

**AKTIVITAS SESAR-SESAR LOKAL DI JAWA TIMUR DITINJAU DARI
HASIL RELOKASI HIPOSENTER TAHUN 2009 - 2017**

Oleh :
Muhajir Anshori

Penanggung jawab :
Kepala Stasiun Geofisika Kelas II Tretes

Homepage : stageof.tretes.bmkg.go.id
Institution : www.bmkg.go.id
Contact Us : stageof.tretes@bmkg.go.id

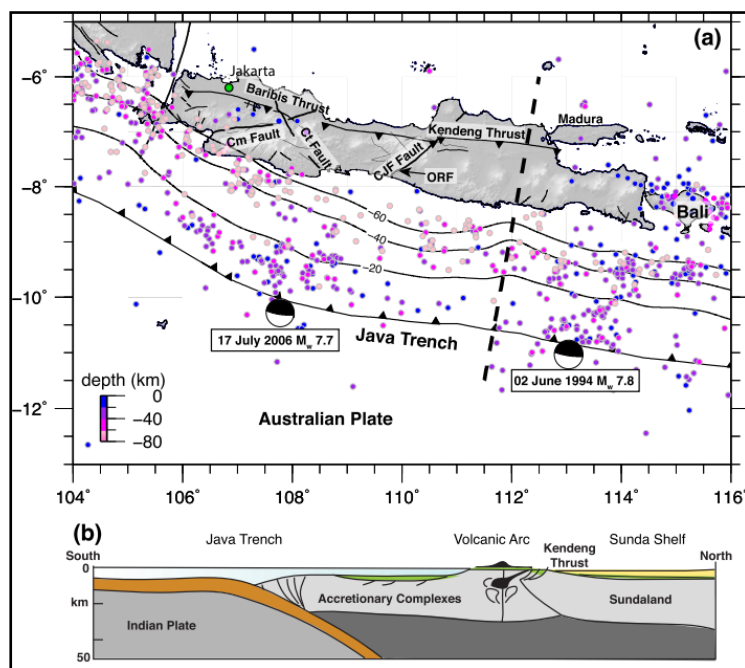


KELOMPOK PENELITIAN
STASIUN GEOFISIKA KELAS II TRETES
BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
Pasuruan | Januari 2019

AKTIVITAS SESAR-SESAR LOKAL DI JAWA TIMUR DITINJAU DARI HASIL RELOKASI HIPOSENTER TAHUN 2009 - 2017

1. Pendahuluan

Jawa Timur terletak pada bagian tenggara Busur Sunda memiliki kondisi jumlah penduduk dan infrastruktur yang padat. Berdasarkan tatanan seismotektoniknya, tektonik Jawa Timur didominasi oleh pergerakan lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam. Lempeng Samudra Australia menunjam dibawah Pulau Jawa dengan sudut yang lebih curam dibandingkan dengan penunjaman di bawah Pulau Sumatra. Pergerakan lempeng tersebut menjadi pengontrol utama pembentukan struktur di Jawa Timur (Susilohadi, 1995). Gempabumi di Jawa Timur selain didominasi oleh gempabumi megathrust di bagian selatan Jawa juga banyak ditemukan gempa-gempa akibat sesar-sesar lokal seperti gempabumi Madiun pada Tanggal 25 Juni 2015 dan gempabumi akibat *Backarc Thrust* seperti gempabumi Situbondo Tanggal 11 Oktober 2018.



Gambar 1. Tektonik regional Pulau Jawa yang menunjukkan keberadaan sesar-sesar lokal. Bulat berwarna menggambarkan seismisitas katalog ISC untuk event $M_w > 5.5$ dan kedalaman < 80 km. (b) adalah skema kondisi bawah permukaan irisan utara - selatan untuk garis putus-putus pada (a) (Sumber : Koulali dkk., 2016)

