



dapat diakses melalui <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>



## Estimasi Periode Ulang Gempa Bumi Di Wilayah Sulawesi Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel

Yustiani Frastika<sup>1)</sup>, Guntur Pasau<sup>1)</sup>, Jantje D. Prang<sup>2)</sup>

1) Jurusan Fisika, FMIPA, Unsrat, MANADO

2) Jurusan Matematika, FMIPA, Unsrat, MANADO

### KATA KUNCI

Distribusi Gumbel  
Gempa bumi  
Periode ulang

### ABSTRAK

Estimasi periode ulang gempa bumi yang bersifat ekstrim dengan menggunakan Distribusi Gumbel dilakukan untuk menganalisis kejadian gempa bumi yang telah terjadi sebelumnya menggunakan data sejak Januari 1905-Juni 2013. Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan dua tahap. Pertama, Pengujian dan pemeriksaan pola sebaran data. Kedua, menentukan periode ulang gempa bumi untuk mengetahui keberulangan gempa ekstrim yang akan terjadi selanjutnya. Hasil analisis yang diperoleh adalah Wilayah Sulawesi sangat rawan terhadap kejadian gempa bumi yang bersifat ekstrim. Tingkat pengulangan kejadian gempa bumi untuk Wilayah Provinsi Sulawesi Utara dalam kurun waktu 62-100 tahun adalah 7 Mw, Wilayah Provinsi Gorontalo dalam kurun waktu 75-100 tahun adalah 6,8 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Tengah dalam kurun waktu 82-100 tahun adalah 6,9 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan dalam kurun waktu 319-686 bulan adalah 6,2 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Barat dalam kurun waktu 113-217 bulan adalah 6,2 Mw dan Wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara dalam kurun waktu 45-97 tahun adalah 6,0 Mw.

### KEYWORDS

Gumbel distribution  
Earthquake  
Return period

### ABSTRACT

The estimation of extreme earthquake return period by using the Gumbel distribution is made to analyze the occurrence of earthquakes that have occurred previously using data from January 1905 to June 2013. Data processing and analysis has been in two stages. First, testing and examination of data distribution patterns to see whether the data follow the theoretical distribution, in this case the Gumbel distribution. Second, determining the return period of the earthquake to see a recurrence of extreme earthquake is going to happen in the future. Results of the analysis showed that Sulawesi Region is highly vulnerable to earthquakes which are extreme. Return period of earthquake on the region of North Sulawesi province in the period of 62-100 years is 7.0 Mw, the region of Gorontalo Province in the period of 75-100 years is 6.8 Mw, the region of Central Sulawesi Province in the period of 82-100 years is 6.9 Mw, the region of South Sulawesi Province in the period of 319-686 months is 6.2 Mw, the region of West Sulawesi province in the period of 113-217 months is 6.2 Mw and the region of Southeast Sulawesi province in the period of 45-97 years is 6.0 Mw.

### AVAILABLE ONLINE

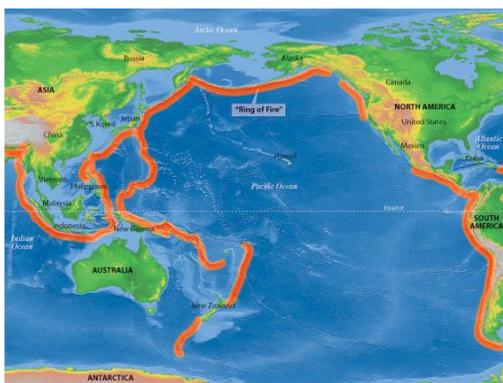
08 November 2013

## 1. Pendahuluan

Wilayah Indonesia merupakan daerah tektonik aktif yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia di Utara, lempeng Indo-Australia di Selatan dan lempeng Pasifik di Timur serta diantara ke tiga lempeng utama tersebut terdapat lempeng kecil yaitu lempeng Filipina. Dampak positifnya adalah terdapatnya panas bumi, mineral tambang dan gas bumi, panorama yang menarik seperti pegunungan, flora dan fauna baik dipermukaan maupun dibawah laut dan sebagainya. Sedangkan dampak negatif dari keadaan tektonik Indonesia adalah sebagian besar wilayah menjadi rawan terhadap bencana alam, salah satunya adalah gempa bumi (Ibrahim et al., 2010).

