

ANALISIS VARIASI a -VALUE DAN b -VALUE DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ZMAP V.6 SEBAGAI INDIKATOR POTENSI GEMPA BUMI DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT

Fahira Nadiva Ernandi, Madlazim

Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: fahira.17030224004@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Upaya mitigasi bencana geologi di Nusa Tenggara Barat dapat dilakukan dengan mempelajari parameter seismotektonik yang ditunjukkan oleh nilai- a dan nilai- b . Pola seismitas dan tektonik suatu wilayah dapat dianalisis melalui hubungan logaritma frekuensi kejadian dan magnitudonya yang dijabarkan pada persamaan Gutenberg-Richter, dimana gradien dari persamaan ini merupakan nilai- b yang menunjukkan tingkat kerapuhan batuan dan nilai- a yang menunjukkan aktivitas seismik di wilayah penelitian. Fokus penelitian ini adalah menentukan variasi spatial-temporal nilai- a dan nilai- b di wilayah Nusa Tenggara Barat. Dalam penelitian ini nilai- a dan nilai- b bergantung pada nilai Magnitude of Completeness (M_c), dimana nilai magnitudo yang lebih besar dari nilai M_c dapat memenuhi hukum Gutenberg-Richter. Data penelitian yang digunakan adalah data gempa bumi dari katalog gempa USGS periode 1989-2020. Data mekanisme fokal yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung nilai- a dan nilai- b dengan metode *maximum likelihood* melalui *software* ZMAP V.6. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai M_c pada wilayah NTB yakni 3,9 dan nilai- a yang didapatkan adalah 6,10 sedangkan nilai- b yang didapatkan adalah 0,844. Untuk variasi temporal nilai- b didapatkan yakni terjadi penurunan nilai- b dalam rentan waktu tertentu sebelum terjadi gempa signifikan berdasarkan data gempa 1989-2020 terjadi gempa bumi signifikan pada November 2007 (6,50 Mw) di Sumbawa dan Agustus 2018 (6,90 Mw) di Kepulauan Lombok, penurunan nilai- b ini berkorelasi dengan peningkatan energi berupa *stress* di wilayah tersebut. Sedangkan untuk variasi spatial nilai- b dan nilai- a didapatkan daerah dengan nilai- b rendah (0,6-0,8) dan nilai- a rendah (4-5) memiliki potensi tinggi terjadi gempa signifikan, karena wilayah dengan nilai- b rendah pada zona aktif gempa bumi menyimpan *stress* yang besar karena tingkat kerapuhan batuan yang tinggi, sedangkan wilayah dengan nilai- b tinggi (1,2-1,5) dan nilai- a tinggi (6,5-8) menunjukkan hal sebaliknya. Hasil-hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai potensi gempa tektonik di Nusa Tenggara Barat.

Kata Kunci: magnitudo kelengkapan, parameter seismisitas, parameter tektonik.

Abstract

Geological disaster mitigation efforts, in West Nusa Tenggara can be done by studying the seismotectonic parameters indicated by the a -value and the b -value. The seismicity and tectonic patterns of an area can be analyzed through the logarithmic relationship of occurrence frequency and magnitude, which is described in the Gutenberg-Richter equation, where the gradient of this equation is a b -value that indicates the level of rock fragility and a -value that indicates seismic activity in the study area. The focus of this research is to determine the spatial-temporal variation of a -value and b -value in the West Nusa Tenggara region. In this study, the a -value and the b -value depend on the Magnitude of Completeness (M_c), where the magnitude value greater than the M_c value can fulfill the Gutenberg-Richter law. The research data used is earthquake data from the USGS earthquake catalog for the 1989-2020 period. The focal mechanism data obtained is then used to calculate the a -value and b -value with the *maximum likelihood* method through the ZMAP V.6 *software*. The results obtained from this study were the M_c value in the NTB region which was 3.9 and the a -value obtained was 6.10 while the b -value obtained was 0.844. For the temporal variation of the b -value, it is found that there is a decrease in the b -value in a certain time frame before a significant earthquake occurs based on earthquake data from 1989 to 2020, a significant earthquake occurred in November 2007 (6.50 Mw) in Sumbawa and August 2018 (6.90 Mw) in the Lombok Islands, this decrease in b -value correlates with an increase in energy in the form of stress in the region. While for the spatial variation of b -values and a -values, it is found that areas with low b -values (0.6-0.8) and low a -values (4-5) have a high potential for significant earthquakes, because areas with b -values low in the earthquake active zone keeps a large amount of stress due to the high level of rock fragility, while areas with high b -values (1.2-1.5) and high a -values (6.5-8) indicated the opposite. The results of this study are expected to increase understanding of the potential for tectonic earthquakes in West Nusa Tenggara.

Keywords: magnitude of completeness, seismicity parameters, tectonic parameters.

