

# ANALISIS STATISTIK KEGEMPAAN WILAYAH SULAWESI SELATAN PERIODE 2006-2018

Indah Kurniawati

BBMKG Wilayah IV Makassar, indahkurniawati.bmkg@gmail.com

Rizky Muhammad Rahman

Stasiun Geofisika Karang Panjang Ambon

**ABSTRAK**, Analisis keaktifan gempabumi di wilayah Sulawesi Selatan dapat diketahui dengan perhitungan statistik, hubungan frekuensi gempabumi terhadap magnitudo. Data diperoleh dari katalog gempabumi BMKG periode 1 Januari 2006 sampai 31 Desember 2018 dengan  $Mag > 3.4$  untuk semua kedalaman yang dibatasi oleh koordinat  $1.4^{\circ}LS - 7^{\circ}LS$  dan  $118.2^{\circ}BT-122.1^{\circ}BT$ . Data gempabumi tersebut dikelompokkan berdasarkan wilayah (Spasial) per  $0.1^{\circ}$ lintang x  $0.1^{\circ}$ bujur. Perhitungan statistik dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Berdasarkan perhitungan diperoleh aktifitas seismik tertinggi di sekitar Sesar Matano dan Sesar Saddang yang merupakan area paling aktif gempa di Sulawesi Selatan. Daerah aktifitas tertinggi memiliki *a-value* dan *b-value* yang tinggi, sesuai dengan aktifitas gempa dan heterogenitas batuan. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kerapuhan batuan, maka semakin tinggi pula aktivitas seismik yang terjadi di wilayah tersebut.

**Kata Kunci:** statistik, gempabumi, *a-value*, *b-value*

## 1. PENDAHULUAN

Pemicu terbentuknya patahan-patahan di Sulawesi (pada umumnya) adalah gabungan antara mikrokontinen Benua Australia dan mikro-kontinen Sunda yang terjadi sejak Miosen. Semakin rumit dan kompleks proses tektonik yang terjadi, maka semakin tinggi intensitas kegempabumiannya. Pada beberapa kasus gempabumi besar yang terjadi di Sulawesi Selatan diakibatkan patahan Matano yang menyebabkan gempabumi besar ( $M 6.1$ ) pada 15 Februari 2011 yang mengakibatkan banyak bangunan rusak. Untuk wilayah Sulawesi Selatan patahan yang menyebabkan gempabumi lokal yaitu patahan Matano, Patahan Saddang, Patahan Walanae dan Patahan Naik Selat Makassar. Dari berbagai fakta di atas, maka Sulawesi Selatan adalah salah satu wilayah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi dan menarik untuk diteliti.

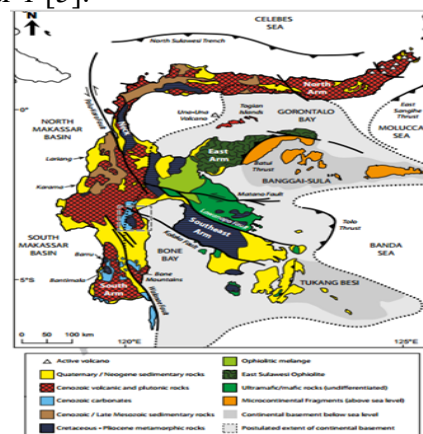
Aktifitas kegempaan suatu daerah dapat diketahui dengan mengamati hubungan frekuensi-magnitudo [1], dimana merupakan hubungan pangkat (*power law*). Secara global *b-value* mendekati 1, yang berarti 10 kali

penurunan aktivitas terkait dengan kenaikan dalam tiap unit magnitudo. Analisis nilai *b* merupakan sebuah metode statistik yang dikembangkan untuk memperhitungkan hubungan kejadian gempabumi dengan frekuensi magnitudo. Konstanta *b* (*b-value*) yang tinggi berasosiasi dengan stress yang rendah dan heterogenitas material yang tinggi [2]. Jika nilai *b* kecil berarti adanya akumulasi energi sehingga kemungkinan dapat terjadi gempabumi besar [3]. Sedangkan konstanta *a* (*a-value*) menyatakan tingkat seismisitas di suatu daerah yang bergantung pada periode pengamatan, luas daerah pengamatan dan jumlah gempabumi di daerah tersebut. Semakin besar *a-value* berarti daerah tersebut semakin aktif.