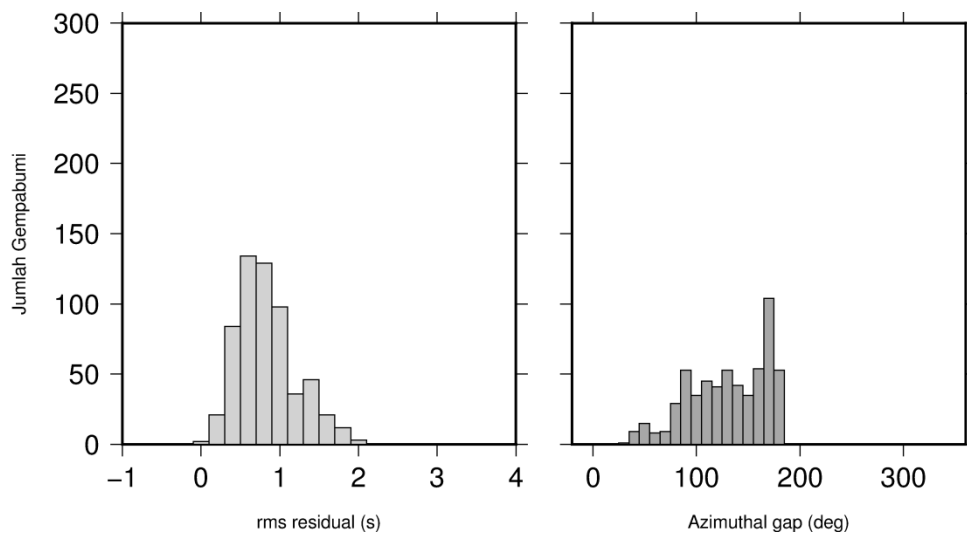
Jawa Timur merupakan daerah dengan tingkat seismisitas yang cukup tinggi dimana berdasarkan katalog dari BMKG yang kami himpun dari Bulan April 2009 hingga Bulan Desember 2017, telah tercatat 2321 event gempabumi. Dari jumlah tersebut sebanyak 1786 gempabumi atau sekitar 77% merupakan gempabumi dangkal dengan kedalaman kurang dari 40km. Gempabumi-gempabumi dangkal tersebut ada yang terjadi pada kerak samudra (kerak samudra Indo-Australia) dan ada juga yang terjadi

di kerak benua (kerak benua Eurasia). Gempabumi-gempabumi dangkal dengan kedalaman kurang dari 40 km akan dianalisis lebih lanjut karena seringkali memberikan dampak yang signifikan baik dirasakan maupun menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Guna mewaspadai bencana gempabumi di wilayah Jawa Timur ini perlu dilakukan suatu kajian mendasar tentang seismotektonik di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari aktifitas tektonik di wilayah Jawa Timur dengan melakukan relokasi hiposenter gempabumi agar diperoleh posisi hiposenter yang lebih baik sehingga mempermudah dalam melakukan interpretasi.

2. Data dan Metode

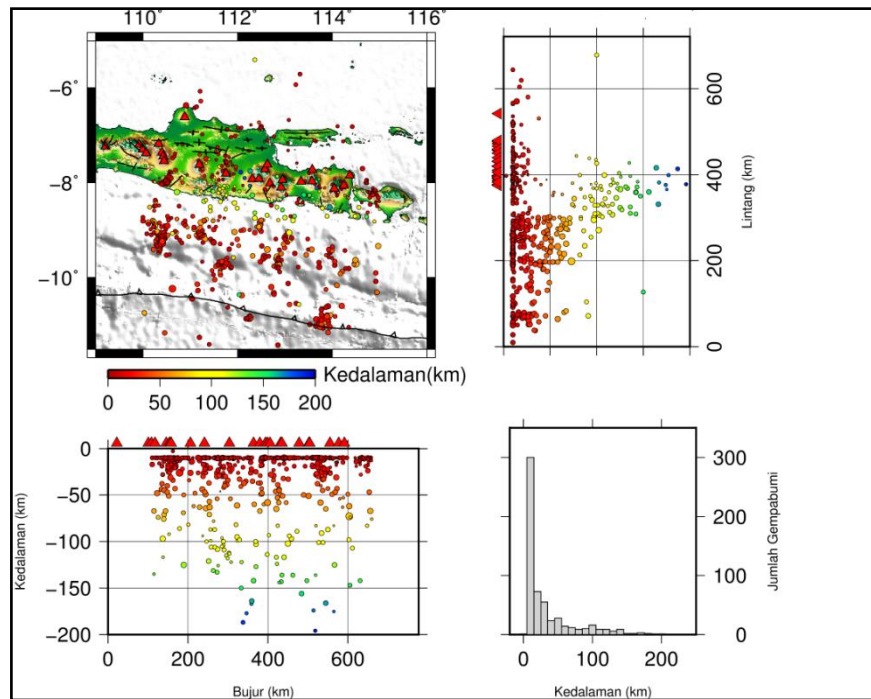
2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data *arrival time* gempabumi katalog BMKG Tahun 2009 – 2017 dengan kriteria magnitude > 3 , azimuthal gap < 180 derajat, rms residual < 2 detik dan kedalaman < 200 km. Kriteria kedalaman yang dipilih relatif dangkal bertujuan untuk mempelajari lebih detail tentang sesimitas yang berasosiasi dengan sesar-sesar lokal. Berdasarkan kriteria yang diberikan diperoleh jumlah gempabumi sebanyak 586 event. Kondisi sebaran stasiun seismik di Pulau Jawa hanya terdapat di darat sedangkan kegempaan dominan berada di selatan Pulau Jawa. Hal tersebut berpengaruh pada besarnya nilai azimuthal gap yang menyebabkan rendahnya tingkat akurasi parameter gempabumi yang dihasilkan. Berikut adalah histogram yang menggambarkan jumlah event gempabumi berdasarkan nilai rms residual dan azimuthal gap.