PENDAHULUAN

Nusa Tenggara Barat termasuk salah satu wilayah yang berada di zona aktif gempa bumi karena terdapat Busur Sunda yang memiliki panjang 5.600 km terbentang antara Pulau Andaman pada bagian barat laut dan Busur Banda pada bagian timur (Puspito dan Shimazaki, 1995). Busur Sunda ini merupakan hasil konvergensi antara lempeng

Indo-Australia dan Eurasia, selain itu Nusa Tenggara Barat memiliki struktur tektonik berupa sesar naik belakang busur kepulauan (*zona back arc thrust*) yang terbentuk dari tunjaman balik Lempeng Eurasia terhadap Lempeng Samudra Indo-Australia di selatan Pulau Lombok, sesar *back arc* beberapa kali menjadi penyebab gempa mematikan karena lokasinya dangkal dengan magnitudo yang besar (Hidayati, dkk. 2018). Jenis patahan yang terbentuk pada

sesar *back arc* juga memiliki potensi tinggi untuk terjadi tsunami di daerah pesisir Pulau Lombok. Selain itu di Pulau Lombok juga terdapat daerah subduksi lain yakni *Flores back-arc thrust* yang terletak di utara Pulau Lombok (Arief, 2010). *Flores back-arc thrust* termasuk sesar aktif yang terbentang dari utara Pulau Bali hingga bagian utara Kepulauan Sunda Kecil yakni Lombok-Sumbawa Nusa Tenggara Barat (Silver dkk., 1986). Karena struktur tektonik NTB yang bervariasi menyebabkan NTB sering mengalami gempa bumi tektonik, salah satunya dilansir dari Kompas.com (1/10/2018) terjadi gempa bumi di Pulau Lombok pada tanggal 29 Juli - 30 Agustus 2018, gempa bumi ini berkekuatan 7,0 SR dan disertai dengan tsunami yang menelan >1000 orang tewas dan ratusan lainnya luka parah karena terdapat banyak bangunan yang hancur.

Aktivitas gempa bumi tektonik seperti yang terjadi di Pulau Lombok tahun 2018, menjadikan gempa bumi tektonik sebagai sebuah anomali alam yang tidak dapat diprediksi secara pasti kapan terjadinya, karena terjadi secara tiba-tiba, selain itu gempa bumi tektonik bersifat destruktif karena aktivitas lempeng yang mengalami patahan, gesekan dan tabrakan dapat menimbulkan tekanan dan regangan, energi ini dapat menimbulkan gelombang elastis yang menjalar di permukaan daratan atau perairan sehingga terjadi gempa bumi signifikan (Madlazim, 2013). Pasca gempa bumi, energi yang telah dikeluarkan dari titik episentrum dapat terdistribusi dan menyebabkan perubahan tegangan pada wilayah yang berada di dekat episentrum gempa bumi. Adanya akumulasi perubahan tegangan ini dapat menyebabkan perubahan aktivitas seismik di sekitar wilayah pasca gempa bumi sehingga dapat memicu terjadinya gempa bumi dimasa yang akan datang. Untuk mengetahui potensi suatu wilayah terjadi gempa bumi signifikan dapat dideteksi dengan mengetahui parameter seismotektonik yang ditunjukkan oleh nilai-a dan nilai-b. Nilai-a merupakan parameter seismik, karena nilai-a dapat menunjukkan aktivitas seismik pada suatu wilayah (Dewi, dkk., 2020) dan nilai-b merupakan parameter tektonik, karena nilai-b dapat mencerminkan akumulasi *stress* dan tingkat kerapuhan batuan pada wilayah penelitian (Scholz, 1968).

Beberapa penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Bambang pada tahun 2017 menyebutkan bahwa nilai-a dan nilai-b pada wilayah NTB secara berturut-turut adalah 6,67-9,10 dan 0,97-1,44. Karena nilai-b di wilayah NTB kecil, menunjukkan terjadinya akumulasi *stress* yang tinggi di wilayah NTB dan karena aktivitas seismik yang ditunjukkan oleh nilai-a cukup besar mencerminkan banyaknya kejadian gempa bumi yang terjadi di NTB dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan aktivitas seismik ini juga merupakan proses agar terjadi keseimbangan energi pada lempeng (Madlazim, 2013), oleh karena itu sangat diperlukan pemahaman mengenai potensi terjadinya gempa bumi signifikan di wilayah NTB dengan mempelajari nilai-a dan nilai-b yang divariasi secara spasial dan temporal. Variasi secara spasial dapat digunakan untuk menginformasikan keadaan seismotektonik, dan variasi temporal dapat menjadi prekursor atau perubahan fenomena fisis yang dapat diamati sebelum gempa bumi (Nuannin, 2006).

