

## Pemetaan *Magnitude of Completeness* ( $M_c$ ) untuk Gempa Sumatera

Jenny Teresia Simamora\*, Elistia Liza Namigo

Jurusan Fisika Universitas Andalas

\*jenny\_tere93@yahoo.com

### ABSTRAK

Telah dilakukan estimasi nilai  $M_c$ , nilai- $b$  dan nilai- $a$  menggunakan data gempa bumi dari katalog USGS (United States Geological Survey) dari Januari 1970 sampai Maret 2015 dengan batas  $90^\circ\text{BB} - 106^\circ\text{BB}$  dan  $6^\circ\text{LU} - 6^\circ\text{LS}$  dengan skala magnitudo  $M_w \geq 4$  SR sampai 9 SR pada kedalaman maksimum 300 km yang meliputi wilayah Sumatera dan Samudera Hindia. Dalam penelitian ini digunakan *Software ZMAP under MATLAB*. Estimasi  $M_c$  dilakukan secara spasial dan temporal dengan menggunakan dua metoda yaitu metoda MAXC dan EMR. Variasi nilai  $M_c$  secara spasial kemudian dipetakan dengan *bin size* 250 secara spasial dan secara temporal persepuluh tahun untuk melihat evolusi nilai  $M_c$  selama empat dekade terakhir. Dari analisis diatas, diperoleh  $M_c$  sekitar 4,2 SR sampai 5,6 SR (nilai  $M_c$  rata-rata adalah 4,6 SR), Nilai- $b$  berkisar 0,6 sampai 1,1 dan variasi nilai- $a$  berkisar 5 sampai 7,5. Berdasarkan pemetaan nilai  $M_c$ , Sumatera bagian utara dan daerah lepas pantai barat Sumatera memiliki nilai  $M_c$  yang rendah yaitu (4,6-4,9) SR. Ini menandakan bahwa data gempa untuk daerah-daerah tersebut cukup lengkap di banding daerah lain. Berdasarkan pemetaan nilai- $b$  dan nilai- $a$ , wilayah yang memiliki tingkat kegempaan yang relatif tinggi dan memiliki potensi gempa-gempa besar adalah wilayah Aceh, Simeulue, Nias, Mentawai dan sekitar Bengkulu. Variasi  $M_c$  secara temporal relatif menurun selama empat dekade terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan perekaman data gempa relatif baik.

Kata Kunci: pemetaan  $M_c$ , nilai- $b$ , nilai- $a$ , MAXC, EMR.

### ABSTRACT

$M_c$ ,  $b$ -value, and  $a$ -value using earthquakes data from USGS (United States Geological Survey) catalog from January 1970 to March 2015 in area  $90^\circ\text{E} - 106^\circ\text{E}$  and  $6^\circ\text{N} - 6^\circ\text{S}$  with magnitude  $M_w \geq 4$  SR to 9 SR in maximum depth of 300 km covering areas in Sumatera and Indian Ocean have been estimated and mapped. Software ZMAP under MATLAB was used to accomplish this research. Estimation of  $M_c$  has been done spatially and temporally using two methods: MAXC dan EMR. Variation of  $M_c$  values is, then, mapped with bin size 250 spatial and variation of temporally per one decade to see evolution of  $M_c$  values during last four decades. According to analysis above, it is obtained of  $M_c$  values around 4.2 to 5.6 (average is the 4.6 SR),  $b$ -value is around 0.6 to 1.1, and variation of  $a$ -value is around 7.5. Based on  $M_c$  values mapping, North of Sumatera and offshore area of West of Sumatera have low  $M_c$ , which is 4.6 to 4.9 SR. Based on mapping of  $b$ -value and  $a$ -value, areas which have high level of seismicity and massive earthquakes are Aceh, Simeulue, Nias, Mentawai, and surrounding of Bengkulu. It means that earthquakes data of those areas sufficiently complete compared to other areas. Temporal Variation of  $M_c$  commonly indicates that  $M_c$  values decreased over four decades. It indicates that recording capability of seismic data is relatively improved.

Keywords: mapping of  $M_c$ ,  $b$ -value,  $a$ -value, MAXC, EMR.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia dengan luas total daratan  $1,92 \times 10^6$  km<sup>2</sup> dan luas perairan  $3,26 \times 10^6$  km<sup>2</sup> mencakup 17.504 pulau membentang dari Sumatera sampai Papua terletak pada batas pertemuan tiga lempeng besar dunia yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng mikro Filipina. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia sangat rawan terhadap bencana gempa (Pasau dan Tanauma, 2011). Sejak tahun 1779 sampai 2010 wilayah Indonesia telah mengalami gempa dengan magnitudo skala di atas 4,0 sebanyak lebih dari 48.000 kali (Putra dan Kiyono, 2012). Sebagai contoh gempa yang terjadi pada tahun 2004 di Banda Aceh yang disertai tsunami telah menimbulkan korban nyawa dan harta benda yang tidak sedikit. Kerugian semacam ini seharusnya dapat diminimalisir dengan adanya sistem deteksi dan peringatan awal (*early warning and detection system*).

