

VARIASI NILAI FREKUENSI, AKUMULASI ENERGI DAN PARAMETER SEISMIK SECARA TEMPORAL DI WILAYAH JAYAPURA PERIODE 1965 - 2014

Steven Y.Y. Mantiri¹

¹ Program Studi Teknik Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Cenderawasih, Jayapura

ABSTRACT

The research about seismic condition was developed for Jayapura region during 1965 – 2014 period. This research was purposed to determine variation of temporal frequency, energy accumulation and seismic parameter values. Seismic parameter consist of a and b values. Secondary description method was used for this research. Time window sliding and simple statistic approximation methods was used in study of the variation values. Research areas is $2^{\circ} - 4^{\circ}\text{N}$ and $139^{\circ} - 141^{\circ}\text{E}$.

The variation of frequency, energy accumulation and seismic parameter values to interval time can describe temporal seismic condition. Earthquake frequency during 1965 – 2014 period are dominated by minor earthquake, that is 912 events or 58,91% and shallow earthquake, that is 1264 events or 81,65%. The greatest energy accumulation total in interval time 50 years given by strong earthquake, that is $3,27775 \times 10^{15}$ Joule or 87,32%, whereas minor earthquake only given $7,37860 \times 10^{12}$ Joule or 0,20%. The greatest average a and b values occurs in interval time 1965 – 1994, that are 6.70947 and 0.89371 and the smallest average values occurs in interval time 1995 – 2004, that are 3.80569 and 0.46910. The best a and b values were calculated in interval time 1965 – 1974, 1965 – 1984 and 1965 – 1994.

Keywords : earthquake, frequency, energy accumulation, seismic parameter, Jayapura.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Papua dan Papua Barat terletak di daerah paling timur wilayah Indonesia dan tergabung pada lempeng kerak bumi Hindia-Australia. Ditinjau dari struktur tatanan lempeng tektonik, Papua dan Papua Barat terletak pada daerah pertemuan 3 lempeng kerak bumi yaitu lempeng Pasifik (lempeng Caroline) yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia dan lempeng Hindia-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup di bawah lempeng Eurasia di sebelah barat Papua dan Papua Barat (Mantiri, 2010). Akibat kondisi ini, wilayah Papua dan Papua Barat mengalami gaya pemampatan berarah barat daya-timur laut yang menyebabkan di wilayah ini terjadi banyak patahan, lipatan, dan pegunungan serta banyak di goncang gempa bumi.

Wilayah Jayapura, dalam hal ini Kota Jayapura dan Kabupaten Jayapura, memiliki

kondisi tektonik seirama dengan kondisi tektonik wilayah Papua dan Papua Barat sehingga rawan terhadap gempa bumi. Wilayah Jayapura sering dilanda oleh gempa bumi dengan skala magnitude yang relatif besar, sehingga perlu dilakukan suatu penelitian tentang kondisi kegempaan. Penelitian ini memanfaatkan konsep statistik sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan variasi nilai frekuensi, akumulasi energi dan parameter seismik secara temporal untuk periode 1965 – 2014.

Pengertian dan Parameter Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu fenomena yang dapat terjadi secara alami maupun buatan. Gempa bumi tertentu dapat bersifat merusak dan menimbulkan bencana. Menurut *Dictionary of Geology and Mineral* (2003), gempa bumi adalah pergerakan bumi tiba-tiba yang disebabkan pelepasan secara mendadak energi *strain* yang terakumulasi di dalam bumi. Energi yang dilepaskan menjalar melewati bumi sebagai gelombang seismik dan menyebabkan terjadinya guncangan. Parameter gempa bumi meliputi: waktu kejadian, lokasi episenter, kedalaman pusat, dan magnitude gempa bumi.

* *Alamat korespondensi :*

Kampus Uncen Waena, Jurusan Matematika, Program Studi Sistem Informasi, Jayapura
e-mail: svenily@gmail.com

Jenis – Jenis Gempa Bumi

Secara umum gempa bumi terbagi atas gempa bumi tektonik dan gempa bumi bukan tektonik. Gempa bumi tektonik adalah gempa bumi yang terjadi akibat dislokasi batuan yang dipengaruhi oleh pergerakan lempeng tektonik bumi. Gempa bumi bukan tektonik terdiri atas: gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuh dan gempa bumi buatan. Gempa bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan magnitudo yaitu:

1. Gempa bumi sangat besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo lebih besar 8,0 SR.
2. Gempa bumi besar yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 7,0 hingga 8,0 SR.
3. Gempa bumi kuat yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 6,0 hingga 7,0 SR.
4. Gempa bumi sedang yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 5,0 hingga 6,0 SR.
5. Gempa bumi ringan yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 4,0 hingga 5,0 SR.
6. Gempa bumi kecil yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 3,0 hingga 4,0 SR.
7. Gempa bumi mikro yaitu gempa bumi dengan magnitudo dari 0,0 hingga 3,0 SR.

