

Studi Pemetaan Kerawanan Gempabumi Berdasarkan Pola-Pola Sesar Menggunakan *Focal Mechanism* dari Data Gempabumi di Wilayah Bali

Maria Crisanti Uduk^{1*}, I Ketut Sukarasa², Arief Tyastama³, Komang Ngurah Suarbawa⁴, Nyoman Wendri⁵, I Nengah Sandi⁶

^{1,2,4,5,6} Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.

³ Stasiun Geofisika Denpasar, Kota Denpasar, Bali, Indonesia.

Received: 18 January 2025

Revised: 27 April 2025

Accepted: 29 April 2025

Corresponding Author:

Maria Crisanti Uduk

vhiviuduk@gmail.com

© 2025 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.29374>

Abstract: Research regarding earthquake vulnerability mapping studies based on fault patterns using focal mechanism data from earthquake data in the Bali Region has been carried out. This research aims to determine fault patterns in the Bali region using a focal mechanism from earthquake data for 1976-2021, determine the types of faults in the Bali region when analyzed using the focal mechanism method and determine areas that are prone to earthquakes in the Bali region. The data used are seismograph recordings obtained from the Global Centroid Moment Tensor (CMT) and the United States Geological Survey (USGS). The method used in this research is the focal mechanism method. The results of mapping the distribution of focal balls in the Bali region are that there were 9 earthquake events above 4 M, with 8 events being thrust faults and 1 being an oblique fault. Areas that are prone to earthquakes are in the East Bali region, specifically in Karangasam, and in general earthquakes occur in water areas or at sea. The results of the seismicity map of the distribution of earthquakes show that the depth of earthquakes in the Bali region varies. On the seismicity map, it can be seen that the most dominant ones are earthquakes in the deep and medium earthquake categories, but the most dangerous are earthquakes in the shallow depth category.

Keywords: Bali Region; earthquake; fault, focal mechanism method.

Pendahuluan

Pembangkit utama gempabumi adalah pergerakan lempeng tektonik yang diakibatkan oleh adanya arus konveksi magma dalam bumi. Gerakan lempeng tektonik akan menyebabkan perubahan bentuk permukaan bumi yang membentuk struktur geologi mayor, seperti gunung, lembah, jurang, dan lain sebagainya. Cara termudah menentukan jalur lempeng tektonik yaitu dengan mengamati distribusi gempa-gempa dangkal. Sumber gempabumi berada pada perbatasan lempeng-lempeng tektonik dan sesar-sesar aktif (Sunarjo, dkk. 2012).

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba

yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Subardjo, 2004).

Indonesia memiliki peringkat tertinggi untuk bahaya tsunami, tanah longsor dan gunung berapi. Menduduki peringkat ketiga untuk ancaman gempabumi dan menduduki peringkat keenam untuk bencana banjir. Posisi Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu lempeng Indo-Australia di bagian selatan yang relatif bergerak ke

How to Cite:

Uduk, M.C., Sukarasa, I.K., Tyastama, A., Suarbawa, K.N., Wendri, N., Sandi, I.N. (2025) Studi Pemetaan Kerawanan Gempabumi Menggunakan *Focal Mechanism* dari Data Gempabumi di Wilayah Bali. 9 (1), 116-120. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.29374>

utara, lempeng Eurasia di bagian utara yang relatif bergerak ke selatan dan lempeng pasifik di bagian timur yang bergerak ke barat. Hal ini menempatkan Indonesia sebagai negara yang sangat rawan terhadap bencana akibat dari aktivitas tektonik (Sunarjo, dkk, 2012).

Indonesia termasuk daerah kegempaan aktif sehingga selama tahun 1976 - 2006 sudah terjadi 3.486 gempabumi dengan magnitudo lebih dari 6,0 M. Penelitian Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sejak tahun 1991 - 2009 telah terjadi 27 kali gempabumi merusak dan 13 kali gempabumi menimbulkan tsunami. Apabila dirata-ratakan dan dibulatkan, Indonesia mengalami kejadian gempabumi sebanyak 2 kali dan tsunami 1 kali setiap tahunnya (Sunarjo, dkk, 2012).

Pulau Bali merupakan salah satu daerah rawan terhadap kejadian gempabumi. Hal ini diakibatkan daerah Bali diapit oleh dua zona penyebab gempabumi, yaitu di wilayah Bali selatan merupakan daerah pertemuan dua lempeng bumi (zona subduksi) yakni lempeng Eurasia dengan Indo-Australia serta akibat adanya subduksi ini menghasilkan efek berupa struktur geologi sesar aktif (*back arc thrust*) di wilayah Bali utara.

