



PENELITIAN





~ ~ **MIPA** ~ ~



Karakteristik Persebaran Kejadian Gempa Bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku Berdasarkan Kovariat Gempa

Characteristics of Earthquake Distribution in Sulawesi and Maluku Islands Based on Earthquake Covariates

Budiono Rahman¹, Tiani Wahyu Utami², Fatkhurokhman Fauzi³

¹ Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

² Universitas Muhammadiyah Semarang

Email: budionor294@gmail.com

Abstrak

Pulau Sulawesi dan Maluku termasuk wilayah rawan gempa, wilayah tersebut dilalui oleh gunung berapi, sesar dan zona subduksi serta menjadi pintu masuk sirkum pasifik di Indonesia. Data gempa bumi yang digunakan merupakan kejadian gempa dengan magnitudo $\geq 4,5$ SR pada periode tahun 2009-2020. Analisis dilakukan secara deskriptif untuk mengetahui karakteristik persebaran gempa bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku. Hasil eksplorasi data menunjukkan bahwa data kejadian gempa bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku tidak homogen dan membentuk pola *cluster*, dimana dimana sebagian besar gempa terjadi pada radius 0-700 km ke gunung berapi, radius 0-450 km ke sesar dan berada pada radius 0-1000 km ke zona subduksi.

Kata Kunci: Gempa Bumi, Subduksi, Sesar, Gunung Berapi

Abstract

The islands of Sulawesi and Maluku are earthquake-prone areas, the area is traversed by volcanoes, faults and subduction zones and is the entrance to the Pacific circum in Indonesia. Earthquake data used are earthquake events with a magnitude of 4.5 SR in the period 2009-2020. The analysis was carried out descriptively to determine the characteristics of the distribution of earthquakes on the islands of Sulawesi and Maluku. The results of data exploration show that the earthquake data on Sulawesi and Maluku islands is not homogeneous and forms a cluster pattern, where most of the earthquakes occur at a radius of 0-700 km to the volcano, a radius of 0-450 km to the fault and are in a radius of 0-700 km. 1000 km to the subduction zone.

Keywords: Earthquake, Subduction, Fault, Volcano

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat risiko gempa bumi yang tinggi (Ihsan, 2008). Berdasarkan publikasi dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi yang dirangkum dalam Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia, menyebutkan bahwa jumlah kejadian gempa bumi merusak di Indonesia sejak tahun 2000-2014 sebanyak 105 kejadian (Supartoyo et al, 2014). Selain itu, Bird (2003) menjelaskan bahwa kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia menyebabkan daerah tersebut berpotensi mengalami banyak kejadian gempa. Gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan yang menyebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan *lithosfer* (Bullen, 1965).

Pulau Sulawesi tersusun oleh tatanan tektonik yang kompleks (Hall et al, 2011). Struktur-struktur yang teridentifikasi di Sulawesi hingga saat ini masih aktif bergerak dan sering menghasilkan gempa. Menurut Engdahl (2007), sebaran sumber gempa mengelompok di bagian subduksi utara Sulawesi. Setidaknya gempa dengan magnitudo 7,1 telah terjadi di zona subduksi Sangihe di tahun 2014 (Gunawan et al,



2016). Selain Pulau Sulawesi daerah laut Maluku juga termasuk dari penutupan cekungan samudera sebagai akibat dari tabrakan dua busur samudera, yaitu busur Halmahera dan Sangihe (Widiwijayanti et al, 2004). Laut Maluku terletak di daerah konvergensi tiga lempeng litosfer, yaitu Eurasia, Laut Filipina dan Australia. Palung yang terbentuk di bagian barat Pulau Halmahera dan utara Pulau Buru dan Seram merupakan akibat dari aktivitas tektonik yang berlangsung. Menurut Hall dan Wilson (2000), palung yang terbentuk cukup dalam berkisar antara 4500 hingga 7000 meter, dimana wilayah tersebut merupakan zona tektonik aktif yang berpotensi membangkitkan tsunami apabila gempa bumi.

Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh kejadian gempa bumi menurut kajian yang dilakukan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, melaporkan bahwa kejadian gempa bumi merusak di Pulau Sulawesi dan Maluku sejak tahun 2009-2018 setidaknya terdapat 12 kejadian. Gempa di Wilayah Sulawesi Utara pada tahun 2012 mengakibatkan 5 orang meninggal, 16 orang luka berat, 37 orang luka ringan dan 303 rumah rusak berat. Selain itu, pada tahun 2018 gempa berkekuatan 7,6 SR mengakibatkan bencana di Kabupaten Palu, Donggala, Sigi dan Parigi Moutong, tercatat sebanyak 2113 orang meninggal dunia, 1309 orang hilang, 4612 orang mengalami luka-luka serta puluhan ribu bangunan mengalami kerusakan. Adapun di Wilayah Maluku Utara, kejadian gempa yang mengakibatkan kerusakan terjadi pada tahun 2013 dengan jumlah korban 1 orang luka-luka dan 17 rumah rusak berat (Supartoyo, 2015). Oleh karena itu, upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal untuk meminimilasi dampak bencana gempa di Pulau Sulawesi dan Maluku. Salah satu upaya mitigasi yang perlu dilakukan adalah dengan membuat peta titik-titik lokasi yang rawan gempa di Pulau Sulawesi dan Maluku.