Selain itu, gempa bumi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman fokus atau pusat kejadian yang diukur dari permukaan topografi bumi yaitu:

1. Gempa bumi permukaan yaitu gempa bumi dengan kedalaman fokus lebih kecil dari 10 km.
2. Gempa bumi dangkal yaitu gempa bumi dengan kedalaman fokus gempa dari 10 hingga 50 km.
3. Gempa bumi menengah yaitu gempa bumi dengan kedalaman fokus dari 50 hingga 300 km.
4. Gempa bumi dalam yaitu gempa bumi dengan kedalaman fokus lebih besar 300 km. Mayoritas gempa bumi dalam dengan kedalaman lebih dari 500 km.

Ukuran Gempa Bumi

Ukuran gempa bumi dapat dijelaskan dalam istilah yang bervariasi tergantung atas parameter yang digunakan seperti sifat-sifat kerusakan, tipe gelombang seismik dan informasi

geologi. Istilah-istilah yang sering dipakai untuk menyatakan ukuran sebuah gempa bumi yaitu magnitudo, intensitas dan energi gempa bumi.

1. Magnitude Gempa Bumi

Suatu nilai magnitudo diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismik tertentu dengan memperhitungkan koreksi jarak stasiun pencatat ke episenter (Ibrahim dan Subardjo, 2003). Dewasa ini terdapat 5(lima) jenis magnitudo yang umum digunakan yaitu: magnitudo lokal (M_L), magnitudo gelombang permukaan (M_s), magnitudo gelombang badan (m_b), magnitudo momen (M_w) dan magnitudo energi (M_e). Gutenberg dan Richter (1956) memberikan hubungan antara M_s dan m_b dapat dinyatakan dalam

$$m_b = 2,5 + 0,63M_s \quad (1)$$

Selain itu, Gutenberg and Richter (1956) juga memberikan hubungan antara M_s dan M_L yang dinyatakan sebagai

$$M_s = 1,27(M_L - 1) - 0,016M_L^2 \quad (2)$$

dimana m_b adalah magnitudo gelombang badan (SR), M_s adalah magnitudo gelombang permukaan (SR) dan M_L adalah magnitudo lokal (SR). Bormann dan Di Giacomo (2010) memberikan hubungan antara magnitudo momen (M_w) dan magnitudo energi (M_e) yaitu:

$$M_e = M_w + \frac{2}{3}(\Theta + 4,7)$$

dimana

$$\Theta = \log\left(\frac{E_s}{M_0}\right),$$

M_e adalah magnitudo energi (SR)

M_w adalah magnitudo momen (SR).

Kanamori (1977) telah memberikan nilai $\Theta = -4,3$.

2. Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi merupakan sebuah ukuran efek atau kekuatan dari resiko gempa bumi pada suatu lokasi tertentu. Intensitas gempa bumi dapat dipakai untuk pengukuran kualitatif seperti efek atau pengaruh gempa bumi pada suatu lokasi tertentu berdasarkan pada pengamatan perilaku manusia dan kerusakan struktur (Scawthorn, 2003). Skala intensitas yang dipakai di Indonesia adalah skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*). Skala

MMI terdiri atas 12 skala (Wood dan Neumann, 1931).

3. Energi Gempa Bumi

Ukuran besarnya energi gempa bumi ditentukan dengan hasil catatan amplitude gelombang seismik dan bergantung pada magnitude gempa bumi. Gutenberg dan Richter (1956) memberikan rumusan energi untuk magnitude gelombang badan (m_b) yaitu:

$$\log E = 5,8 + 2,4m_b$$

Jika persamaan (1) disubstitusikan ke dalam persamaan (4) maka akan memperoleh

$$\log E = 11,8 + 1,5M_s$$

dengan E adalah energi di pusat gempa (erg).

Parameter Seismik

Hukum keadaan perulangan klasik Gutenberg dan Richter (1944) biasanya digunakan untuk memperkirakan seismisitas suatu wilayah yang dipilih. Hubungan frekuensi $N(M)$ terhadap magnitude gempa bumi M pada suatu wilayah tertentu dapat dinyatakan sebagai:

$$\log N(M) = a - bM$$

dimana a dan b adalah konstanta tertentu untuk daerah sumber seismik atau disebut parameter seismik. Menurut Kulhanek (2005) penentuan nilai a dan b setiap sumber seismik dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu: pencocokan linear dengan mata (ini dilakukan secara manual), pencocokan linear secara analisis regresi linear metode kuadrat terkecil dan perkiraan metode maximum *Likelihood*.

