

Analisis Tren dan Sebaran Gempa Bumi Susulan Tanggal 10 Juni 2006 Daerah Istimewa Yogyakarta

Analysis of Trends and Distribution of Aftershock Earthquakes on June 10, 2006, Special Region of Yogyakarta

Ahmad Tauhid Irfansyah^{1*}, Yusuf Hadi Perdana²

¹ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, 57126

² Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balecat, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 23 April 2025

Naskah diperbaiki : 10 Juli 2025

Naskah diterima : 20 Juli 2025

Kata kunci:

gempa bumi
gempa susulan
magnitudo
aktivitas seismik
karakteristik gempa

Keywords:

Earthquake
Aftershocks
Magnitude
seismic activity
earthquake characteristics

**Email:*

ahmadtauhid27@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Gempa bumi besar yang terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta pada 27 Mei 2006 menimbulkan dampak signifikan berupa korban jiwa dan kerusakan infrastruktur. Setelah kejadian utama, aktivitas gempa bumi susulan berlangsung selama beberapa minggu, termasuk gempa susulan pada 10 Juni 2006. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren temporal dan sebaran spasial gempa bumi susulan tersebut guna memahami karakteristik aktivitas seismik pascagempa utama di wilayah Yogyakarta. Analisis dilakukan menggunakan data seismik yang diproses dengan perangkat lunak SeisComp4, meliputi penentuan lokasi hiposenter, magnitudo, dan distribusi kedalaman gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa susulan didominasi oleh kejadian bermagnitudo kecil hingga menengah (M1–M3) yang tergolong gempa mikro, dengan kedalaman relatif dangkal. Secara spasial, gempa-gempa tersebut tersebar terutama pada wilayah yang didominasi oleh Formasi Kepek dan Formasi Wonosari. Pola sebaran dan tren aktivitas seismik yang teramati mencerminkan proses redistribusi tegangan kerak bumi pascagempa utama serta keterkaitannya dengan kondisi geologi dan keberadaan sistem sesar aktif di wilayah Yogyakarta. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman dinamika gempa susulan dan mendukung upaya mitigasi bahaya gempa bumi di daerah rawan seismik.

ABSTRACT

A large earthquake struck the Special Region of Yogyakarta on May 27, 2006, resulting in significant impacts, including casualties and extensive damage to infrastructure. Following the main event, aftershock activity continued for several weeks, including an aftershock on June 10, 2006. This study aims to analyze the temporal trends and spatial distribution of these aftershocks in order to understand the characteristics of post-mainshock seismic activity in the Yogyakarta region. The analysis was conducted using seismic data processed with SeisComp4 software, including hypocenter location determination, magnitude analysis, and depth distribution. The results show that the aftershocks were dominated by small to moderate events (M1–M3), classified as micro-earthquakes, with relatively shallow depths. Spatially, the aftershocks are mainly distributed in areas dominated by the Kepek and Wonosari Formations. The observed distribution patterns and trends of seismic activity reflect the process of crustal stress redistribution following the mainshock and its relationship with geological conditions and the presence of active fault systems in the Yogyakarta region. This study is expected to contribute to a better understanding of aftershock dynamics and to support earthquake hazard mitigation efforts in seismically active areas.

© 2025 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Interaksi ketiga lempeng tersebut menyebabkan tingginya aktivitas tektonik dan vulkanik, yang membentuk rangkaian busur gunung api memanjang dari Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, hingga Papua. Kondisi tektonik ini menjadikan Indonesia

sebagai bagian dari jalur seismik global yang dikenal sebagai *Ring of Fire* atau Sirkum-Pasifik, sehingga wilayah ini sangat rentan terhadap kejadian gempa bumi dan letusan gunung api [1], [2].

Aktivitas tektonik tersebut juga memicu terbentuknya berbagai struktur geologi, seperti sesar aktif dan zona deformasi kerak. Keberadaan sesar-sesar ini berperan penting dalam terjadinya gempa bumi tektonik, baik

berskala besar maupun kecil. Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam bumi akibat pergerakan atau patahan batuan, yang kemudian merambat sebagai gelombang seismik. Perambatan gelombang seismik ini dapat menyebabkan deformasi dan kerusakan di permukaan bumi, bahkan menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang besar [3].