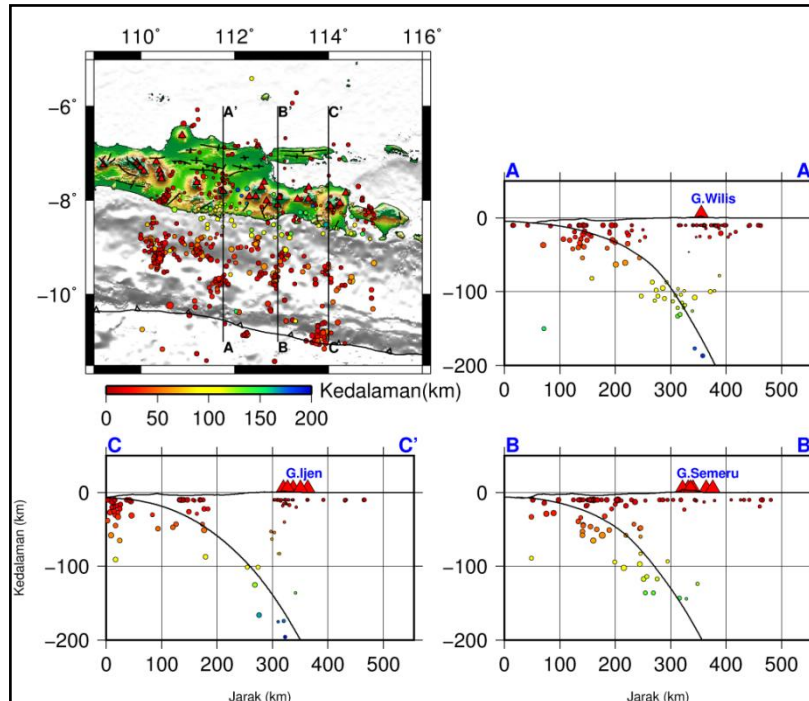


Gambar 2. (Kiri) Histogram rms residual, (kanan) histogram azimuthal gap event gempabumi daerah Jawa Timur katalog BMKG Tahun 2009 – 2017 yang akan direlokasi. Event dipilih dengan kriteria azimuthal gap $< 180^\circ$ dan rms residual < 2 detik.

Seismisitas katalog BMKG memiliki karakter nilai fix depth 10 km dengan jumlah yang cukup dominan (Gambar 3 kanan bawah) walaupun posisi hiposenter pada kedalaman yang lebih dalam sudah cukup bagus diindikasikan dengan kesesuaiannya dengan zona Wadati-Benioff (Gambar 4) berdasarkan model Slab 1-D oleh Hayes (2012).



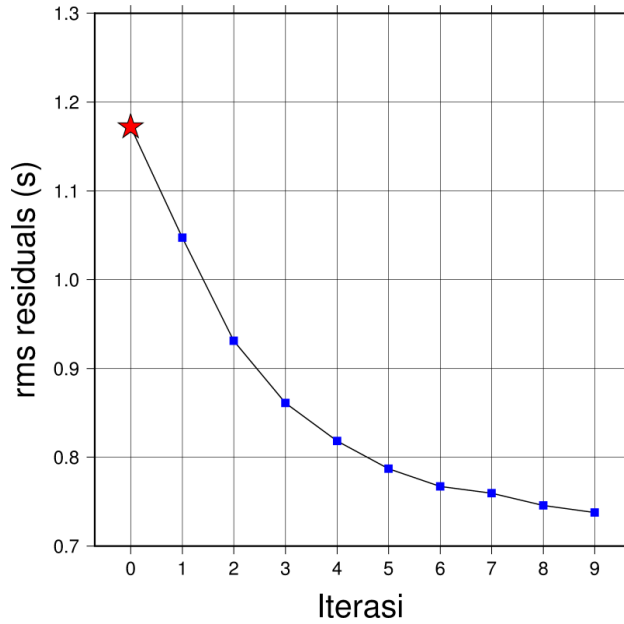
Gambar 3. (Kiri atas) Plot seismisitas daerah Jawa Timur katalog BMKG tahun 2009 – 2017. (Kanan atas) dan (kiri bawah) adalah penampang melintang seismisitas pada arah lintang dan bujur, (kanan bawah) adalah histogram kedalaman gempa bumi. Keterangan lainnya saam dengan Gambar 3.



