

## KARAKTERISTIK TEKTONIK DAN PERIODE ULANG GEMPA BUMI PADA SESAR MATANO SULAWESI SELATAN

Hariani, Muh. Said L dan Ayusari Wahyuni  
Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar  
Email: harianyony29@gmail.com, muhammadsaidlanto83@gmail.com,  
ayusari\_wahyuni@uin-alauddin.ac.id

**Abstract:** This research aims to determine the tectonic characteristics of the Matano Fault by looking at the a-value and b-value values and the period of earthquake occurrence. Matano fault is an active fault in Sulawesi. So the potential for earthquakes in this area is quite high. By analyzing the earthquake return period, especially for earthquakes with large magnitudes, we can estimate when approximately large earthquakes will occur again and anticipate in dealing with them. Based on the results of research using the Least Square method and the Likelihood the value of a-value (earthquake activity) is higher than the b-value (local rock conditions). This indicates that seismic activity in Matano fault is relatively high. Whereas for b-value (rock condition) The greater the b-value the greater the level of rock fragility and vice versa. In determining the level of seismicity in an area using two methods, namely the least square method with a b-value of 0.310 and a-value of 3.177 while for the Likelihood method a b-value of 0.315 and an a-value of 2,551 from the two methods obtained by different regions that matano faults which have high seismicity or earthquake prone areas. From the calculation using the Least Square method, the fastest return period for M tercepat 4 is around 4 years and the longest is around 23 years while the results obtained from the Likelihood method are the fastest return period around 5 years and the longest is around 48 years.

**Keywords:** a-value, b-value, least square, likelihood and return period

### 1. PENDAHULUAN

Menurut Budhi Sesar (patahan) Matano merupakan salah satu sesar yang aktif di daratan Sulawesi yang memanjang dengan arah barat laut – tenggara. Di daratan Sulawesi, sesar ini terukur sepanjang 170 km mulai dari daerah pantai Bahodopi di Teluk Tolo, ke arah barat laut melewati sepanjang lembah Sungai Larongsangi ke area di sebelah utara Desa Lampesue, Petea, sepanjang pantai Danau Matano, Desa Matano dan menyambung di Barat laut dengan lembah Sungai Kalaena. Mekanisme sesar ini adalah sesar geser kiri dengan pergeseran relative 5 mm/tahun. Secara kolektif sejak terbentuk, sesar ini telah menghasilkan total pergeseran batuan kurang lebih 20 km ke arah barat laut, ditandai dengan batuan-batuan di utara jalur sesar yang bergeser sepanjang sekitar 20 km tadi.

Menurut Alfath yang telah melakukan penelitian tentang periode ulang di sulawesi utara dengan menggunakan metode distribusi *Weibull* bahwa secara umum, daerah sulawesi mempunyai periode ulang antara 2 bulan sampai 23 Tahun

6 bulan. Sedangkan menurut Aprialian tentang Analisa Tingkat Seismisitas Dan Periode Ulang Gempa Bumi Di Maluku. Penelitian ini menggunakan metode maksimum *Likelihood* dengan Nilai periode ulang dengan  $M \geq 6$  SR untuk seluruh daerah provinsi Maluku adalah 1 tahun-4 tahun.

Dalam Penelitian ini metode yang digunakan untuk menentukan tingkat seismisitas di suatu daerah yaitu metode *Least Square* dan *Likelihood*. Metode *Least Square (Regresi Linear)* disebut sebagai suatu analisis statistik yang memanfaatkan hubungan antara dua variabel atau lebih. Sedangkan metode *Likelihood* adalah sebuah metode yang digunakan untuk memecahkan beberapa masalah tentang statistik seimologi yaitu tentang periode ulang gempa bumi.

Berdasarkan fakta tersebut, perlu dilakukan penelitian yang komprehensif untuk mendapatkan karakteristik tektonik pada sesar Matano terhadap danau Matano yang dilakukan penelitian secara seismisitas gempa dari peta seismisitas. namun pendekatan ini kualitatif maka diperlukan statistik yaitu salah satunya menggunakan metode statistik *guttemberg richter* yang telah dikembangkan menjadi periode ulang gempa bumi dengan menggunakan Metode *Likelihood* demi mitigasi masyarakat soroako, terutama di wilayah danau Matano. Untuk penelitian ini dilakukan pengolahan data gempabumi di wilayah danau Matano dengan koordinat batas penelitian dari lintang  $1.6^{\circ}\text{LS} - 3.46^{\circ}\text{LS}$  dan bujur dari  $120.22^{\circ}\text{BT} - 122.47^{\circ}\text{BT}$ .

