

Analisis Tingkat Resiko Gempa Bumi Tektonik di Papua pada Periode 1960-2010

Lilik Wahyuni Purlisstyowati, Madlazim, Tjipto Prastowo

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

Alamat e-mail : unymawlana@gmail.com

Abstrak

Papua merupakan salah satu wilayah rawan gempa bumi karena Papua terletak pada pertemuan dua lempeng yaitu lempeng Pasifik dan lempeng Samudera Indo-Australia yang membentuk daerah subduksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keadaan seismisitas dan tingkat resiko gempa bumi di Papua. Distribusi aktivitas seismik suatu wilayah diketahui dari hubungan frekuensi (N) dan magnitudo (M) gempa bumi dengan menggunakan relasi Gutenberg-Richter yaitu $\log N = a - bM$. Nilai a merupakan tingkat seismisitas suatu daerah sedangkan nilai b merupakan tingkat kerapuhan batuan. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari IRIS, periode 1960-2010 dengan magnitudo momen $\geq 3,0$ SR dan kedalaman 0-220 km. Daerah penelitian berlokasi antara $2^{\circ}\text{LS}-9^{\circ}\text{LU}$ dan $130^{\circ}\text{BT}-141^{\circ}\text{BT}$. Prosedur yang digunakan setelah data didapatkan yaitu membagi wilayah berdasarkan koordinat lintang dan bujur, menjadi dua kluster dengan kluster 1 terletak pada $2^{\circ}\text{LS}-9^{\circ}\text{LU}$ dan $130^{\circ}\text{BT}-135,39^{\circ}\text{BT}$ serta kluster 2 terletak pada $2^{\circ}\text{LS}-9^{\circ}\text{LU}$ dan $135,4^{\circ}\text{BT}-141^{\circ}\text{BT}$. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode kuadrat terkecil diketahui bahwa nilai a pada kluster 1 dan kluster 2 masing masing sebesar 6,644 dan 5,624 maka kluster 1 mempunyai tingkat seismisitas lebih besar dari kluster 2. Nilai b pada kluster 1 dan kluster 2 masing masing sebesar 0,840 dan 0,662 maka kluster 1 mempunyai tingkat kerapuhan batuan lebih besar dari kluster 2. Gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 2 memiliki magnitudo yang lebih besar dari gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 1. Oleh karena itu, gempa bumi pada kluster 2 lebih berpotensi menimbulkan kerusakan dan ancaman korban jiwa dibandingkan dengan gempa bumi pada kluster 1. Jadi, kluster 2 memiliki tingkat resiko gempa bumi yang lebih besar daripada kluster 1.

Kata Kunci: seismisitas, kluster, tingkat resiko.

Abstract

Papua is an area that prone of earthquakes because Papua is located at the confluence of two plates. They are Pacific plate and Indo-Australian ocean plate that make the subduction zones. This study aims to analyze the state of seismicity and earthquake risk in Papua. Distribution of seismic activity in a region known from relationship of frequency (N) and magnitude (M). This research used the Gutenberg-Richter relationship is $\log N = a - bm$. a -value is seismic activity of a region and b -value is level of fragility rock. The data used are secondary data obtained from IRIS, the period 1960-2010 with a magnitude moment ≥ 3.0 SR and depth of 0-220 km. The research area is located between $2^{\circ}\text{S} - 9^{\circ}\text{N}$ and $130^{\circ}\text{E} - 141^{\circ}\text{E}$. The procedure used after the data is obtained then dividing the area of latitude and longitude coordinates into two clusters. Cluster 1 is located at $2^{\circ}\text{S}-9^{\circ}\text{N}$ and $130^{\circ}\text{E}-135.39^{\circ}\text{E}$ and cluster 2 is located at $2^{\circ}\text{S}-9^{\circ}\text{N}$ and $135.4^{\circ}\text{E}-141^{\circ}\text{E}$. Based on the analysis using the least squares method is known that a -value in cluster 1 and cluster 2 respectively at 6.644 and 5.624. Cluster 1 had a greater seismic activity than cluster 2. b -values in cluster 1 and cluster 2 respectively at 0.840 and 0.662. Cluster 1 has a greater level of fragility rock than cluster 2. Some earthquake was happened on the mainland in cluster 2 have bigger magnitude than earthquake was happened on the mainland in cluster 1. Therefore, cluster 2's earthquake more potentially to make a building damage and treaths of victim than cluster 1's earthquake. Thus, cluster 2 has a greater earthquake risk than the cluster 1.