1. Analisis Regresi Linear Metode Kuadrat Terkecil

Dengan memisalkan $\log N(M) = y$ dan $M = x$ maka persamaan (6) akan menjadi sebuah hubungan regresi linear sederhana yaitu

$$y = a - bx$$

Chatterjee dan Hadi (2006) memberikan model regresi linear sederhana lengkap yang menghubungkan variabel terikat y dan variabel bebas atau prediktor x secara khas dinyatakan dalam bentuk asal

$$y = a + bx + \varepsilon$$

dimana a dan b adalah koefisien atau parameter model regresi dan ε adalah gangguan acak atau standar error. Koefisien b

disebut kemiringan. Koefisien a disebut koefisien konstan atau perpotongan yang merupakan nilai prediksi dari y ketika $x = 0$. Dengan menggunakan teori minimum dan maksimum atau harga ekstrim dari suatu fungsi dan normalisasi persamaan menurut Spiegel and Stephens (2008), maka nilai a dan b dapat ditentukan yaitu

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

dan

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Standar error dari nilai y yang diprediksi untuk setiap x adalah

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right]}$$

2. Metode Maksimum Likelihood

Parameter seismik pada persamaan Gutenberg dan Richter (1944) dapat diselesaikan juga dengan metode maksimum likelihood. Aki (1965) memberikan estimasi maksimum likelihood dari nilai b ditunjukkan sebagai:

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0}$$

dengan \bar{M} adalah magnitude rata-rata dari data gempa, M_0 adalah magnitude minimum dari data gempa, dan $\log e$ akan memberikan nilai 0,4343. Aki (1965) menunjukkan bahwa metode ini lebih teliti dibandingkan metode kuadrat terkecil, dengan manfaat bahwa kejadian ini untuk data gempa bumi yang rentetan kecil. Nilai a diperhitungkan dari hubungan frekuensi kumulatif untuk $M \geq M_0$ dengan persamaan

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log (b \ln 10) + M_0 b$$

Simpangan perhitungan nilai b dengan metode likelihood maksimum menggunakan rumus standar deviasi yaitu:

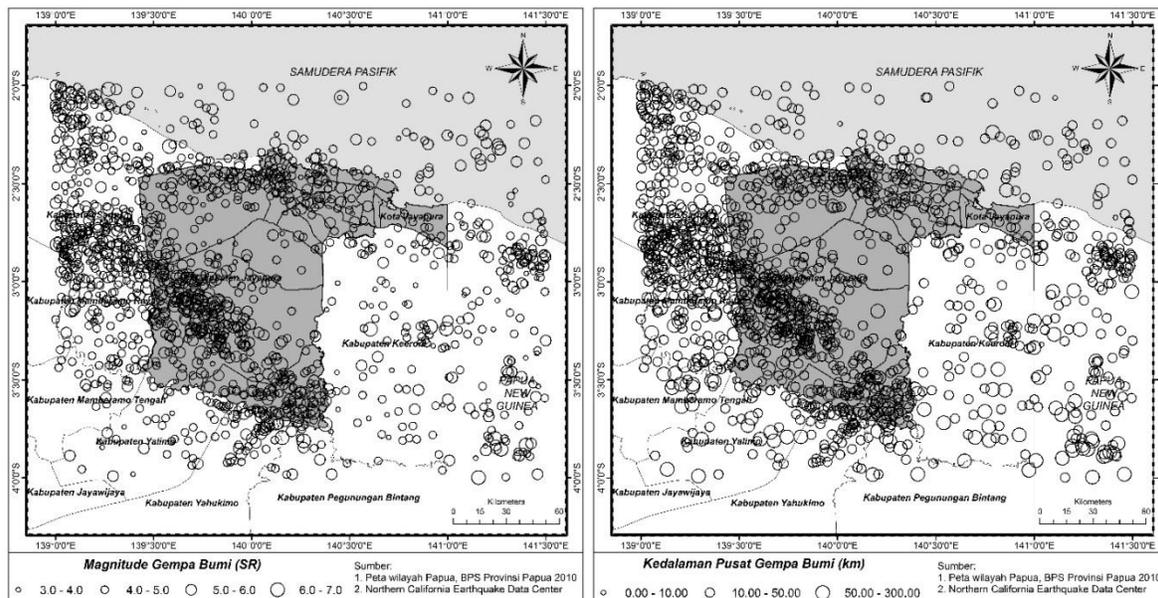
$$SD = 2,30 b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}}$$

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskripsi data sekunder. Studi variasi nilai frekuensi, akumulasi energi dan parameter seismik menggunakan metode *time window sliding* (pergeseran jendela waktu). *Window* pada konsep ini bermakna suatu batasan tertentu yang ditentukan dengan batasan koordinat atau waktu. Sekelompok gempa bumi dipilih dari suatu

katalog berdasarkan *window*. Variasi pergeseran interval waktu setiap *14 window* yaitu 10, 20, 30, 40 dan 50 tahun. Jika interval data tidak memenuhi 10 kejadian maka dilakukan *overlapping* ke *window* berikutnya. Nilai *a* dan *b* dihitung dengan menggunakan pendekatan statistik metode kuadrat terkecil dan maksimum likelihood. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data sejarah gempa bumi untuk wilayah kajian yaitu 2° – 4° LS dan 139° – 141° BT dari tahun 1965 – 2014 atau sekitar 50 tahun yang bersumber dari publikasi katalog Northern California Earthquake Data Center (NCEDC).

