

Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi pada Wilayah Jawa Timur Menggunakan Relasi Gutenberg – Richter

Dewi Wahyuni¹, Putroue Keumala Intan², Novita Hendrastuti³

¹UIN Sunan Ampel Surabaya, dewiwahyuni544@gmail.com

²UIN Sunan Ampel Surabaya, putroue@uinsby.ac.id

³BMKG Stasiun Geofisika Kelas II Tretes, vita162@gmail.com

Abstrak: Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung berapi dan menjadi wilayah yang rawan terjadi gempa bumi maupun tsunami. Menurut catatan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa pulau Jawa merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi. Dampak dari gempa bumi yang terjadi dapat diminimalisir dengan melakukan pengkajian karakteristik gempa bumi di suatu daerah sebagai bentuk mitigasi bencana. Salah satu bentuk pengkajian tersebut adalah dengan melakukan analisis seismotektonik sebagai indikator potensi gempa bumi di Indonesia. Analisis yang dilakukan adalah dengan analisa statistika nilai tingkat seismik (a) dan nilai tingkat kerapuhan batuan (b). Pada penelitian ini dilakukan analisis seismotektonik dan periode ulang gempa bumi pada wilayah Jawa Timur dengan relasi Gutenberg-Richter dengan membagi menjadi 8 wilayah penelitian. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa wilayah III merupakan wilayah yang memiliki risiko terjadi gempa cukup tinggi, dan wilayah V merupakan daerah dengan risiko gempa yang rendah.

Kata kunci: *Gutenberg-Richter, Sismotektonik, Gempa Bumi, Likelihood Estimation, b-value*

Abstract: *Indonesia is located at the confluence of three tectonic plates which have caused Indonesia to have many volcanoes and become an area prone to earthquakes or tsunamis. According to the Center for Volcanology and Geological Disaster Mitigation (PVMBG) records, the Department of Energy and Mineral Resources shows that Java is one of the regions in Indonesia that is prone to earthquakes. The impact of an earthquake can be minimized by assessing earthquake characteristics in an area as a form of disaster mitigation. One form of this study is to conduct seismotectonic analysis as an indicator of the potential for earthquakes in Indonesia. The analysis performed is by statistical analysis of seismic level values (a) and rock fragility level values (b). In this study seismotectonic analysis and the period of earthquake re-occurrence in the East Java region with the relation of Gutenberg-Richter with the composition into 8 research areas. The results obtained show region III is a region that has a high risk of earthquakes, and region V is an area with a low risk of earthquake.*

Keywords: *Gutenberg-Richter, Sismotectonic, Earthquakes, Likelihood Estimation, b-value*

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia yang menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung berapi dan menjadi wilayah yang rawan terjadi gempa bumi maupun tsunami [1]. Pergerakan dari lempeng-lempeng tektonik tersebut akan mengakibatkan tekanan pada daerah-daerah pertemuannya. Pada saat batuan tidak dapat menahan tekanan tersebut, maka batuan akan pecah dan melenting, kemudian menimbulkan gelombang seismik yang kuat dalam lempeng bumi. Peristiwa tersebut disebut dengan gempa bumi tektonik [2].

Menurut catatan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa terdapat 28 wilayah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi. Salah satu wilayah yang masuk dalam 28 wilayah tersebut adalah Pulau Jawa [3]. Jawa Timur merupakan wilayah yang juga mengalami pergerakan lempeng yang aktif [4]. Kasus yang pernah terjadi yaitu gempa bumi di Situbondo pada 11 Oktober 2018 dengan kekuatan 6,3 SR. Gempa bumi ini telah menewaskan 4 orang, sekitar 26 orang terluka, dan banyak bangunan roboh. Dampak tersebut terjadi akibat percepatan getaran tanah pada keadaan maksimum. Namun, dampak dari gempa bumi dapat diminimalisir dengan melakukan pengkajian karakteristik gempa bumi di suatu daerah [5].