Keywords: seismicity, cluster, the level of risk.

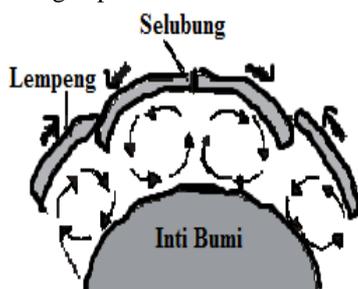
PENDAHULUAN

Penelitian ini adalah penelitian yang menggunakan metode eksperimen laboratorium berbasis komputasi. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk menganalisis keadaan seismisitas di wilayah Papua dan menganalisis tingkat resiko gempa bumi di wilayah Papua. Penelitian

ini merupakan penelitian replikasi dari penelitian sebelumnya (Bunga dkk, 2007; Rohadi, 2009). Bunga dkk (2007) yaitu menganalisis data statistik seismisitas wilayah Papua pada periode 2000-2006 dengan metode kuadrat terkecil. Dari data yang digunakan diperoleh peta pola sebaran pusat gempa bumi di Papua. Tingkat seismisitas di daerah Papua cukup tinggi karena

dipengaruhi oleh struktur tatanan lempeng. Papua termasuk pada daerah subduksi sehingga banyak terdapat patahan aktif. Faktor penyebab yang lain adalah sifat batuan wilayah Papua yang rapuh dan mudah patah. Rohadi (2009) menganalisis parameter seismotektonik wilayah Indonesia dengan menggunakan metode *likelihood*. Penelitian tersebut untuk mengetahui distribusi aktivitas kegempaan di Indonesia, karena di wilayah Indonesia aktivitas seismiknya masih tinggi. Tingkat aktivitas seismik dinyatakan dengan nilai-*a*. Semakin besar nilai-*a* maka tingkat keaktifan seismik wilayah tersebut tinggi. Pada penelitian ini dilakukan analisis tingkat resiko gempa bumi di wilayah Papua yang hasilnya nanti dapat digunakan sebagai pengetahuan tentang keadaan seismik dan kemungkinan terjadinya gempa bumi wilayah tersebut. Kemungkinan terjadinya gempa bumi di suatu daerah pada kurun waktu tertentu disebut sebagai resiko gempa bumi. Fenomena gempa bumi tidak dapat dicegah dan ditentukan kapan dan dimana lokasinya, akan tetapi mengurangi jatuhnya korban akibat bencana ini dapat dilakukan jika terdapat cukup pengetahuan mengenai sifat-sifat bencana tersebut. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mengetahui keadaan seismisitas dan tingkat resiko gempa bumi suatu wilayah. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Tingkat Resiko Gempa Bumi Tektonik di Papua pada Periode 1960-2010”.

Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa guncangan bumi yang disebabkan oleh penjalaran gelombang seismik dari suatu sumber gelombang kejut (*shock wave*). Penyebabnya adalah pelepasan akumulasi tekanan yang berada dibawah permukaan bumi secara tiba-tiba. Gempa bumi yang sering terjadi dan merusak adalah gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang terjadi karena adanya gejala tektonik alam misalnya adanya pergeseran lempeng benua atau sesar (Hilman, 2008). Pergerakan lempeng saling mendekat ataupun menjauh terjadi akibat adanya arus konveksi yang disebabkan oleh Bergeraknya aliran panas yang dihasilkan dari perut bumi. Pergerakan lempeng menimbulkan gesekan yang dapat menyebabkan gempa bumi.