Gelombang seismik merupakan bentuk perambatan energi yang berasal dari sumber seismik, seperti gempa bumi, aktivitas vulkanik, ledakan, longsor, maupun sumber buatan lainnya. Gelombang ini merambat melalui medium elastik di dalam bumi dan dapat direkam oleh instrumen seismometer. Informasi waktu tiba gelombang primer (P) dan sekunder (S) yang direkam pada berbagai stasiun seismik menjadi dasar dalam penentuan parameter sumber gempa, seperti lokasi hiposenter dan waktu origin [4].

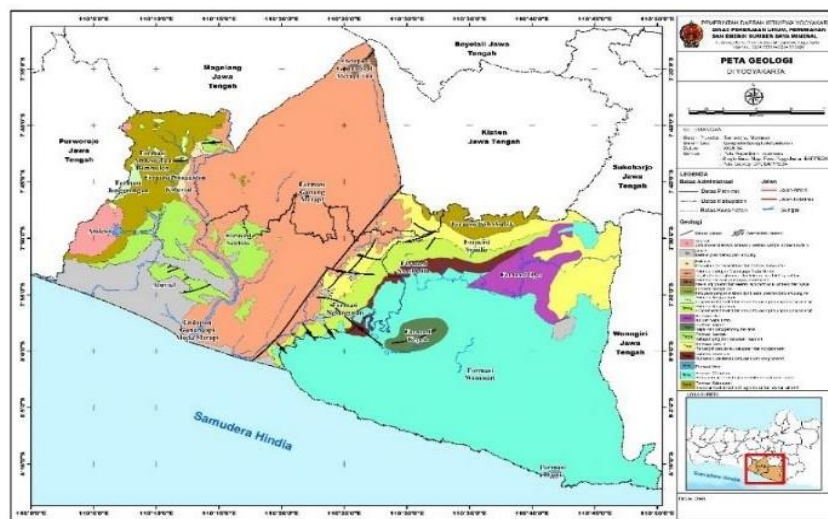
Salah satu metode yang umum digunakan dalam penentuan lokasi hiposenter adalah metode Geiger. Metode ini memanfaatkan selisih waktu tiba gelombang P dan S pada beberapa stasiun seismik dengan asumsi model bumi berlapis homogen dan isotropik. Proses iteratif dilakukan untuk memperoleh solusi hiposenter terbaik dengan meminimalkan residu waktu tiba antara hasil observasi dan perhitungan teoritis [5].

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan wilayah yang secara geologi kompleks dan dikelilingi oleh beberapa struktur aktif, termasuk Sesar Opak yang berarah relatif

utara–selatan. Wilayah ini berbatasan dengan Kabupaten Wonogiri di bagian tenggara, Kabupaten Klaten di timur laut, Kabupaten Magelang dan Purworejo di bagian barat dan barat laut. Secara geologi, wilayah Yogyakarta tersusun atas satuan batuan vulkanik, sedimen, dan karbonat, seperti Formasi Kepek dan Formasi Wonosari, yang berperan dalam mengontrol respons seismik lokal (Gambar 1) [6].

Gempa bumi Yogyakarta pada 27 Mei 2006 merupakan salah satu kejadian seismik paling merusak di Pulau Jawa, dengan magnitudo M5,9 dan kedalaman sekitar 33 km. Gempa ini menyebabkan lebih dari 5.000 korban jiwa, puluhan ribu korban luka, serta kerusakan parah pada ratusan ribu bangunan di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah [7]. Aktivitas gempa bumi susulan berlangsung hingga sekitar satu bulan setelah kejadian utama, termasuk gempa susulan pada 10 Juni 2006 dengan magnitudo M3,2 dan kedalaman 15–25 km. Kejadian gempa susulan ini berkaitan dengan proses redistribusi tegangan pada Sesar Opak dan sesar-sesar minor di sekitarnya [8].

Analisis tren dan sebaran gempa bumi susulan menjadi penting untuk memahami dinamika pascagempa utama, karakteristik sumber gempa, serta keterkaitannya dengan kondisi geologi setempat. Informasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi dan peningkatan pemahaman terhadap bahaya seismik di wilayah Yogyakarta.



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Istimewa Yogyakarta.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu pengambilan data seismik, pemetaan data, dan analisis sebaran gempa bumi susulan. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan phase picking gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S) menggunakan perangkat lunak SeisComp4 [9]. Gelombang P

merupakan gelombang seismik dengan kecepatan rambat tertinggi sehingga pertama kali terekam oleh seismometer, sedangkan gelombang S memiliki kecepatan rambat lebih rendah dan terekam setelah gelombang P. Proses *picking* dilakukan secara manual pada rekaman seismogram di ruang operasional BMKG Kelas I Sleman dengan memperhatikan karakteristik sinyal dan perubahan amplitudo untuk memperoleh waktu tiba gelombang yang akurat [10] (Gambar 2).