Salah satu bentuk pengkajian tersebut adalah dengan melakukan analisis seismotektonik sebagai indikator potensi gempa bumi di Indonesia. Analisis yang dilakukan adalah dengan analisa statistika nilai tingkat seismik (a) dan nilai tingkat kerapuhan batuan (b) [6]. Nilai tingkat seismik dan tingkat kerapuhan batuan merupakan relasi antara frekuensi dan *magnitude* oleh Gutenberg-Richter. Nilai tingkat seismik yang digunakan untuk menentukan indeks seismik dapat diperoleh dengan formula Wekner [7]. Sedangkan nilai kerapuhan batuan dapat dihitung menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Metode ini merupakan metode yang memiliki keunggulan untuk menghitung secara statistik nilai parameter keaktifan gempa bumi yang lebih baik dari metode *least-square* karena dapat menghindari kekosongan *magnitude* pada interval tertentu dan memberikan hasil yang lebih stabil [8]. Penelitian yang dilakukan oleh Supriyanto Rohadi dengan judul analisis seismotektonik sebagai indikator potensi gempa bumi di Indonesia, menghasilkan distribusi spatial seismotektonik yang tinggi pada pantai timur Sumatera hingga bagian selatan Jawa Barat, sebelah selatan Jawa Timur, Selatan Bali, laut Banda, dan Utara Sulawesi [3]. Namun, perlu adanya pengkajian secara lokal pada suatu wilayah agar hasil dari penelitian mengenai seismotektonik lebih detail [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Jihan et al telah melakukan pengkajian seismotektonik pada wilayah yang lebih lokal. Pengkajian secara lokal ini telah dilakukan di wilayah Jawa Timur dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood* berdasarkan rentang periode gempa bumi pada tahun 1999-2013. Namun, karena penelitian ini menyangkut survei, maka diperlukan data primer yang lebih dari 10 tahun agar hasil penelitian semakin maksimal dan lebih mudah dalam menentukan parameter keaktifan seismik maupun pemetaan episenter gempa bumi [10].

Berdasarkan kedua penelitian tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai analisis seismotektonik dan periode ulang gempa bumi pada wilayah Jawa Timur dengan relasi Gutenberg-Richter. Penelitian ini menggunakan metode *Maximum Likelihood* dan formula Wekner untuk mendapatkan nilai tingkat seismik (a), nilai tingkat kerapuhan batuan (b), probabilitas, dan periode ulang gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui wilayah yang memiliki kerentanan terhadap terjadinya gempa bumi sebagai upaya mitigasi bencana di Jawa Timur.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya atau bergoncangnya bumi akibat pergeseran lapisan batuan dalam kulit bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempa bumi akibat pergerakan lempeng tektonik, disebut dengan gempa bumi tektonik. Gempa bumi akibat dari aktivitas gunung berapi, disebut gempa bumi vulkanik [11].

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak diketahui gejala atau tandanya sebelum berlangsungnya kejadian. Hal ini menyebabkan tidak ada seorang pun yang dapat mempersiapkan diri. Akibat yang ditimbulkan oleh gempa bumi sangat besar. Sifat getaran gempa bumi yang kuat dan merambat ke seluruh arah, dapat merobohkan bangunan-bangunan di banyak wilayah dan memakan korban nyawa manusia. Gempa bumi juga dapat memicu terjadinya bencana alam yang lain seperti gelombang tsunami atau tanah longsor [12].

2.2 Parameter Gempa Bumi

Kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik yang berupa rekaman signal pada gelombang yang dipancarkan. Gelombang yang telah melalui pembacaan manual maupun non manual akan menjadi data bacaan fase. Data tersebut akan dikumpulkan, diolah, dan dianalisis sehingga menjadi parameter gempa bumi, parameter gempa bumi terdiri dari waktu kejadian (*time*), lokasi episenter, kedalaman gempa (*depth*), dan kekuatan gempa (*magnitude*) [10].

2.3 Hubungan Frekuensi dan *Magnitude* (Persamaan Hubungan Guttenberg dan Richter)

Hubungan frekuensi dan *magnitude* menggambarkan distribusi katalog bagaimana hubungan dan jumlah *magnitude* gempa. Metode analisis statistika yang biasa dilakukan yaitu dengan menganalisis logaritma jumlah gempa yang terjadi di suatu wilayah pada waktu tertentu sebagai fungsi dari *magnitude*. Rumus empiris yang biasa digunakan adalah rumus yang diturunkan oleh Gutenberg dan Richter :

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

dimana :

$N(M)$ = Jumlah gempa bumi pada suatu wilayah dengan *magnitude* M

a = Tetapan yang besarnya bergantung pada periode, luas daerah, dan aktivitas daerah pengamatan