Keberadaan struktur geologi daerah Bali sangat berpengaruh terhadap kejadian gempabumi yang telah terjadi. Berdasarkan catatan sejarah, daerah Bali dan sekitarnya dikenal sebagai daerah yang rawan gempabumi. Tercatat beberapa kali gempa besar yang menyebabkan korban jiwa dan kerugian harta benda (Daryono, 2013).

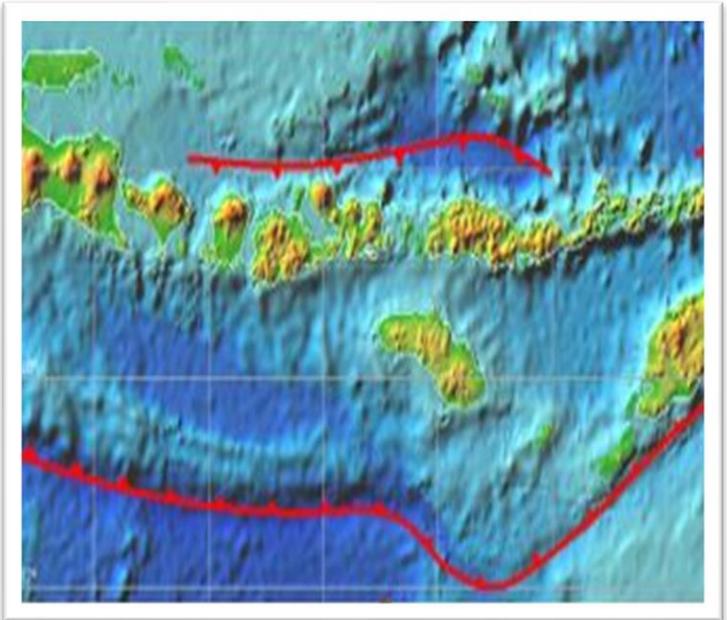
Pengolahan data gaya berat dapat menyajikan pola sesar dan struktur yang ada di Bali menunjukkan bahwa di Pulau Bali terdapat beberapa zona sesar aktif di daratan yang didominasi oleh sesar naik, sesar mendatar dan beberapa struktur sesar kecil berupa sesar turun. Semua sesar tersebut teridentifikasi memotong batuan berumur kuartar (Pratama, 2023).

Akibat aktivitas tektonik yang berlangsung secara terus menerus hingga saat ini, semua batuan itu telah mengalami pengangkatan, lipatan serta sesar atau patahan. Sesar atau patahan (*fault*) adalah bidang batas antara dua fraksi kulit bumi yang mengalami gerakan relatif, biasanya merupakan daerah yang relatif lemah, mengalami retakan atau terdapat celah. Dampak gempabumi yang terjadi dipengaruhi oleh pergerakan model gerak relatif batuan yang terjadi di sekitar sesar tersebut.

Bola fokal merupakan ilustrasi dari sebuah bola yang berpusat di sumber gempa. Bola fokal meliputi jejak sinar seismik yang menjalar dari sumber gempa sampai stasiun pencatat. Bola fokal sendiri terdiri atas kuadran kompresi dan kuadran dilatasi.

Kerawanan gempabumi pulau Bali disebabkan adanya aktivitas dua zona pembangkit gempa, yaitu

penyusupan lempeng Indo-Australia dari arah selatan dan patahan naik di utara pulau Bali. Proses penyusupan lempeng ini tidak hanya menimbulkan aktivitas tektonik tetapi juga aktivitas vulkanik dengan keberadaan Gunung Agung. Gempa yang terjadi pada zona subduksi Bali umumnya dipisahkan atas dua kelompok, yaitu gempa *megathrust* yang merupakan gempa akibat penyusupan dangkal dan gempa Zona *Benioff* yang merupakan gempa akibat penyusupan dalam (Hamilton, 1979). Adapun ini adalah peta sesar pemicu gempa di pulau Bali dan sekitarnya tertera pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Sesar pemicu gempa di Pulau Bali dan sekitarnya (Prawirodikromo, 2012)