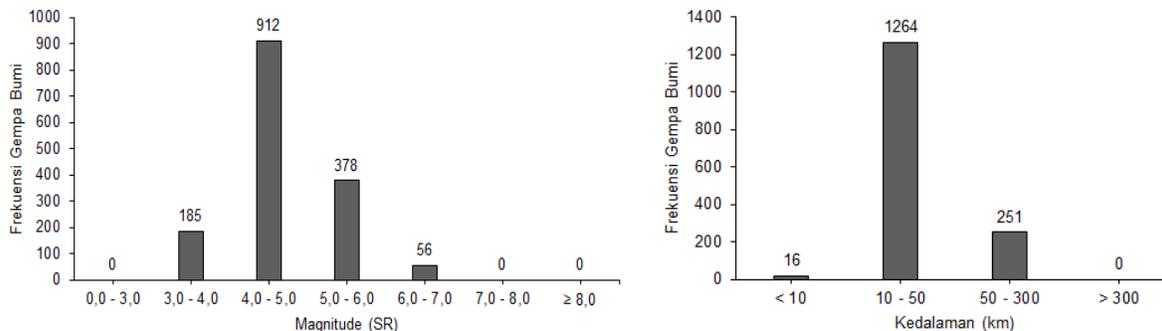
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Distribusi episenter gempa bumi berdasarkan magnitudo dan kedalaman di wilayah Jayapura periode 1965 – 2014

Tingkat aktifitas gempa bumi suatu wilayah menggambarkan kondisi seismisitas di wilayah tersebut. Wilayah Jayapura dikategorikan sebagai daerah dengan tingkat aktifitas gempa bumi yang cukup tinggi. Hal ini terbukti dari jumlah kejadian gempa bumi yang terjadi sejak tahun 1965 sampai 2014 wilayah ini mencapai 1531 kejadian dengan rata-rata 30,05 kejadian setiap

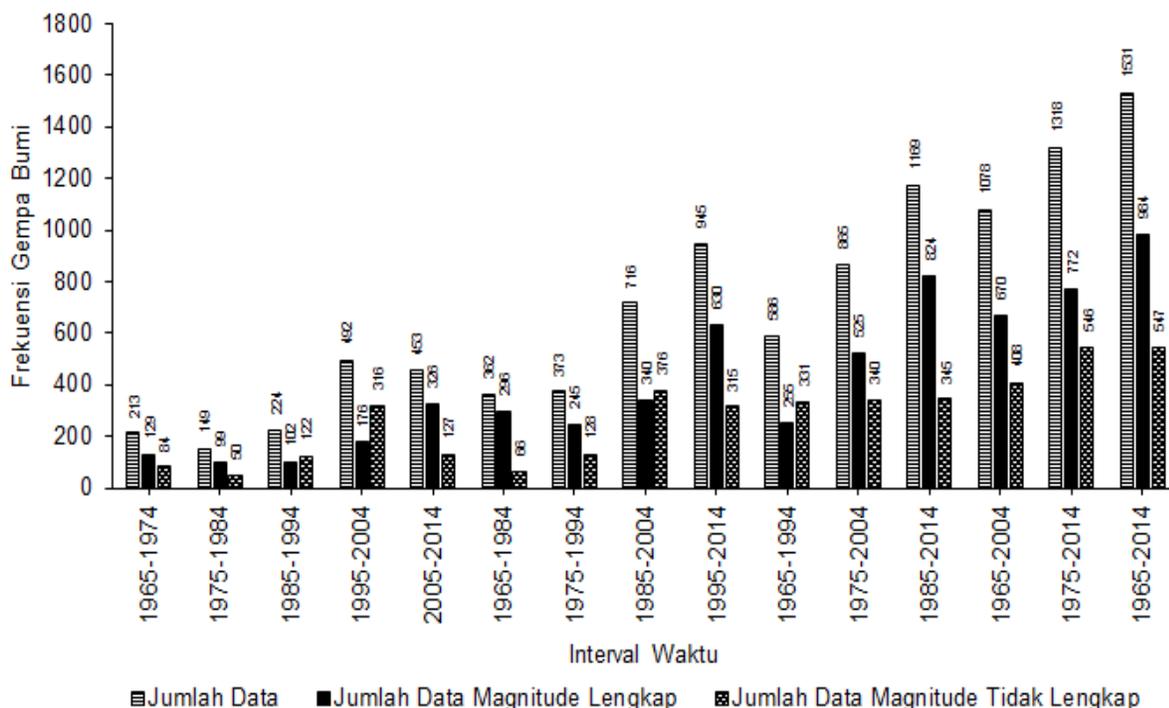
tahun. Distribusi gempa bumi yang pernah terjadi di wilayah Jayapura ditunjukkan pada gambar 1. Distribusi gempa bumi menunjukkan bahwa episenter gempa bumi terdistribusi padat di wilayah Kabupaten Jayapura dibandingkan dengan wilayah Kota Jayapura. Episenter gempa bumi terdistribusi di sebelah utara, timur laut, selatan dan barat daya wilayah Jayapura.