Gambar 1. Penyebab gerakan lempeng
(Sumber: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2008)

Wilayah sebagian besar Papua merupakan wilayah pegunungan. Selain itu wilayah Papua berupa rawa pantai. Rawa pantai merupakan wilayah permukaan bumi yang tergenangi air dengan jangkauan yang cukup luas karena sistem sanitasinya yang buruk (Sungkowo, 2008). Faktanya, sudah sangat sering gempa bumi besar terjadi di masa lalu, misalnya gempa-tsunami di Biak dengan kekuatan $M_w=8,3$ SR yang memakan korban ribuan jiwa dan gempa bumi yang tiga kali terjadi di wilayah Nabire tahun 2004 dengan kekuatan $M_w=7,1$ SR sampai $M_w=7,6$ SR. Memang sekarang ini populasi penduduk di wilayah Irian Jaya masih sedikit demikian juga infrastrukturnya masih terbelakang sehingga walaupun hazard-nya paling tinggi di wilayah Indonesia tapi *risk*-nya masih tidak terlalu tinggi. Namun perlu diingat bahwa tingkat resiko bencana ini akan terus naik sejalan dengan laju populasi dan pembangunan (Hilman, 2008).

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen laboratorium berbasis komputasi. Data diperoleh dari IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*) katalog ISC (*International Seismological Center*) dan diolah menggunakan *software ArcView GIS 3.3*.

Pada penelitian ini menggunakan *software ArcView GIS 3.3* untuk membuat peta sebaran episenter gempa di wilayah Papua adalah *ArcView* merupakan salah satu *software GIS (Geographic Information System)* yang digunakan untuk mengelola data spasial atau data yang bereferensi geografis.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari IRIS katalog ISC, periode 1960-2010 dengan magnitudo $\geq 3,0$ SR dan kedalaman 0-220 km. Dengan daerah penelitian berlokasi pada $2^\circ\text{LS}-9^\circ\text{LU}$ dan $130^\circ\text{BT}-141^\circ\text{BT}$. Penelitian ini mengasumsikan bahwa gempa bumi dengan magnitudo $\leq 3,0$ SR merupakan gempa bumi yang tidak berperan secara signifikan karena gempa bumi dengan magnitudo tersebut tercatat oleh seismograf setempat tetapi pada umumnya tidak terasa getarannya.

Prosedur penelitian ini yaitu (1) menentukan daerah penelitian dengan batasan lintang dan bujur daerah Papua yang terletak pada $2^\circ\text{LS}-9^\circ\text{LU}$ dan $130^\circ\text{BT}-141^\circ\text{BT}$; (2) menghimpun data parameter gempa bumi dari IRIS menggunakan katalog ISC, di daerah Papua dengan magnitudo $\geq 3,0$ SR untuk selang waktu 51 tahun; (3) memilih jenis magnitudo gempa bumi yaitu magnitudo momen (M_w) saat menghimpun data, hal ini dilakukan karena magnitudo momen tidak mengalami saturasi; (4) membagi wilayah berdasarkan koordinat lintang dan bujur, menjadi dua kluster dengan kluster 1 terletak pada

2°LS-9°LU dan 130°BT-135,39°BT serta kluster 2 terletak pada 2°LS-9°LU dan 135,4°BT-141°BT; (5) memasukkan frekuensi gempa kedalam kelas dengan interval yang terlebih dahulu dihitung menggunakan aturan sturgess; dan (6) menghitung nilai a, b, r , indeks seismisitas, dan tingkat resiko gempa bumi dengan metode kuadrat terkecil.

Metode kuadrat terkecil merupakan metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan parameter sebagai koefisien dari sebuah regresi linier sedemikian sehingga jumlah kuadrat kesalahannya memiliki nilai terkecil. Parameter adalah ukuran untuk menggambarkan sesuatu populasi. Parameter dari hubungan magnitudo dan frekuensi gempa bumi ditentukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil. Data pengamatan yaitu berupa jumlah gempa bumi untuk selang magnitudo tertentu. Hubungan antara magnitudo dengan frekuensi gempa bumi merupakan hubungan regresi linier statistika seismologi. Sebuah kejadian yang terdiri pasangan dari variabel bebas yang dimisalkan X dan variabel terikat yang dimisalkan Y dengan sebuah persamaan yaitu persamaan regresi linier $Y = a + b X$. Variabel a dan b merupakan koefisien regresi linier. Koefisien-koefisien regresi tersebut dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1)$$