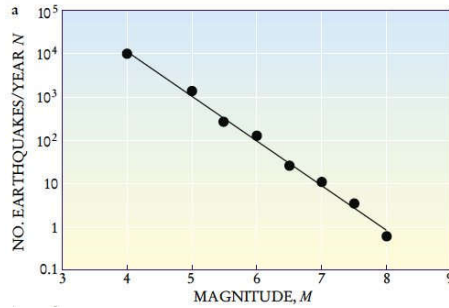
b = Parameter seismotektonik suatu wilayah gempa bumi dan bergantung sifat batuan setempat [13]

2.4 Teori *b – Value*

Konstanta b yang biasanya dikenal dengan *b-value* atau nilai- b merupakan parameter tektonik. Menurut Scholz dalam penelitian Bambang Sunardi menyatakan bahwa nilai- b bergantung pada karakteristik tektonik dan tingkat stress atau struktur material dari suatu wilayah [14]. Wilayah dengan nilai b (tingkat kerapuhan batuan) rendah dan aktivitas seismik (nilai a) rendah lebih berpotensi untuk terjadi gempa bumi.

Sebaliknya, jika nilai b tinggi dan nilai a juga tinggi, maka kekuatan gempa bumi yang akan dilepaskan akan rendah [15].

Nilai b ini merupakan nilai yang menunjukkan jumlah relatif gempa bumi kecil hingga gempa bumi besar. Hal ini berarti nilai b yang tinggi, akan berkorelasi dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi karena *stress* yang dikandung batuan dilepaskan melalui penjarangan gelombang seismik. Sebaliknya, jika nilai b rendah, maka akan berkorelasi dengan aktivitas seismik yang rendah karena terjadi akumulasi *stress* yang belum dilepaskan dan sewaktu-waktu akan dilepaskan dengan *magnitude* yang besar.



Gambar 1. Relasi Gutenberg-Richter Menggambarkan Hubungan Antara *Magnitude* dengan Jumlah Kejadian Gempa

2.5 Metode *Maximum Likelihood*

Relasi Gutenberg-Richter merupakan metode untuk mengetahui karakteristik kegempaan di suatu daerah. Nilai kerapuhan batuan (b) pada relasi Gutenberg-Richter dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*, dimana metode ini memiliki keunggulan untuk menghitung secara statistik nilai parameter keaktifan gempa bumi. Metode *Maximum Likelihood* merupakan metode yang memaksimumkan fungsi *likelihood*. Bila suatu fungsi distribusi probabilitas dari M dapat ditulis ke dalam bentuk

$$f(M_i, b) = \hat{b} \ln(10) 10^{-\hat{b}(M_i - M_0)} \quad (2)$$

dengan pemisalan $\beta = \hat{b} \ln 10$, maka diperoleh nilai estimasi dari dalam bentuk persamaan :

$$\hat{b} = \frac{\log e}{(\bar{M} - M_0)} \quad (3)$$

Adapun perhitungan nilai *magnitude* rata-ratanya menggunakan persamaan (4)

$$\bar{M} = \frac{\sum_i^n M_i N_i}{\sum N} \quad (4)$$

dimana :

\bar{M} = *Magnitude* rata-rata dari data gempa

\hat{b} = Estimasi tingkat kerapuhan batuan

M_i = *Magnitude* data ke- i

N_i = Jumlah *magnitude* data ke- i

N = Banyaknya data gempa

M_0 = *Magnitude* minimum dari data gempa

e = 2.71828

\log = 0.4343

Bila diberikan probabilitas 95% , batas atas dan batas bawah untuk nilai β yang didapatkan seperti pada persamaan (5)

$$b' = \hat{b} \left(1 \pm \frac{1.960}{\sqrt{N}} \right) \quad (5)$$

[16].

2.6 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan ukuran penyebaran yang sering digunakan. Dalam penelitian ini, simpangan baku (standar deviasi) untuk mengetahui simpangan dari perhitungan nilai tingkat kerapuhan batuan (b). Mayoritas nilai suatu data cenderung berada di dalam deviasi standar rata-rata. Adapaun standar deviasi untuk metode *Maximum Likelihood* seperti pada persamaan (6)

$$\delta b = 2.30 \hat{b}^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

dengan n adalah jumlah data [17].