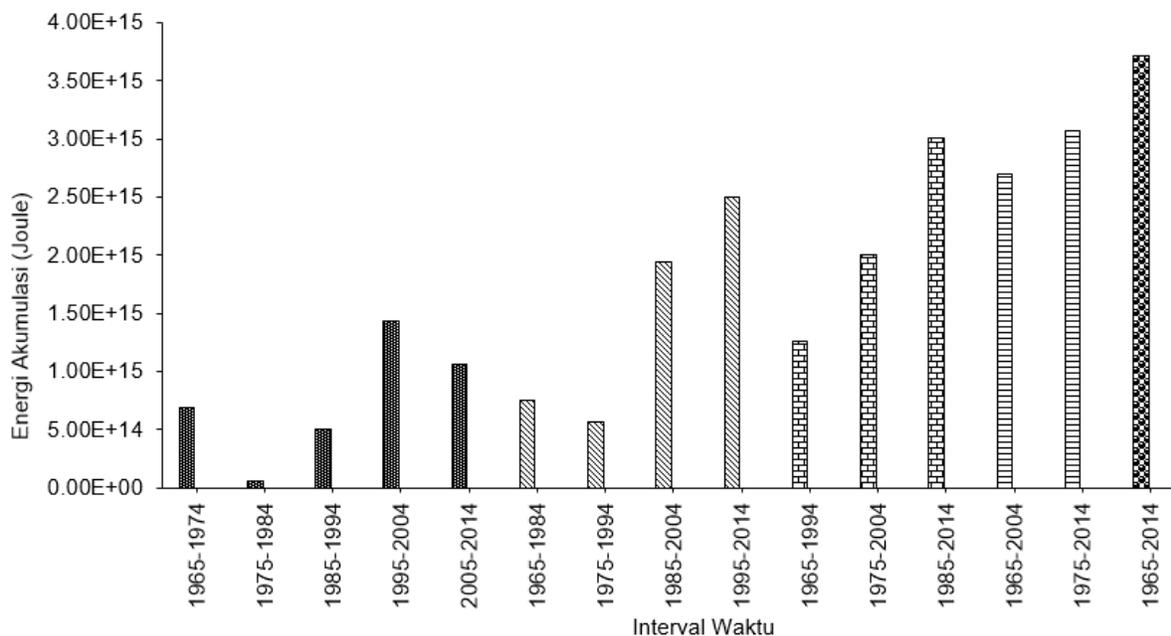
Gambar 2. Grafik jumlah gempa bumi berdasarkan pembagian interval magnitudo dan kedalaman periode 1965 – 2014

Frekuensi kejadian gempa bumi berdasarkan interval magnitudo dan kedalaman ditunjukkan pada gambar 2. Gempa bumi yang paling banyak terjadi yaitu gempa bumi ringan yaitu 912 kejadian dengan persentase 58,91%. Persentase kejadian gempa bumi yang paling kecil yaitu 3,62% untuk gempa bumi kuat terjadi dengan jumlah 56kejadian. Tidak pernah terjadi

gempa bumi mikro, besar dan sangat besar. Selain itu, gempa bumi yang sering terjadi adalah gempa bumi dangkal dengan jumlah 1264kejadian dengan persentase 81,65%. Gempa bumi permukaan terjadi dengan jumlah 16 gempa dengan persentase 1,03%. Tidak pernah terjadi gempa bumi dalam.



Gambar 3. Grafik variasi jumlah data, data magnitudo lengkap dan magnitudo tidak lengkap periode 1965 – 2014



Gambar 4. Grafik variasi akumulasi energi gempa bumi terhadap interval waktu untuk periode 1965 – 2014