Gambar 2. Menentukan Gelombang P dan S.

Hasil *picking* gelombang P dan S selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter gempa bumi yang meliputi waktu kejadian, magnitudo, fase gelombang, koordinat episenter (lintang dan bujur), serta kedalaman hiposenter. Penentuan lokasi gempa dilakukan secara iteratif berdasarkan selisih waktu tiba gelombang seismik pada beberapa stasiun pencatat menggunakan pendekatan penentuan hiposenter berbasis waktu tiba gelombang [5].

Parameter gempa bumi yang telah diperoleh kemudian dipetakan menggunakan perangkat lunak QGIS untuk menghasilkan peta persebaran gempa bumi susulan pada tanggal 10 Juni 2006 di wilayah Yogyakarta. Peta persebaran tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi pola, arah sebaran, dan tren gempa bumi susulan yang berkaitan dengan kondisi geologi dan struktur aktif di wilayah penelitian [11].

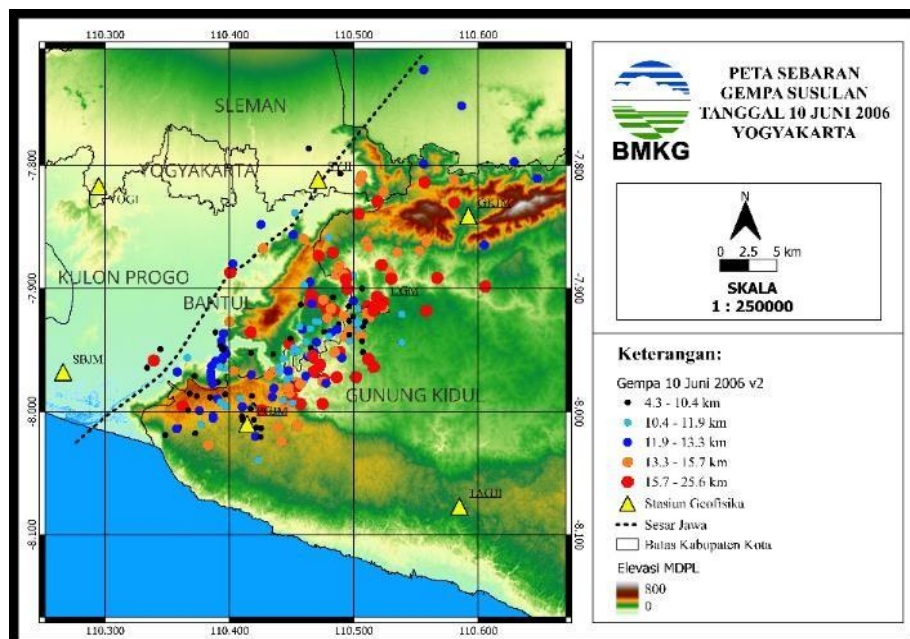
3. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian ini menganalisis karakteristik seismik gempa bumi susulan yang terjadi pada tanggal 10 Juni 2006 di

wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan distribusi spasial, kedalaman, magnitudo, dan tren temporal kejadian gempa. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, meliputi kejadian gempa susulan dalam rentang waktu pukul 00:20 hingga 23:42 UTC. Parameter gempa yang dianalisis mencakup waktu kejadian, magnitudo, fase gelombang, koordinat episenter (lintang dan bujur), kedalaman hiposenter, serta wilayah kejadian gempa bumi.

Gempa susulan merupakan gempa bumi yang terjadi di sekitar lokasi gempa utama dengan magnitudo lebih kecil dan dipengaruhi oleh mekanisme sumber gempa utama, jarak, serta selang waktu kejadian. Berdasarkan hasil pengolahan data gempa susulan Yogyakarta pada tanggal 10 Juni 2006, tercatat sebanyak 227 kejadian gempa bumi susulan. Analisis dilakukan menggunakan metode Geiger yang diproses dengan perangkat lunak SeisComP4 untuk penentuan parameter gempa, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan Microsoft Excel dan pemetaan spasial menggunakan QGIS.

