

PENENTUAN TINGKAT SEISMISITAS WILAYAH PROPINSI ACEH DENGAN METODE GUTENBERG RICHTER (NILAI A DAN NILAI B)

DETERMINATION OF SEISMICITY LEVEL FOR THE ACEH REGION USING GUTENBERG RICHTER METHOD (A-VALUE AND B-VALUE)

Erni Lusiani¹, Samsul Anwar^{2*}, Muhammad Fahmi Nugraha³

^{1,2} Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Jl. T. Nyak Arief. Kopelma Darussalam, Banda Aceh 23111

³ Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I, No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720

*E-mail: samsul.anwar@unsyiah.ac.id

Naskah masuk: 26 Januari 2018; Naskah diperbaiki: 28 Agustus 2018; Naskah diterima: 11 Maret 2019

ABSTRAK

Provinsi Aceh merupakan salah satu wilayah yang berlokasi di zona subduksi aktif sehingga menyebabkan wilayah tersebut sering mengalami gempa bumi. Penelitian ini bertujuan menentukan tingkat seismisitas wilayah Aceh menggunakan metode *Gutenberg Richter*. Nilai parameter dari hubungan antara frekuensi dengan magnitudo gempa bumi ($\log N = a - bM$) diestimasi dengan metode statistik *least square*, yang kemudian digunakan untuk menghitung indeks seismisitas, periode ulang gempa bumi, dan tingkat resiko gempa bumi di wilayah Aceh. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dataset kejadian gempa bumi di wilayah Aceh dari bulan Januari 1929 sampai dengan bulan Desember 2017 yang secara geografis terletak pada $2,0^{\circ} - 6,0^{\circ}$ LU dan $98,0^{\circ} - 92,0^{\circ}$ BT dengan magnitudo > 1 dan kedalaman ≤ 60 km. Wilayah penelitian dibagi menjadi 24 grid dengan ukuran $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Hasil analisis data menunjukkan bahwa wilayah Aceh memiliki tingkat seismisitas yang tinggi, diindikasikan dengan nilai a yang bervariasi dari 2,07 sampai dengan 7,31 dan nilai b yang bervariasi dari 0,40 sampai dengan 1,22. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa Aceh Singkil merupakan wilayah yang memiliki tingkat resiko terjadinya gempa bumi yang paling besar untuk magnitudo $M \geq 7$, $M \geq 8$, dan $M \geq 9$ dengan lama waktu ulang masing-masing 23,6; 65,6; dan 182,6 tahun.

Kata kunci: *gutenberg richter*, hubungan frekuensi dan magnitudo, metode *least square*, nilai a , nilai b

ABSTRACT

Aceh Province is one of the regions located in active subduction zones, causing the region to experience frequent earthquakes. This study focuses to determine the seismicity level for the Aceh region using the Gutenberg Richter method. The parameter values of the relationship between frequency and magnitude of earthquakes ($\log N = a - bM$) was estimated using statistical least square method, which was then used to calculate seismicity index, recurrence interval of earthquakes, and earthquake risk level for the Aceh Region. The data used in this study is the earthquake dataset collected from January 1929 to December 2017 that located at $2.0^{\circ} - 6.0^{\circ}$ LU and $98.0^{\circ} - 92.0^{\circ}$ BT with magnitudes > 1 and depth ≤ 60 km. The research area is divided into 24 grids with size of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. The analysis results show that the Aceh region has a high seismicity level, indicated by a-value that varies from 2.07 to 7.31 and b-value that varies from 0.40 to 1.22. The study also shows that Aceh Singkil has the largest earthquake risk level for $M \geq 7$, $M \geq 8$, and $M \geq 9$ with recurrence interval of 23.6, 65.6, and 182.6 years respectively.

Keywords: *a-value, b-value, gutenberg richter, least square method, relationships of the frequency and magnitude*

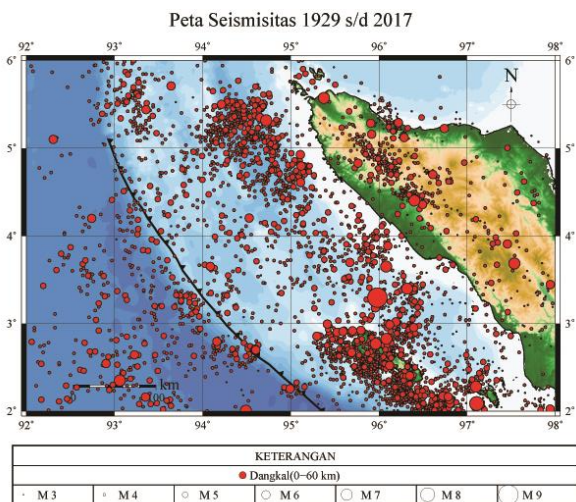
1. Pendahuluan

Secara geografis wilayah Aceh terletak pada $2,0^{\circ} - 5,0^{\circ}$ LU dan $92,0^{\circ} - 97,0^{\circ}$ BT [1]. Posisi ini bertepatan dengan bertemunya dua lempeng, yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, sehingga wilayah Aceh berada pada zona subduksi. Lempeng Indo-Australia bergerak dari arah selatan ke utara,

sedangkan lempeng Eurasia bergerak berlawanan dengan lempeng Indo-Australia sehingga kedua lempeng membentuk gerakan yang konvergen (saling mendekati satu dengan yang lain). Selain itu, Aceh juga berada pada zona patahan atau biasa disebut sesar. Sesar yang berada di wilayah Aceh merupakan bagian dari sesar Sumatra yang membentang sepanjang 1.900 Km di bagian barat

pulau Sumatra. Sesar Sumatra terdiri dari 19 Segmen dengan panjang tiap segmen sekitar 35-200 Km [2].