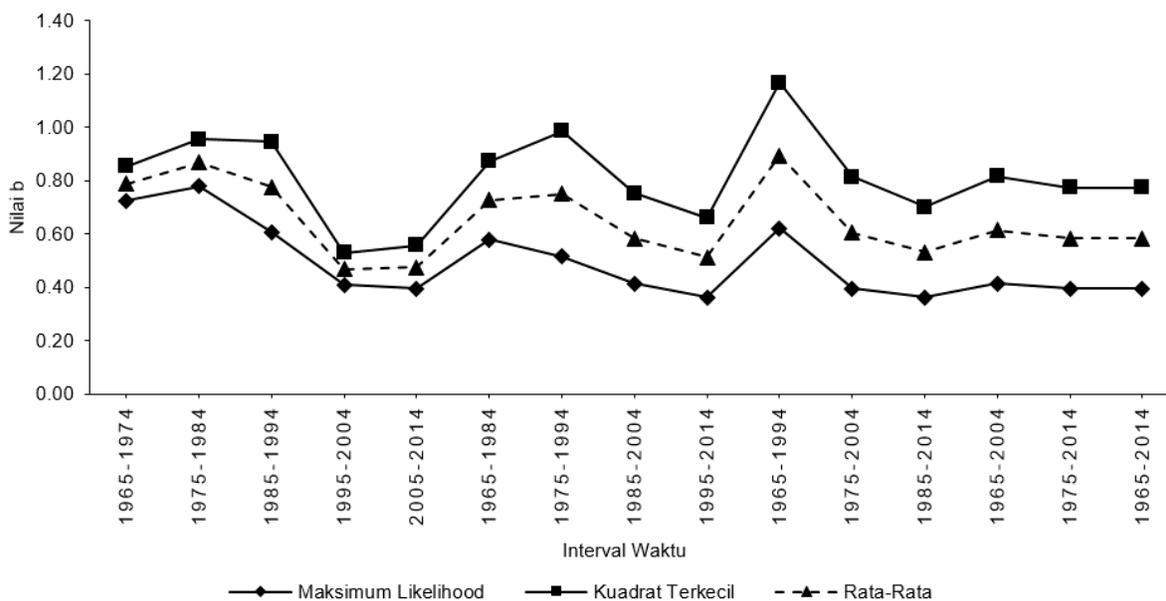
Besar energi gempa bumi dipengaruhi oleh besar magnitude kejadian gempa bumi tersebut. Total akumulasi energi gempa bumi sangat bergantung pada jumlah kejadian gempa bumi. Gambar 3 dan 4 menunjukkan variasi jumlah gempa bumi dan nilai total akumulasi energi gempa bumi untuk jendela waktu 10, 20, 30, 40 dan 50 tahun. Pada jendela waktu 10 tahun, total akumulasi energi gempa bumi terbesar terjadi pada interval waktu 1995 – 2004 yaitu 1.43766×10^{15} Joule dengan jumlah peristiwa 492 kejadian. Pada jendela waktu 20 tahun, total akumulasi energi gempa bumi terbesar terjadi pada interval waktu 1995 – 2014 yaitu 2.49662×10^{15} Joule dengan jumlah peristiwa 945 kejadian. Pada jendela waktu 30 tahun, total akumulasi energi gempa bumi terbesar terjadi pada interval waktu 1985 – 2014 yaitu 3.00356×10^{15} Joule dengan jumlah peristiwa 1169 kejadian. Pada jendela waktu 40 tahun, total akumulasi energi gempa bumi terbesar terjadi pada interval waktu 1975 – 2014 yaitu 3.06607×10^{15} Joule dengan jumlah peristiwa 1318 kejadian. Total akumulasi energi pada jendela waktu 50 tahun atau periode

keseluruhan yaitu $3,75365 \times 10^{15}$ Joule. Pada interval 50 tahun, total akumulasi energi terbesar disumbang oleh gempa bumi kuat yang berjumlah 56 kejadian sebesar $3,27775 \times 10^{15}$ Joule dengan persentase 87,32%. Gempa bumi yang paling banyak terjadi yaitu gempa bumi ringan dengan 912 kejadian hanya menyumbang total akumulasi energi sebesar $7,37860 \times 10^{12}$ Joule dengan persentase 0,20%. Secara umum, energi gempa bumi sangat dipengaruhi kuat oleh besar magnitude dibandingkan dengan jumlah gempa bumi. Energi gempa bumi oleh Gutenberg dan Richter (1956) berdasarkan magnitude gelombang badan (m_b) menjabarkan bahwa energi gempa bumi pada peningkatan magnitude 1 SR setara dengan 251 kali energi gempa bumi dengan magnitude awal.