Tujuan penelitian ini adalah menentukan nilai a-value dan b value dengan menggunakan metode *Least Square* dan metode *Likelihood*, mengetahui karakteristik tektonik sesar Matano dan mengetahui periode ulang gempa bumi signifikan di sesar Matano dengan menggunakan metode *Least Square* dan metode *Likelihood*. Penelitian ini membahas tentang karakteristik tektonik sesar matano dengan menggunakan variable a-value (aktivitas seismik) dan b-value (kerapuan batuan) serta periode ulang gempabumi pada sesar matano.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian tentang karakteristik tektonik dan periode ulang gempa bumi untuk mengetahui kondisi tektonik dan periode ulang di Sesar Matano koordinat  $1.6^{\circ}$ - $3.46^{\circ}$  LS dan  $120.22^{\circ}$ - $122.47^{\circ}$  BT. Waktu penelitian ini dilakukan pada periode 1996-2017 (21 tahun).. Adapun tempat pengambilann data sekunder telah dilakukan di Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar, Jl. Prof. Dr. H. Abdurrahman Basalamah No. 4 Panaikang, Sulawesi Selatan Makassar.

**Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Laptop Acer Aspire One, Program Microsoft Exel 2007, Program software ArcView Gis 3.2 dan Bahan yang akan digunakan adalah data hasil rekaman seismograf (data sekunder) yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV Makassar yang meliputi Wilayah Matano Sulawesi Selatan dan situs ([earthquake.usgs.gov](http://earthquake.usgs.gov)) United States Geological Survey (USGS) dari tahun Januari 1996 – Desember 2017, yang tercatat di 15 stasiun yang tersebar di berbagai wilayah yang berada di Sulawesi.

**Prosedur Kerja**

**Pengambilan Data**

Data yang digunakan adalah data hasil rekaman seismograf yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV Makassar meliputi wilayah Sesar Matano berdasarkan data waktu kejadian gempa, lintang, bujur, kedalaman (> 0-300 km), dan magnitudo (> 3 SR).

**Tabel 1.** Format data yang diambil dari BMKG Wilayah IV Makassar dan USGS *Earthquake*.

Date	Location		Mag (SR)	Depth (km)	Origin Time			Ket
	Lat	Long			Hour	Minute	Second	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Pengolahan Data**

**Membuat Peta Seiminitas Gempa**

- a. Menginput data *event* gempa berupa data koordinat, magnitudo, dan kedalaman ke dalam program Ms. Excel.
- b. Membuat tabel frekuensi yang terdiri dari tabel periode terjadinya gempa bumi dengan criteria magnitudo  $\geq 3$  SR yang digunakan untuk melihat aktifitas gempa bumi yang terjadi setiap tahun pada wilayah Sulawesi selatan
- c. Mengeplot data dari program Excel ke dalam software ArGIS 10,3 dengan membagi data berdasarkan kedalaman hiposenter untuk mengetahui sebaran gempa bumi di Wilayah sulawesi selatan periode 1996 – 2017
- d. Membagi sebaran hiposenter berdasarkan pengelompokan gempa dan kedalaman gempa

**Tabel 2.** Data Region pada kedalaman Dangkal dan Menengah

M	$X_i$	N	$Y_i$
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
Jumlah	...	...	...

**Menghitung dengan Metode *Least Square***

Berikut langkah-langkah dalam mengolah data dengan metode *Least Square*

a. Membuat tabel frekuensi gempa dan magnitudo

Untuk membuat tabel frekuensi gempa dan magnitudo terlebih dahulu menentukan interval kelas dengan menggunakan aturan Sturges. Untuk mencari interval kelas sebelumnya menghitung  $X_{max}$  dan  $X_{min}$  pada data gempa yang di gunakan selanjutnya langkah pertama menentukan jangkauan (j) dengan  $X_{max} - X_{min}$ , langkah kedua yaitu menentukan banyak kelas (k) dengan penjumlahan  $1 + 3,3 \log n$  (banyaknya data) dan langkah terakhir yaitu menentukan panjang interval kelas (i) dengan cara membagi jangkauan (j) per banyaknya kelas (k) sehingga dihasilkan interval magnitudo, selanjutnya  $X_i$  adalah titik tengah dari kelas magnitudo ke-i, N yaitu jumlah gempa dan  $Y_i$  adalah logaritma dari N untuk magnitudo ke-i.

