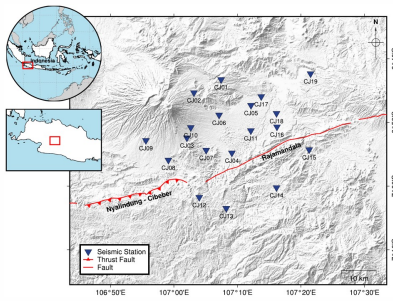
Tujuan: memperbaiki hiposenter gempa susulan dan model kecepatan gelombang P dan S 1-D untuk rangkaian gempa susulan Cianjur 2022 menggunakan kerangka Bayesian.

Metode Penelitian

- **Data:** 514 gempa susulan dari 19 stasiun temporer (Gbr. 1); 4.499 fase P dan 3.419 fase S (Zulfakriza et al., 2024).
- **Inversi simultan Bayesian MCMC** (Ryberg & Haberland, 2019):

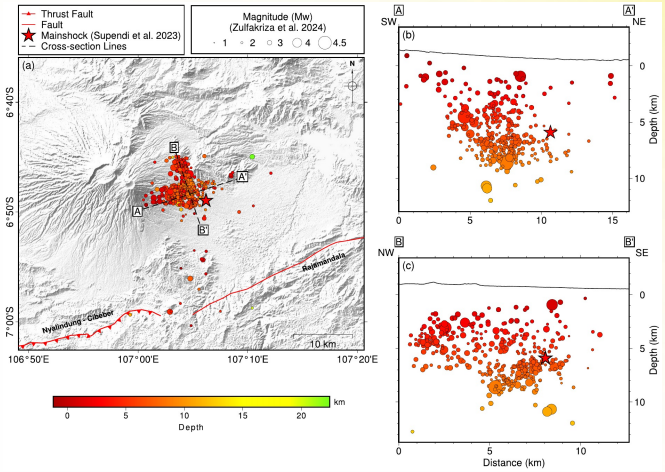
$$P(m|d_{obs}) \propto P(d_{obs}|m)\, P(m)$$

- **Parameter:** hiposenter dan waktu asal, model 1-D berlapis (Vp, Vp/Vs, batas lapisan; 1–10 lapisan), koreksi stasiun, dan noise data.
- **Waktu tempuh:** solver eikonal beda hingga (Podvin & Lecomte, 1991) dengan elevasi stasiun.
- **Sampling:** 350 rantai × 560.000 model; burn-in hingga ~290 ribu; setiap model ke-1.000 disimpan.

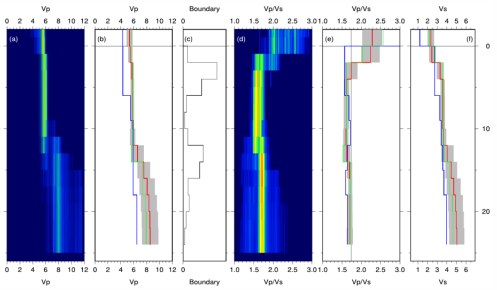


Gambar 1. Stasiun seismik temporer dan sesar di sekitar Cianjur.

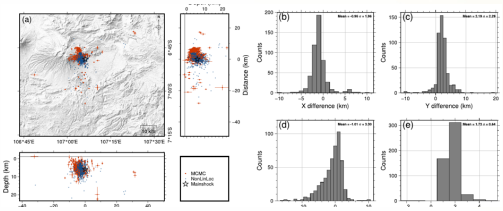
Hasil dan Pembahasan



Gambar 2. (a) Gempa susulan hasil relokasi MCMC (warna = kedalaman, ukuran = magnitudo); penampang kedalaman (b) A–A' (WSW–ENE) dan (c) B–B' (NW–SE).



Gambar 3. Model 1-D posterior: (a, d) probabilitas Vp dan Vp/Vs; (b, e, f) model rata-rata (merah), paling mungkin (hijau), dan sebelumnya (biru).



Gambar 4. (a) Hiposenter MCMC (oranye) dan NonLinLoc (biru); (b–e) selisih E–W, N–S, kedalaman, dan waktu asal.

Model kecepatan dan kecocokan data

- Seluruh rantai konvergen setelah ~290 ribu model; 1.098 model terbaik membentuk posterior.
- Misfit RMS 0,37 s; residual P dan S umumnya dalam ±0,1 s.
- Vp dan Vs lebih tinggi dari model sebelumnya; paling andal di kedalaman 1–10 km, tempat sebagian besar gempa susulan terjadi (Gbr. 3).

Hiposenter dan geometri sesar

- >90% gempa pada kedalaman 1–10 km; rata-rata bergeser ~1 km ke barat, ~2 km ke utara, dan ~1 km lebih dangkal (Gbr. 4).
- Ketidakpastian horizontal ≤0,8 km dan kedalaman 0,4–1,6 km untuk sebagian besar gempa.
- Klaster WSW–ENE dan NNW–SSE (Gbr. 2) menunjukkan sesar konjugat dangkal (Supendi et al., 2023; Hadmoko et al., 2024; Ry et al., 2026).

Kesimpulan

- Inversi simultan Bayesian MCMC menghasilkan model kecepatan 1-D dan katalog gempa susulan yang konsisten beserta ketidakpastiannya.
- Hiposenter bergeser sedikit lebih dangkal dan ke arah barat laut dari lokasi sebelumnya.
- Gempa susulan terkonsentrasi pada 1–10 km dan membentuk sistem sesar konjugat dangkal WSW–ENE dan NNW–SSE.

Keluaran

Manuskrip jurnal internasional (*in review*):
Zaki, T. M., Ry, R. V., Nugraha, A. D., & Zulfakriza, Z. Refining the Cianjur 2022 Aftershocks Using Bayesian Simultaneous Inversion of Hypocenters and 1-D Velocity Structure. *Journal of Seismology* (Scopus Q2).

Daftar Pustaka

Hadmoko, D. S., et al. (2024). *Geoenvironmental Disasters*, 11, 15.

Podvin, P., & Lecomte, I. (1991). *Geophys. J. Int.*, 105(1), 271–284.

Ry, R. V., et al. (2026). *Natural Hazards*, 122(9), 389.

Ryberg, T., & Haberland, C. (2019). *Geophys. J. Int.*, 218(2), 840–854.

Supendi, P., et al. (2023). *J. Asian Earth Sci.*, 257, 105830.

Zulfakriza, Z., et al. (2024). *Scientific Reports*, 14, 12142.