Gambar 4. (Kiri atas) Plot seismisitas daerah Jawa Timur katalog BMKG tahun 2009 – 2017. (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah penampang melintang seismisitas pada irisan A-A', B-B' dan C-C'. Skala warna dan ukuran bulatan masing-masing menunjukkan kedalaman dan magnitudo gempa bumi. Segitiga kuning terbalik adalah stasiun seismik, segitiga warna merah adalah gunungapi, garis hitam bergerigi adalah palung subduksi.

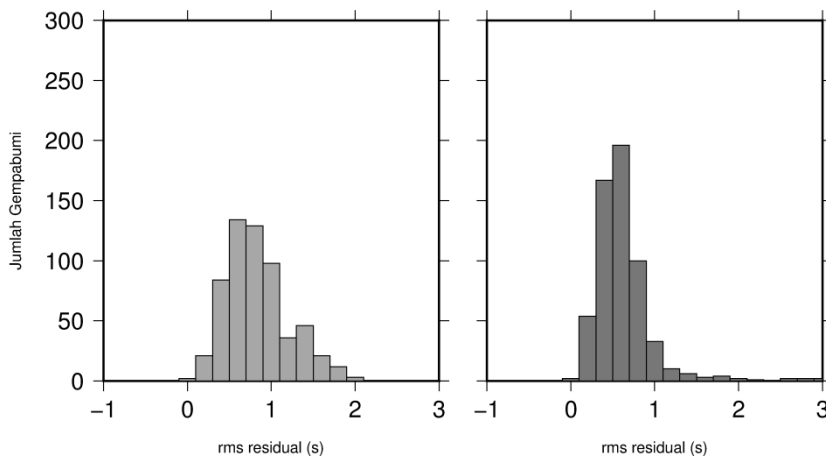
2.1 Metode

Proses relokasi hiposenter dilakukan dengan menggunakan algoritma Velest (Kissling dkk., 1994). Data yang diperlukan adalah data *arrival time* gempa bumi katalog BMKG, posisi hiposenter awal, data koordinat stasiun dan model kecepatan 1-D referensi sebagai model awal. Model kecepatan 1-D yang digunakan adalah gabungan antara model Koulakov dkk. (2007) pada kedalaman 0 – 24 km dan model kecepatan global AK135 (Kennet, 1995). Perhitungan ulang posisi hiposenter dilakukan secara iteratif seiring dengan perubahan model kecepatan 1-D dimana iterasi akan berhenti ketika kondisi konvergen tercapai. Pada proses relokasi, kondisi konvergen dicapai pada iterasi ke-9 dimana nilai rms residual berubah dari 1.73 detik menjadi 0.74 detik (Gambar 5).

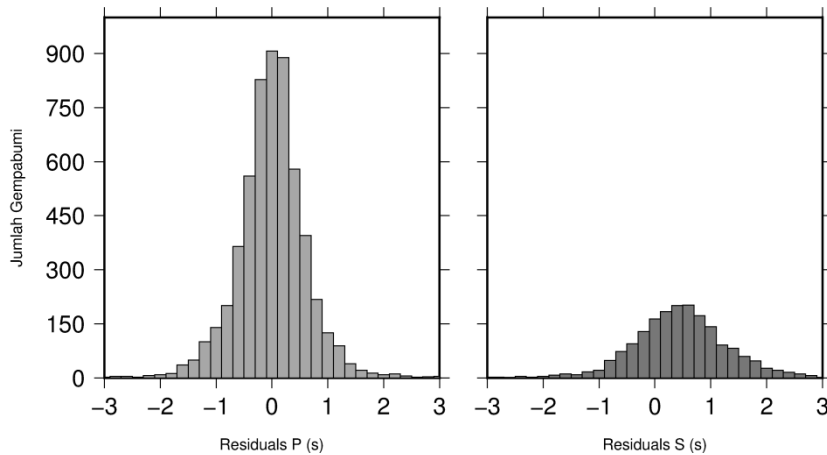


Gambar 5. Nilai rms residual untuk tiap proses iterasi dari model awal (tanda bintang) hingga iterasi ke-9.