Tujuan tulisan ini yaitu untuk mengetahui aktivitas gempabumi di wilayah Sulawesi Selatan berdasarkan *a-value* dan *b-value* daerahnya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pulau Sulawesi seakan dirobek oleh berbagai patahan (*faulting*) dan sesar (*thrusting*) dimana berbagai jenis batuan tercampur sehingga posisi stratigrafinya menjadi sangat rumit, seperti pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Tektonik Sulawesi

Pulau Sulawesi memiliki empat buah lengan yang dikenal dengan sebutan Lengan Selatan, Lengan Utara, Lengan Timur, dan Lengan

Tenggara [6]. Secara struktur terdapat beberapa sesar yang memotong wilayah Sulawesi Selatan serta yang terdapat di Selat Makassar. Secara umum persesaran yang dihasilkan akibat aktifitas tektonik di Pulau Sulawesi berarah baratlaut – tenggara, utara – selatan dan baratdaya – timur laut. Sesar yang berasosiasi dengan sumber gempa bumi merupakan sesar aktif. Terdapat enam sesar aktif di daratan Sulawesi yaitu Sesar Palu Koro, Sesar Lawanopo, Sesar Matano, Sesar Walane, Sesar Poso, dan Sesar Gorontalo [7]. Sedangkan sesar dengan mekanisme thrusting (naik) yang ada di sekitar Pulau Sulawesi adalah Batui thrust, Tolo thrust, Makassar thrust, dan Sulu thrust yang letaknya di utara Pulau Sulawesi.

Metode analisis statistik kegempaan dari distribusi gempabumi pada waktu tertentu sebagai fungsi dari magnitudo, dikenal sebagai *Gutenberg-Richter relation* [8] dituliskan sebagai berikut:

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

dimana  $n(M)$  adalah jumlah gempabumi dengan magnitudo  $M$ .  $a$ -value merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung banyaknya gempa dan untuk wilayah tertentu bergantung pada penentuan volume dan *time window*. Sedangkan  $b$ -value merupakan parameter tektonik biasanya mendekati 1 dan menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan yang besar.  $b$ -value dapat ditentukan dengan metode least square atau *maximum likelihood*. Metode *maximum likelihood* merupakan suatu metode statistik yang sangat sesuai untuk memecahkan masalah tentang seismologi. Metode ini dipergunakan untuk masalah hubungan antara frekuensi gempa dan magnitudo. Metode *maximum likelihood* [9] menggunakan persamaan yang berikut :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_c} = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_c} \quad (2)$$

$$a = \log N + \log(b \ln 10) + M_o b \quad (3)$$

di mana :

- $\bar{M}$  = magnitudo rata-rata
- $M_c$  = magnitudo minimum
- $N$  = jumlah data

Parameter penting dalam menentukan  $b$ -value adalah *magnitude completeness* ( $M_c$ ), yaitu magnitudo minimum yang dicatat dengan baik dalam sebuah katalog gempabumi, dimana diatas magnitudo ini hubungan antara jumlah gempabumi dan magnitudo gempabumi memenuhi persamaan (1), sehingga diperlukan deskripsi akurat dari  $M_c$  lokal karena  $M_c$  pada wilayah penelitian sangat berpengaruh terhadap penentuan  $b$ -value. Sebelumnya perlu adanya proses *declustering* yaitu proses untuk menghilangkan efek dari aftershock sehingga yang digunakan hanya gempa-gempa utamanya saja. Algoritma yang diterapkan merupakan algoritma dari Reasenberg 1985 pada model statistik gempabumi[4]

Skala-skala magnitudo yang berbeda harus dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitudo yang sama sebelum digunakan dalam analisis. Menggunakan rumusan konversi magnitudo sebagai berikut:

$$\log M_o = 1.0 M_s + 12.2, \quad M_s \leq 6.4 \quad (4)$$

$$\log M_o = 1.5 m_b + 9.0, \quad 3.8 < m_b \leq 5.2 \quad (5)$$

$$\log M_o = 1.5 M_l + 8.7, \quad 3.6 < M_l \leq 5.0 \quad (6)$$

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_o - 6.0 \quad (7)$$

di mana :

- $M_o$  = Moment Seismik
- $M_w$  = Magnitudo Momen
- $M_s$  = Magnitudo Permukaan
- $m_b$  = Magnitudo body
- $M_l$  = Magnitudo lokal