Zona subduksi dan sesar Sumatra ini menyebabkan daerah Aceh menjadi daerah yang aktif mengalami kejadian gempa bumi. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya kejadian gempa bumi yang tercatat oleh *United States Geological Survey* (USGS) dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di mana selama rentang waktu 89 tahun (dari tahun 1929 sampai 2017) tercatat 4.361 kejadian gempa bumi. Gempa bumi yang tercatat tersebut memiliki magnitudo ≥ 1 dengan kedalaman dangkal yaitu ≤ 60 Km. Sebaran kejadian gempa bumi dalam rentang waktu tersebut disajikan pada Gambar 1. Besarnya kekuatan gempa bumi yang terjadi ditunjukkan oleh luasnya lingkaran, sedangkan warna merah menunjukkan bahwa gempa bumi tersebut tergolong kedalam gempa bumi dangkal (kedalaman ≤ 60 km).



Gambar 1. Peta sebaran gempa bumi Aceh tahun 1929-2017. Sumber Data: USGS dan BMKG

Pada dasarnya gempa bumi disebabkan karena deformasi secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya gaya (*stress/ strain*) yang bekerja padanya. Deformasi berupa pergerakan lempeng bumi menyebabkan bencana yang berupa rekahan tanah, getaran tanah, gerakan tanah, dan lain sebagainya [3]. Pada tanggal 26 Desember 2004, gempa bumi dengan kekuatan 9 Skala Richter di kedalaman 30 Km sebelah barat daya Provinsi Aceh telah membangkitkan gelombang tsunami dengan kecepatan awal sekitar 700 km/jam. Gelombang tersebut menjalar ke segala arah dari pusat tsunami dan menyapu wilayah Aceh dan Sumatra Utara dengan kecepatan antara 15 - 40 km/jam dan tinggi gelombang mencapai 2 hingga 48 meter. Korban jiwa pada peristiwa tsunami tersebut mencapai 250.000 orang lebih [4].

Provinsi Aceh merupakan salah satu daerah yang rawan bencana gempa bumi di Indonesia. Setiap tahunnya, rata-rata terjadi 49 kali gempa bumi dengan magnitudo yang beragam.

Identifikasi dan estimasi resiko terjadinya gempa bumi dengan kekuatan merusak pada masa yang akan datang perlu dilakukan sebagai upaya mitigasi bencana untuk meminimalisir dampak bencana alam tersebut. Salah satu upaya mitigasi bencana tersebut adalah melalui pembuatan peta wilayah yang menunjukkan tingkat resiko terjadinya bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

Studi seismisitas merupakan upaya prediksi gempa bumi dengan cara mengamati fenomena dan prekursor gempa, serta menyelidiki karakteristik dan aktivitas parameter seismik yang dapat digunakan sebagai ukuran tingkat kegempaan suatu daerah [5]. Terdapat beberapa penelitian mengenai seismisitas di Indonesia. Sebah, Raharjo, dan Dewi menggunakan data seismisitas sebagai upaya memetakan tingkat resiko bencana gempa bumi yang dapat terjadi di daerah Banyumas, Jawa Tengah [6]. Harimei, Massinai dan Mustakin melakukan analisis tingkat seismisitas di wilayah Sulawesi Utara [7]. Sedangkan Imani dan Melasari melakukan estimasi seismisitas di wilayah Sumatra sebagai bagian dari upaya mitigasi resiko bencana gempa bumi di wilayah tersebut [5].

Sejalan dengan penelitian - penelitian tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat seismisitas gempa bumi di wilayah Provinsi Aceh menggunakan metode *Gutenberg Richter*. Tingkat kerapuhan batuan dapat digunakan untuk menentukan periode ulang dan tingkat resiko gempa bumi di wilayah Aceh. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai aktifitas gempa bumi di wilayah Aceh yang dapat digunakan sebagai bahan kajian bagi pemerintah dalam upaya memberikan pelayanan berupa perlindungan kepada masyarakat dari bahaya bencana gempa bumi pada masa yang akan datang.

2. Metode dan Data Penelitian

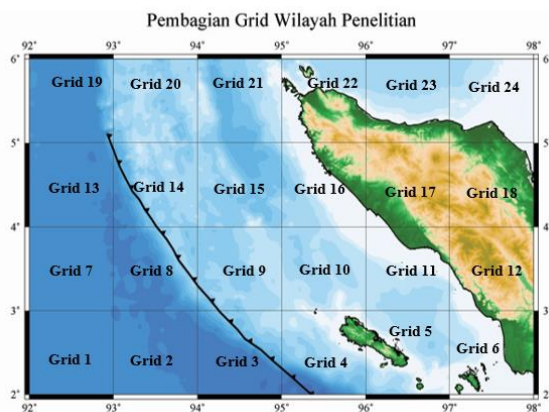
Penelitian ini menggunakan data gempa bumi yang terjadi di wilayah Aceh sejak tanggal 1 Januari 1929 hingga Juli 2017 dengan magnitudo > 1 dan kedalaman ≤ 60 Km. Data diperoleh dari dua sumber, yaitu USGS (1 Januari 1928 - 31 Desember 2008) dan BMKG (1 Januari 2009 - 31 Juli 2017). Wilayah Aceh terletak pada $2,0^{\circ}$ - $6,0^{\circ}$ LU dan $92,0^{\circ}$ - $98,0^{\circ}$ BT. Dalam penelitian ini, wilayah tersebut dibagi menjadi 24 grid dengan ukuran $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

Pembagian wilayah dengan ukuran grid $1^\circ \times 1^\circ$ dilakukan untuk mempersempit ukuran wilayah pengamatan, sehingga hasil analisa yang diperoleh menjadi lebih akurat. Tabel 1 menunjukkan batasan untuk setiap grid yang menjadi wilayah penelitian.