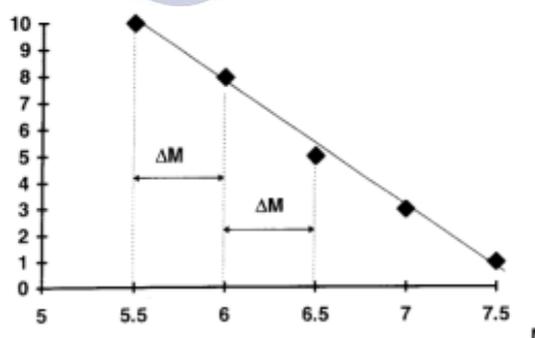
Relasi Hubungan Gutenberg dan Richter

Pola seismitas dan tektonik suatu daerah dapat dilihat melalui analisis hubungan frekuensi dan magnitudo atau *magnitude-frequency relation* (MFR) pada wilayah tersebut, yang dijabarkan dengan persamaan Gutenberg dan Richter (Gutenberg & Richter, 1944),

$$\log N(M) = a - bM \quad (1)$$

Pada persamaan 1, $N(M)$ merupakan jumlah kumulatif gempa bumi, dengan M adalah magitudo yang digunakan dalam penelitian, dan nilai a dan b berturut-turut merupakan konstanta seismitas dan konstanta distribusi tegangan. Nilai- b menunjukkan gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. Rentan magnitudo yang dapat menjelaskan dengan baik persamaan 1 yakni berada diantara 4,5 hingga 7,0, karena nilai magnitudo yang lebih besar dari 7,0 terdapat kemungkinan terjadi deviasi linieritas (Madlazim, 2013).

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, parameter nilai- a dan nilai- b dianalisis bersamaan karena dapat menunjukkan potensi terjadinya gempa bumi signifikan pada suatu wilayah. Dimana nilai- a yang merupakan konstanta seismitas yang nilainya berbanding lurus dengan nilai- b yang merupakan konstanta distribusi tegangan. Relasi Gutenberg-Richter dapat dijelaskan melalui gambar 1 (Rohadi, 2009), dimana sumbu horizontal merupakan magnitudo dan sumbu vertikal merupakan frekuensi kejadian gempa bumi. Hubungan antara magnitudo gempa bumi dan frekuensi kejadiannya adalah berbanding terbalik. Gempa bumi dengan magnitudo kecil lebih sering terjadi dibandingkan gempa bumi dengan magnitudo besar, hal ini dipengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan dan juga aktivitas seismik di wilayah tersebut. Wilayah dengan tingkat kerapuhan batuan dan aktivitas seismik yang rendah pada zona aktif gempa memiliki potensi terjadi gempa bumi dengan magnitudo besar diwaktu yang akan datang karena adanya akumulasi energi yang menyebabkan terjadi peningkatan *stress* di wilayah tersebut.



Gambar 1 Relasi Gutenberg-Richter yang menggambarkan hubungan logaritma frekuensi kejadian gempa bumi (sumbu vertikal) dan magnitudo (sumbu horizontal).

α -value

Parameter seismitas atau yang biasa disebut nilai- a merupakan parameter seismik yang nilainya bergantung pada jumlah kejadian gempa bumi, volume dan time window yang berada dalam batasan penelitian (Rohadi, dkk., 2007). Nilai seismisitas dapat menunjukkan karakteristik data tingkat seismisitas suatu daerah atau dengan kata lain

menggambarkan aktivitas seismik pada suatu daerah dalam kurung waktu tertentu.

Nilai-a dapat divariasikan secara spasial, wilayah dengan nilai-a tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi atau sering terjadi gempa bumi, sedangkan wilayah dengan nilai-a yang rendah menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang rendah. Rendahnya aktivitas seismik pada suatu wilayah yang berada pada zona aktif gempa dikarenakan terjadi akumulasi energi pada wilayah tersebut.

b-value

Parameter tektonik atau nilai-b dapat mencerminkan akumulasi *stress* lokal sehingga dapat menjadi parameter kegempaan yang didapat dari frekuensi relatif dari jumlah kejadian gempa besar dan gempa kecil di suatu wilayah. Nilai-b digunakan untuk mengetahui perubahan fenomena fisis yang diamati sebelum terjadinya gempa bumi. Fenomena fisis yang dapat diamati adalah akumulasi tegangan yang kemudian akan dilepaskan saat terjadi gempa bumi. Nilai-b memiliki korelasi terhadap distribusi tegangan dan regangan sehingga dapat dijadikan indikator tegangan pada suatu wilayah (Ghassabian dkk, 2016). Sedangkan pada penelitian lain yang dilakukan oleh Wandono tahun 2004, menyebutkan bahwa variasi nilai-b bergantung pada kondisi struktur tanah wilayah penelitian, dimana semakin besar nilai-b maka struktur tanah pada wilayah tersebut semakin tidak homogen seperti pada daerah dengan temperatur tinggi yaitu dapur magma dan sumber geothermal. Nilai-b dapat divariasikan dengan dua cara yakni secara spasial dan temporal.

Variasi spasial pada nilai-b dapat menunjukkan lokasi yang memiliki potensi terjadi gempa signifikan di setiap wilayah penelitian, nilai-b yang rendah berkorelasi dengan tingkat *shear stress* yang tinggi, sedangkan saat nilai-b yang tinggi mencerminkan bahwa tingkat *shear stress* di wilayah tersebut rendah, hal ini karena wilayah dengan nilai-b tinggi memiliki tingkat kerapuhan batuan yang rendah sehingga *stress* yang disimpan akan lebih mudah dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik ke permukaan karena struktur batuan mudanya mudah bergeser. Penelitian mengenai distribusi tegangan (nilai-b) terhadap kedalamannya dapat menunjukkan anomali struktural dan tingkat akumulasi energi di kerak dan mantel bagian atas pada lapisan bumi (Gerstenberger dkk, 2001).