Untuk memperkecil dampak negatif dari gempa bumi, diperlukan suatu prediksi periode ulang terjadinya gempa bumi yang bersifat ekstrim. Menurut Sahu, 2011, Distribusi Gumbel merupakan sebaran yang berhubungan dengan kejadian-kejadian ekstrim yang digunakan untuk memprediksi terjadinya gempa bumi, sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengkajian tentang masalah ini

Indonesia termasuk Wilayah Sulawesi masuk pada daerah Lingkaran Api. Dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Lingkaran Api

Kejadian gempa direkam dengan sejumlah instrument yang mempunyai perbedaan metode dalam penentuan ukuran gempa. Skala magnitudo yang digunakan antara lain adalah Magnitudo Permukaan (*Surface Magnitude, Ms*), Magnitudo Lokal (*Local Magnitude, ML*), Magnitudo Badan (*Body Magnitude, mb*) dan Magnitudo Momen (*Moment Magnitude, Mw*).

Adanya berbagai ukuran skala tersebut maka diperlukan konversi ke dalam skala magnitudo yang sama untuk digunakan dalam analisis kejadian

Pembangkit utama terjadinya gempa bumi adalah pergerakan lempeng tektonik. Akibat pergerakan lempeng, maka di sekitar perbatasan lempeng akan terakumulasi energi dan jika lapisan batuan tidak mampu manahannya maka energi akan terlepas dan menyebabkan terjadinya patahan ataupun deformasi pada lapisan kerak bumi dan terjadilah gempa bumi tektonik. Disamping itu akibat adanya pergerakan lempeng, terjadi patahan/sesar pada lapisan bagian atas kerak bumi yang merupakan pembangkit kedua terjadinya gempa bumi tektonik. Jadi sumber-sumber gempa bumi keberadaannya ada pada perbatasan lempeng-lempeng tektonik dan patahan-patahan aktif. (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

Lingkaran Api (*Ring of Fire*) adalah Daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik. Daerah ini berbentuk seperti tapal kuda dan mencakup wilayah sepanjang 40.000 km. Daerah ini sering disebut sebagai sabuk gempa Pasifik. Lingkaran Api adalah area dimana terdapat banyak sekali terjadi gempa dan letusan gunung berapi di dalam area Samudera Pasifik (Pratiwi, 2011)

gempa bumi. Konversi Magnitudo dari *Ms* dan *mb* ke Magnitudo Momen (*Mw*) secara matematis dapat dituliskan :

1. Untuk data gempa bumi dengan skala  $3,5 \leq mb \leq 6,2$   
 $Mw = (0,85 \times mb) + 1,03.....(1)$
2. Untuk data gempa bumi dengan skala  $3,0 \leq Ms \leq 6,1$   
 $Mw = 0,67Ms + 2,07.....(2)$
3. Untuk data gempa bumi dengan skala  $6,2 \leq Ms \leq 8,2$   
 $Mw = 0,99Ms + 0,08.....(3)$

(Scordillis, 2006).

Distribusi Gumbel merupakan salah satu teori statistik yang berhubungan dengan nilai-nilai ekstrim. Tujuan dari teori statistik nilai-nilai ekstrim adalah untuk menganalisis hasil pengamatan nilai-nilai ekstrim, selanjutnya untuk memprediksi nilai-nilai ekstrim berikutnya.

Fungsi distribusi kumulatif dari sebaran Gumbel adalah

$$G(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)\right); -\infty < x < \infty \quad (4)$$

dimana  $\mu$  merupakan parameter lokasi/nilai rata-rata dan  $\sigma$  merupakan parameter skala/simpangan baku.