Penelitian mengenai risiko gempa bumi pernah dilakukan oleh Trisnisa et al (2019), analisis dilakukan untuk pemetaan risiko gempa bumi di Pulau Jawa. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kejadian gempa bumi di Pulau Jawa membentuk pola *cluster*, serta jarak antara titik gempa menuju gunung berapi dan subduksi terdekat dianggap signifikan berpengaruh terhadap distribusi gempa bumi di pulau Jawa.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan menganalisis persebaran gempa bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku yang akan di uraikan berdasarkan kovariat gempa yang diduga mempengaruhi kejadian gempa tersebut.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa koordinat lokasi kejadian gempa bumi harian di wilayah Pulau Sulawesi dan Maluku pada rentang tahun 2009-2020 dengan magnitude ≥ 4.5 SR yang diperoleh dari laman web Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Sedangkan koordinat data sesar dan zona subduksi diperoleh dari Pusat Studi Gempa Nasional melalui publikasi Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. Selain itu, data koordinat gunung berapi diperoleh dari laman web Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG).

Tabel 1 Variabel Penelitian

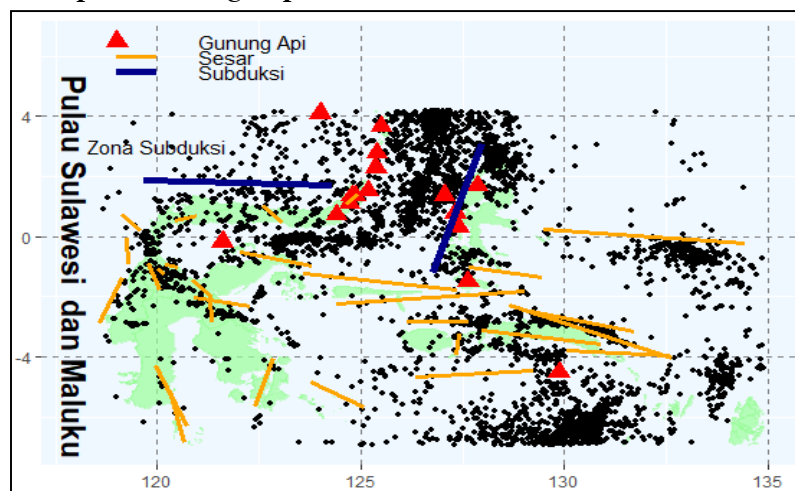
No	Variabel	Keterangan
1	u	Koordinat gempa bumi
2	$Z_1(u)$	Jarak gempa ke gunung berapi terdekat
3	$Z_2(u)$	Jarak gempa ke sesar terdekat
4	$Z_3(u)$	Jarak gempa ke subduksi terdekat

Langkah-langkah analisis data di atas adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data gempa di Indonesia tahun 2009-2020.
2. Melakukan *pre-processing* data dengan memilih sejumlah data berdasarkan batasan masalah yang telah ditentukan, yakni hanya memasukkan data pada wilayah Pulau Sulawesi dan Maluku serta kekuatan gempa di wilayah tersebut.
3. Menentukan *observation window* yang akan diamati.
4. Mengubah koordinat *latitude* dan *longitude* lokasi kejadian gempa bumi serta lokasi subduksi, sesar dan gunung berapi menjadi sebuah objek yang merepresentasikan sebuah *point pattern* dalam bidang dua dimensi.
5. Menghitung jarak masing-masing variabel kovariat terhadap lokasi titik gempa menggunakan jarak *euclidean*.
6. Membuat visualisasi data untuk mengetahui karakteristik persebaran gempa di Pulau Sulawesi dan Maluku