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai pemetaan penyebaran pola-pola sesar yang berjudul "Analisa sesar aktif menggunakan metode *focal mechanism* (studi kasus data gempa sepanjang cincin api zona selatan wilayah Jawa Barat pada tahun 1999-2009)", oleh Siti Rahmatul A.R. pada tahun 2013. Dari penelitian itu disimpulkan bahwa: Sesar-sesar pada bola fokal menunjukkan arah gelombangnya, baik berupa kuadran kompresi maupun kuadran dilatasi yang terdapat di beberapa daerah pada propinsi Jawa Barat. Sedangkan penelitian yang berjudul "Penggunaan data gempa dan data geologi untuk menganalisa pola-pola sesar di Pulau Sumatra" diteliti oleh Badrul Munir pada tahun 2015. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa: Jenis sesar yang terjadi pada Sumatera adalah sesar geser, sesar oblique, sesar naik dan sesar turun.

Berdasarkan uraian di atas penulis berkeinginan untuk meneliti mengenai sebaran pola-pola sesar menggunakan data gempabumi di wilayah

Bali. Pada penelitian ini, akan dianalisis mengenai pola sesar yang mengakibatkan gempabumi di wilayah Bali. Hal ini menarik untuk diteliti karena nantinya dapat digunakan dalam upaya mitigasi bencana serta dapat memperkecil dampak negatif dari gempabumi seperti kerusakan bangunan, korban jiwa dan lain sebagainya akibat gempabumi di wilayah Bali.

Metode

Metode yang digunakan adalah metode *focal mechanism*. Metode ini sangat bermanfaat untuk mengetahui parameter sesar suatu gempabumi. Sejak awal tahun 1960-an para ahli seismologi menggunakan konsep teori kopel ganda untuk menentukan mekanisme sumber gempa. Teori kopel ganda menyatakan bahwa di dalam sumber gempabumi terdapat empat gaya yang bekerja yang sama besar dan berlawanan arah yang berlaku sebagai sepasang momen gaya yang saling tegak lurus. Sistem pada teori kopel ganda merupakan sistem gaya yang berpasangan antara gaya regangan (*dilatation*) dan gaya tekanan (*compression*) (Naim, 2018). *Focal mechanism* dapat ditentukan dari gerak awal gelombang P yang dihasilkan sumber gelombang dari suatu titik gempa bumi.

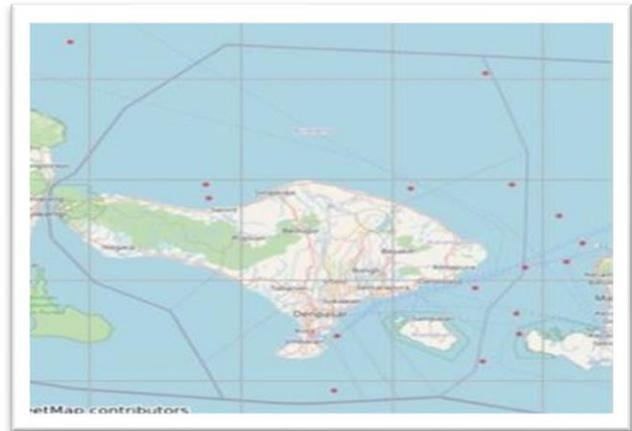
Adapun langkah-langkah pembuatan peta bola fokal adalah sebagai berikut: Langkah yang pertama adalah membuka google chrome dan akan menampilkan laman penelusuran, setelah itu langkah kedua adalah masukkan alamat penelusuran katalog global CMT dalam laman penelusuran sebagai berikut: <https://www.globalcmt.org>, kemudian langkah ketiga adalah masukkan waktu pengambilan data mulai dari 1 Januari 1976 dan selesainya 31 Desember 2021, magnitudo dari 4 M, Lokasi pengambilan datanya berupa lintang dari (-9) - (-5) dan bujur dari 114-116, Setelah itu langkah ke empat adalah akan memilih tipe output datanya berupa GMT psmeca input, kemudian langkah ke lima adalah data dari Global CMT di salin ke notepad++, selanjutnya langkah ke enam adalah data di simpan dengan perintah GMT (nama file.gmt) kemudian langkah ke tujuh adalah masukkan alamat penelusuran raga bhumi dengan alamat: <https://raga-bhumi.blogspot.com> kemudian langkah ke delapan adalah salin script ke notepad++ dan mengganti perintah-perintah seperti lokasi kejadian (Bujur dan Lintang) dan nama file kemudian menyimpannya dengan perintah GMT (nama file.bat) dan langkah terakhir adalah langsung di running dan hasil tampilannya berupa peta sebaran bola fokal.