**Tabel 3.** Format Perhitungan Frekuensi dan Magnitudo

M	$X_i$	N	$Y_i$
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
Jumlah	...	...	...

Setelah  $Y_i$  didapatkan maka selanjutnya yaitu menghitung  $(X_i^2)$ ,  $(Y_i^2)$  dan  $(X_i.Y_i)$  seperti pada tabel di bawah ini:

**Tabel 4.** Format Perhitungan untuk mencari a-value dan b-value

	$X_i$	$Y_i$	$X_i^2$	$Y_i^2$	$X_i.Y_i$
	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
Jumlah	...	...	...	...	...

b. Menentukan nilai dari a-value (aktifitas gempa) dan b-value (parameter seimotektonik).

- c. Mencari hasil dari pengolahan data dengan metode grafik hubungan antara Log (N) dan magnitudo adalah diperoleh *a-value* dan *b-value* untuk setiap kelompok data atau wilayah (Region I, Region II, dan Region 3) dengan persamaan:  

$$\text{Log } N = a - b M$$
 Selanjutnya menentukan nilai dari koefisien korelasi
- d. Membandingkan hasil analisis keseluruhan dengan menggunakan tabel sebagai berikut:

**Tabel 5.** Format Analisis a-value dan b-value

Region	Least Square	
	b-value	a-value
Region 1 Dangkal 0-60km	...	...
Region 1 Menengah 60-300 Km	...	...
Region 2 Dangkal 0-60km	...	...
Region 2 Menengah 60-300 Km	...	...
Region 3 Dangkal 0-60km	...	...
Region 3 Menengah 60-300 km	...	...

**Menghitung dengan Metode Likelihood**

Sebelum Mencari nilai b dengan persamaan (II.5) Untuk masing–masing kelompok data akan dicari hubungan nilai  $\alpha$  dan *b valuenya*. Persamaan yang dipakai adalah yang dirumuskan oleh fungsi *Likelihood* berdasarkan persamaan *Guttenberg-Richter* sebagai berikut:

$$\hat{b} = \frac{\text{Log } e}{\bar{M} - M_0}$$

Keterangan :

*b* = Konstanta parameter tektonik

$\bar{M}$  =Magnitudo rata–rata (SR)

$M_{min}$  = Magnitudo minimum (SR)

$e = 0,4343$

**Tabel 6.** Perhitungan Magnitudo rata-rata dan Magnitudo minimum

Region	Kedalaman	$\bar{M}$	$M_0$
1	...	...	...
	...	...	...
2	...	...	...
	...	...	...
3	...	...	...
	...	...	...

dan nilai  $\hat{a} = \log N ( M + M_0 ) + \log ( \hat{b} \ln 10 ) + M_0 \hat{b}$

Dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta,  $\log e$  adalah bilangan euler (0,4343) dan  $N$  adalah jumlah gempa bumi dengan magnitudo lebih besar dari  $m$ . Persamaan ini menyatakan hubungan statistik empiris antara frekuensi (jumlah kejadian) gempabumi ( $N$ ) dengan magnitudo gempa ( $m$ ). Sehingga didapatkan suatu persamaan  $\log N = a - b M$  dan di buat dalam bentuk grafik