Penentuan nilai-nilai ekstrim menurut Gilli dan Kellezi (2003), dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Dengan mengambil nilai-nilai maksimum dalam suatu periode, misalnya periode bulanan atau tahunan; pengamatan atas nilai-nilai ini dianggap sebagai nilai-nilai ekstrim.
2. Dengan mengambil nilai-nilai yang melampaui suatu nilai *threshold*; seluruh nilai yang melampaui *threshold*  $u$  (ambang batas  $u$ ) dianggap sebagai nilai - nilai ekstrim

Eksplorasi data merupakan salah satu cara untuk pendeteksian awal pendugaan sebaran suatu data. Plot Quantil-Quantil yang sering disebut plot Q-Q atau plot peluang berfungsi untuk memeriksa kesesuaian pola sebaran data terhadap pola sebaran teoritis. Langkah-langkah pemeriksaan pola sebaran data terhadap pola sebaran teoritik dengan plot Q-Q adalah sebagai berikut :

1. Data diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar.  
Misalnya  $y_{(1)}, y_{(2)}, \dots, \dots, y_{(n)}$ .
2. Untuk setiap  $y_{(i)}$ , hitung nilai  $p_i = \frac{(i-0.5)}{n}$ ; plot  $y_{(i)}$  dengan  $p_i$  adalah plot kuantil empirik.
3. Untuk setiap  $p_i$ , tentukan nilai  $F^{-1}(p_i) = Q(p_i)$  dengan bantuan tabel sebaran normal baku. Plot antara  $Q(p_i)$  dan  $p_i$  adalah plot kuantil teoritik.
4. Plot antara  $y_{(1)}$  dengan  $Q(p_i)$  merupakan plot kuantil-kuantil (Chambers et al., dalam Prang, 2006)

Pemeriksaan pola kesesuaian data sebaran empirik dan sebaran teoritis tertentu dapat menggunakan Uji Kolmogrov-Smirnov (K-S). Uji ini dilakukan dengan menemukan perbedaan terbesar (nilai absolut) antara dua fungsi kumulatif, yaitu sebaran empirik dan teoritis. Misalkan  $F_0(x)$  adalah suatu fungsi sebaran kumulatif teoritis. Misalkan pula  $S_N(x)$  adalah sebaran frekuensi kumulatif yang diobservasi dari suatu sampel acak dengan  $N$  observasi dan  $x$  adalah sembarang skor yang mungkin maka  $S_N(x) = \frac{k}{n}$  dimana  $k$  banyaknya observasi yang  $\leq x$ . Dengan menetapkan hipotesis  $H_0: F_0(x) = S_N(x)$  bahwa sampel suatu observasi berasal dari sebaran tertentu, maka diharapkan untuk setiap harga  $x$ ,  $S_N(x)$  harus mendekati  $F_0(x)$  artinya selisih antara  $F_0(x)$  dan  $S_N(x)$  kecil. Uji Kolmogrov-Smirnov memusatkan perhatian pada

penyimpangan terbesar (deviasi maksimum) yang dirumuskan:

$$D = \max|F_0(x) - S_N(x)| \dots\dots\dots(5)$$

Nilai kritis D untuk  $n \leq 35$  tersedia dalam tabel, sedangkan  $n > 35$  untuk dua arah pada  $\alpha = 0.05$  dapat menggunakan pembagian  $\frac{1.36}{\sqrt{n}}$  dan pada  $\alpha = 0.01$  dapat menggunakan pembagian  $\frac{1.63}{\sqrt{n}}$ . Dengan demikian, jika  $D \geq \frac{1.36}{\sqrt{n}}$  pada  $\alpha = 0.05$  atau  $D \geq \frac{1.63}{\sqrt{n}}$  pada  $\alpha = 0.01$  maka signifikan, artinya observasi tidak mengikuti distribusi teoritis (Siegel dalam Prang, 2006).

*Return Level* dalam istilah statistik, atau dalam Geofisika sering disebutkan *Return Period*, merupakan pengulangan tingkat kejadian gempa bumi, untuk memprediksi keberulangan gempa bumi yang akan terjadi dengan magnitudo tertentu.