Hasil pemetaan sebaran episenter gempa bumi susulan ditunjukkan pada Gambar 3. Warna episenter merepresentasikan variasi kedalaman gempa, sedangkan perbedaan diameter simbol episenter menunjukkan variasi magnitudo gempa. Segitiga berwarna kuning menunjukkan lokasi stasiun pencatat gempa. Episenter berwarna hitam merepresentasikan gempa dengan kedalaman 4,3–10,4 km, biru muda 10,4–11,9 km, biru tua 11,9–13,3 km, oranye 13,3–15,7 km, dan merah menunjukkan gempa dengan kedalaman 15,7–25,6 km. Distribusi ini menunjukkan bahwa sebagian besar gempa susulan terjadi pada kedalaman dangkal hingga menengah.



Gambar 3. Menentukan Gelombang P dan S.

Berdasarkan klasifikasi magnitudo lokal (ML), gempa susulan pada tanggal 10 Juni 2006 memiliki rentang magnitudo antara 0,7 hingga 3,2. Variasi magnitudo gempa susulan ditampilkan pada Tabel 1, yang menunjukkan dominasi gempa bumi mikro sebanyak 203 kejadian, diikuti oleh gempa ultramikro sebanyak 22 kejadian, dan gempa kecil sebanyak 2 kejadian. Dominasi gempa bermagnitudo kecil ini mengindikasikan bahwa aktivitas seismik pada periode tersebut merupakan respons lanjutan terhadap pelepasan energi gempa utama 27 Mei 2006.

Tabel 1. Variasi magnitudo gempa bumi susulan tanggal 10 Juni 2006.

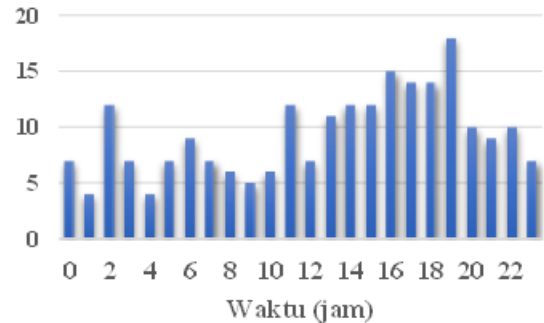
Jenis Gempa	Banyaknya Gempa
Gempa bumi Kecil	2
Gempa bumi mikro	203
Gempa bumi ultramikro	22

Wilayah Yogyakarta pada tahun 2006 mengalami aktivitas seismik yang signifikan, dengan gempa utama berkekuatan M5,9 pada 27 Mei 2006 diikuti oleh rangkaian gempa susulan dalam beberapa minggu setelahnya. Pada tanggal 10 Juni 2006, aktivitas gempa susulan berlangsung intensif sepanjang hari dengan jumlah total 227 kejadian. Magnitudo terbesar tercatat sebesar M3,2 pada pukul 01:57 UTC. Peningkatan jumlah kejadian gempa pada periode ini menunjukkan kondisi seismik yang masih aktif akibat proses redistribusi tegangan kerak bumi pascagempa utama.

Tren temporal gempa susulan pada tanggal 10 Juni 2006 ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa frekuensi gempa relatif rendah pada rentang waktu pukul 01:00–02:00 UTC dan 04:00–05:00 UTC dengan masing-masing hanya 4 kejadian gempa. Selanjutnya, jumlah kejadian gempa meningkat secara bertahap dan mencapai puncak frekuensi tertinggi pada rentang waktu pukul 19:00–20:00 UTC dengan 18 kejadian gempa. Setelah mencapai puncak tersebut, frekuensi gempa menurun secara signifikan hingga menjelang akhir hari. Pola ini menunjukkan fluktuasi aktivitas seismik harian yang mencerminkan dinamika pelepasan tegangan pascagempa utama.

Berdasarkan kedalamannya, gempa bumi susulan yang terjadi pada 10 Juni 2006 diklasifikasikan sebagai gempa bumi dangkal, karena seluruh kejadian memiliki kedalaman kurang dari 70 km, dengan rentang kedalaman antara 4,3 hingga 25,6 km. Selain itu, gempa-gempa tersebut dapat dikategorikan sebagai gempa lokal karena terjadi relatif dekat dengan stasiun pencatat gempa.

Distribusi gempa dangkal ini mengindikasikan keterlibatan struktur kerak bagian atas dalam mekanisme gempa susulan.



Gambar 4. Tren gempa susulan yang terjadi pada 10 Juni 2006 di wilayah Yogyakarta.