2.7 Tingkat Seismitas Suatu Wilayah

Nilai a dalam relasi Gutenberg-Richter merupakan parameter ruang untuk menentukan karakteristik kegempaan di suatu wilayah. Besarnya nilai a bergantung pada periode, luas, dan jumlah gempa yang terjadi di daerah pengamatan. Parameter a menyatakan tingkat seismitas suatu daerah. Semakin besar nilai a , maka semakin aktif seismik di daerah tersebut. Nilai estimasi tingkat seismitas (\hat{a}) dapat diperoleh dengan formula Wekner :

$$\hat{a} = \log N (M \geq M_0) + \log (\hat{b} \ln 10) + M_0 \hat{b} \quad (7)$$

2.8 Indeks Seismitas

Indeks seismitas juga disebut dengan jumlah frekuensi kumulatif gempa bumi per tahun berdasarkan *magnitude*. Nilai a dan a_1 rata-rata dapat diperoleh dengan membagi jumlah *magnitude* gempa seluruhnya $n(M)$ dan jumlah *magnitude* gempa kumulatif $N(M)$ dengan periode pengamatan T .

$$N_1(M) = 10^{\hat{a}'_1 - \hat{b}M} \quad (8)$$

dengan

$$\hat{a}'_1 = \hat{a}' - \log T \text{ dan } \hat{a}' = \hat{a} - \log (\hat{b} \ln 10)$$

dimana :

$N_1(M)$ = Indeks seismitas

$\hat{a}, \hat{a}', \hat{a}'_1, \hat{b}$ = Parameter-parameter untuk mendapatkan harga indeks seismitas

T = Waktu (lama pengamatan dalam satuan tahun)

[18].

2.9 Probabilitas dan Periode Ulang Gempa Bumi

Probabilitas gempa bumi merupakan kemungkinan terjadinya gempa bumi pada kurun waktu tertentu. Nilai risiko gempa sangat berguna untuk perancangan suatu bangunan tahan gempa. Jika distribusi interval waktu dianggap mengikuti bentuk eksponensial e^{-NT} , maka kemungkinan gempa bumi terjadi dengan *magnitude* lebih besar dari M selama periode T adalah

$$P(M,T) = 1 - e^{-N(M).T} \tag{9}$$

dengan $N(M) = N_1(M). 10^{-2b}$

Periode ulang gempa bumi digunakan untuk menentukan terjadinya kembali gempa bumi dengan *magnitude* tertentu di suatu wilayah. Periode ulang gempa bumi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10)

$$\theta = \frac{1}{N(M \geq M_0)} \tag{10}$$

dimana :

θ = Periode ulang gempa bumi

$N(M \geq M_0)$ = Rata-rata jumlah komulatif gempa bumi [8].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari database Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Kelas II Tretes periode 1958 – 2018. Data penelitian dibatasi pada koordinat 6,00 LS – 110,00 BT dan 10,00 LS – 115,00 BT yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu daratan (6,00 LS – 110,00 BT dan 8,00 LS – 115,00 BT) dan lautan (6,01 LS – 110,00 BT dan 10,00 LS – 115,00 BT).

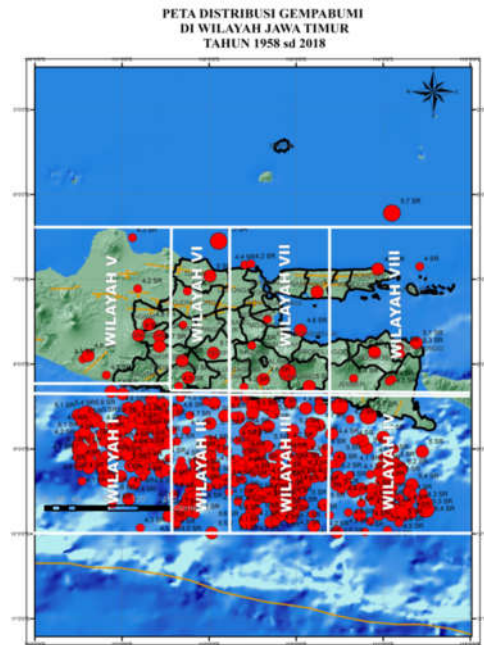
Data gempa bumi meliputi data waktu kejadian gempa, data koordinat lokasi gempa, data *magnitude* gempa, dan data kedalaman pusat gempa bumi. Parameter data gempa bumi yang digunakan dibatasi dengan *magnitude* ≥ 4 dan kedalam ≤ 100 km, sehingga diperoleh sebaran gempa bumi sebanyak 625 gempa bumi di Jawa Timur. Skala *magnitude* yang digunakan dalam data yang diperoleh adalah dengan skala rata-rata dari macam-macam skala. Sehingga tidak perlu dilakukan pengkonversian skala *magnitude*.