Tabel 1. Lintang dan bujur 24 grid penelitian

Grid	(°) BT	(°) LU	Grid	(°) BT	(°) LU
1	92,5	2,5	13	92,5	4,5
2	93,5	2,5	14	93,5	4,5
3	94,5	2,5	15	94,5	4,5
4	95,5	2,5	16	95,5	4,5
5	96,5	2,5	17	96,5	4,5
6	97,5	2,5	18	97,5	4,5
7	92,5	3,5	19	92,5	5,5
8	93,5	3,5	20	93,5	5,5
9	94,5	3,5	21	94,5	5,5
10	95,5	3,5	22	95,5	5,5
11	96,5	3,5	23	96,5	5,5
12	97,5	3,5	24	97,5	5,5

Pembagian grid tersebut juga dapat ditampilkan pada Gambar 2.



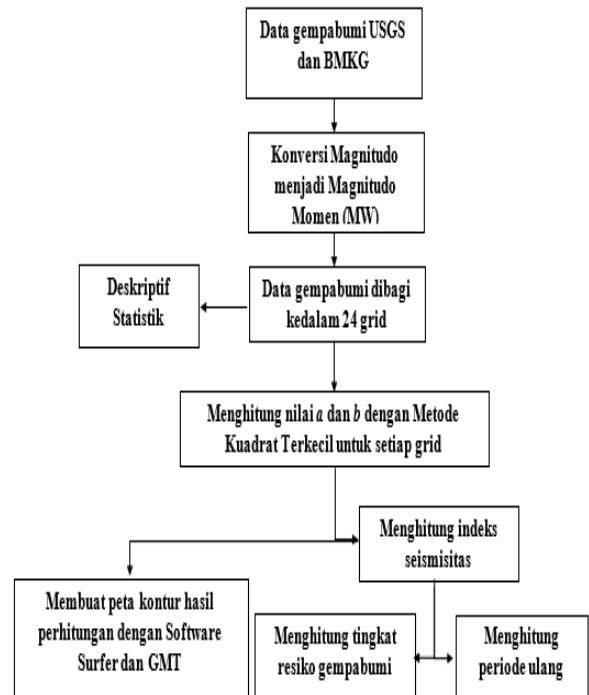
Gambar 2. Pembagian wilayah Aceh menjadi 24 grid

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuadrat Terkecil (*Least Square*) untuk mengevaluasi pengaruh magnitudo terhadap frekuensi pada Pers. (4).

Secara umum, analisa data dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 bagian utama, yaitu:

1. Menghitung jumlah kejadian gempabumi untuk setiap magnitudo yang dianalisis pada setiap wilayah grid penelitian
2. Mengestimasi nilai parameter a dan b dari setiap wilayah grid penelitian
3. Menghitung indeks seismisitas gempabumi dari setiap wilayah grid penelitian
4. Membuat peta kontur hasil perhitungan pada langkah 3
5. Menghitung periode ulang dan tingkat resiko gempabumi dari setiap wilayah grid penelitian.

Diagram proses pengolahan data dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alur penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa *software* diantaranya adalah Microsoft Excel 2013, Google Earth, Surfer 10, GMT, serta *software R* versi 3.3.3.

Gempabumi. Gempabumi diartikan sebagai peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi [8]. Gempabumi berhubungan dengan kegiatan gaya tektonik yang terus berlangsung dalam proses pembentukan gunung-gunung, terjadinya patahan batuan, tarikan, dan tekanan dari pergerakan lempeng penyusung kerak bumi [9].

Terdapat beberapa macam skala kekuatan gempabumi yang sering digunakan yaitu: magnitudo *body* (M_b), magnitudo momen (M_w), magnitudo gelombang permukaan (M_s), dan magnitudo lokal (M_l). Dalam penelitian ini, skala M_b , M_s dan M_l dapat dikonversi menjadi skala M_w dengan menggunakan Pers. (1), (2) dan (3) berikut [10]:

$$M_w = 0,7813M_b + 1,5175 \quad (1)$$

$$M_w = 0,6960M_l + 1,7738 \quad (2)$$

$$M_w = 1,2690M_s - 1,0436 \quad (3)$$

Tingkat Seismisitas, periode ulang dan tingkat resiko gempabumi. Metode *Gutenberg Richter* merupakan metode yang ditemukan oleh B. Gutenberg dan C.F Richter pada tahun 1939 [11].

Metode ini menjelaskan hubungan antara jumlah gempabumi, N , dengan magnitudo M pada daerah tertentu yang dinyatakan dengan Pers. (4) berikut:

$$\text{Log } Ni (M \geq M_0) = a_i - b_i M_0 \quad (4)$$

Dimana :

- N_i : Jumlah gempabumi pada wilayah i dengan magnitudo tertentu
- M : Magnitudo batas atas yang diujikan
- M_0 : Magnitudo batas bawah yang diujikan
- a_i : Suatu tetapan yang besarnya tergantung pada periode, luas daerah dan aktivitas daerah pengamatan pada wilayah i .
- b_i : Parameter seismotektonik suatu daerah tempat terjadi gempabumi dan tergantung dari sifat batuan pada wilayah i [12].