Sedangkan variasi temporal pada nilai-b merupakan variasi nilai-b terhadap seri waktu, yang bisa dijadikan prekursor terjadinya gempa bumi pada jangka waktu tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gempa bumi sering kali didahului dengan peningkatan nilai-b pada jangka waktu menengah, dan diikuti dengan penurunan pada jangka waktu minggu hingga bulan sebelum gempa bumi signifikan (Sammond dkk, 1992). Nilai-b memiliki hubungan terhadap intensitas tegangan pada suatu batuan, penurunan nilai-b berhubungan dengan kenaikan energi berupa intensitas tegangan pada batuan (Shi dan bolt, 1982).

Maximum Likelihood

Nilai-a dan nilai-b dapat dihitung dengan metode

regresi linier atau *maximum likelihood*, metode ini memiliki keunggulan untuk menghitung secara statistik nilai parameter keaktifan gempa bumi karena dapat menghindari kekosongan magnitudo pada interval tertentu dan dapat memberikan hasil yang stabil (Suwandi,dkk., 2017). Perhitungan nilai-b menggunakan metode *maximum likelihood* menggunakan persamaan yang diberikan Utsu (1965) yaitu :

$$b = \frac{1}{\bar{M} - M_{min}} \log e \quad (2)$$

sedangkan untuk menentukan nilai-a dapat ditentukan melalui persamaan Wkner (1965),

$$a = \log N (M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 \hat{b} \quad (3)$$

Dengan \bar{M} adalah magnitudo rata-rata dan M_{min}/M_0 adalah magnitudo terkecil dari sampel data yang diberikan. Nilai magnitudo terkecil dapat diperoleh dengan plotting jumlah kumulatif kejadian gempa sebagai fungsi dari magnitudo. Kemudian hasil plot ini akan dihubungkan dengan garis linier. Nilai M_{min} merupakan nilai magnitudo ketika data mulai berada di bawah garis lurus tersebut. Selanjutnya, nilai M_{min} tersebut dalam penelitian ini merupakan magnitudo kelengkapan (magnitudo of completeness, M_c). Pemilihan nilai M_c sangat mempengaruhi hasil nilai-a dan nilai-b yang diperoleh karena perubahan nilai M_c juga dapat mengakibatkan perubahan pada jumlah gempa bumi yang disertakan dalam perhitungan (Rohadi, 2015). Dengan standar deviasi yang digunakan untuk mengetahui simpangan dari perhitungan nilai tingkat kerapuhan batuan (nilai-b). Standar deviasi dapat dihitung menggunakan formula dari Shi dan Bolt (1982) sebagai berikut :

$$\delta b = 2.30b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

dimana n adalah jumlah gempa pada sampling perhitungan.

METODA

Penelitian ini mengambil data sekunder berupa kejadian gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Barat dengan batasan lintang dan bujur di wilayah Nusa Tenggara Barat yaitu, 115°821' hingga 119°358' Bujur Timur dan -8°043' hingga -9°143' Lintang Selatan dari bulan Januari 1989 hingga September 2020 yang diperoleh dari katalog gempa bumi USGS <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>. Data mekanisme fokal gempa yang didapat dari katalog adalah data latitude, longitude, magnitudo, kedalaman hiposenter dan tanggal-waktu kejadian gempa. Data Kejadian yang didapat memiliki tipe Body-wave Magnitude (MB), yang harus dikonversi terlebih dahulu menjadi Moment Magnitude (Mw), karena magnitudo momen dapat mencerminkan besar momen yang dilepaskan ketika terjadi suatu gempa. Secara tidak langsung, momen yang dilepaskan mencerminkan energi dan dimensi rekahan yang terjadi. Dengan persamaan, untuk mengubah magnitudo gelombang badan menjadi magnitudo momen menggunakan persamaan oleh Scrodilis tahun 2006,

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

$$M_w = 0,67 (\pm 0,005)M_s + 2,07 (\pm 0,03) [3,0 \leq M_s \leq 6,1] \quad (6)$$

$$M_w = 0,99 (\pm 0,02)M_s + 0,08 (\pm 0,13) [6,2 \leq M_s \leq 8,2] \quad (7)$$

Metode yang digunakan untuk memperoleh nilai-a dan nilai-b adalah dengan menggunakan metode regresi linier/*maximum likelihood*. Sebelum melakukan perhitungan nilai-a dan nilai-b dilakukan plot distribusi frekuensi magnitudo untuk melihat kelengkapan data sehingga diketahui kelengkapan magnitudo (M_c) dan membuang gempa bumi dengan magnitudo lebih kecil dari M_c , Pemilihan M_c sangat mempengaruhi nilai-a dan nilai-b, sehingga diperlukan deskripsi M_c yang akurat. M_c yang dipilih pada penelitian ini yaitu kombinasi terbaik antara magnitude minimum dan 95% confidence interval.