**Tabel 7.** Format Analisis a-value dan b-value

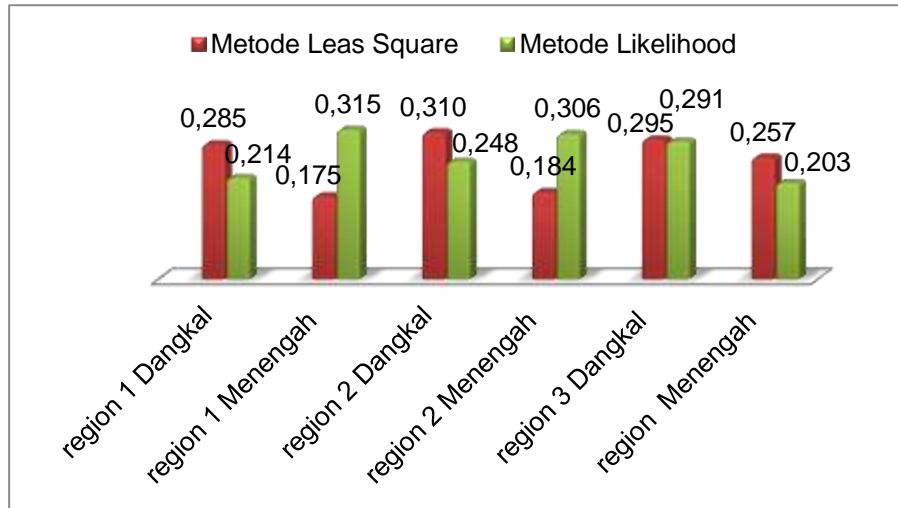
Region	Likelihood	
	b-value	a-value
Region 1 Dangkal 0-60km	...	...
Region 1 Menengah 60-300 Km	...	...
Region 2 Dangkal 0-60km	...	...
Region 2 Menengah 60-300 Km	...	...
Region 3 Dangkal 0-60km	...	...
Region 3 Menengah 60-300 km	...	...

Langkah selanjutnya adalah:

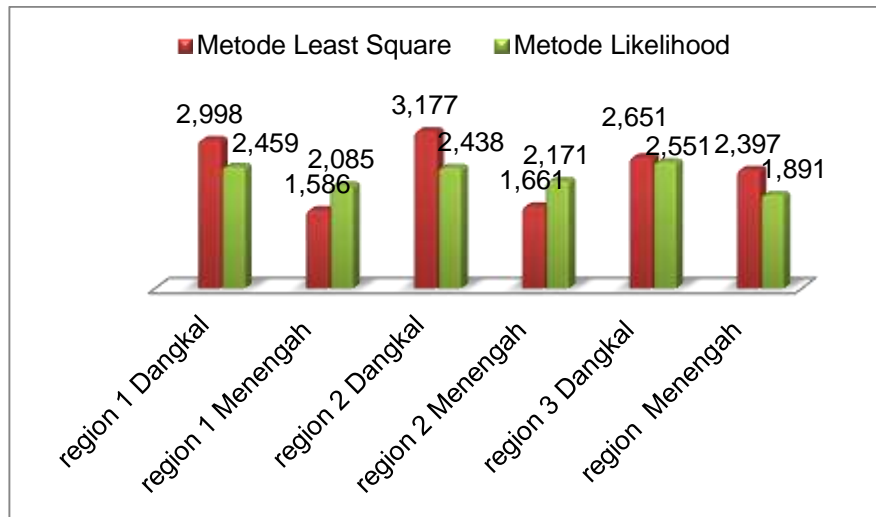
- a. Membandingkan tingkat seismisitas sesar matano dengan menggunakan metode *Least Square* dan *Likelihood*.
- b. Menganalisa Karakteristik Tektonik sesar Matano
- c. Analisa Karakteristik tektonik dapat dilihat dari hasil a-value (aktifitas seismik) dan b-value (kondisi tektonik dan kerapuhan batuan)
- d. Menghitung indeks seismisitas dan periode ulang gempabumi pada Metode *Least Square* dan *Likelihood*
  - 1) Dengan diketahuinya a-value dan b-value maka dapat ditentukan juga harga Indeks Seismisitasnya untuk  $M \geq 4$ ,  $M \geq 5$  dan  $M \geq 6$ .
  - 2) Setelah mendapatkan parameter indeks seismisitas selanjutnya dapat ditentukan pula periode ulangnya untuk gempa-gempa dengan  $M \geq 4$ ,  $M \geq 5$  dan  $M \geq 6$ .