Data penelitian dibagi menjadi delapan wilayah penelitian berdasarkan lintang bujur koordinat. Hal ini dilakukan untuk mempermudah penelitian dan hasilnya lebih spesifik, akurat, serta terperinci. Pembagian wilayah penelitian disajikan dalam Tabel 1.

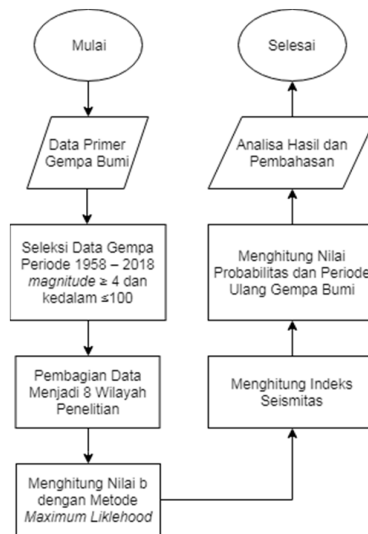
Tabel 1. Pembagian Wilayah Penelitian

Wilayah	Batas Koordinat
Wilayah I	8,35 LS – 110 BT dan 10 LS – 111,55 BT
Wilayah II	8,35 LS – 111,56 BT dan 10 LS – 112,25 BT
Wilayah III	8,35 LS – 112,26 BT dan 10 LS – 113,35 BT
Wilayah IV	8,35 LS – 113,36 BT dan 10 LS – 115 BT
Wilayah V	6,35 LS – 110 BT dan 8,32 LS – 111,55 BT
Wilayah VI	6,35 LS – 111,56 BT dan 8,34 LS – 112,25 BT
Wilayah VII	6,35 LS – 112,26 BT dan 8,34 LS – 113,35 BT
Wilayah VIII	6,35 LS – 113,36 BT dan 8,34 LS – 115 BT

Wilayah I, wilayah II, wilayah III, dan wilayah IV merupakan wilayah lautan yang menunjukkan terjadinya gempa di laut. Wilayah V, wilayah VI, wilayah VII, wilayah VIII, merupakan wilayah daratan. Wilayah V meliputi daerah Madiun, Magetan, Ngawi, Pacitan, dan Ponorogo. Wilayah VI meliputi daerah Blitar, Bojonegoro, Jombang, Kediri, Nganjuk, Trenggalek, Tuban, dan Tulungagung. Wilayah VII meliputi daerah Bangkalan, Gresik, Jember, Lamongan, Lumajang, Malang, Mojokerto, Probolinggo, Sampang, Sidoarjo, Surabaya, dan Batu. Wilayah VIII meliputi Banyuwangi, Bondowoso, Pamekasan, Pasuruan, Situbondo, dan Sumenep. Berikut diagram alur proses pengolahan data.



Gambar 2. Pembagian Wilayah Penelitian Gempa Bumi



Gambar 3. Diagram Alur Proses Pengolahan Data

4. Pembahasan

4.1 Perhitungan Nilai b (Tingkat Kerapuhan Batuan)

Hasil dari nilai a dan nilai b yang telah didapatkan, digunakan untuk melihat hubungan dari keduanya menggunakan relasi Gutenberg-Richter. Secara teori, nilai b merupakan parameter seismotektonik yang menunjukkan tingkat kerapuhan batuan pada suatu wilayah. Nilai b menyatakan bahwa jika nilai b rendah, maka nilai tersebut

berkorelasi dengan tingkat *stress* yang tinggi, sehingga menyebabkan nilai *a* juga menjadi rendah. Namun, jika nilai *b* tinggi, maka nilai tersebut berkorelasi dengan tingkat *stress* yang rendah, sehingga menyebabkan nilai *a* juga menjadi tinggi. Selain itu, daerah yang merupakan daerah dengan wilayah heterogenitasnya besar, daerah tersebut memiliki korelasi nilai *b* yang tinggi. Beberapa orang juga mengatakan bahwa nilai *b* merupakan nilai yang konstan yang nilainya mendekati 1.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai *b* Seluruh Wilayah Penelitian