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai-a dan nilai-b yang divariansi secara spasial. Untuk variasi secara spasial menggunakan sistem grid, dimana spasi grid yang digunakan pada penelitian ini berukuran $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ yang selanjutnya nilai-a dan nilai-b dihitung disetiap titik grid yang merupakan pertemuan dari empat grid. Nilai-a dan nilai-b dihitung dengan suatu radius yang mengandung jumlah kejadian gempa konstan (N), untuk radius yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 km dengan jumlah gempa buminya sebanyak 100 ($N=100$).

Sedangkan untuk variasi nilai-b secara temporal menggunakan metode *sliding time window*. Sejumlah gempa bumi dipilih dari suatu katalog, selanjutnya nilai-b dihitung untuk sejumlah gempa bumi (N). Kemudian *window* digeser dengan jumlah gempa bumi tetap dan seterusnya nilai-b dihitung untuk sejumlah gempa bumi berikutnya dan proses diulang hingga gempa bumi yang terakhir. Perhitungan nilai-b dilakukan dengan cara *overlap*. Pada penelitian ini nilai-b(t) dihitung dari data gempa bumi dari sebuah katalog menggunakan *sliding window* yang terdiri dari 100 gempa bumi dan setiap 10 gempa bumi digeser. Pemilihan dari jumlah gempa bumi di dalam *window* dikompromikan antara resolusi waktu dan efek *smoothing* dari *window* yang lebar. Setiap nilai-b yang terhitung merupakan nilai tengah dari *window*.

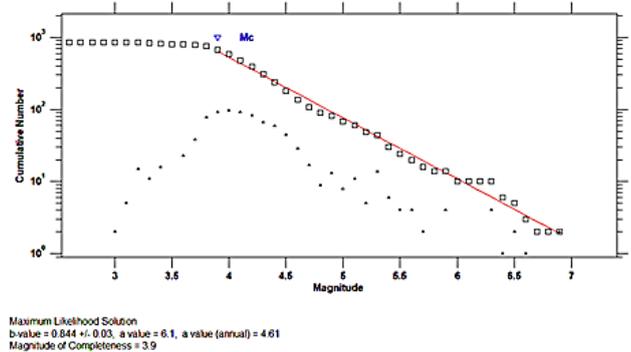
Dalam penelitian ini pemodelan variasi spasial dan temporal nilai-a dan nilai-b dilakukan dengan bantuan kode program ZMAP versi 6. Program ini dijalankan dengan bantuan perangkat lunak Matlab R2010a.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Frekuensi-Magnitudo

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada gambar 2 didapatkan nilai-b untuk wilayah NTB adalah 0.844, sedangkan untuk nilai-a nya 6.10 dengan magnitudo kelengkapannya adalah 3.9. Grafik hubungan frekuensi kejadian gempa dan magnitudo yang diperoleh dari penelitian dapat mengindikasikan jumlah kejadian gempa kecil relatif lebih tinggi terhadap jumlah kejadian gempa besar. Wilayah NTB lebih banyak menghasilkan gempa kecil dibandingkan gempa besar, hal ini menyebabkan grafik yang didapatkan pada distribusi frekuensi-magnitudo lebih curam dengan gradien yang besar dibandingkan dengan wilayah yang jarang terjadi gempa kecil namun

sering melepaskan gempa dengan kekuatan besar. Dan dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 2 dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara frekuensi kejadian gempa dengan magnitudo gempa, dimana semakin kecil magnitudo gempa nya maka frekuensi kejadian gempanya akan semakin besar, begitupun sebaliknya.



Gambar 2. Plot logaritma frekuensi kejadian gempa dan magnitudo.

Nilai-a dan nilai-b serta hubungan logaritma frekuensi kejadian gempa bumi dan magnitudo ini juga dapat dianalisis dengan metode *least square*, dengan persamaan,

$$a = \frac{\sum Y_i - b \sum X_i}{n} \quad (8)$$

$$b = \frac{n \sum (X_i Y_i) - (\sum X_i) (\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (9)$$

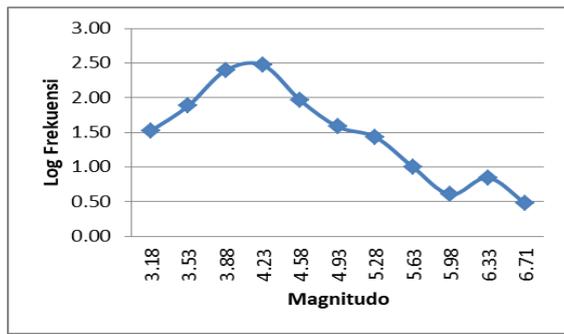
Dengan n merupakan banyaknya kelas magnitudo, X_i adalah titik tengah dari kelas magnitudo, Y_i adalah logaritma dari frekuensi gempa untuk kelas magnitudo tertentu. Dari persamaan di atas didapatkan nilai a dan b yakni 5,3786 dan -0,7498, kemudian dengan menggunakan metode *least square* yang dituliskan melalui persamaan $Y = a + bX$, diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\text{Log } N (M) = 5,3786 - 0,7498 M$$

dan untuk mendapatkan besar pengaruh frekuensi kejadian gempa terhadap magnitudo, dapat menggunakan koefisien korelasi dengan persamaan berikut :

$$r = \frac{n \sum (X_i Y_i) - (\sum X_i) (\sum Y_i)}{\sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 \cdot n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}} = -0,9419$$