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai *a-value* dan *b-value* dengan menggunakan metode *Least Square* dan *Likelihood*



Gambar 1. Grafik perbandingan b-value(kerapuan batuan) pada *Least Square* dan *Likelihood*



Grafik 2. Grafik perbandingan a-value pada metode *Least Square* dan *Likelihood*

Dari hasil yang diperoleh dengan menggunakan kedua metode baik untuk metode *Least Square* maupun metode *Likelihood* diperoleh nilai yang cukup mendekati yaitu region 3 kedalaman dangkal.

Pada Metode *Least Square* Nilai kerapuhan batuan (*b-value*) berkisar antara 0,175–0,310 dan pada region 2 pada kedalaman dangkal merupakan region yang memiliki nilai *b-value* terbesar yaitu 1,310 dan keaktifan seismik sebesar 3.177 sedangkan region I pada kedalaman menengah memiliki nilai *b-value* yang cukup rendah yaitu 0,175 dan tingkat seismisitas yang rendah sekitar 1.586. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan seismotektonik di region 2 cukup tinggi. Tingginya nilai *b-value* yang diperoleh dibandingkan dengan kelima region lainnya, hal tersebut menandakan bahwa batuan di wilayah Sesar Matano heterogenitas (tingkat kerapuhan tinggi) sehingga di wilayah ini lebih berpotensi untuk terjadi gempa dengan kekuatan yang besar dibandingkan bagian sebaran yang lain.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh region 2 pada kedalaman dangkal memiliki nilai *a-value* yang tinggi yaitu 3.177 dan pada region 1 pada kedalaman dangkal merupakan daerah yang memiliki nilai seismisitas yang sangat rendah yaitu 1.586. Dari penjelasan dan nilai yang diperoleh diatas dapat ditentukan bahwa region 2 pada kedalaman dangkal merupakan daerah yang memiliki seismisitas yang tinggi atau rawan untuk terjadinya gempa.

Dari nilai *b-value* dan *a-value* yang diperoleh dapat dilihat bahwa wilayah yang memiliki nilai terbesar berada di region 2 pada kedalaman dangkal hal tersebut dapat dilihat dari interval angka yang diperoleh keempat wilayah lainnya yang memiliki interval yang cukup berbeda.

Untuk Metode Likelihood Tingkat seismisitas yang diperoleh pada adalah berupa nilai *a-value* dan *b-value* yang bervariasi pada setiap pembagian Region, Nilai *b-value* yang diperoleh pun bervariasi untuk region I pada kedalaman dangkal sebesar 0.214, Region I kedalaman menengah sebesar 1.315, Region 2 kedalaman dangkal sebesar 0.248, Region 2 kedalaman menengah sebesar 0,306, region 3 kedalaman dangkal sebesar 0,291 dan region 3 kedalaman menengah sebesar 0.203 , Dari nilai yang diperoleh yang memiliki tatanan tektonik tertinggi terdapat pada region 1 kedalaman menengah sebesar 0.315 dan yang terendah terdapat di region 3 menengah yaitu 0,203.

Sedangkan untuk tingkat seimisitasnya atau nilai *a-value* yang diperoleh untuk setiap region adalah Region 1 kedalaman dangkal sebesar 2.459, region 1 kedalaman menengah sebesar 2.085, region 2 kedalaman dangkal sebesar 2.438, region 2 kedalaman menengah sebesar 2.171, region 3 kedalaman dangkal sebesar 2.551 dan region 3 kedalaman menengah sebesar 1.891, Dari setiap nilai yang diperoleh region 3 kedalaman dangkal merupakan wilayah yang memiliki tingkat seismisitas yang tertinggi. Hasil penelitian *b-value* yang rendah berhubungan dengan batuan yang lebih homogen hal tersebut berkaitan dengan tingkat stress batuan yang rendah, sedangkan *b-value* yang tinggi berkaitan dengan tingkat stress yang tinggi. Hal ini berarti bahwa wilayah yang nilai *b-value* yang tinggi berpotensi besar akan terjadi gempabumi. Selain itu dibandingkan zona *b-value* yang tinggi yang berkaitan dengan batumannya yang heterogenitas.

Dari analisa nilai *a-value* dan *b-value* yang diperoleh dapat dilihat bahwa daerah yang memiliki tingkat seismik atau *a-value* yang tinggi berada pada region 3 dangkal, hal tersebut didukung oleh nilai tektoniknya atau *b-valuenya* yang tinggi.