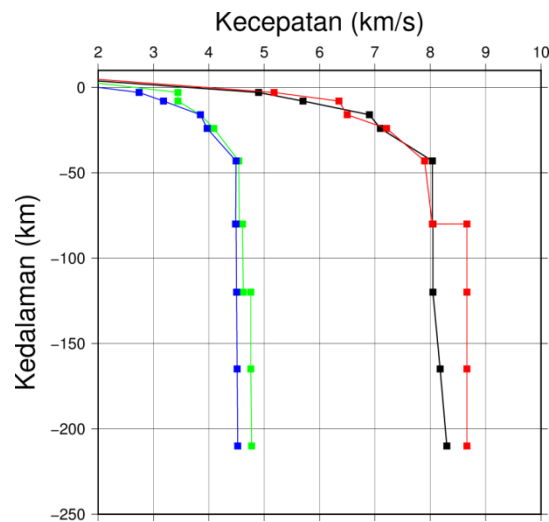
Validitas dari hasil relokasi hiposenter dapat dijelaskan dengan nilai rms residual atau nilai yang menggambarkan selisih antara travel time observasi dan kalkulasi. Semakin kecil nilai selisih yang didapat menandakan bahwa model kecepatan 1-D dan posisi hiposenter akhir yang dihasilkan telah representatif. Berikut adalah histogram rms residual event gempabumi sebelum relokasi dan sesudah relokasi. Tampak jelas bahwa nilai rms residual sesudah relokasi relatif mendekati nol atau menjadi lebih rendah.



Gambar 6. (Kiri) Histogram rms residual sebelum relokasi dan (kanan) setelah relokasi hiposenter gempabumi daerah Jawa Timur Tahun 2009 – 2017.



Gambar 7. Histogram residual travel time gelombang P (kiri) dan gelombang S Kanan) untuk event gempabumi daerah Jawa Timur Tahun 2009 – 2017.



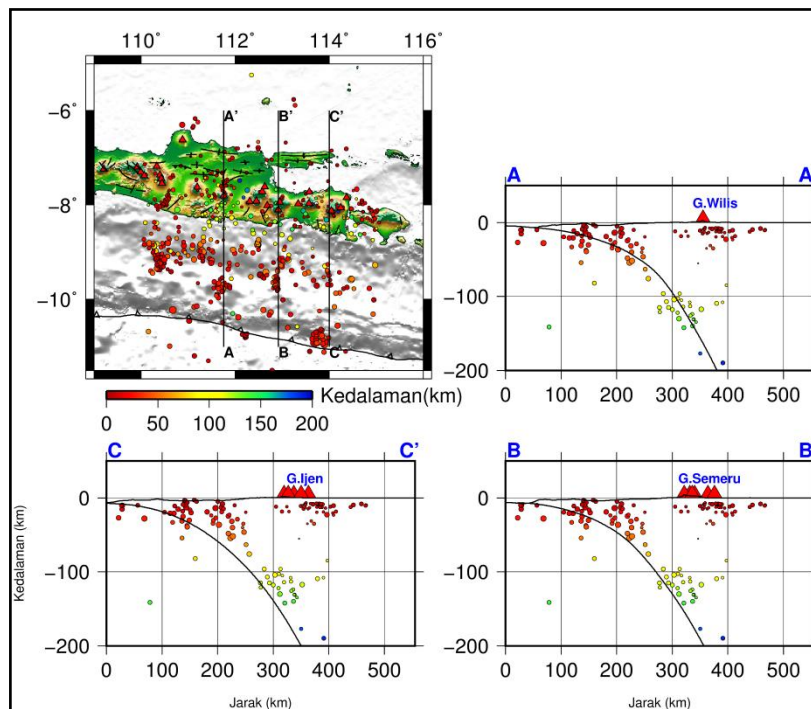
Gambar 8. Model awal kecepatan 1-D V_p (warna hitam) dan V_s (warna biru) serta model akhir V_p (warna merah) dan V_s (warna hijau). Model akhir diperoleh setelah 9 kali iterasi pada program Velest (Kissling dkk., 1994)

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Relokasi

Dari hasil relokasi tampak jelas bahwa *fix depth* pada kedalaman 10 km (Gambar 2 dan 3) menjadi hilang atau berpindah pada posisi yang lebih logis secara geologi. Dari hasil relokasi juga ditemukan lokasi gempabumi tampak membentuk *cluster* pada lokasi-lokasi tertentu yang menarik untuk dipelajari lebih lanjut terkait mekanisme-nya. Penampang melintang seismisitas dibuat mengiris *Cluster* gempabumi yang signifikan terlihat yaitu cluster A disekitar Gunung Wilis, cluster B di Selatan Malang serta cluster C di selatan Banyuwangi. *Cluster-cluster* tersebut merupakan sumber gempabumi yang dominan sering terjadi di Jawa Timur dan beberapa diantaranya merupakan gempabumi dirasakan hingga merusak. Gempa bumi merusak yang telah terjadi di daerah Jawa Timur pada beberapa tahun terakhir