Nilai r yang negatif dan mendekati -1 mengidentifikasi bahwa terdapat hubungan linear antara magnitudo dengan logaritma frekuensi kejadian gempa yang berbanding terbalik sangat kuat. Hal ini juga dapat dilihat melalui grafik hubungan frekuensi-magnitudo sebagai berikut,



Gambar 3. Grafik hubungan frekuensi-magnitudodi Nusa Tenggara Barat.

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan metode *least square* terdapat hubungan antara magnitudo yang berbanding terbalik dengan frekuensi gempa bumi. Hal ini menandakan semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Barat. Dan pada metode *least square* nilai kerapuhan batuan (nilai-b) pada wilayah Nusa Tenggara Barat sebesar 0,7498 dan keaktifan seismik (nilai-a) sebesar 5,3786 mengindikasikan bahwa aktivitas seismotektonik di wilayah Nusa Tenggara Barat cukup tinggi.

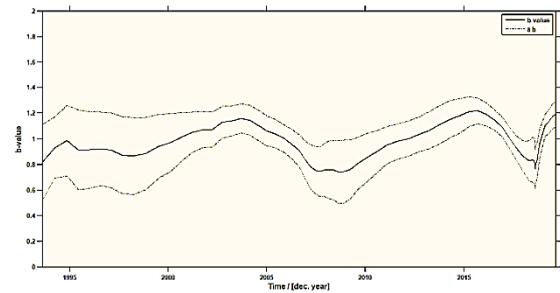
Dari plot logaritma frekuensi kejadian gempa dan magnitudo melalui metode *maximum likelihood* dan *least square* menunjukkan terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara frekuensi kejadian gempa dan magnitudo nya, hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bambang,dkk pada tahun 2017.

Variasi Temporal

Pada gambar 4 menunjukkan pola parameter seismitas nilai-b dalam seri waktu atau temporal di wilayah NTB yang berkorelasi dengan kejadian gempa bumi yang terjadi di wilayah NTB pada rentan 1989 hingga 2020. Pada gambar 4 terdapat dua pola dominan yang terlihat pada nilai-b secara temporal. Pola pertama terjadi pada sekitar tahun 2005-2010 dan pola kedua terjadi pada sekitar tahun 2015-2020. Dimana hal ini bersesuaian dengan data gempa bumi di wilayah NTB yakni pada bulan November tahun 2007 terjadi gempa bumi signifikan dengan kekuatan magnitudo 6,50 di Sumbawa dan pada bulan Agustus tahun 2018 terjadi gempa bumi signifikan di Kepulauan Lombok dengan magnitudo 6,9 Mw. Pada dua kejadian gempa signifikan tersebut dapat diamati pola dari nilai-b nya dalam waktu ke waktu yakni terjadi penurunan nilai-b sebelum terjadinya gempa signifikan, hal ini dapat diamati pada gambar 4 yakni terjadi penurunan grafik nilai-b yang mengindikasikan pada saat nilai-b turun terjadi penurunan aktivitas gempa bumi, namun juga terjadi penyimpanan energi berupa *stress*, yang selanjutnya akan dikeluarkan dalam bentuk gelombang seismik berukuran besar.

Penurunan nilai-b yang teramati pada kejadian gempa bumi NTB ini juga sesuai dengan penelitian yang menggunakan data gempa bumi Central Amerika dari PDE (*Preleminay Determination Epicenter*), penelitian ini dapat membuktikan bahwa terdapat penurunan nilai-b secara signifikan sebelum terjadi gempa bumi besar (Monterroso, 2003). Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menunjukkan konsistensi dari potensi variasi

temporal nilai-b ini sebagai prekursor terjadinya gempa signifikan di wilayah Nusa Tenggara Barat.

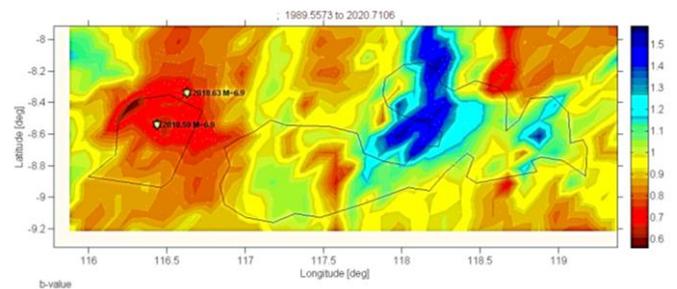


Gambar 4. Variasi temporal nilai-b di Nusa Tenggara Barat tahun 1989-2020.