Untuk menghitung besarnya nilai a dan b pada Pers. (4) tersebut dapat digunakan metode Kuadrat Terkecil (*Least Square Method*). Parameter a dan b dapat diestimasi melalui Pers. (5) dan (6) berikut:

$$b = \frac{n \sum (X_i Y_i) - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (5)$$

$$a = \frac{n \sum Y_i - b \sum X_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (6)$$

Dimana:

- n : Banyaknya data observasi
- x_i : Variabel bebas atau *prediktor*
- y_i : Variabel terikat atau respon

Parameter a dan b yang telah diestimasi dapat digunakan untuk menghitung indeks seismisitas gempabumi. Indeks seismisitas gempabumi tersebut dapat dihitung dengan Pers. (7) berikut:

$$Ni (M \geq M_0) = 10^{(a_i - \log(b_i \ln 10) - \log \Delta t - b_i M_0)} \quad (7)$$

Dengan:

- $N_i (M \geq M_0)$: Indeks seismisitas untuk gempabumi dengan magnitudo $M \geq M_0$ pada wilayah i
- Δt : Interval waktu pengamatan [13]

Indeks seismisitas yang diperoleh dari Pers. (4) dapat digunakan untuk menentukan periode ulang. Periode ulang gempabumi adalah waktu perulangan gempa yang pernah terjadi dengan kekuatan yang sama di suatu daerah tertentu dan nilainya dapat dihitung dengan menggunakan Pers. (8) berikut:

$$\theta_i (M \geq M_0) = \frac{1}{Ni (M \geq M_0)} \quad (8)$$

Dengan:

- $\theta_i (M \geq M_0)$: Periode ulang untuk gempa dengan magnitudo ($M \geq M_0$) pada wilayah i [13]

Selain periode ulang, indeks seismisitas juga dapat digunakan untuk menghitung tingkat resiko gempabumi. Tingkat resiko gempabumi merupakan kemungkinan terjadinya gempabumi di suatu daerah dalam periode tertentu (tahun) yang dihitung dalam bentuk persentase [11]. Tingkat resiko gempabumi dapat dihitung melalui Pers. (9) berikut:

$$P_i (M \geq M_0, T) = 1 - e^{-Ni (M \geq M_0) T} \quad (9)$$

Dengan:

- $P_i (M \geq M_0, T)$: Tingkat resiko gempabumi dengan magnitudo $M \geq M_0$ dengan periode waktu T pada wilayah i
- T : periode (tahun) [14].

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Deskriptif. Analisis deskriptif dapat memberikan gambaran umum mengenai data penelitian sehingga menjadi lebih informatif dan mudah dipahami. Berdasarkan data USGS dan BMKG dari tahun 1929 hingga 2017, jumlah kejadian gempabumi yang terjadi di wilayah Aceh adalah sebanyak 4.361 kejadian dengan perincian 2.656 kejadian merupakan data yang bersumber dari USGS dan 1.705 dari BMKG.

Berdasarkan analisis deskriptif, diketahui bahwa rata-rata magnitudo gempabumi yang terjadi di wilayah Aceh dari tahun 1929 hingga 2017 adalah sebesar 4,35 dengan rata-rata jumlah gempabumi yang terjadi setiap tahunnya sebanyak 49 gempa.

Menghitung Parameter a dan b Persamaan.

Hasil estimasi parameter a dan b dengan menggunakan metode *least square* pada setiap wilayah grid penelitian menghasilkan persamaan *linear* berupa pengaruh antara magnitudo terhadap frekuensi gempabumi. Persamaan linear untuk setiap wilayah grid penelitian tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa magnitudo gempabumi yang terjadi memiliki pengaruh yang negatif terhadap frekuensi kejadian gempabumi pada semua wilayah grid penelitian.

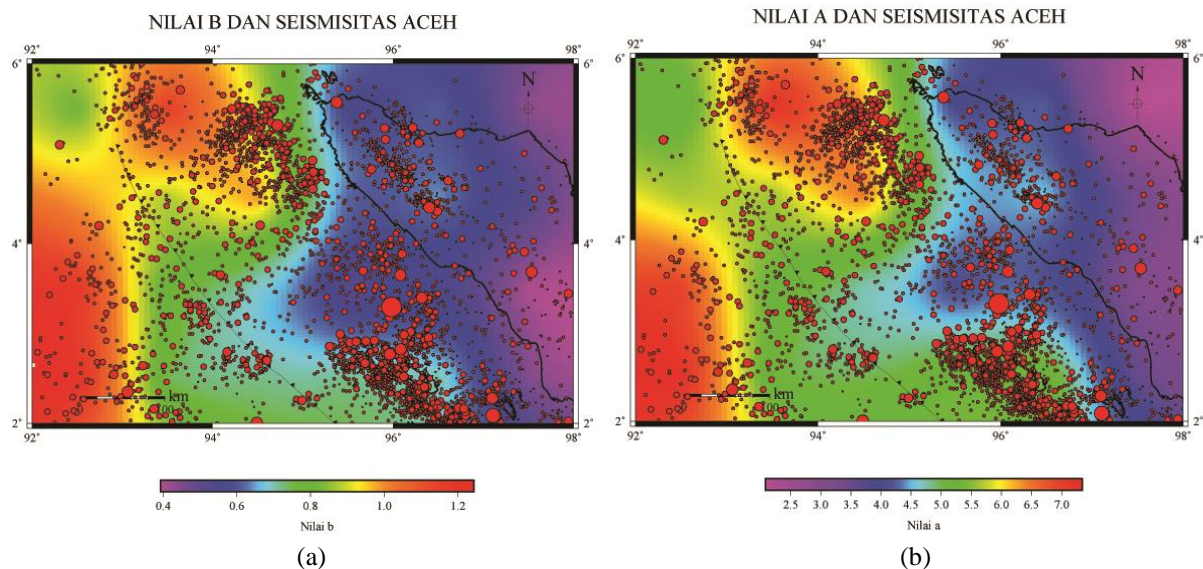
Sebagai contoh, pada grid 10, diperoleh persamaan linear $\text{Log } N = 4,0473 - 0,506 M$. Hal ini menunjukkan bahwa apabila magnitudo gempabumi yang terjadi di grid 10 naik sebesar satu satuan, maka nilai log frekuensi gempabumi ($\text{Log } N$) akan berkurang sebesar 0,506 satuan. Selanjutnya, apabila grid 10 tersebut memiliki magnitudo gempabumi yang bernilai nol, maka besar nilai log frekuensi gempabumi ($\text{Log } N$) adalah

sebesar 4,047 satuan. Demikian juga untuk hubungan antara magnitudo dengan frekuensi pada setiap grid wilayah penelitian lainnya. Persamaan *linear* pengaruh antara magnitudo terhadap frekuensi gempa bumi yang diperoleh pada Tabel 2 tersebut dapat digunakan untuk membuat peta kontur nilai *a* dan *b* di wilayah Provinsi Aceh. Gambar 4 merupakan peta kontur nilai *b* dan nilai *a* berdasarkan data gempa bumi yang terjadi di Aceh dari tahun 1929 - 2017. Kejadian gempa bumi ditampilkan dalam bentuk lingkaran merah dan gradasi warna menunjukkan variasi besaran nilai *a* dan *b* pada pada gambar tersebut.