<i>Wilayah</i>	<i>Jumlah M x N</i>	<i>Jumlah N</i>	M_0	\bar{M}	<i>Nilai \hat{b}</i>
Wilayah I	710,3	151	4	4,703974	0,616927
Wilayah II	333,0	73	4	4,561644	0,773266
Wilayah III	1148,1	247	4	4,648178	0,670032
Wilayah IV	503,1	109	4	4,615596	0,705495
Wilayah V	41,2	9	4,1	4,577778	0,909000
Wilayah VI	38,7	8	4	4,837500	0,518567
Wilayah VII	45,9	10	4	4,590000	0,736102
Wilayah VIII	68,2	15	4	4,546667	0,794451

Tabel 3. Nilai *a* untuk Seluruh Wilayah Penelitian

<i>Wilayah</i>	\hat{a}
Wilayah I	4,799133
Wilayah II	5,206931
Wilayah III	5,261136
Wilayah IV	5,070115
Wilayah V	5,001922
Wilayah VI	3,054379
Wilayah VII	4,173560
Wilayah VIII	4,616179

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *b* dan nilai *a* untuk setiap wilayah, rata-rata nilai *b* berkisar antara 0,6 – 0,9 dan nilai *a* berkisar antara 3,0 – 5,2 dengan standar deviasi yang berkisar antara 0,1 – 0,3. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar dari wilayah penelitian merupakan wilayah yang mempunyai keaktifan kegempaan yang cukup tinggi. Hal ini sesuai dengan perhitungan Gutenberg dan Richter mengenai nilai *b* untuk gempa dangkal antara 0,45 – 1,4 [13].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *b* terbesar terdapat pada wilayah V yaitu 0,909000 dan nilai *b* terendah terdapat pada wilayah VI yaitu 0,518567. Hal ini menunjukkan bahwa pada wilayah V merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Namun, jika dilihat dari frekuensi terjadinya gempa di wilayah tersebut, wilayah V memiliki frekuensi yang sedikit, hanya 9 kali terjadi gempa selama 61 tahun. Hal ini disebabkan karena pada pembagian wilayah penelitian tidak difokuskan pada faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi tingkat kerawanan risiko gempa bumi seperti kondisi geologis wilayah. Sehingga nilai *b* pada penelitian ini tidak bergantung pada frekuensi kegempaan di wilayah penelitian.

Berdasarkan perhitungan standar deviasi, didapat kesalahan data terbesar pada wilayah VIII, dengan nilai kesalahan 0,326080 dan nilai kesalahan terkecil pada wilayah I dengan nilai 0,119123. Hal ini menyatakan bahwa data yang terekam pada seismogram tidak tercatat dengan baik.

4.2 Perhitungan Parameter Seismik dan Indeks Seismitas

Indeks seismitas merupakan normalisasi gempa bumi pertahun. Daerah yang memiliki indeks seismitas tinggi merupakan daerah yang rawan bencana.

Tabel 4. Perhitungan Parameter Seismik dan Indeks Seismitas

<i>Wilayah</i>	\hat{a}'	\hat{a}'_1	$N_1(M \geq M_0)$
Wilayah I	4,646683	2,861354	2,475410
Wilayah II	4,956386	3,171056	1,196720
Wilayah III	5,072824	3,287495	4,049180
Wilayah IV	4,859406	3,074076	1,786885
Wilayah V	4,681143	2,895813	0,147541
Wilayah VI	2,977359	1,192029	0,131148
Wilayah VII	3,944407	2,159077	0,163934
Wilayah VIII	4,353896	2,568566	0,245902

Indeks seismitas pada delapan wilayah dengan *magnitude* minimum dari data penelitian memiliki nilai indeks seismitas antara 0,1 – 4,1. Tabel 4 menunjukkan bahwa wilayah III merupakan wilayah yang memiliki indeks seismitas lebih tinggi dari wilayah yang lain, sehingga dapat dikatakan bahwa wilayah III merupakan wilayah yang rawan akan terjadinya gempa. Hal ini dapat dibuktikan dengan jumlah frekuensi terjadinya gempa bumi pada wilayah III sebanyak 247 kali dalam 61 tahun. Jumlah tersebut merupakan jumlah kejadian gempa paling banyak diantara jumlah kejadian gempa di tujuh wilayah lainnya.