(Sudjana. 2005)

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2)$$

(Sudjana. 2005)

Relasi antara frekuensi dan magnitudo dinyatakan dalam suatu hubungan yang sederhana sebagai :

$$\text{Log } N = a - bM \quad (3)$$

(Gutenberg-Richter, 1965)

N adalah frekuensi gempa bumi, M adalah magnitudo, sedangkan a dan b adalah konstanta. Nilai a menyatakan tingkat keaktifan seismik suatu daerah. Keaktifan seismik suatu daerah dipengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan. Semakin besar nilai a di suatu daerah berarti daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi, sebaliknya apabila nilai a yang kecil berarti aktivitas seismiknya rendah. Nilai b juga menunjukkan tingkat kerapuhan batuan. Semakin besar nilai b maka dapat diartikan makin besar pula tingkat kerapuhan batumannya.

Indeks seismisitas merupakan harga yang menggambarkan jumlah total even gempa bumi yang terjadi dalam waktu satu tahun dengan magnitudo lebih besar dari magnitudo M_0 pada suatu daerah pengamatan. Harga indeks seismisitas dirumuskan sebagai berikut:

$$N_1(M \geq M_0) = 10^{(a - \log(b \ln 10) \log \Delta t) b M_0} \quad (4)$$

(Rusdin, 2009)

$N(M \geq M_0)$ merupakan indeks seismisitas untuk magnitudo $\geq M_0$, dan Δt adalah interval waktu pengamatan.

Resiko gempa bumi adalah kemungkinan terjadinya gempa bumi pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu. Besarnya resiko gempa bumi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

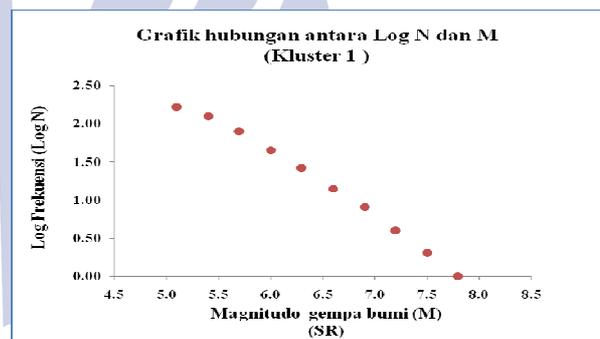
$$P(M \geq M_0, T) = (1 - e^{-N_1(M \geq M_0) T}) \quad (5)$$

(Rusdin, 2009)

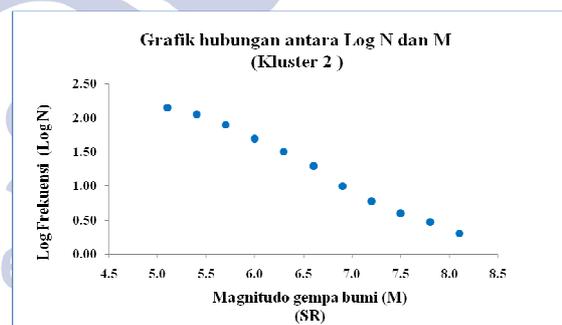
$P(M \geq M_0, T)$ adalah tingkat resiko gempa bumi untuk magnitudo $M \geq M_0$ dengan periode waktu T, dan T adalah periode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan adalah sebanyak 937 kejadian gempa bumi. Metode analisis yang digunakan adalah metode kuadrat terkecil. Metode tersebut diterapkan untuk menghitung a , b , dan r . Nilai a dan b diperlukan untuk menghitung indeks seismisitas. Nilai a dan b mempunyai arti fisis. Nilai a menggambarkan tingkat seismisitas suatu daerah.