### Karakteristik Tektonik Sesar Matano

Karakteristik tektonik ialah bagaimana sifat tektonik di daerah sesar matano tersebut. Sifat yang di maksud adalah dapat ditinjau dari *a-value* (aktivitas gempa) dan dapat juga di tinjau dari *b-value* (kondisi batuan setempat). Telah terlihat jelas bahwa dengan menggunakan metode least square maupun likelihood nilai dari *a-value* (aktivitas gempa) lebih tinggi dibandingkan *b-value* (kondisi batuan setempat). Hal ini menandakan bahwa aktifitas seismic pada sesar matano tergolong tinggi. Sedangkan untuk kondisi bantuan atau *b-value* erat kaitanya dengan tektonik. Makin besar nilai *b-value* makin besar pula tingkat kerapuhan batumannya begitupun dengan sebaliknya.

### Periode Ulang Gempabumi pada Sesar Matano dengan Menggunakan Metode Least Square dan Likelihood

Setelah indeks seiminitas didapatkan maka selanjutnya menentukan periode ulang pada metode *Least Square* dan *Likelihood* tersebut sehingga hasilnya terlihat pada tabel berikut:

$$\theta(M \geq M_0) = \frac{1}{N1(M \geq M_0)} = 0.189$$

**Tabel 8.** Hasil Analisis Periode Ulang Gempa *Least Square* dan *Likelihood*

Region	Periode ulang					
	Least Square			Likelihood		
	M ≥ 4	M ≥ 5	M ≥ 6	M ≥ 4	M ≥ 5	M ≥ 6
Region 1 Dangkal	0.189	0.363	0.698	0.257	0.420	0.686
Region 1 Menengah	1.100	1.646	2.462	2.292	4.739	9.798
Region 2 Dangkal	0.173	0.353	0.722	0.427	0.756	1.337
Region 2 Menengah	1.057	1.614	2.465	1.674	3.388	6.856
Region 3 Dangkal	0.482	0.951	1.877	0.575	1.122	2.191
Region 3 Menengah	0.531	0.960	1.735	0.823	1.314	2.098

Setelah diperoleh hasil dari periode ulang tersebut maka selanjutnya mengkalikan dengan T = 21 tahun (data yang digunakan) sehingga dihasilkan seperti pada tabel 9.

**Tabel 9.** Hasil Pembacaan Periode Ulang gempa *Least Square* dan *Likelihood*

Region	Periode Ulang					
	Least Square			Like Lihood		
	M ≥ 4	M ≥ 5	M ≥ 6	M ≥ 4	M ≥ 5	M ≥ 6
Region 1 Dangkal	4	8	15	5	9	14
Region 1 Menengah	23	35	52	48	100	206
Region 2 Dangkal	4	7	15	9	16	28

Region 2 Menengah	22	34	52	35	71	144
Region 3 Dangkal	10	20	39	12	24	46
Region 3 Menengah	11	20	36	17	28	44

Pada tabel 9, region 1 kedalaman dangkal Terjadi gempa di atas  $M \geq 4$  sebanyak 5 kali dalam 21 tahun selanjutnya perulangan gempa terjadi kembali dalam waktu 4 tahun untuk magnitudo lebih besar dari 4 yaitu di kalikan dengan 21 tahun maka hasil yang didapatkan adalah 4 tahun. Untuk periode ulang tercepat dengan  $M \geq 4$  berada pada region satu untuk gempa-gempa dangkal dengan metode least square dan likelihood dapat dilihat pada tabel 4.16 yaitu sekitar 0.189 atau 4 tahun untuk metode likelihood dan 0.257 atau 5 tahun untuk metode least square sedangkan periode ulang terlama yaitu pada region satu untuk gempa-gempa menengah dengan metode least square dapat dilihat pada tabel 4.16 yaitu 1.100 atau 23 tahun untuk metode least square dan 2.292 atau 48 tahun untuk metode likelihood. Begitupun dengan data-data yang ada pada  $M \geq 5$  dan  $M \geq 6$ .