4.3 Probabilitas dan Periode Ulang Terjadinya Gempa

Probabilitas kejadian gempa bumi dan periode ulang gempa bumi untuk tiap wilayah penelitian memiliki nilai yang berbeda satu sama lain, tergantung pada indeks seismitasnya. Nilai indeks seismitas dapat memberikan kemudahan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya satu kali atau lebih terjadi gempa yang merusak pada waktu tertentu di suatu wilayah. Sehingga kerusakan yang terjadi dapat diminimalisir atau dicegah sekecil mungkin. Periode ulang yang pendek merepresentasikan wilayah dengan aktivitas kegempaan yang cukup tinggi.

Tabel 5. Nilai Probabilitas Terjadinya Gempa Bumi

<i>Wilayah</i>	<i>Indeks Gempa Merusak</i>	<i>Probabilitas</i>			
		10 tahun	30 tahun	50 tahun	100 tahun
Wilayah I	0,144475	0,764196	0,986888	0,999271	0,999999
Wilayah II	0,033999	0,288220	0,639390	0,817304	0,966622
Wilayah III	0,185056	0,842851	0,996119	0,999904	1
Wilayah IV	0,069360	0,500225	0,875169	0,968820	0,999028
Wilayah V	0,002243	0,022185	0,065088	0,106109	0,200959
Wilayah VI	0,012040	0,113434	0,303160	0,452284	0,700008
Wilayah VII	0,005527	0,053768	0,152785	0,241442	0,424589
Wilayah VIII	0,006337	0,061400	0,173123	0,271547	0,469356

Tabel 6. Nilai Periode Ulang Terjadinya Gempa Bumi Merusak

<i>Wilayah</i>	<i>Nilai Periode Ulang Terjadinya Gempa Merusak (Tahun)</i>
Wilayah I	6
Wilayah II	29
Wilayah III	5

<i>Wilayah</i>	<i>Nilai Periode Ulang Terjadinya Gempa Merusak (Tahun)</i>
Wilayah IV	14
Wilayah V	445
Wilayah VI	83
Wilayah VII	180
Wilayah VIII	157

Wilayah I memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 76% - 99% dengan rata-rata periode ulang 6 tahun. Wilayah II memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 28% - 96% dengan rata-rata periode ulang 29 tahun. Wilayah III memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 84% - 100% dengan rata-rata periode ulang 5 tahun. Wilayah IV memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 50% - 99% dengan rata-rata periode ulang 14 tahun. Wilayah V memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 2% - 20% dengan rata-rata periode ulang 445 tahun. Wilayah VI memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 11% - 70% dengan rata-rata periode ulang 83 tahun. Wilayah VII memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 5% - 42% dengan rata-rata periode ulang 180 tahun. Wilayah VIII memiliki nilai probabilitas gempa merusak sebesar 6% - 46% dengan rata-rata periode ulang 157 tahun.

5. Kesimpulan

Hasil analisa data pada penelitian gempa bumi untuk wilayah Jawa Timur dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Hasil perhitungan nilai b untuk 8 wilayah dengan $M \geq M_0$ berkisar antara 0,6 – 0,9 dan nilai a berkisar antara 3,0 – 5,2 dengan standar deviasi yang berkisar antara 0,1 – 0,3
- b. Hasil perhitungan indeks seismitas untuk 8 wilayah dengan $M \geq M_0$ nilainya berkisar antara 0,1 – 4,1.
- c. Probabilitas gempa untuk 8 wilayah dengan $M \geq M_0$ pada periode 10, 30, 50, dan 100 tahun berkisar antara 2% - 100%.
- d. Periode ulang gempa bumi untuk 8 wilayah memiliki periode ulang yang berbeda-beda, wilayah I memiliki periode ulang 6 tahun, wilayah II memiliki periode ulang 29 tahun, wilayah III memiliki periode ulang 5 tahun, wilayah IV memiliki periode ulang 14 tahun, wilayah V memiliki periode ulang 445 tahun, wilayah VI memiliki periode ulang 83 tahun, wilayah VII memiliki periode ulang 180 tahun, wilayah VIII memiliki periode ulang 157 tahun. Wilayah III merupakan wilayah yang memiliki risiko terjadi gempa cukup tinggi, dan wilayah V merupakan daerah dengan risiko gempa yang rendah. Karena wilayah III merupakan daerah lautan, maka daerah daratan yang berpotensi merasakan dampak dari gempa di wilayah III adalah wilayah VII yang meliputi daerah Bangkalan, Gresik, Jember, Lamongan, Lumajang, Malang, Mojokerto, Probolinggo, Sampang, Sidoarjo, Surabaya, dan Batu.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Zakariya and Sidarto, "Tectonic Activities in the Sulawesi and Surrounding Area Since Mesozoics to Recent as the Impacts of Tectonic Activity of the Surrounding Main Plate Tectonics," *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, p. 116, 2018.
- [2] H. Verstappen, *Outline of the Geomorphology of Indonesian: A Case Study on Tropical Geomorphology of a Tectogene Region*, Anschede: ITC, 2000.