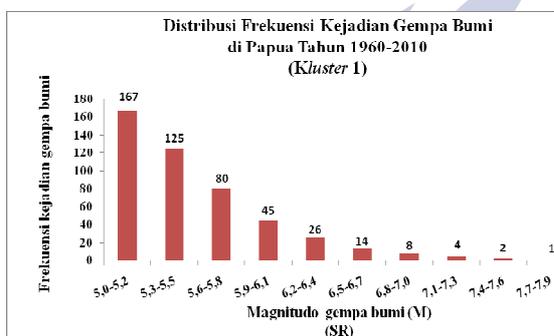
Gambar 2. Grafik frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo pada kluster 1



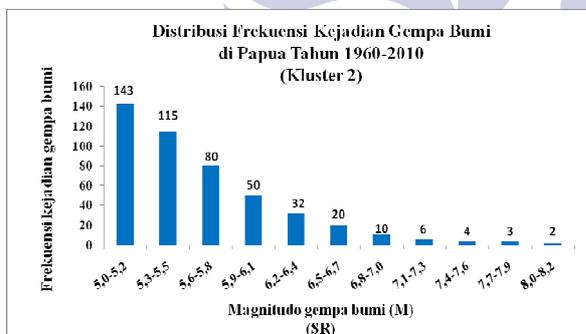
Gambar 3. Grafik frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo pada kluster 2

Nilai a pada kluster 1 sebesar 6,644 sedangkan pada kluster 2 sebesar 5,624. Nilai a pada kluster 1 lebih besar dari nilai a pada kluster 2. Hal ini menunjukkan kluster 1 memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dibandingkan dengan kluster 2. Hasil nilai a yang berbeda tersebut sesuai dengan teori Guttenberg-Richter yaitu nilai a bergantung pada luas daerah yang diamati dan lamanya pengamatan (Bunga dkk, 2007). Nilai b menggambarkan tingkat kerapuhan dan heterogenitas batuan. Pada kluster 1 nilai b sebesar 0,840 sedangkan pada kluster 2 sebesar

0,662. Nilai b pada kluster 1 lebih besar dari nilai b pada kluster 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa batuan pada wilayah Papua khususnya kluster 1 memiliki tingkat kerapuhan batuan yang lebih besar dibandingkan dengan kluster 2. Berdasarkan hasil perhitungan nilai a dan b pada kluster 1 yang telah didapatkan maka relasi Gutenberg-Richter dapat diketahui, yaitu $\log N = 6,644 - 0,840 M$ sedangkan pada kluster 2, yaitu $\log N = 5,624 - 0,662M$. Kedua relasi Gutenberg-Richter tersebut sesuai dengan gambar 2 dan 3. Pada kluster 1 dan 2 diperoleh nilai r yang berharga negatif yaitu masing-masing $-0,996$ dan $-0,996$. Koefisien korelasi (r) pada kluster 1 dan 2 memberikan harga mendekati -1 yang menunjukkan bahwa hubungan frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo berbanding terbalik.



Gambar 4. Diagram batang distribusi frekuensi kejadian gempa bumi di Papua periode 1960-2010 (kluster 1).



Gambar 5. Diagram batang distribusi frekuensi kejadian gempa bumi di Papua periode 1960-2010 (kluster 2).

Pada gambar 4 dan gambar 5 terlihat bahwa semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi kejadian gempa.

Pada wilayah Papua (kluster 1 dan kluster 2) mempunyai batuan yang mudah rapuh karena batuanannya bersifat heterogen. Suatu daerah apabila batuan yang tersusun bersifat heterogenitas maka menjadikan lapisan batuan mempunyai porositas yang besar. Medium yang mempunyai celah ini dapat dengan mudah dilewati gelombang seismik sehingga tekanan atau *stress* yang dikandung batuan langsung dilepaskan berupa gelombang seismik atau gempa bumi kecil dengan jumlah yang banyak. Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi *stress*

atau tekanan pada batuan seiring dengan waktu yang lama menyebabkan sering terjadinya gempa bumi (Alabi dkk, 2013).

Tabel 1. Indeks seismisitas wilayah Papua pada kluster 1.