Secara spasial, gempa susulan dengan kedalaman 4,3–25,6 km banyak tersebar pada wilayah yang didominasi oleh Formasi Kepek dan Formasi Wonosari. Formasi Kepek tersusun atas napal dan batu gamping berlapis, sedangkan Formasi Wonosari didominasi oleh batu gamping terumbu, kalkarenit, dan kalkarenit tufan. Perbedaan karakteristik litologi tersebut diduga berperan dalam mengontrol respons seismik lokal dan pola distribusi gempa susulan di wilayah Yogyakarta.

Berdasarkan magnitudonya, gempa bumi susulan pada tanggal 10 Juni 2006 dikategorikan sebagai gempa bumi mikro, ditunjukkan oleh dominasi kejadian dengan magnitudo M1–M3. Dominasi gempa mikro ini mencerminkan proses relaksasi tegangan kerak bumi pascagempa utama, di mana energi dilepaskan secara bertahap melalui gempa-gempa kecil.

Sebaran episenter gempa susulan juga menunjukkan kecenderungan terkonsentrasi di sekitar stasiun pencatat gempa UGM, PGJM, dan GKJM, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Jika dibandingkan dengan peta geologi Daerah Istimewa Yogyakarta, wilayah sekitar stasiun-stasiun tersebut berada pada satuan geologi Formasi Kepek dan Formasi Wonosari. Hal ini mengindikasikan adanya keterkaitan antara kondisi geologi lokal dan distribusi spasial gempa bumi susulan di wilayah Yogyakarta.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data gempa bumi susulan yang terjadi pada tanggal 10 Juni 2006 di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa aktivitas seismik pada periode tersebut didominasi oleh gempa bumi mikro dengan rentang magnitudo M1–M3. Seluruh kejadian gempa susulan tergolong gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 km, yang menunjukkan

keterlibatan struktur kerak bagian atas dalam mekanisme gempa susulan.

Sebaran spasial episenter gempa bumi susulan menunjukkan konsentrasi kejadian pada wilayah yang didominasi oleh Formasi Kepek dan Formasi Wonosari. Pola sebaran ini mengindikasikan adanya keterkaitan antara kondisi geologi lokal, keberadaan struktur aktif, dan respons seismik wilayah Yogyakarta. Selain itu, analisis tren temporal menunjukkan adanya fluktuasi dan kecenderungan peningkatan frekuensi kejadian gempa pada tanggal 10 Juni 2006, yang mencerminkan dinamika pelepasan tegangan kerak bumi pascagempa utama 27 Mei 2006.

Saran

Dalam proses analisis gempa bumi susulan menggunakan perangkat lunak SeisComp4, tahap manual picking gelombang P dan S merupakan tahapan yang krusial dan berpotensi menimbulkan ketidakpastian apabila tidak dilakukan dengan cermat. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian dan konsistensi dalam penentuan waktu tiba gelombang untuk meminimalkan kesalahan penentuan parameter gempa.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan relokasi hiposenter menggunakan metode yang lebih lanjut serta memanfaatkan data gempa susulan dalam periode waktu yang lebih panjang. Pendekatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap pola seismisitas, mekanisme sumber gempa, serta memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana gempa bumi di wilayah Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- [1] Hall, R., "Plate tectonics of SE Asia and the Indonesian region," Geological Society, London, Special Publications, vol. 106, pp. 153–184, 1996.
- [2] Bolt, B. A., Earthquakes, 4th ed. New York: W. H. Freeman, 1999.
- [3] Shearer, P. M., Introduction to Seismology, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [4] Aki, K., dan Richards, P. G., Quantitative Seismology, 2nd ed. Sausalito: University Science Books, 2002.
- [5] Geiger, L., "Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only," Bulletin of the St. Louis University, vol. 8, pp. 56–71, 1912.
- [6] van Bemmelen, R. W., The Geology of Indonesia, Vol. IA. The Hague: Martinus Nijhoff, 1949.
- [7] United States Geological Survey (USGS), "Magnitude 6.3 – Java, Indonesia," Earthquake Hazards Program, 2006.
- [8] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Laporan Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 dan Aktivitas Gempa Susulan, BMKG, Jakarta, 2006.
- [9] W. Hanka, J. Saul, B. Weber, J. Becker, P. Harjadi, and G. Michelini, "Real-time earthquake monitoring for tsunami warning in the Indian Ocean and beyond," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, pp. 2611–2622, 2010.
- [10] P. M. Shearer, *Introduction to Seismology*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [11] QGIS Development Team, *QGIS Geographic Information System*. Open-Source Geospatial Foundation, 2023.