### 3. METODOLOGI

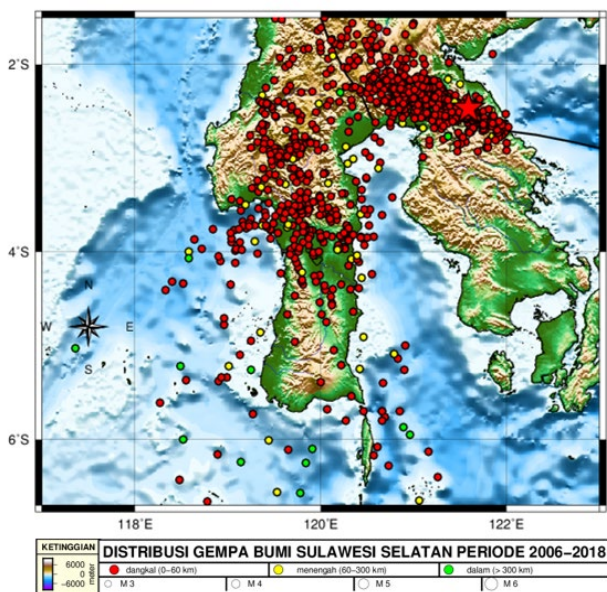
Penelitian ini menggunakan data sekunder dari katalog gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada daerah penelitian dengan sistem koordinat rectangular dari  $1.4^\circ$  LS –  $7^\circ$  LS dan  $118.2^\circ$  BT- $122.1^\circ$  BT, periode 1 Januari 2006 – 31 Desember 2018. Maka penelitian ini memiliki jangkauan waktu sekitar 12 tahun sebanyak 929 data kejadian. Tahapan utama pengolahan data meliputi :

1. Seleksi data dan penyeragaman magnitudo ke magnitudo momen ( $M_w$ ).

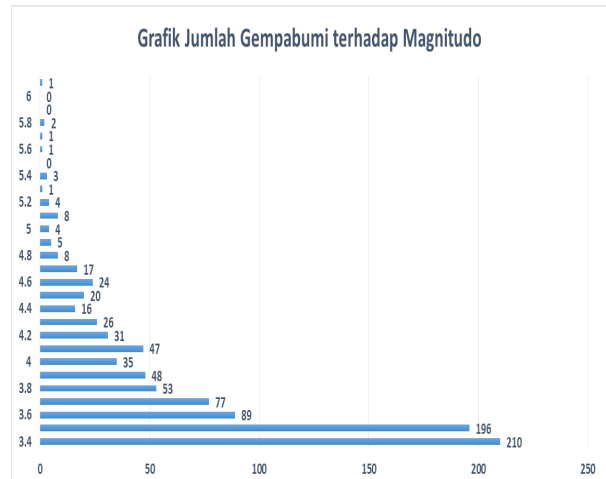
2. Declustering katalog gempa dengan ZMAP pada menu Ztool menggunakan decluster Reasenberg.
3. Plot distribusi frekuensi magnitudo untuk melihat kelengkapan data sehingga diketahui magnitude completeness ( $M_c$ ).
4. Plot data melalui program ZMAP dan GMT [10].
5. Menghitung  $b$ -value dan  $a$ -value menggunakan metode Maximum Likelihood untuk mengetahui variasi spasial di daerah penelitian.

#### 4. PEMBAHASAN

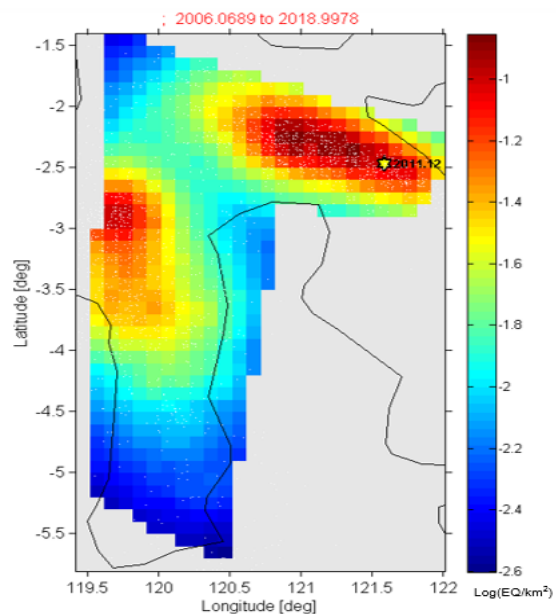
Distribusi gempabumi wilayah Sulawesi Selatan selama 12 tahun (2006-2018) dengan magnitudo terbesar M 6.1 (Gambar 2). Data gempabumi sebelum dilakukan declustering berjumlah 927 kejadian, kemudian setelah dilakukan declustering diperoleh 861 kejadian. Dekluster katalog bertujuan untuk menghilangkan pengaruh aftershock sehingga diperoleh gempa yang independent. Jumlah gempabumi terbanyak terdapat pada magnitudo minimum yaitu magnitudo 3.4 sebanyak 210 kejadian, semakin sedikit di magnitudo terbesarnya yaitu magnitudo 6.1 (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo gempa di suatu daerah, maka semakin besar energi yang dilepaskan sehingga gempa besar jumlahnya lebih sedikit bahkan hanya 1 kali dalam puluhan tahun.