No.	$M \geq M_0$ (SR)	$N (M \geq M_0)$
1	$M \geq 5$	2,81
2	$M \geq 6$	0,41
3	$M \geq 7$	0,06
4	$M \geq 8$	0,01

Sedangkan nilai indeks seismisitas pada kluster 2 adalah seperti yang terlihat pada Tabel 2

Tabel 2. Indeks seismisitas wilayah Papua pada kluster 2.

No.	$M \geq M_0$ (SR)	$N (M \geq M_0)$
1	$M \geq 5$	2,64
2	$M \geq 6$	0,57
3	$M \geq 7$	0,13
4	$M \geq 8$	0,03

Indeks seismisitas digunakan untuk menghitung tingkat resiko gempa bumi pada kluster 1 dan kluster 2.

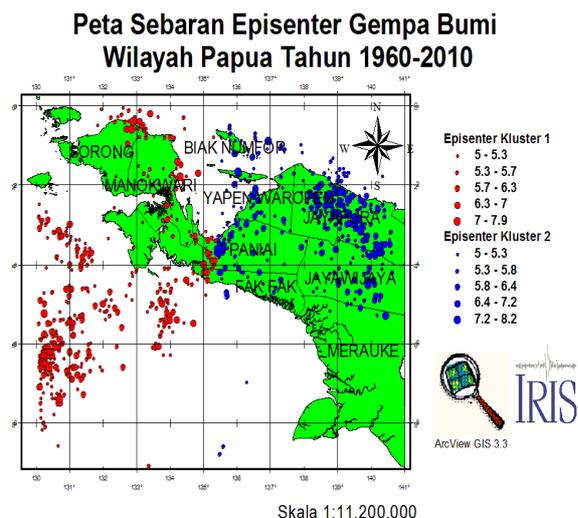
Tabel 3. Tingkat resiko gempa bumi wilayah Papua pada kluster 1 periode 1960-2010.

Periode (tahun)	$M \geq 5$	$(M \geq 6)$	$(M \geq 7)$	$(M \geq 8)$
10	100%	98%	44%	8%
20	100%	100%	69%	16%
30	100%	100%	83%	22%
40	100%	100%	90%	29%
50	100%	100%	95%	34%
60	100%	100%	97%	40%
70	100%	100%	98%	45%
80	100%	100%	99%	49%
90	100%	100%	99%	53%
100	100%	100%	100%	57%

Tabel 4. Tingkat resiko gempa bumi wilayah Papua pada kluster 2 periode 1960-2010.

Periode (tahun)	$(M \geq 5)$	$(M \geq 6)$	$(M \geq 7)$	$(M \geq 8)$
10	100%	100%	71%	24%
20	100%	100%	92%	42%
30	100%	100%	98%	56%
40	100%	100%	99%	66%
50	100%	100%	100%	74%
60	100%	100%	100%	80%
70	100%	100%	100%	85%
80	100%	100%	100%	89%
90	100%	100%	100%	91%
100	100%	100%	100%	93%

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat bahwa tingkat resiko gempa bumi pada kluster 2 lebih besar dari kluster 1. Hasil pemetaan sebaran lokasi gempa bumi dengan menggunakan *software Arc View GIS 3.3* seperti yang terlihat pada Gambar 6. Sebaran episenter digambarkan dengan titik berwarna merah dan biru. Titik berwarna merah merupakan episenter gempa bumi kluster 1 sedangkan titik berwarna biru merupakan episenter gempa bumi kluster 2.



Gambar 6. Peta sebaran episenter gempa bumi wilayah Papua tahun 1960-2010.