Secara umum, interpretasi nilai *b* dan *a* pada peta kontur Gambar 4 dapat dijelaskan melalui Tabel 3 dan 4 [15]. Nilai *b* rendah dapat diinterpretasikan sebagai daerah *asperities* yaitu daerah yang memiliki konsentrasi stress tinggi dengan besar nilai *b* pada daerah *asperities* yaitu 0,4 – 0,7. Sedangkan daerah *creeping* yaitu daerah yang aktif mengalami slip dan tidak mengakumulasi stress dan memiliki nilai *b* tinggi. Dalam penelitian ini, nilai *b* yang diperoleh berkisar antara 0,40 sampai 1,22. Nilai tersebut secara umum lebih rendah dari nilai *b* di wilayah Sumatera secara keseluruhan yang berkisar antara 0,6 – 1,6 [5]. Sedangkan Nilai *a* yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 2,07 sampai 7,31. Wilayah Sumatera sendiri secara keseluruhan memiliki nilai *a* yang sedikit lebih tinggi yaitu berkisar antara 6 – 8 [5].

Tabel 2. Pengaruh Magnitudo terhadap Frekuensi tiap grid

Grid	(°) BT	(°) LU	Persamaan
1	92,5	2,5	Log N = 7,316 - 1,219 M
2	93,5	2,5	Log N = 5,057 - 0,744 M
3	94,5	2,5	Log N = 4,971 - 0,722 M
4	95,5	2,5	Log N = 5,323 - 0,722 M
5	96,5	2,5	Log N = 5,327 - 0,706 M
6	97,5	2,5	Log N = 3,568 - 0,444 M
7	92,5	3,5	Log N = 6,938 - 1,188 M
8	93,5	3,5	Log N = 5,204 - 0,775 M
9	94,5	3,5	Log N = 4,730 - 0,684 M
10	95,5	3,5	Log N = 4,047 - 0,506 M
11	96,5	3,5	Log N = 4,131 - 0,537 M
12	97,5	3,5	Log N = 3,064 - 0,401 M
13	92,5	4,5	Log N = 5,656 - 0,988 M
14	93,5	4,5	Log N = 5,626 - 0,874 M
15	94,5	4,5	Log N = 6,457 - 0,985 M
16	95,5	4,5	Log N = 4,564 - 0,616 M
17	96,5	4,5	Log N = 4,540 - 0,644 M
18	97,5	4,5	Log N = 3,441 - 0,521 M
19	92,5	5,5	Log N = 5,025 - 0,812 M
20	93,5	5,5	Log N = 7,226 - 1,149 M
21	94,5	5,5	Log N = 6,209 - 0,904 M
22	95,5	5,5	Log N = 3,982 - 0,554 M
23	96,5	5,5	Log N = 4,210 - 0,607 M
24	97,5	5,5	Log N = 2,074 - 0,432 M



Gambar 4. Peta kontur nilai *b* dan nilai *a* dengan kejadian gempa bumi Aceh tahun 1929-2017

Tabel 3. Interpretasi nilai *b*

Grid	Kriteria Nilai <i>b</i>	Keterangan
6, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23, dan 24	$0,4 \geq \text{nilai } b < 0,7$ (rendah)	<ul style="list-style-type: none"> Daerah ini merupakan daerah <i>asperities</i> yaitu daerah yang memiliki konsentrasi stress tinggi. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang kecil untuk magnitudo kecil. Daya tahan batuan terhadap stress besar, menyimpan lokal stress yang cukup tinggi atau sedang berlangsung akumulasi stress dan berpotensi terjadi gempabumi besar yang akan datang. Bersifat <i>ductile</i> (apabila sudah mencapai batas elastis maka tidak ada lagi perubahan bentuk) hingga akhirnya patah. Memiliki gempabumi yang cukup besar dan berpotensi merusak ≥ 6.
1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 19, 20, dan 21	nilai <i>b</i> $\geq 0,7$ (tinggi)	<ul style="list-style-type: none"> Daerah ini merupakan daerah <i>creeping</i> yaitu daerah yang memiliki konsentrasi stress rendah. Memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang besar untuk magnitudo kecil. Daya tahan batuan terhadap stress kecil, tidak sedang berlangsung akumulasi stress sehingga apabila terdapat sedikit stress langsung terjadi gempabumi dengan magnitudo kecil. Bersifat <i>brittle</i> atau rapuh (apabila mendapat stress langsung patah tanpa perubahan bentuk).

Tabel 4. Interpretasi nilai *a*

Grid	Kriteria nilai <i>a</i>	Keterangan
2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 23, dan 24	nilai <i>a</i> < 6 (rendah)	<ul style="list-style-type: none"> Wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang rendah dan juga berpotensi terjadi gempabumi besar. Hal ini dikarenakan kondisi stress lokal yang tinggi pada daerah tersebut dan adanya akumulasi energi (<i>asperity</i>).
1, 7, 15, 20 dan 21	nilai <i>a</i> ≥ 6 (tinggi)	<ul style="list-style-type: none"> Nilai <i>a</i> yang besar menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan tidak terjadi akumulasi energi, sehingga gempa yang terjadi banyak dan berkekuatan kecil.