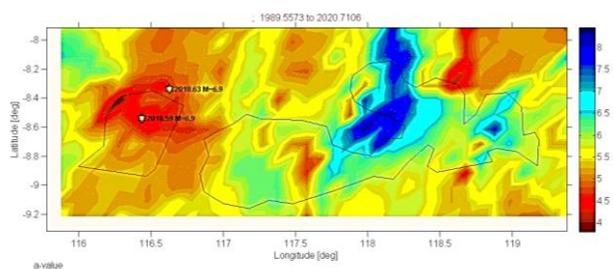
Variasi Spasial

Variasi nilai-a dan nilai-b secara spasial merupakan upaya analisa dalam dimensi jarak. Gambar 5 menunjukkan variasi spasial nilai-b sedangkan pada gambar 6 menunjukkan variasi spasial nilai-a. Menurut penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, rata-rata nilai-b adalah 0,64 untuk zona subduksi oceanic dan 0,98 untuk mid-oceanic reidges.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Scholz pada tahun 1968 menyebutkan bahwa wilayah dengan nilai-b yang rendah berkorelasi dengan akumulasi *stress* yang tinggi, sedangkan nilai-b yang tinggi berlaku sebaliknya. Maka pada wilayah NTB yang memiliki nilai-b rendah (0,6-0,8) dapat di identifikasikan bahwa wilayah tersebut menyimpan *stress* tinggi yang sewaktu-waktu dapat dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik berukuran besar dan juga nilai-b yang rendah berkorelasi dengan tingkat kerapuhan batuan yang tinggi, hal ini menyebabkan wilayah tersebut memiliki nilai-a yang rendah. Karena wilayah yang berada pada zona aktif gempa namun memiliki nilai-a yang rendah (4-5) menunjukkan bahwa di wilayah tersebut terjadi peningkatan akumulasi energi berupa *stress*. Maka pada wilayah penelitian yang memiliki nilai-b dan nilai-a yang rendah yakni Kab. Lombok Barat, Kab. Lombok Tengah, Kab. Lombok Timur, Kab. Lombok Utara, Kab. Sumbawa, Kota Mataram, Kota Bima dan Kab. Sumbawa Barat memiliki akumulasi *stress* yang tinggi dan juga tingkat kerapuhan batuan yang tinggi atau tidak mudah bergeser.



Gambar 5. Variasi spasial nilai-b di Nusa Tenggara Barat.



Gambar 6. Variasi spasial nilai-a di Nusa Tenggara Barat.

Pada gambar 5 dan gambar 6 juga menunjukkan korelasi antara variasi spasial nilai-a dan nilai-b, hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Rohadi pada tahun 2009 yang menyebutkan bahwa wilayah dengan nilai-a rendah juga memiliki nilai-b yang rendah, dan wilayah yang memiliki nilai-a tinggi juga memiliki nilai-b yang tinggi seperti di wilayah Kab. Bima dan Kab. Dompu yang memiliki nilai-b tinggi yakni pada rentan 1,2-1,5 dan nilai-a yang tinggi juga yakni pada rentan 6,5-8. Nilai-b yang tinggi mengidentifikasi bahwa wilayah tersebut memiliki akumulasi *stress* yang rendah, sehingga memiliki potensi kecil dari kemungkinan terjadinya gempa bumi besar, namun pada wilayah dengan nilai-a dan nilai-b tinggi cenderung untuk melepaskan gelombang seismik dengan magnitudo kecil (gempa mikro).

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini menganalisis variasi nilai-a dan nilai-b di Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan hasil penelitian ini, didapat kesimpulan bahwa nilai M_c di NTB adalah 3,9. Nilai M_c ini menunjukkan magnitudo minimum yang termasuk dalam perhitungan dan dapat mempengaruhi nilai-a dan nilai-b. Karena perubahan nilai M_c dapat merubah jumlah data yang diikuti pada perhitungan nilai-a dan nilai-b.

Sedangkan untuk variasi spasial nilai-b dan nilai-a didapatkan daerah dengan nilai-b rendah (0,6-0,8) dan nilai-a rendah (4-5) memiliki potensi tinggi terjadi gempa signifikan, yakni daerah Kabupaten Lombok Barat, Kab. Lombok Tengah, Kab. Lombok Timur, Kab. Lombok Utara, Kab. Sumbawa, Kota Mataram, Kota Bima dan Kab. Sumbawa Barat, hal ini karena wilayah dengan nilai-b rendah menyimpan *stress* atau tegangan yang besar karena tingkat kerapuhan batuan yang tinggi. Sedangkan daerah Kab. Bima dan Kab. Dompu dengan nilai-b tinggi (1,2-1,5) dan nilai-a tinggi (6,5-8) mengindikasikan aktivitas seismik di wilayah tersebut tinggi karena tingkat kerapuhan batuan yang rendah menyebabkan *stress* yang disimpan tidak besar karena *stress* yang tersalurkan akan langsung dilepas dalam gempa berukuran mikro.