Hasil dan Pembahasan

Daerah penelitian ini terletak di Pulau Bali, dimana batas geografis ditentukan menggunakan

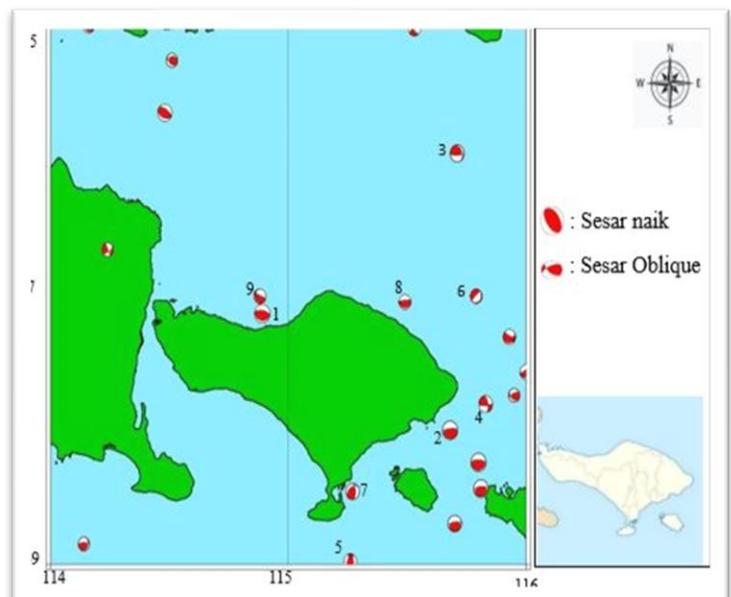
Software Google Earth Pro dan diperoleh 4 titik acuan, sehingga dihasilkan titik koordinat antara 114^o sampai 116^o BT dan 9^o sampai 5^o LS.

Proses pengolahan data *Focal Mechanism* dengan menggunakan data gempabumi yang diakses dari *Global Centroid Moment Tensor (Global CMT)* diolah menggunakan *software Generic Mapping Tool (GMT)*. Dalam penelitian ini data yang telah diperoleh dari Global CMT merupakan data yang digunakan dalam pengolahan *Focal Mechanism*. Agar lebih jelas dan terperinci sebaran kejadian gempabumi di wilayah Bali dapat di lihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Sebaran kejadian gempabumi di wilayah Bali

Berikut hasil pengolahan data gempabumi menggunakan focal mechanism berupa sebaran bola fokal dapat di lihat pada gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Peta sebaran bola fokal

Ada 21 bola fokal yang tersebar dengan 9 bola fokal adalah kejadian gempabumi di Bali. Gambar bola fokal kejadian gempabumi di Bali diberi kode nomor

dari nomor 1 sampai nomor 9. Dari 9 kejadian gempabumi yang ada di Bali, hasilnya dibuat dalam tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil bola fokal kejadian gempabumi Bali dari tahun 1976 – 2021

Bola fokal	Jenis sesar	Jumlah bola fokal
	Sesar naik (<i>reverse thrust fault</i>)	8
	Sesar <i>oblique</i> (gabungan dari sesar geser/mendatar dengan sesar normal)	1

Tampilan peta sebaran bola fokal pada (Gambar 3) dapat diketahui bahwa selama rentang waktu dari tahun 1976 – 2021 pada koordinat 114^o sampai 116^o BT dan 9^o sampai 5^o LS terdapat 21 kejadian gempabumi dengan 9 kejadian gempabumi adalah gempabumi yang terjadi di wilayah Bali dan telah di beri kode penomoran sesuai dengan waktu terjadinya gempabumi, dimana di urutan dari tahun kejadian gempabumi yang terdahulu. Selain di wilayah Bali terdapat 12 kejadian gempabumi yang terjadi di sekitaran wilayah Bali yang berkemungkinan berhubungan atau berasosiasi dengan kejadian gempabumi di wilayah Bali.

Diketahui dari 9 kejadian gempabumi tersebut, terdapat 8 jenis bola fokal dengan kategori jenis sesar adalah sesar naik (*reverse thrust fault*) dan 1 jenis sesar *oblique* (gabungan dari sesar geser/mendatar dengan sesar normal). Apabila dilihat dari sebaran bola fokal pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa di wilayah Bali paling dominan terdapat sesar naik (*reverse fault*) yang menjadi faktor sumber utama gempabumi karena ditinjau dari banyaknya jumlah bola fokal. Hal ini sangat tepat karena terdapat sesar atau patahan yang menyebabkan terjadinya kejadian gempabumi, ada yang berasosiasi atau berhubungan langsung dengan sesar-sesar lokal seperti sesar aktif wilayah Rendang dan Seririt.