- [3] S. Rohadi, "Studi Seismotektonik sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi di Wilayah Indonesia," *Meteorologi dan Geofisika*, p. 112, 2009.
- [4] S. A. Kumala and Wahyuni, "Analisis Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) untuk Seluruh Wilayah Kabupaten dan Kota di Jawa Timur," *Inersia*, p. 37, 2016.
- [5] S. Rohadi, *Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Subduksi Jawa*, Jakarta: Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II, 2010.
- [6] F. D. Raharjo, Syafriani and A. Z. Sabarani, "Analisis Variasi Spasial Parameter Seismotektonik Daerah Sumatera Barat dan Sekitarnya dengan Menggunakan Metoda Likelihood," *Pillar of Physics*, p. 74, 2016.
- [7] S. B. Nurdiyanto, *Integrasi Pengamatan Parameter Geofisika dalam Usaha Predikstabilitas Gempap Bumi*, Puslitbang BMKG, 2010.
- [8] E. A. Suwandi, I. L. Sari and Waslaluddin, "Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Intesitas Maksimum dan Periode Ulang Gempa Bumi untuk Menentukan Tingkat Kerentanan Seismik di Jawa Barat," *Wahana Fisika*, p. 14, 2017.
- [9] B. Sunardi, M. U. Istikomah and Sulastri, "Analisis Seismotektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi Wilayah Nusa Tenggara Barat, Tahun 1973-2015," *Riset Geofisika Indonesia*, p. 24, 2017.
- [10] J. N. Shohaya, U. Chasanah, A. Mutiarani, L. W. P and Madalzim, "Survey dan Analisis Seismitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi," *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, p. 26, 2013.
- [11] B. Geologi, *Kekayaan Tektonik Indonsia*, Bandung: Papertapes, 2014.
- [12] A. W. S. R, Jasruddin and N. Ihsan, "Analisis Rekahan Gempa Bumi dan Gempa Bumi Susulan dengan Menggunakan Metode Omori," *Sains dan Pendidikan Fisika*, pp. 263-264, 2012.
- [13] R. Gutenberg and C. F. Richter, *Frequency of Earthquakes in California, America: Bulletin of the Seismological Society*, 1994.
- [14] B. Sunardi, "Analisa Fraktal dan Rasio Slip Daerah Bali-NTB Berdasarkan Pemetaan Variasi Parameter Tektonik," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, p. 59, 2009.
- [15] V. G. Lumintang, P. Guntur, H. J. Seni and Tongkukut, "Analisis Tingkat Seismitas dan Tingkat Kerapuhan Batuan di Maluku Utara," *Jurnal Ilmiah Sains*, 2015.
- [16] T. Utsu, "A Method for Determining The Value of b in a Formula $\log N = a - bM$ Showing The Magnitude-Frequency Relation for Earthquakes," *Geophys*, pp. 99-103, 1965.
- [17] Y. Shi and B. A. Bolt, "The Standard Error of The Magnitude-Frequency b-value," *Bull. Seismol*, pp. 1677-1687, 1982.
- [18] S. Rohadi, H. Grandis and M. A. Ratag, "Studi Variasi Spatial Seismitas Zona Subduksi Jawa," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, p. 43, 2007.
- [19] B. M. K. d. Geofisika, *Pedoman Pelayanan dan Peringatan Dini Tsunami*, Jakarta, 2012.
- [20] S. M. Tito Latif Indra, M. Drs. Supriatna and S. Tresvel Nazwil, *Karakteristik Daerah Potensi Bencana Alam Wilayah Selat Sunda*, Jakarta: Departemen Geografi FMIPA UI.