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik persebaran gempa bumi

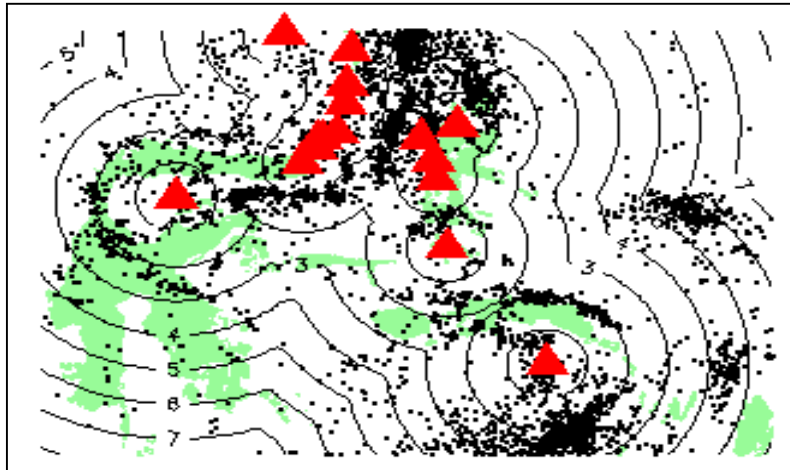


Gambar 1 Karakteristik persebaran gempa bumi

Gambar 1 menunjukkan persebaran kejadian gempa bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku selama tahun 2009-2020, diketahui bahwa jumlah kejadian gempa sebanyak 4303 dengan magnitudo ≥ 4.5 SR yang divisualisasikan dalam bentuk point berwarna hitam, dimana titik kejadian gempa tersebut cenderung mengelompok di beberapa wilayah tertentu, yaitu bagian utara Maluku dan Sulawesi, wilayah laut Maluku dan Nusa Tenggara Timur hingga kepala burung Papua. Selain itu,

keberadaan kovariat gempa yakni gunung berapi yang divisualisasikan dalam bentuk segi tiga berwarna merah juga menyebar dari bagian utara Sulawesi-Maluku hingga wilayah laut Maluku. Kemudian, persebaran sesar aktif divisualisasikan berupa garis berwarna *orange* dan tersebar serta melintasi hampir seluruh wilayah Pulau Sulawesi dan Maluku hingga kepala burung Papua. Sedangkan zona subduksi divisualisasikan dalam bentuk garis berwarna biru, garis pertama melintasi wilayah laut Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara hingga Gorontalo dan garis zona subduksi kedua melintasi seluruh wilayah Maluku Utara.

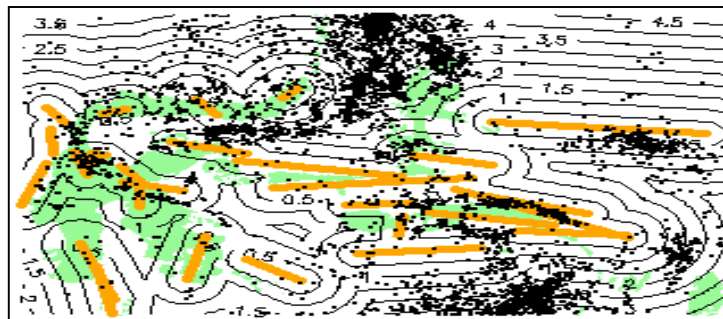
2. Deskripsi Persebaran Gunung Berapi di Pulau Sulawesi dan Maluku



Gambar 2 persebaran gunung berapi di Pulau Sulawesi dan Maluku

Gambar 2 merupakan visualisasi yang menunjukkan persebaran gunung berapi di Pulau Sulawesi dan Maluku dalam bentuk plot kontur, dimana sebagian besar gunung berapi terdistribusi di bagian utara Pulau Sulawesi dan Maluku. Selain itu, kontur yang membentuk garis hitam dimulai dari pusat gunung api pada skala 1:100 km, sehingga dapat dijelaskan bahwa jarak titik gempa terhadap gunung berapi berada pada radius 0-700 km dari pusat gunung berapi, dimana gempa tersebar hingga ke kepala burung Papua dan bagian selatan Pulau Sulawesi. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa daerah-daerah yang berada pada radius 0-700 km dengan titik gunung merupakan daerah yang berpotensi memiliki risiko gempa bumi yang tinggi.

3. Deskripsi Persebaran Sesar di Pulau Sulawesi dan Maluku

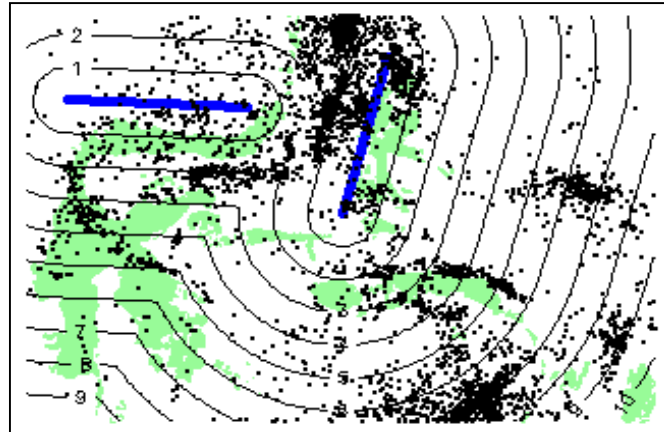


Gambar 3 Persebaran sesar di Pulau Sulawesi dan Maluku

Gambar 3 merupakan visualisasi yang menunjukkan persebaran sesar di Pulau Sulawesi dan Maluku dalam bentuk plot kontur, diketahui bahwa sesar terdistribusi