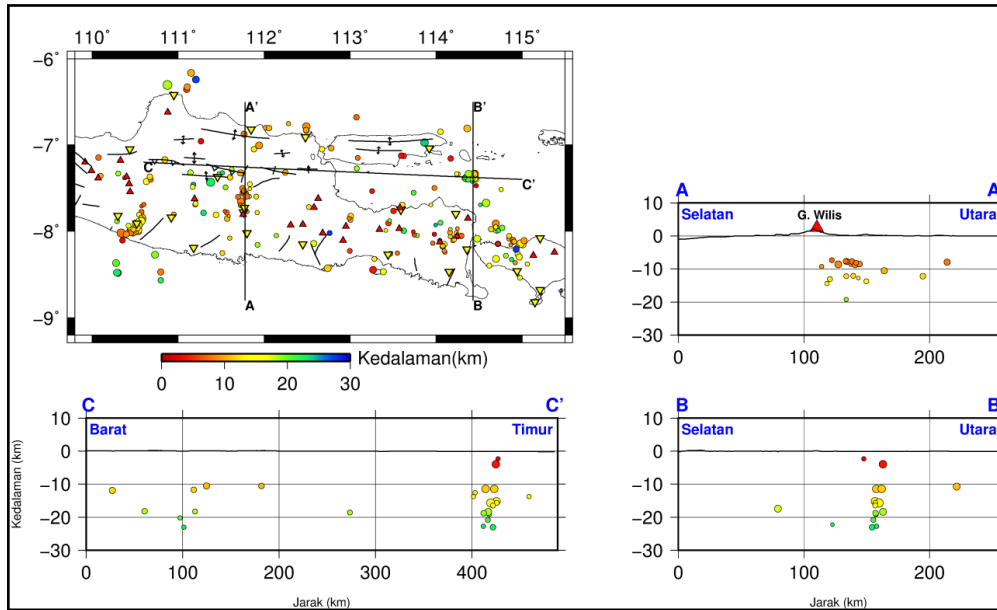
adalah gempa bumi Selatan Malang (19 Juli 2018), gempa bumi Madiun (Juni 2015 dan Februari 2016) dan gempa bumi Situbondo 11 Oktober 2018.



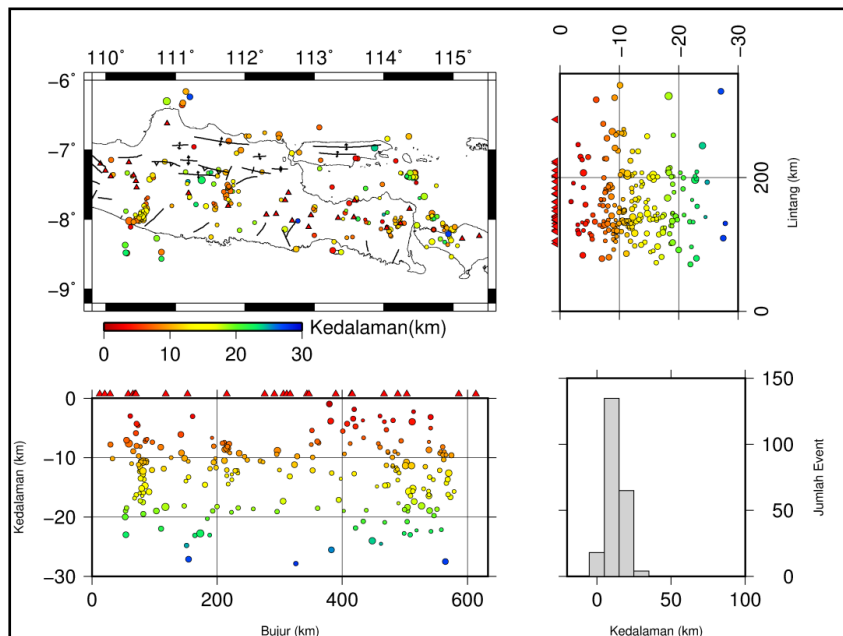
Gambar 9. (Kiri atas) Plot hasil relokasi hiposenter gempa bumi daerah Jawa Timur menggunakan program Velest (Kissling, 1994). (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A', B-B' dan C-C'. Keterangan lainnya sama dengan Gambar 3.

3.2 Seismisitas Sesar Kendeng

Sesar Kendeng adalah sesar yang menjadi bahan diskusi hangat di kalangan peneliti pada beberapa tahun terakhir seperti Koulali dkk. (2016) yang mengulas keberadaan sesar tersebut berdasarkan data geodetik. Data katalog gempa bumi yang direlokasi pada penelitian ini adalah sampai pada Bulan Desember 2017 namun ditambah dengan relokasi *cluster* gempa bumi Situbondo pada Tanggal 11 Oktober 2018 menggunakan model 1-D yang telah dihitung sebelumnya (Gambar 8). Untuk mempelajari aktifitas Sesar Kendeng, 3 buah irisan dibuat (Gambar 10) yaitu irisan A-A' berarah utara selatan melewati zona gempa bumi Madiun, B-B' melewati zona gempa bumi Situbondo dan C-C' arah timur barat yang sejajar dengan Sesar Kendeng sebagaimana interpretasi keberadaan Sesar Kendeng oleh Koulali dkk. (2016) (Gambar 1). Seismisitas di sepanjang irisan C-C' yang mengiris Sesar Kendeng menunjukkan aktifitas yang rendah yaitu terdapat hanya sebanyak 9 event gempa bumi yang terjadi pada zona tersebut selama kurun waktu hampir 9 tahun dengan kedalaman anatara 10 – 30 km. Jumlah tersebut diluar event gempa bumi pada *cluster* gempa bumi Situbondo. Walaupun jumlah totalnya bisa jadi lebih banyak karena dalam penelitian ini event gempa bumi yang dipilih diterapkan filter dengan kriteria cukup ketat sebagaimana di jelaskan pada Bab 2.