Dalam praktek, besaran atau kuantitas yang menjadi perhatian bukan hanya tertuju pada pendugaan parameter itu sendiri, tetapi pada kuantil yang juga disebut sebagai tingkat pengulangan (*return level*) dari penduga GEV. Jika  $F$  adalah sebaran dari nilai maksimum untuk pengamatan pada jangka waktu yang sama, maka tingkat pengulangan akan mengikuti persamaan berikut :

$$\hat{R}_p^k = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{k}\right) \dots\dots\dots(6)$$

dimana  $F^{-1}$  adalah fungsi kuantil dari fungsi sebaran  $F$ ,  $k$  adalah jangka waktu dan  $p$  adalah periode. Nilai tingkat pengulangan merupakan nilai maksimum yang diharapkan akan dilampaui satu kali dalam jangka waktu  $k$  dengan periode  $p$  atau dengan kata lain dalam jangka waktu  $k$ , gempa bumi akan mencapai nilai maksimum  $\hat{R}_p^k$  satu kali (Gilli dan Kellezi, 2003). Setelah dugaan parameter didapat dan disubstitusikan pada persamaan (6), maka diperoleh dugaan tingkat pengembalian :

$$\hat{R}_p^k = \hat{\mu} - \hat{\sigma} \log\left[-\log\left(1 - \frac{1}{k}\right)\right] \dots\dots\dots(7)$$

(Prang, 2006)

**2. Metode**

Penelitian ini menggunakan data sekunder gempa bumi sejak Januari 1905 sampai Juni 2013 yang di peroleh dari Katalog gempa bumi ISC (*International Seismological Centre*). Daerah yang akan diteliti adalah Wilayah Sulawesi yang terletak pada  $5^\circ$  LU -  $6^\circ$  LS dan  $118^\circ$  BT -  $127^\circ$  BT menggunakan metode Distribusi Gumbel.

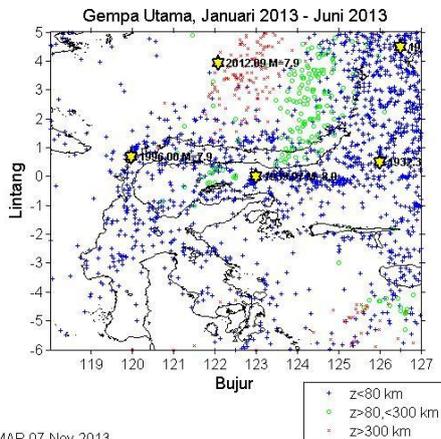
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memilah gempa-gempa utama dengan software ZMAP dan menentukan nilai-nilai ekstrim
2. Melakukan pembagian-pembagian Wilayah yang akan diteliti
3. Melakukan pengujian dan pemeriksaan pola sebaran data dengan menggunakan software SPSS 17

4. Menentukan nilai dugaan parameter dengan menggunakan software EViews 7
5. Menentukan nilai pengulangan tingkat kejadian (*return level*) gempa bumi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisis Gempa Utama dan Nilai Ekstrim



ZMAP 07-Nov-2013

Gambar 2. Kejadian Gempa utama 4-8 Mw di Wilayah Pulau Sulawesi sejak Januari 1905-Juni 2013

Dapat dilihat pada Gambar 2, bahwa Wilayah Sulawesi sangat rawan terhadap kejadian gempa bumi.

Nilai ekstrim gempa bumi, yang diambil dalam penelitian ini adalah  $\geq 5,1$  Mw karena merupakan kejadian ekstrim yang sering terjadi di Wilayah Sulawesi.

#### 3.2 Analisis Kejadian Gempa Bumi

Data gempa bumi yang diperoleh dari katalog gempa ISC (*International Seismological Centre*) akan dianalisis dengan menggunakan Distribusi Gumbel dengan bantuan software Eviews 7 untuk pendugaan parameter dan SPSS 17 untuk pengujian normalitas data.