Gambar 2. Distribusi gempabumi Sulawesi Selatan periode 2006-2018



Gambar 3. Grafik jumlah gempabumi terhadap magnitudo

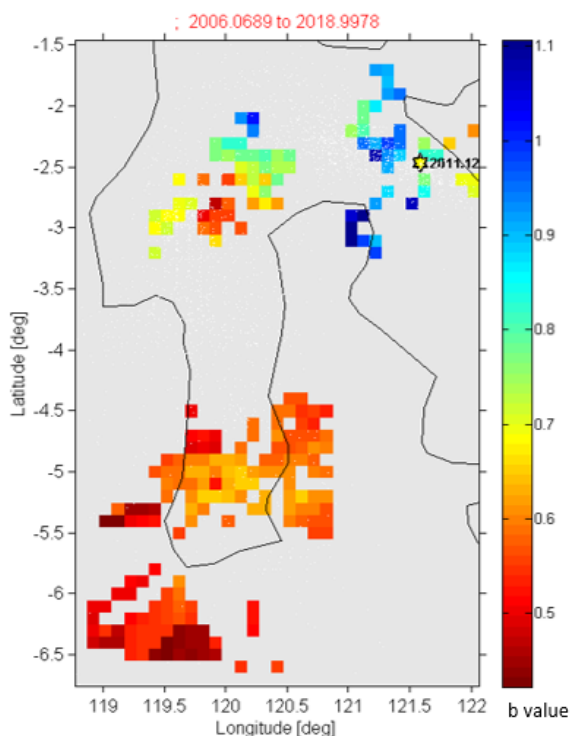


Gambar 5. Peta densitas gempabumi. Warna merah untuk densitas gempabumi yang tinggi sedangkan warna biru untuk densitas gempabumi yang rendah

Setelah diolah dalam ZMAP dan *declustering*, diperoleh grafik distribusi frekuensi-magnitudo gempabumi di Sulawesi Selatan (Gambar 4). *Magnitude completeness* ( $M_c$ ) sebagai magnitudo minimum yang dicatat dengan baik berada pada magnitudo 4.3 dan hasil gradien hubungan frekuensi – magnitudo, secara umum wilayah Sulawesi Selatan memiliki  $b$ -value sebesar  $0.905 \pm 0.03$  dan  $a$  value sebesar 4.9.  $b$ -value kira-kira sama dengan 1 untuk skala waktu yang lama dan skala spasial yang besar, namun bervariasi secara signifikan pada skala

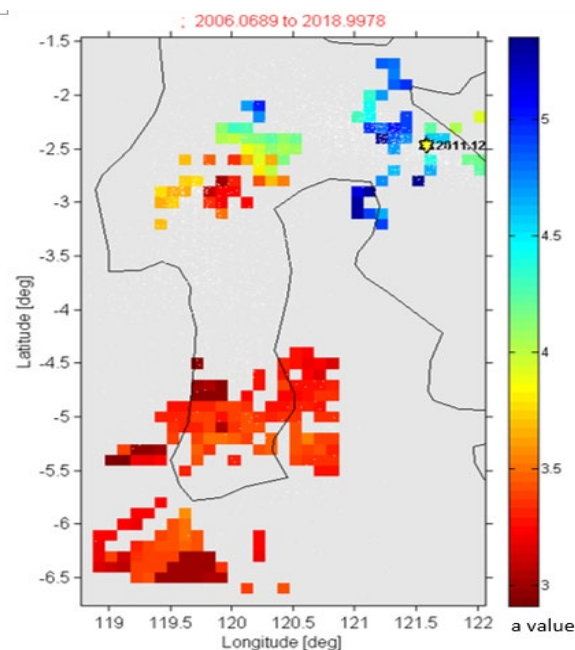
yang kecil [11] yang dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan  $a$ -value Sulawesi Selatan secara umum belum dapat disimpulkan, karena  $a$ -value tergantung pada spasial yang dapat dilihat di Gambar 7.

Berdasarkan peta densitas gempabumi (Gambar 5), daerah Sesar Matano dan Sesar Saddang memiliki densitas gempabumi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainya di Sulawesi Selatan. Hal ini menunjukkan gempabumi dominan terjadi pada wilayah tersebut sesuai dengan peta distribusi gempabuminya.