Tabel 5. Hasil perhitungan indeks seismisitas dengan $M \geq 5$

Grid	(°) BT	(°) LU	$N_i (M \geq 5)$	$N_i (M \geq 6)$	$N_i (M \geq 7)$	$N_i (M \geq 8)$	$N_i (M \geq 9)$
1	92,5	2,5	0,488	0,029	0,001	0,0001	0,00001
2	93,5	2,5	0,903	0,162	0,029	0,005	0,00095
3	94,5	2,5	0,286	0,054	0,010	0,001	0,00037
4	95,5	2,5	0,632	0,119	0,022	0,004	0,00082
5	96,5	2,5	0,625	0,122	0,024	0,004	0,00093
6	97,5	2,5	0,328	0,118	0,042	0,015	0,00548
7	92,5	3,5	0,303	0,019	0,001	0,00008	0,00001
8	93,5	3,5	0,132	0,022	0,003	0,0006	0,00010
9	94,5	3,5	0,418	0,086	0,017	0,003	0,00077
10	95,5	3,5	0,330	0,103	0,032	0,010	0,00314
11	96,5	3,5	0,486	0,141	0,040	0,011	0,00344
12	97,5	3,5	0,149	0,059	0,023	0,009	0,00369
13	92,5	4,5	0,162	0,016	0,001	0,0001	0,00002
14	93,5	4,5	0,144	0,019	0,002	0,0003	0,00005
15	94,5	4,5	0,168	0,017	0,001	0,0001	0,00002
16	95,5	4,5	0,314	0,075	0,018	0,004	0,00107
17	96,5	4,5	0,168	0,038	0,008	0,001	0,00044
18	97,5	4,5	0,064	0,019	0,005	0,001	0,00053
19	92,5	5,5	0,203	0,031	0,004	0,0007	0,00011
20	93,5	5,5	0,140	0,009	0,0007	0,00005	0,0000035
21	94,5	5,5	0,286	0,035	0,004	0,0005	0,00007
22	95,5	5,5	0,174	0,048	0,013	0,003	0,00106
23	96,5	5,5	0,196	0,048	0,012	0,002	0,00073
24	97,5	5,5	0,082	0,030	0,011	0,004	0,00153

Menghitung Indeks Seismisitas gempabumi. Indeks seismisitas merupakan nilai yang menggambarkan jumlah total kejadian gempabumi dalam waktu satu tahun dengan magnitudo lebih besar dari magnitudo awal pada suatu daerah pengamatan [13]. Jumlah total gempabumi yang terjadi dalam waktu satu tahun untuk setiap grid wilayah penelitian dengan $M \geq 5$, $M \geq 6$, $M \geq 7$, $M \geq 8$, dan $M \geq 9$ di wilayah Aceh ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa jumlah kejadian gempabumi terbanyak yang terjadi dalam rentang waktu satu tahun dengan magnitudo ≥ 5 berada pada grid 2 yaitu sebesar 0,903. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada grid 2 terjadi sekitar 1 kali gempabumi dengan $M \geq 5$ untuk setiap tahunnya. Selanjutnya, jumlah kejadian gempabumi terbanyak yang terjadi dalam periode satu tahun dengan magnitudo lebih besar dari 6 juga berada pada grid 2, sedangkan untuk magnitudo lebih besar dari 7, 8 dan 9 berada pada grid 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan periode ulang $M \geq 5$ sampai $M \geq 9$ (tahun)

Grid	(°) BT	(°) LU	$\theta (M \geq 5)$	$\theta (M \geq 6)$	$\theta (M \geq 7)$	$\theta (M \geq 8)$	$\theta (M \geq 9)$
1	92,5	2,5	2,0	34,0	563,4	9349,6	155.146,7
2	93,5	2,5	1,1	6,1	34,1	189,3	1.050,6
3	94,5	2,5	3,5	18,4	97,3	513,6	2.710,6
4	95,5	2,5	1,6	8,3	44,0	232,1	1.224,9
5	96,5	2,5	1,6	8,1	41,5	211,0	1.074,5
6	97,5	2,5	3,0	8,5	23,6	65,6	182,6
7	92,5	3,5	3,3	50,8	782,4	12.060,7	185.904,0
8	93,5	3,5	7,5	44,9	268,1	1.600,3	9.553,6
9	94,5	3,5	2,4	11,5	55,8	269,4	1.301,4
10	95,5	3,5	3,0	9,7	31,1	99,5	318,6
11	96,5	3,5	2,1	7,1	24,4	84,3	290,7
12	97,5	3,5	6,7	16,9	42,6	107,4	271,0
13	92,5	4,5	6,1	59,9	583,0	5.676,2	55.268,5
14	93,5	4,5	6,9	51,8	387,7	2.901,3	21.713,5
15	94,5	4,5	5,9	57,3	553,6	5.348,9	51.680,5
16	95,5	4,5	3,2	13,2	54,6	226,1	936,4
17	96,5	4,5	5,9	26,3	115,9	511,6	2.258,3
18	97,5	4,5	15,6	51,8	172,1	571,3	1.897,1
19	92,5	5,5	4,9	31,9	207,1	1.345,6	8.744,4
20	93,5	5,5	7,1	100,4	1.416,6	19.986,7	281.985,7
21	94,5	5,5	3,5	28,0	224,9	1.803,9	14.469,3
22	95,5	5,5	5,7	20,6	73,7	264,2	946,8
23	96,5	5,5	5,1	20,6	83,3	337,6	1.368,0
24	97,5	5,5	12,2	32,9	89,1	241,2	652,6