#### 4. PENUTUP

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka dapat disimpulkan hasil penelitian sebagai berikut:

- Dalam menentukan tingkat seismisitas di suatu wilayah dengan menggunakan dua metode yaitu baik dengan metode least square dengan *b-value* sebesar 0.310 dan *a-value* sebesar 3.177 sedangkan untuk metode Likelihood diperoleh *b-value* sebesar 0.315 dan *a-value* sebesar 2.551 dari kedua metode diperoleh region yang berbeda disimpulkan bahwa sesar matano yang memiliki seismisitas yang tinggi atau daerah rawan gempa.
- Dari analisis *a value* dan *b value* dapat di simpulkan bahwa karakteristik tektonik pada sesar matano Telah terlihat jelas bahwa dengan menggunakan metode least square maupun likelihood nilai dari *a-value* (aktivitas gempa) lebih tinggi dibandingkan *b-value* (kondisi batuan setempat). Hal ini menandakan bahwa aktifitas seismic pada sesar matano tergolong tinggi. Sedangkan untuk kondisi bantuan atau *b-value* Makin besar nilai *b-value* makin besar pula tingkat kerapuhan batumannya begitupun dengan sebaliknya.
- Dari keseluruhan region yang ada region satu untuk gempa-gempa dangkal merupakan daerah yang memiliki periode ulang yang tercepat untuk  $M \geq 4$  yaitu 4 tahun sehingga resiko seismik pada daerah ini ialah yang tertinggi apabila dibandingkan dengan region-region yang ada. Dan daerah yang memiliki periode ulang terlama berada pada region satu untuk gempa –gempa dengan kedalaman menengah yaitu sekitar 24 tahun.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Azis, N.M., Abdullah, C.I. dan Brahmantyo, B. *Catatan Kuliah: Geologi Fisik*. Departemen Teknik Geologi. ITB.
- Amrstrong, F. Sompotan. *Formasi Geologi Sulawesi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung, 1998.

- Departemen Agama Republik Indonesia. Al Qur'an dan Terjemahannya edisi tahun 2013. Yayasan Penyelenggara Penerjemah Al-Qur'an. Semarang: Indonesia. 2013.
- Gutenberg, B., Richter, C., F. *Frequency of Earthquake in California*. Bull Seis Soc. Amerika. 1944.
- Ibrahim, Gunawan dan Subardjo, *Seismologi*, Edisi Revisi-1.
- Indriani, Rika. *Analisis Periode Ulang Gempabumi Merusak Daerah Subduksi dan Sistem Sesar Sumatera dengan Metoda Distribusi Weibull*.
- Larson, Harold, J., *Introduction to Probability Theory and Statistical Inference*, Second Edition, John Wiley & son, Inc., 1974.
- Subarjo. *Studi Anomali Kecepatan Gelombang P dan Gelombang S di Sulawesi Utara*. Badan Meteorologi dan Klimatologi. 2003.
- Peter Welker, M., *Statistical Analysis of Earthquakes Occurance in Japan*, Bulletin of IISSE, Vol. 2, 1965. M Shearer, Peter, *Introduction to Seismology*, Cambridge University Press. 1999.
- Rasyidi, Sulaiman dan Bambang Setiyo Prayitno, *Perbandingan Nilai b Menggunakan Metoda Kuadrat Terkecil dan Likelihood Maksimum dari Data BMG dan USGS untuk Daerah Aceh dan Sekitarnya*, Badan Meteorologi dan Geofisika, 2003.
- Rikitake, T., *Earthquake Forecasting and Warning*, Center for Academic Publication, 1981.
- Rusdin, A A. 2009. *Analisa Statistik Seismitas Sulawesi Selatan dan Sekitarnya (Tahun 1938 – 2008)*. Akademi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta
- Sulaeman Ismail, *Metode peramalan gempa bumi dan penerapannya*, BMG - Departemen Perhubungan, 1983.
- Sompotan, Armstrong F. 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*. ITB
- Sudjana, M.A 1989. *Metoda Statistika Edisi 6*. TARSITO. Jakarta
- Yudha Laksana, Wibowo, *Penentuan Peluang Terjadinya Gempa Bumi Di Daerah Lampung Dengan Bantuan Metoda Likelihood*, Amg, 2005.
- Yukio Hagiwara, *Probability of Earthquake Occurrence as Obtained from a Weibull Distribution Analysis of Crustal Strain*. *Tectonophysics*, 23 (1974) 313-318.