Gambar 6. Peta distribusi  $b$ -value

Berdasarkan peta distribusi  $b$ -value (Gambar 6) wilayah Sulawesi Selatan memiliki rentang  $b$ -value pada 0,5 hingga 1,1. Nilai tertinggi berada pada area Sesar Matano dan sesar Saddang. Heterogenitas material yang tinggi berhubungan dengan  $b$ -value yang tinggi [12]. Hasil ini dapat didukung dengan karakteristik batuan heterogen juga secara geologi. Wilayah yang heterogen,  $stress$  yang dialami batuan rendah, sehingga banyak terjadi gempa namun dengan magnitudo skala kecil. Wilayah dengan  $b$ -value tinggi yaitu sekitar Luwu Timur, Luwu Utara. Sedangkan  $b$ -value rendah terdapat di wilayah Tana Toraja, Bone, Sinjai, Bulukumba dan bagian Selatan dari Sulawesi Selatan.



Gambar 7. Peta distribusi  $a$ -value

Sedangkan  $a$ -value wilayah Sulawesi Selatan berkisar 3 – 5 (Gambar 7), dengan komposisi yang sama seperti  $b$ -value. Interpretasi  $a$ -value yang tinggi menunjukkan aktifitas kegempaan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan kondisi tektonik daerahnya yang banyak terdapat sesar lokal sebagaimana terlihat pada peta tektonik Sulawesi Selatan.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, dapat disimpulkan :

1. Aktifitas gempabumi wilayah Sulawesi Selatan cukup tinggi dengan 927 kejadian selama 2006 hingga 2018.
2. Daerah dengan aktifitas gempabumi tertinggi di Wilayah Sulawesi Selatan selama periode 2006 hingga 2018 adalah Sesar Matano dan Sesar Saddang.
3. Daerah aktifitas tertinggi di Sulawesi Selatan memiliki  $a$  value dan  $b$  value yang tinggi, sesuai dengan aktifitas gempa dan heterogenitas batuan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gutenberg, B. & Richter, C.F. 1964. "Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration". Bull. Seismol. Soc. Am., 32: 163-191.

- [2] Main, I. G., Meredith, P. G., Sammonds, P. R. 1992. “*Temporal variations in seismic event rate and b-values from stress corrosion constitutive laws*”. *Tectonophysics*, 211(1-4), 233-246.
- [3] Srivastava, K., Swaroopa, R., Srinagesh, D. 2014. “*A review of b-value imaging and fractal dimension studies in the Andaman Sumatra subduction*”. *Journal of Natural Hazard*. Vol.77 Pages 97-107.
- [4] Thomas van S., Jiancang Z., and David Marsan. 2012. “*The V – Models and Techniques for analyzing seismicity : Seismicity Declustreing*”. Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, doi:10.5078/corssa-52382934
- [5] White Lloyd T., Robert Hall, Richard A., Armstrong, Anthony J. Barber, Marcelle BouDagher fadel, Alan Baxter, Koji Wakita, Christina manning, and Joko Soesilo. 2017. “*The geological history of the Latimojong region of Sulawesi, Indonesia*”. *Journal Earth Sciences* 138 (2017) 72–91.
- [6] Irsyam Masyhur, Wayan Sengara, Fahmi Aldiamar, SriWidiyantoro, Wahyu Triyoso, Danny Hilman, Engkon Kertapati, IrwanMeilano, Suhardjono, M.Asrurifak, M.Ridwan. 2010. “*Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*”. Bandung, 1 Juli 2010.
- [7] Silver, E.A., McCaffrey, R., Joyodiwiryo, Y. & Stevens, S. 1983. “*Ophiolite emplacement and collision between the Sula Platform and the Sulawesi island arc, Indonesia*”. *Journal of Geophysical Research*, 88, 9419-9435.
- [8] Gutenberg, B., Richter, C. F. 1944. “*Frequency of earthquakes in California*”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 4, pp. 185–188.
- [9] Ustu, T. 1965. “*A method in determining the value of b in a formula  $\log n = a - bM$  showing the magnitude frequency for earthquakes*”. *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.*, 13, 99-103.
- [10] Wiemer, S. 2001. “*A software package to analyze seismicity: ZMAP*”. *Seismological Research Letters*, 72 (2), 374-383.
- [11] Stein, S., Wysession, M. 2003. “*An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*”. Blackwell Publishing, Boston.
- [12] Mogi, K. 1962. “*Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, 2<sup>nd</sup> paper*”. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 40, pp.831-853.