Menghitung periode ulang dan resiko gempabumi. Periode ulang gempabumi di suatu wilayah dapat dihitung menggunakan indeks seismisitas gempabumi di wilayah tersebut dengan Pers. (5). Tabel 6 menunjukkan periode ulang gempabumi dengan $M \geq 5$ sampai $M \geq 9$ untuk masing-masing grid wilayah penelitian di daerah Aceh. Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa wilayah grid 2 memiliki periode ulang tersingkat untuk gempabumi dengan magnitudo lebih dari 5 dan 6 yaitu masing-masing selama 1,1 tahun dan 6,1 tahun. Dengan kata lain, gempabumi dengan kekuatan $M \geq 5$ di grid 2 akan terjadi lagi dalam kurun waktu 1,1 tahun setelah gempabumi dengan magnitudo lebih dari 5 terjadi di wilayah tersebut. Sedangkan grid 6 memiliki periode ulang tersingkat untuk gempabumi dengan magnitudo lebih dari 7, 8 dan 9 yaitu secara berurutan selama 23,6 tahun, 65,6 tahun dan 182,6 tahun. Sebagai tambahan, periode ulang gempabumi dengan magnitudo lebih

dari 9 di wilayah grid 10 yang merupakan lokasi episenter gempabumi Aceh tanggal 26 Desember 2004 adalah selama 318,6 tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa gempabumi dengan magnitudo lebih dari 9 akan terjadi kembali disekitar wilayah tersebut dalam kurun waktu 318,6 tahun setelah hari kejadian.

Selain itu, indeks seismisitas juga dapat digunakan untuk menghitung tingkat resiko gempabumi dengan menggunakan Pers. (6). Tingkat resiko gempabumi merupakan besaran kemungkinan terjadinya gempabumi di suatu daerah dalam periode tertentu (tahun) yang dihitung dalam bentuk persentase. Tabel 7 menyajikan daftar 25% grid yang memiliki tingkat resiko terbesar terjadinya gempabumi untuk magnitudo ≥ 6 , $M \geq 7$, $M \geq 8$, $M \geq 9$ di wilayah Aceh.

Tabel 7. Daftar 25% grid yang memiliki tingkat resiko tertinggi terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun (%)

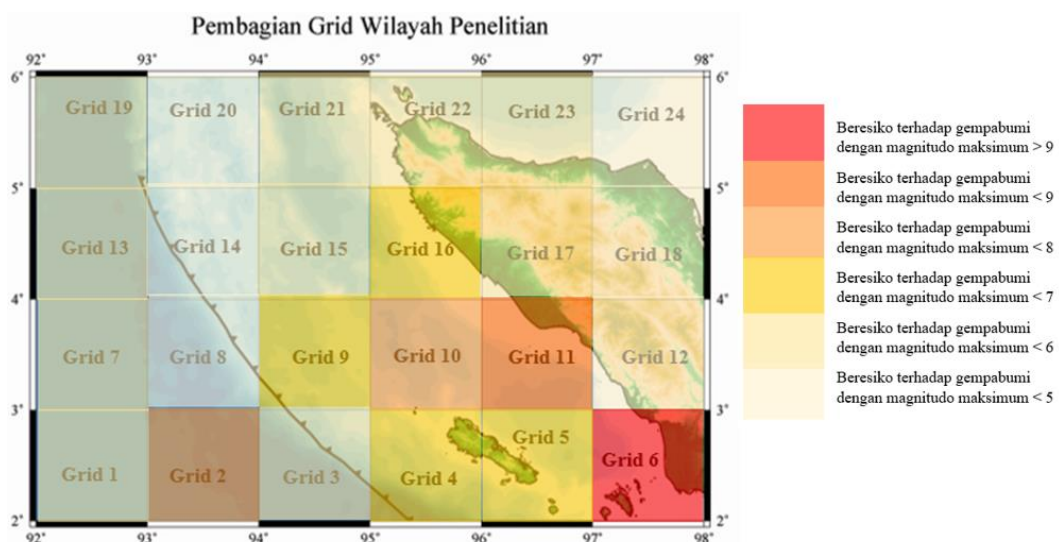
Grid	M ≥ 6	Grid	M ≥ 7	Grid	M ≥ 8	Grid	M ≥ 9
2	96,14	Grid 2	44,4	Grid 6	26,27	Grid 6	10,37
4	90,91	Grid 6	57,19	Grid 11	21,12		
5	91,43	Grid 10	47,49				
6	90,57	Grid 11	55,89				
9	82,32						
10	94,06						
11	94,06						
16	78,07						

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa terdapat 8 grid yang merupakan 25% dari jumlah grid dengan tingkat resiko terjadinya gempabumi terbesar untuk magnitudo ≥ 6 yaitu grid 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11 dan 16. Tingkat resiko gempabumi dengan magnitudo ≥ 6 dalam periode 20 tahun untuk kedelapan grid tersebut berada pada interval 78,07 – 96,14%. Selanjutnya, untuk gempabumi dengan magnitudo ≥ 7 , 25% grid yang memiliki resiko terbesar untuk terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun adalah grid 2, 6, 10, dan 11. Untuk gempabumi dengan magnitudo ≥ 8 , 25% grid yang memiliki resiko terbesar untuk terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun adalah grid 6 dan 11. Sedangkan untuk gempabumi dengan magnitudo ≥ 9 , grid yang memiliki resiko tertinggi untuk terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun adalah grid 6. Sebagai tambahan, hampir semua grid di wilayah Aceh memiliki potensi lebih dari 75% untuk terjadinya gempabumi dengan magnitudo ≥ 5 dalam periode 20 tahun, kecuali grid 8, 12, 14, 18, 20 dan 24.