Dalam melakukan analisis tidak hanya untuk keperluan pemeriksaan pola sebaran data, tetapi juga untuk pendugaan parameter dan *Return Level*. Dalam menganalisis *Return Level* data gempa bumi yang terjadi di Sulawesi sejak Januari 1905-Juni 2013 dimaksudkan untuk memberikan gambaran seberapa besar suatu nilai ekstrim gempa bumi, berpeluang akan terjadi dalam jangka waktu tertentu. Nilai *Return Level* gempa bumi yang diperoleh dapat dijadikan sebagai patokan untuk prediksi terjadinya gempa bumi ekstrim dengan peluang kejadian keberulangan tertentu.

#### 3.3 Hasil estimasi periode ulang gempa bumi untuk Wilayah Sulawesi:

Tabel 1. Wilayah Provinsi Sulawesi Utara

K (tahun)	Magnitudo (Mw)
2	6,2
3	6,3
4-5	6,4
6-8	6,5
9-13	6,6
14-22	6,7
23-37	6,8
38-61	6,9
62-100	7,0

Tabel 2. Wilayah Provinsi Gorontalo

K (tahun)	Magnitudo (Mw)
2	5,9
3	6,0
4-5	6,1
6-7	6,2
8-12	6,3
13-18	6,4
19-29	6,5
30-46	6,6
47-74	6,7
75-100	6,8

Tabel 3. Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan

K (Bulan)	Magnitudo (Mw)
33-68	5,9
69-148	6,0
149-318	6,1
319-686	6,2

Tabel 4. Wilayah Provinsi Sulawesi Tengah

K (tahun)	Magnitudo (Mw)
2	6,1
3-4	6,2
5-7	6,3
8-11	6,4
12-18	6,5
19-30	6,6
31-49	6,7
50-81	6,8
82-100	6,9

Tabel 5. Wilayah Provinsi Sulawesi Barat

K (Bulan)	Magnitudo (Mw)
16-30	5,9
31-58	6,0
59-112	6,1
113-217	6,2

Tabel 6. Wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara

K (tahun)	Magnitudo (Mw)
2	5,5
3-4	5,6
5-9	5,7
10-20	5,8
21-44	5,9
45-97	6,0

pengulangan kejadian gempabumi untuk Wilayah Provinsi Sulawesi Utara dalam kurun waktu 62-100 tahun adalah 7 Mw, Wilayah Provinsi Gorontalo dalam kurun waktu 75-100 tahun adalah 6,8 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Tengah dalam kurun waktu 82-100 tahun adalah 6,9 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Selatan dalam kurun waktu 319-686 bulan adalah 6,2 Mw, Wilayah Provinsi Sulawesi Barat dalam kurun waktu 113-217 bulan adalah 6,2 Mw dan Wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara dalam kurun waktu 45-97 tahun adalah 6,0 Mw.

2. Wilayah Provinsi Sulawesi Utara merupakan Wilayah yang paling rawan terhadap kejadian gempa bumi dibandingkan dengan Wilayah lain, karena mempunyai kemungkinan terjadinya gempa bumi dengan magnitudo terbesar.

---

#### Daftar Pustaka

- Ibrahim, Gunawan dan Subardjo. 2005. Pengetahuan Seismologi. Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Ibrahim G.et al. 2010. *Kapita Selekta Geofisika*. Institut Teknologi, Bandung.
- Prang, J.D. 2006. *Sebaran Nilai Ekstrim Terampat dalam Fenomena Curah Hujan* [tesis]. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor
- Pratiwi. 2011. *Peramalan Gempa Bumi Tektonik untuk Wilayah Sumatera Utara dengan menggunakan metode Distribusi Weibull dan Distribusi Gumbel*. [skripsi]. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Scordillis, E. 2006. *Empirical Global Relations Converting Ms and mb to moment magnitude*. Journal of Seismology (2006). 10: 225-236.

---

#### 4. Kesimpulan

1. Estimasi periode ulang magnitudo gempa bumi menggunakan Distribusi Gumbel dengan tingkat