Diketahui dari sebaran bola fokal yang terdapat pada Gambar 1 ada juga yang disebabkan oleh patahan Lombok Utara dan ada yang berhubungan dengan patahan *back act thrust* yang memanjang dari laut Flores yang sudah mengarah ke Pulau Jawa melintasi Bali Utara. Patahan atau sesar ini disebut Flores *Thrust* dan ada juga yang disebabkan oleh subduksi. Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa daerah yang paling rawan terjadinya gempabumi di wilayah Bali adalah wilayah Bali Timur yaitu di daerah Karangasam dengan 5 kejadian gempabumi. Hal ini dapat dilihat dari

banyaknya jumlah bola fokal yang tersebar di sekitar daerah tersebut dan pada umumnya gempabumi yang terjadi di daerah perairan atau di laut. Untuk kejadian gempabumi yang lain adalah di Bali Utara 2 kejadian dan di Bali Selatan 2 kejadian.

Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian di Stasiun Geofisika Denpasar dan dapat di simpulkan bahwa daerah penelitian ini memiliki 2 pola sesar yang berbeda yakni pola bola fokal untuk jenis sesar naik dan pola bola fokal untuk jenis sesar *oblique*, Jenis sesar yang paling rawan terjadinya gempabumi di wilayah Bali adalah sesar naik dengan 8 bola fokal dan daerah yang paling rawan terjadinya gempabumi di wilayah Bali adalah wilayah Bali Timur yaitu daerah Karangasam dengan 5 bola fokal dan pada umumnya kejaifian gempabumi yang terjadi adalah di daerah perairan atau di Laut.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Stasiun Geofisika Denpasar atas kerjasama dan dukungannya dalam penelitian ini, kontribusi dan ketersediaan data dari Stasiun Geofisika Denpasar sangat berarti dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ardiansyah, T. 2012. *Analisa Statistik Tingkat Keaktifan Gempa Bumi di Daerah Bali dan Nusa Tenggara*. Akademi Meteorologi dan Geofisika Jakarta.
- Bormann, P. 2002. *New Manual of Seismology Observaty Practice*. Postdam: Geo Forschung Zentrum Postdam.
- Darsono. 2016. Analisa Tingkat Risiko Bencana Gempabumi di Wilayah Bali. *Buletin Fisika Vol 17 No. 1 Pebruari 2016 : 57 – 62*.
- Dena, K. 2012. *Kondisi Geologi dan Topografi Pulau Bali*. Singaraja: Geografi USB
- Munir, B. 2015. Penggunaan Data Gempa dan Data Geologi untuk Menganalisa Pola-pola Sesar di Pulau Sumatera. *Skripsi Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Naim, M. I. 2018. Analisis Seismisitas dari Kepulauan Mentawai pada periode 2010 – 2016. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), 6.
- Nugraha, A. D., H. A. Shiddiqi, S. Widiyantoro, Sutiyono, & T. Handayani. 2016. *Analysis of Spatiotemporal Variation in B-value for the Sunda Arc using High Precision Earthquake Location*. *AIP Conference Proceedings*, 1730
- Pratama, I.P. Dedy, 2021. Identifikasi zona sesar di Bali menggunakan data gravitasi GGMplus dan data Alos-2 PASLAR-2. https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/geo_e \-issn (2549-757) dan p-issn (2085-8167).

- Sabar, A. 2014. Energi Potensial Gempabumi di Kawasan Segmen Mentawai-Sumatera Barat, *jurnal Meteorologid an Geofisika, vol. 2 No: 1 pp. 1-9.*
- Subardjo, I.G. 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- Sunarjo, M.,T., Gunawan dan S. Pribadi. 2012. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika.
- Waluyo. 2013. *Diklat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta: Universitas Yogyakarta.
- Wardani, N.,N.,S.,K., Suarbawa, K.,N., Kusnandar, R. 2021. Penentuan Jenis Sesar pada Gempabumi Lombok Tanggal 1 Juli sampai 31 Desember 2018 Menggunakan Metode Mekanisme Fokus. *Buletin Fisika Vol 22 No. 2 Agustus 2021 : 91 – 96.*