Tingkat resiko gempabumi tersebut divisualisasikan dalam Gambar 5. Gradiasi warna menunjukkan tingkat perbedaan resiko terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun tersebut. Semakin pekat

gradasi warna, maka akan semakin tinggi resiko akan terjadinya gempabumi di wilayah tersebut.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa grid ke-6 (warna merah) merupakan wilayah yang memiliki resiko paling besar untuk terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun. Wilayah tersebut termasuk dalam 25% grid yang memiliki tingkat resiko tertinggi untuk terjadi gempabumi dengan kekuatan merusak mulai dari gempabumi dengan kekuatan $M \geq 5$ sampai dengan $M \geq 9$ dalam periode 20 tahun. Selanjutnya, grid 11 memiliki tingkat resiko terbesar kedua untuk terjadinya gempabumi dalam periode 20 tahun, karena wilayah tersebut termasuk dalam 25% grid yang memiliki tingkat resiko tertinggi untuk terjadi gempabumi dengan magnitudo ≥ 5 sampai dengan magnitudo < 9 dalam periode 20 tahun. Grid lain yang juga beresiko besar adalah grid ke 2 dan 10 karena kedua wilayah tersebut merupakan wilayah yang memiliki resiko tinggi untuk terjadinya gempabumi dengan kekuatan $M \geq 5$ sampai dengan $M < 8$. Sedangkan wilayah yang relatif aman dari ancaman gempabumi besar dan merusak dalam periode 20 tahun kedepan adalah grid 8, 12, 14, 18, 20, dan 24.



Gambar 5. Pembagian wilayah Aceh berdasarkan tingkat resiko gempabumi dalam periode 20 tahun

4. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan tingkat seismisitas gempabumi di wilayah Provinsi Aceh dengan menggunakan metode *Gutenberg Richter*. Tingkat seismisitas tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi periode ulang dan tingkat resiko gempabumi di wilayah Aceh. Wilayah yang berada dalam grid 1, 7, 15, 20, dan 21 merupakan wilayah yang memiliki tingkat seismisitas tinggi, ditandai dengan nilai a yang tinggi (≥ 6) dan sering mengalami gempabumi dengan kekuatan relatif kecil. Sedangkan wilayah yang berada pada grid 6, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23, dan 24 merupakan wilayah dengan tingkat kerapuhan batuan yang rendah yang ditandai oleh nilai b kategori rendah (< 0.7) sehingga memiliki frekuensi rata-rata kejadian gempa yang sedikit untuk magnitudo yang kecil. Namun demikian, wilayah ini memiliki potensi pelepasan energi gempabumi yang besar apabila akumulasi tekanan pada lapisan batuan sudah tidak mampu tertahan. Grid 6 yang merupakan wilayah Aceh Singkil adalah wilayah dengan periode ulang tersingkat untuk gempabumi dengan $M \geq 7$, $M \geq 8$, dan $M \geq 9$ yaitu masing-masing selama 23,6; 65,6; dan 182,6 tahun. Grid 6, 11, 10 dan 2 merupakan wilayah yang memiliki resiko yang besar akan terjadinya gempabumi dengan kekuatan merusak ($M \geq 5$) dalam periode 20 tahun.

Daftar Pustaka

- [1] BPS Aceh, *Provinsi Aceh Dalam Angka*, Banda Aceh: BPS Aceh, 2017.
- [2] S. Kerry and D. Natawidjaja, "Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia", *Geophysical Research*, vol. 105 (B12), pp. 28.295-28.326, 2000.
- [3] D. Noor, *Pengantar Geologi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [4] Badan Geologi, *Gempabumi dan Tsunami*, Bandung: Badan Geologi, 2015.
- [5] R. Imani dan J. Melasari, "Estimasi Seismisitas

Sumatera Sebagai Upaya Mitigasi Resiko Gempa", *Prosiding Seminar Nasional: Gempa Sumatera Utara: Resiko dan Antisipasinya*, 2017.

- [6] Sehat, S. A. Raharjo dan R. Dewi, "Pemanfaatan Data Seismisitas untuk Memetakan Tingkat Resiko Bencana Gempabumi di Kawasan Eks-Karesidenan Banyumas Jawa Tengah", *Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II*, 2012.
- [7] B. Harimei, M. A. Massinai dan Mustakin, "Analisis Seismisitas Pada Daerah Sulewesi Utara", *Geocelbes*, vol.1 (2), pp. 53-61, 2017.
- [8] InaTEWS BMKG, "Tentang Gempabumi", Internet: <http://inatews.bmkg.go.id/>, diakses 29 Juli 2017.
- [9] A. Mulyo, *Pengantar Ilmu Kebumihan*, Bandung: CV Pustaka Setia, 2008.
- [10] J. Suckale, G. Grunthal, M. Regnier, and C. Bosse, "Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Vanuatu", *Scientific Technical Report STR 05/16*, pp. 1-66, 2002.
- [11] B. Gutenberg and C. F. Richter, "Frequency of earthquake in California", *Seismol. Soc.Am.*, vol. 34, pp. 185 – 188, 1944.
- [12] T. Fachriyeni, *Analisa Statistik Tingkat Seismisitas Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam Dan Sekitarnya Periode 1908-2008*, Tangerang: Akademi Meteorologi dan Geofisika, 2009.
- [13] A. A. Rusdin, *Analisa Statistik Seismisitas Sulawesi Selatan dan Sekitarnya (Tahun 1938 – 2008)*, Tangerang: Akademi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta, 2009.
- [14] U. Chasanah, Madlazim, dan T. Prastowo, "Analisis Tingkat Seismisitas Dan Periode Ulang Gempa Bumi di Sumatera Barat Pada Periode 1961-2010", *J. Fisika*, vol.2 (2), pp. 1-5, 2013.
- [15] S. Wiemer and M. Wyss, "Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times?", *Geophysical Research*, vol. 102 (B7), pp. 15.115-15.128, 1997.