hampir di seluruh wilayah Sulawesi dan Maluku hingga ke kepala burung Papua. Selain itu, kontur yang membentuk garis hitam dimulai dari pusat garis sesar pada skala 1:100 km, sehingga dapat dijelaskan bahwa jarak titik gempa terhadap sesar berada pada radius 0-450 km dari pusat garis sesar. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa daerah-daerah yang berada pada radius 0-450 km dengan titik sesar merupakan daerah yang memiliki risiko gempa bumi yang tinggi.

4. Deskripsi Persebaran Zona Subduksi di Pulau Sulawesi dan Maluku



Gambar 4 Persebaran zona subduksi di Pulau Sulawesi dan Maluku

Gambar 4 merupakan visualisasi yang menunjukkan persebaran zona subduksi di Pulau Sulawesi dan Maluku dalam bentuk plot kontur, diketahui bahwa zona subduksi melintasi bagian utara Sulawesi, yaitu Gorontalo, Sulawesi Utara dan Sulawesi Tengah. Kemudian, melintas di sepanjang wilayah Maluku Utara. Selain itu, kontur yang membentuk garis hitam dimulai dari pusat garis sesar pada skala 1:100 km, sehingga dapat dijelaskan bahwa jarak titik gempa terhadap zona subduksi berada pada radius 0-1000 km dari pusat zona subduksi. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa daerah-daerah yang berada pada radius 1000 km dengan zona subduksi merupakan daerah yang memiliki risiko gempa bumi yang tinggi.

KESIMPULAN

Karakteristik kejadian gempa bumi di Pulau Sulawesi dan Maluku membentuk pola *cluster*, dimana sebagian besar gempa terjadi pada radius 0-700 km ke gunung berapi, radius 0-450 km ke sesar dan berada pada radius 0-1000 km ke zona subduksi. Selain itu, dapat dijelaskan beberapa wilayah dengan risiko gempa yang tinggi di Pulau Sulawesi dan Maluku, yaitu Gorontalo, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Maluku dan Maluku Utara

DAFTAR PUSTAKA

- Bird, P. 2003. *An Update Digital Model of Plate Boundaries, Geochem. Geophys. Geosyst.* 4(3), 1027, doi: 10.1029/2001GC000252.
- Bullen, K. E dan Bruce, A. B. 1965. *An Introduction to The Theory of Seismology (Fourth Edition)*. Cambridge University Press.
- Engdahl, et al. 2007. *Teleseismic relocation and assessment of seismicity (1918-2005) in the region of the 2004 M_w 9.0 Sumatra-Andaman and 2005 M_w 8.6 Nias island*



- great earthquakes*. Bulletin of the Seismological Society of America, 97, S43-S61.
- Gunawan, et al. 2016. *Splay-fault rupture during the 2014 Mw 7.1 Moluca Sea, Indonesia, earthquake determined from GPS measurements*. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 259, 29-33.
- Hall, et al. 2011. *The SE Asian gateway: history and tectonics of Australia-Asia collision*. Geological Society of London Special Publication.
- <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi>. Diakses tanggal 20 Agustus 2021.
- https://dataonline.bmkg.go.id/data_gempa_bumi. Diakses tanggal 19 Agustus 2021.
- Kementrian, PUPR. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- M. Ihsan. 2008. *Analisis Ketahanan Gempa pada Struktur Rumah Tradisional Sumatra*. Depok: Universitas Indonesia.
- Supartoyo. 2015. *Gempa Bumi Laut Maluku tanggal 15 November 2014*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Trisnisa, F., et al. 2019. *Model Inhomogeneous Spatial Cox Processes untuk Pemetaan Risiko Gempa Bumi di Pulau Jawa*. *Jurnal Inferensi*. Vol.2(2), September 2019. ISSN: 0216-308X.
- Widiwijayanti, Tiberi, Deplus, Diament, M., & Mikhailov, V. 2004. *Geodynamic evolution of the northern Molucca Sea area (Eastern Indonesia) constrained by 3-D gravity field inversion*. *Journal Tectonophysics*, p. 203-222.