Gambar 10. (Kiri atas) Plot hasil relokasi hiposenter gempa bumi daerah Jawa Timur menggunakan program Velest (Kissling, 1994) untuk kedalaman < 30 km. (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A' melewati daerah gempa bumi Madiun, B-B' melewati daerah gempa bumi Situbondo dan C-C' melewati sepanjang Sesar Kendeng.

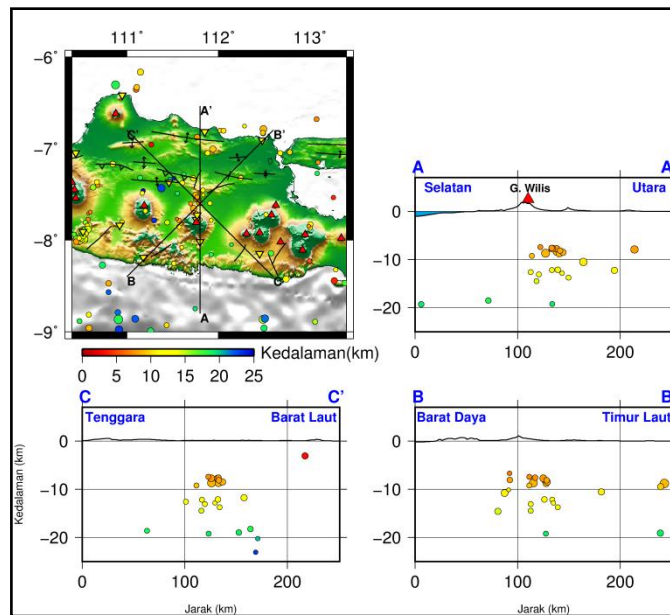


Gambar 11. (Kiri atas) Plot hasil relokasi hiposenter gempa bumi daerah Jawa Timur menggunakan program Velest (Kissling, 1994) untuk kedalaman < 30 km. (Kanan atas) dan (kiri bawah) adalah tampilan hasil relokasi pada arah Lintang dan Bujur, (kanan bawah) adalah histogram kedalaman gempa bumi.

3.3 Gempabumi Madiun

Gempabumi Madiun adalah gempa bumi merusak yang terjadi 2 kali yaitu pada Bulan Juni 2015 dan Februari 2016. Gempabumi tersebut cukup menarik karena terjadi pada daerah yang belum teridentifikasi keberadaan sesarnya walaupun berada relatif dekat dengan Sesar Kendeng yaitu berada disebelah

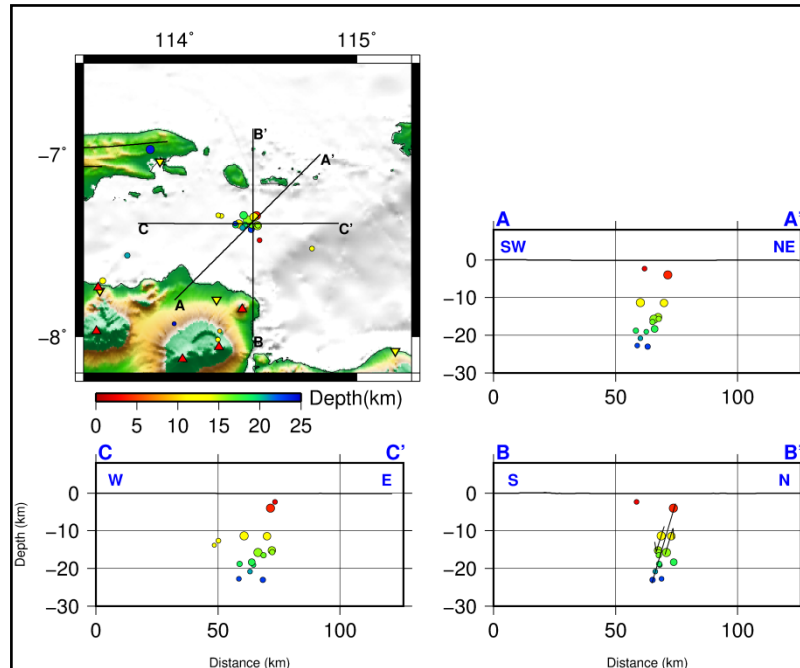
selatannya tepat di bawah Gunung Pandan Madiun. Santoso dkk. (2018) menduga bahwa aktivitas tektonik dan magmatik saling terkait pada daerah tersebut dan menjadi penyebab terjadi gempa bumi tersebut.