Gambar 6 menunjukkan lokasi episenter gempa bumi tiap daerah pada wilayah Papua. Titik merah menandakan letak episenter gempa bumi pada kluster 1 ($2^{\circ}\text{LS}-9^{\circ}\text{LU}$ dan $130^{\circ}\text{BT}-135,39^{\circ}\text{BT}$), sedangkan untuk titik biru menandakan letak episenter pada kluster 2 ($2^{\circ}\text{LS}-9^{\circ}\text{LU}$ dan $135,4^{\circ}\text{BT}-141^{\circ}\text{BT}$). 2. Pada kluster 1 tepatnya Sorong terdapat kejadian gempa bumi dengan magnitudo terbesar yaitu 7,9 SR terjadi satu kali pada periode 1960-2010. Sebagian besar gempa bumi pada kluster 1 terjadi di lautan. Sedangkan pada kluster 2, sebagian besar gempa bumi terjadi di daratan. Beberapa kali gempa bumi dengan magnitudo $> 8,0$ SR terjadi di daratan. Gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 2 memiliki magnitudo yang lebih besar dari gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 1. Oleh karena itu, gempa bumi pada kluster 2 lebih berpotensi menimbulkan kerusakan dan ancaman korban jiwa dibandingkan dengan gempa bumi pada kluster 1. Jadi, kluster 2 merupakan wilayah dengan tingkat resiko gempa bumi yang lebih besar dibandingkan kluster 1.

PENUTUP

Simpulan

Kluster 1 memiliki nilai a yang lebih besar dari kluster 2. Hal ini berarti kluster 1 memiliki tingkat seismik yang lebih besar dibandingkan kluster 2. Nilai b pada kluster 1 lebih besar dari nilai b pada kluster 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa batuan pada wilayah Papua khususnya kluster 1 memiliki tingkat kerapuhan batuan yang lebih besar dibandingkan dengan kluster 2. Pada kluster 1 tepatnya Sorong terdapat kejadian gempa bumi dengan magnitudo terbesar yaitu 7,9 SR terjadi satu kali pada periode 1960-2010. Sebagian besar gempa bumi pada kluster 1 terjadi di lautan. Sedangkan pada kluster 2, sebagian besar gempa bumi terjadi di daratan. Beberapa

kali gempa bumi dengan magnitudo $> 8,0$ SR terjadi di daratan. Gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 2 memiliki magnitudo yang lebih besar dari gempa bumi yang terjadi di daratan kluster 1. Oleh karena itu, gempa bumi pada kluster 2 lebih berpotensi menimbulkan kerusakan dan ancaman korban jiwa dibandingkan dengan gempa bumi pada kluster 1. Jadi, kluster 2 merupakan wilayah dengan tingkat resiko gempa bumi yang lebih besar dibandingkan kluster 1.

Saran

Sebaiknya menggunakan interval waktu pengamatan yang lebih besar untuk mendapatkan gambaran aktivitas seismik yang lebih baik. Perbandingan dengan metode lainnya selain metode kuadrat terkecil juga sangat penting untuk mengetahui metode yang paling akurat untuk analisis statistik tingkat seismisitas suatu wilayah.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada IRIS yang telah menyediakan data gempa bumi Papua periode 1960-2010 yang digunakan dalam penelitian ini. Terima kasih juga kepada Muhajir Anshori yang membimbing saya dalam menggunakan *software ArcView GIS 3.3*. Saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Asnawi dan Dzulkifli yang telah memberi saran dan kritik membangunnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabi, A. A., Akinyemi, O. D., and Adewale, A. 2013. *Seismicity Pattern in Southern Africa from 1986 to 2009*. Earth Science Research Vol 2, No 2, 2013.
- Bunga, M. dan Mantiri, S. Y. Y. 2007. Seismisitas Daerah Papua. Jurnal Sains Vol 7, No 1, 2007.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2008. *Gempa bumi dan Tsunami*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F. 1965. *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Bulletin Of The Seismological Society Of America. Hafner Publishing Co., 310 pp. Princeton Univ. Press.
- Hilman, D. 2008. *Pedoman Analisis Bahaya dan Resiko Bencana Gempa bumi*. Jurnal LIPI.
- Rohadi, S. 2009. *Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Potensi Gempa bumi di Wilayah Indonesia*. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Vol 10, No 2, 2009.
- Rusdin, A. A. 2009. *Analisa Statistik Seismitas Sulawesi Selatan dan Sekitarnya (Tahun 1938 - 2008)*. Akademi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Sudjana. 2005. *Metoda Statistik (Edisi 6)*. Tarsito Bandung. Bandung.
- Sungkowo, D. 2008. *Hand Out Geografi Regional Indonesia*. Universitas Pendidikan. Bandung.