Berdasarkan variasi temporal nilai-b, terjadi pola penurunan nilai-b sebelum terjadi gempa bumi signifikan, yakni pada tahun 2007 (6,50 Mw di Sumbawa) dan pada tahun 2018 (6,90 Mw di Kepulauan Lombok). Penurunan nilai-b ini berkorelasi dengan peningkatan energi berupa *stress* di wilayah tersebut.

Saran

Penelitian ini belum mampu mengungkap periode ulang gempa bumi di Nusa Tenggara Barat. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya bisa fokus pada penentuan periode ulang gempa bumi di Nusa Tenggara Barat. Selain itu, penelitian selanjutnya bisa juga menambahkan data katalog gempa bumi agar diperoleh hasil distribusi nilai-a dan nilai-b yang lebih representatif untuk dimasa yang akan datang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak atas ketersediaan data sekunder dalam penelitian ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada *reviewers* yang telah memberikan masukan bermanfaat untuk kesempurnaan artikel IFI ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Gerstenberger, M. Wiemer, S. and Giardini, D. 2001. Systematic test of the hypothesis the b-value varies with depth in California, *Geophys. Res. Letts.*, Vol. 28, No. 1.
- Ghassabian, N. N., Khatib, M. M., Nazari, H., dan Heyhat, M. R. 2016. Fractal dimension and earthquake frequency-magnitude distribution in the North of Central-East Iran Blocks (NCEIB). *Geopersia*.
- Gutenberg, B. & Richter, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am*, Vol. 34, No.4.
- Hidayati, N., Trisnawati, Sativa, O., Wallansha, R., Sakti, A.P., Promono, S., dan Permana, D. (2018). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur 29 Juli 2018. *Bidang Seismologi Teknik. BMKG*.
- Kompas.com, Jumat, 25 Desember 2020, jam 14.22 WIB.
- Madlazim. 2013. Kajian Awal Tentang *b*-value Gempa Bumi di Sumatra Tahun 1964-2013. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, Vol. 3, No. 1.
- Nuannin, P. 2006. The Potential of *b*-value Variations as Earthquake Precursors for Small and Large Events: *Dissertation*. Uppsala: Uppsala University.
- Nur, Arief Mustofa. 2010. *Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya*. Vol. 7 No. 1.
- N. T. Puspito, and K. Shimazaki. 1995. Mantel structure and seismotectonicsof the Sunda and Banda arcs, *Tectonophysics*, Vol. 251, pp. 215-228.
- Rohadi, Supriyanto, Grandis, Hendra, dan Ratag, M.A. 2007. Studi Variasi Spasial Seismisitas Zona Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol.8 No.1.
- Rohadi, Supriyanto. 2009. Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Subduksi Jawa. *Jurnal Megasains*. Vol.1 No.4.
- Rohadi, S. 2015. Distribusi Spasial dan Temporal Parameter Seismotektonik sebagai Indikasi Tingkat Aktivitas Kegempaan di Wilayah Papua. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 16, No. 3.

- Sammond, P.R, Meredit, P.G. and Main, I.G. 1992. Role of pore fluid in the generation of seismic precursors to shear fracture. *Nature*. Vol. 359, pp. 228-230.
- Scholz, C. H. 1968. The Frequency Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 58, No. 1.
- Scrodilis, E.M. 2006. Empirical Global Relations Converting M_s and M_b to Moment Magnitude. *Journal of Seismology*. Vol. 10, pp. 225-236.
- Shi, Y. and B.A. Bolt. 1982. The standard error of the magnitudo-frequency b-value, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 5.
- Silver, E. A., Breen, N. A., Prasetyo, H., dan Hussong, D. M., 1986, Multibeam study of the Flores backarc thrust belt, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 91, Issue B3.
- Sunardi, Bambang, Melinda Utami Istikomah, Sulastri. 2017. Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi Wilayah Nusa Tenggara Barat, Tahun 1973-2015. *Jurnal Riset Geofisika Indonesia*, Vol. 1, No. 1.
- Suwandi, Elza Anisa. 2017. Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Intensitas Maksimum dan Periode Ulang Gempa Untuk Menentukan Tingkat Kerentanan Seismik di Jawa Barat (Periode Gempa Tahun 1974-2016). *Jurnal. Universitas Pendidikan Indonesia*, Bandung.
- Utsu, T. 1965. A Method for Determining the Value of b in a Formula $\log N = a - bM$ Showing the Magnitude Frequency for Earthquakes. *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* Vol. 13, pp. 99-103.
- Wahyuni, Dewi, Putrou Keumala Intan, Novita Hendrastuti. 2020. Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi pada Wilayah Jawa Timur Menggunakan Relasi Gutenberg-Richter. *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*. Vol. 1, No.1.
- Wandono. 2004. Analisis Hubungan Frekuensi-Magnitudo Gempa Bumi Di Bali Dan Sekitarnya. *Jurnal Matematika Dan Sains*. Vol. 9, No. 3.