Gambar 12. (Kiri atas) Hasil relokasi hiposenter gempa bumi Madiun menggunakan program Velest (Kissling, 1994) berdasarkan model kecepatan yang telah dihasilkan (Gambar 8). (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A', B-B' dan C-C'.

3.4 Gempabumi Situbondo

Gempabumi Situbondo merupakan gempa bumi merusak yang terjadi hampir di penghujung Tahun 2018 yaitu pada Tanggal 11 Oktober 2018. Gempabumi yang menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa tersebut terjadi pada *Zona Backarc Thrust* yang diduga merupakan kemenerusan dari Flores *Backarc Thrust*. Pusat gempa memiliki sebaran dengan pola *Backarc Thrust* (Gambar 13 kanan bawah) sebagaimana diilustrasikan oleh Kouali dkk. (2016) (Gambar 1b).



Gambar 13. (Kiri atas) Hasil relokasi hiposenter gempa bumi Situbondo Tanggal 11 Oktober 2018 menggunakan program Velest (Kissling dkk., 1994) berdasarkan model kecepatan yang telah dihasilkan (Gambar 8). (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A', B-B' dan C-C'.

4. Kesimpulan

Relokasi hiposenter gempa bumi yang telah dilakukan berhasil memperbaiki posisi hiposenter ditandai dengan hilangnya fix depth 10 km sehingga lebih mudah dilakukan interpretasi. Kegempaan di Jawa Timur selain berasosiasi dengan Zona Wadati –Benioff juga banyak ditemukan *cluster-cluster* gempa bumi pada kerak kontinen seperti *cluster* gempa bumi di Selatan Banyuwangi, cluster gempa bumi merusak di Madiun dan Situbondo. Sesar Kendeng yang berarah Timur – Barat di tengah Jawa Timur tercatat memiliki beberapa kejadian gempa bumi walaupun dengan tingkat seismisitas yang rendah yaitu terjadi setidaknya 9 event gempa bumi pada kurun antara April 2009 – Desember 2017 dengan kedalaman anatar 10 – 30 km. Karakteristik sesar perlu dikaji lebih lanjut dengan pendekatan berbagai disiplin ilmu kebumihantaran untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Hayes, G. P., Wald, D. J. dan Johnson, R. L. (2012) : Slab1.0 : A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *Journal of Geophysical Research*, 117(B1), 1–15.
- Kennet, B. L. N., Engdahl, E. R. dan Bulland, R. (1995) : Constraints on seismic velocities in the earth from traveltimes, *Geophys J. Int.*, 122, 108 – 124
- Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D. Dan Kradolfer, U. (1994). Initial reference models in local earthquake tomography. *J. Geophys. Res.*, 99, 19635-19646
- Koulali, A. , S. McClusky, S. Susilo, Y. Leonard, P. Cummins, P. Tregoning, I. Meilano, J. Efendi dan A. B. Wijanarto. 2016. *The Kinematics of Crustal Deformation in Java from GPS Observations: Implications for Fault Slip Partitioning*. Elsevier, Issue
- Koulakov, I., Bohm, M., Asch, G., Luhr, B. G., Manzanares, A., Brotopuspito, K. S., Fauzi, P., Purbawinata, M. A., Puspito, N. T., Ratdomopurbo, A., Kopp, A., Rabbel, W. dan Shevkunova, E. (2007) : P and S velocity structure of the crust and the upper mantle beneath Central Java from local tomography inversion, *Journal Of Geophysical Research*, VOL. 112
- Santoso, D., Wahyudi, E.J., Kadir, W.G.A., Alawiyah, S., Nugraha, A.D., Supendi, P. Dan Parnadi, W.W. (2018): Gravity Structure around Mt. Pandan, Madiun, East Java, Indonesia and Its Relationship to 2016 Seismic Activity, *Open Geosci.*
- Susilohadi. 1995. *Late Tertiary and Quarternary Geology of the East Java Basin, Indonesia*. Doctor of Philosophy Thesis. Wollongong: School of Geosciences, University Wollongong.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis, and F. Wobbe, *Generic Mapping Tools: Improved version released*, *EOS Trans. AGU*, 94, 409-410, 2013.