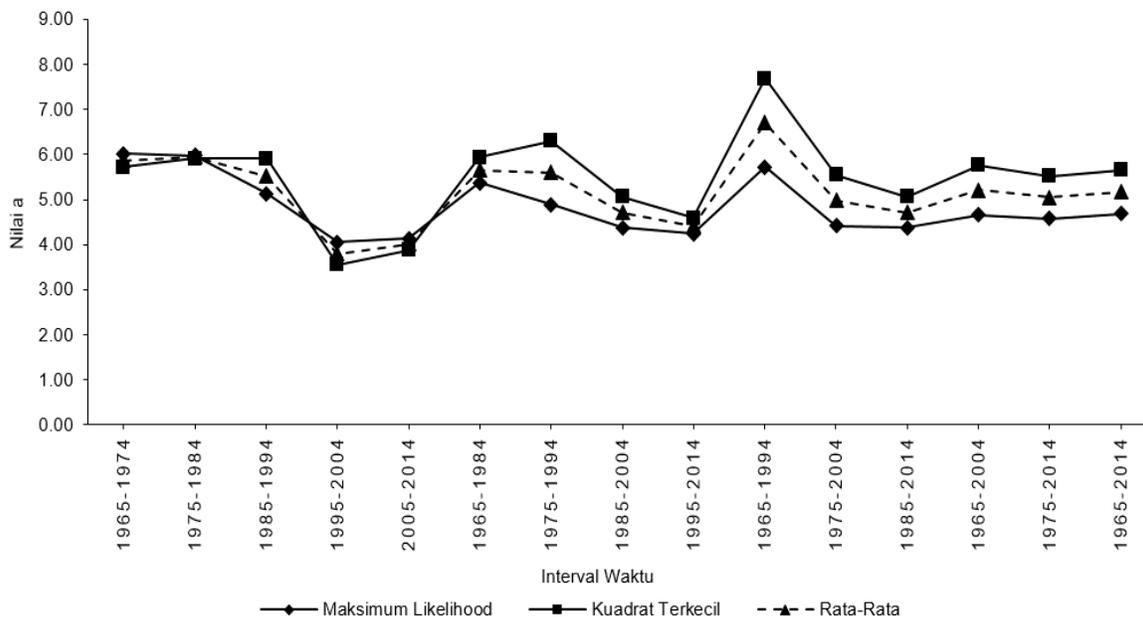
Parameter seismik dihitung dengan menggunakan jumlah magnitude yang lengkap. Jumlah magnitude lengkap merupakan rentetan jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitude tertentu yang memenuhi sifat persamaan Gutenberg dan Richter (1944) yang dimulai dari suatu jumlah kejadian terbesar sesuai dengan

magnitude tertentu. Grafik jumlah kejadian gempa bumi untuk magnitude lengkap ditunjukkan pada gambar 3. Variasi nilai parameter seismik (nilai a dan b) periode 1965 – 2014 ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Grafik variasi nilai standar error (metode kuadrat

terkecil) dan standar deviasi (metode maksimum likelihood) periode perhitungan 1965 – 2014 ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5. Grafik variasi nilai b terhadap interval waktu periode 1965 – 2014



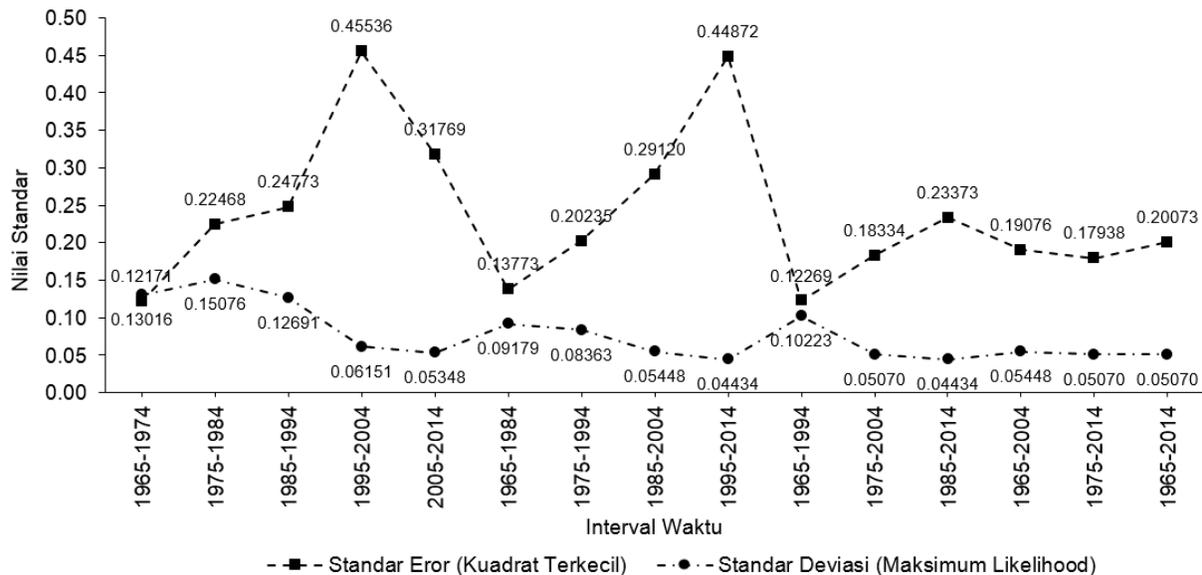
Gambar 6. Grafik variasi nilai a terhadap interval waktu periode 1965 – 2014

Secara keseluruhan, nilai a dan b dengan metode kuadrat terkecil relatif lebih besar dibandingkan nilai dengan metode maksimum

likelihood. Di sisi lain, pola variasi nilai yang diberikan oleh metode kuadrat terkecil sama dengan pola yang diberikan dengan metode

maksimum likelihood. Pada metode kuadrat terkecil, lebar antara nilai maksimum dan minimum untuk nilai a dan b yaitu 4,13910 dan 0,63730 lebih besar dibandingkan nilai dengan metode maksimum likelihood yaitu 1,96682 dan 0,41593. Keadaan ini menunjukkan bahwa variasi nilai dengan metode maksimum likelihood relatif lebih stabil dibandingkan dengan metode kuadrat terkecil. Nilai b rata-rata terbesar terjadi pada interval waktu 1965 – 1994 yaitu 0.89371. Nilai b rata-rata terkecil terjadi pada interval waktu 1995

– 2004 yaitu 0.46910. Nilai a rata-rata terbesar terjadi pada interval waktu 1965 – 1994 yaitu 6.70947. Nilai a rata-rata terkecil terjadi pada interval waktu 1995 – 2004 yaitu 3.80569. Nilai a dan b terbaik terjadi ketika nilai standar eror (metode kuadrat terkecil) dan nilai standar deviasi (metode maksimum likelihood) mendekati nilai yang sama. Nilai a dan b terbaik dihitung pada interval waktu 1965 – 1974, 1965 – 1984 dan 1965 – 1994.



Gambar 7. Grafik variasi nilai standar eror (metode kuadrat terkecil) dan standar deviasi (metode maksimum likelihood) terhadap interval waktu periode 1965 – 2014

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Frekuensi gempa bumi pada periode 1965 – 2014 didominasi oleh gempa bumi ringan yaitu 912 kejadian atau 58,91% dan gempa bumi dangkal dengan jumlah 1264 kejadian atau 81,65%.
2. Total akumulasi energi pada interval waktu 50 tahun terbesar disumbang oleh gempa bumi kuat sebesar $3,27775 \times 10^{15}$ Joule atau 87,32%, sedangkan gempa bumi ringan hanya menyumbang sebesar $7,37860 \times 10^{12}$ Joule atau 0,20%.
3. Nilai a dan b rata-rata terbesar terjadi pada interval waktu 1965 – 1994 yaitu 6.70947 dan 0.89371 dan nilai rata-rata terkecil

terjadi pada interval waktu 1995 – 2004 yaitu 3.80569 dan 0.46910. Nilai a dan b terbaik dihitung pada interval waktu 1965 – 1974, 1965 – 1984 dan 1965 – 1994.

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian sejenis untuk variasi ruang dan untuk daerah-daerah lain di wilayah Papua sebagai pelengkap dan pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

Advanced National Seismic System (ANSS) Catalog Search, National California Earthquake Data Center (NCEDC).

- Aki, K., 1965. *Maximum Likelihood Estimate of b in the Formula $\log N = a - bm$ and its Confidence Limits*, Bulletin Earthquake Research Institute, Tokyo University, 43, 237-239.
- Bormann, P., and Di Giacomo, D., 2010. *The moment magnitude and the energy magnitude : common roots and differences*, Journal of Seismology, Springer Verlag (Germany), 15 (2), pp.411-427.
- Chatterjee, S. and Hadi, A.S., 2006. *Regression analysis by example*, 4th Edition, page 28-32, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1944. *Frequency of earthquakes in California*, Bulletin of the Seismological Society of America, 4, 34, 185-188.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1956. *Magnitude and energy of earthquakes*, Annali di Geofisica (Rome), 9, 1-15.
- Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003. Pengetahuan Seismologi, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado.
- Kanamori, H., 1977. *The Energy Release in Great Earthquake*, Journal of Geophysical Research, 20, 82, 2981-2987.
- Kulhanek, O., 2005. *Seminar on b-Value*, Department of Geophysics, Charles university, Prague.
- Mantiri, S.Y.Y., 2010. Penentuan Distribusi Nilai Percepatan Tanah Maksimum di Wilayah Papua dan Papua Barat, Tesis, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- McGraw-Hill Companies, Inc., 2003. *Dictionary of Geology and Mineral*, Second Edition, New York.
- Scawthorn, C., 2003. *Earthquakes: Seismogenesis, Measurement, and Distribution* in Chen, W.F. and Scawthorn, C., *Earthquake Engineering Handbook*, CRC Press LLC, Florida.
- Spiegel, M.R. and Stephens, L.J., 2008. *Schaum's outline of theory and problems of statistics*, 4th Edition, page 346-353, McGraw-Hill, New York.
- Wood, H.O. and Neumann, F., 1931. *Modified Mercalli Intensity Scale of 1931*, Bulletin of the Seismological Society of America, 21, 277-283.