Untuk mewujudkan hal ini tentu terlebih dahulu harus dipahami karakter dari kegempaan (*seismicity*) dari daerah yang sedang dikaji untuk kemudian dipetakan sehingga dapat diketahui daerah mana yang paling rawan gempa. Berbagai analisis kegempaan lainnya

dapat dilakukan untuk menentukan berbagai parameter yang dapat digunakan untuk memprediksi terjadinya gempa. Kelengkapan, konsistensi dan homogenitas dari data gempa pada suatu katalog dapat ditentukan dengan melakukan estimasi dan pemetaan  $M_c$  (*Magnitude of Completeness*).  $M_c$  didefinisikan sebagai magnitudo terendah atau batas bawah magnitudo dimana 100% gempa yang terjadi pada suatu daerah dan periode tertentu telah terdeteksi atau terekam oleh stasiun gempa (Rydelek dan Sacks, 1989). Estimasi  $M_c$  sangat berpengaruh pada penentuan nilai- $b$  ( $b$ -value) yang merupakan parameter persamaan G-R (*Gutenberg-Richter*).

Sebagai keperluan analisis kegempaan diperlukan data gempa yang lengkap, homogen dan konsisten. Kelengkapan, konsistensi dan homogenitas dari data gempa pada suatu katalog dapat ditentukan dengan melakukan estimasi dan pemetaan  $M_c$  (*Magnitude of Completeness*).  $M_c$  juga berpengaruh pada nilai- $a$  ( $a$ -value) yang digunakan untuk menghitung rate total gempa (seismicity rates) (Mignan, 2012).

Nilai  $M_c$  ditentukan dengan menggunakan teknik berbasis katalog (Rydelek dan Sacks, 1989; Woessner dan Wiemer, 2005) yaitu dengan fitting model G-R (*Gutenberg-Richter*) terhadap *FMD* (*frequency-magnitude distribution*) dari data gempa (Zuniga dan Wyss, 1995). Dari teknik tersebut dilakukan estimasi nilai  $M_c$  untuk wilayah Sumatera dengan menggunakan teknik *Maximum Curvature* (MAXC) dan *Entire Magnitude Range* (EMR) untuk kemudian dipetakan menjadi beberapa zona sesuai dengan variasi  $M_c$ . Mignan (2012) menyimpulkan bahwa MAXC adalah teknik yang paling sederhana dan secara statistik bersifat lebih stabil (robust) dalam penentuan nilai  $M_c$ . Namun menurut Wiemer dan Wyss (2000) dan Woessner dan Wiemer (2005) teknik GFT dan EMR lebih baik dibandingkan MAXC dalam mengestimasi nilai  $M_c$  jika diterapkan pada data gempa bumi dalam skala lokal atau regional. Pemetaan nilai  $M_c$  adalah langkah yang paling utama yang harus dilakukan untuk wilayah Sumatera mengingat daerah ini mencakup kawasan darat dan laut, ditambah lagi dengan fakta pada wilayah ini terdapat banyak aktifitas vulkanologi yang berpengaruh besar terhadap variasi nilai  $M_c$ .

## II. METODE

Data gempa yang digunakan adalah data gempa Sumatera dari Januari 1970 sampai Maret 2015 yang diambil dari *United States Geological Survey* (USGS). Penelitian ini melakukan estimasi nilai  $M_c$  dengan menggunakan dua metode yaitu metode MAXC dan metode EMR dari Katalog USGS wilayah Sumatera (Januari 1970 - Maret 2015) dengan koordinat  $90^\circ$  BT –  $106^\circ$  BT dan  $6^\circ$  LU -  $6^\circ$  LS. Data penelitian yang digunakan terdiri dari bujur, lintang, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam, dan menit. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software ZMAP*. Parameter umum katalog gempa yang dimasukkan pada *software* adalah magnitudo terendah (4 SR), magnitudo tertinggi (9 SR), kedalaman maksimum (296,6 km), kedalaman minimum (0,3 km), tahun (1970-2015), rentang *bin* (28 hari), magnitudo rendah gempa yang di plot (6,8-9 SR). Hasil dari penyeragaman dapat dilihat pada Gambar 1.

Format data katalog USGS disesuaikan agar dapat dibaca oleh *software ZMAP* yaitu Lon. Lat. Year. Month. Day. Mag. Depth. Hour. Setelah data gempa disortir berdasarkan format kemudian dilakukan penomoran (*numbering*), *filter* data dan buang data yang tidak memiliki *Depth*. Setelah data lengkap, hapus semua *header* dan semua nomor. Simpan data dengan *type Tap delimited*, selanjutnya buka *notepad* dan atur ulang nama. Terakhir simpan dengan format .DAT. Langkah-langkah perhitungan  $M_c$ :

1. Membuat histogram magnitudo gempa untuk menggambarkan data secara menyeluruh.
2. Melakukan sortir data untuk memisahkan gempa utama (*mainshock*) dari gempa rintisan (*foreshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) untuk melihat frekuensi gempa utama dalam waktu tertentu. Gempa utama dipisahkan dari gempa rintisan dan susulan didasarkan pada algoritma yang dikembangkan oleh Reasenber (Reasenber, 1985). Algoritma ini pada dasarnya menghilangkan gempa-gempa yang berada di sekitar gempa besar dalam suatu range jarak dan waktu tetap yang disebut dengan jendela (*window*). Ada delapan parameter yang menjadi input pada algoritma ini diantaranya: *taumin* merupakan waktu *look-ahead* minimum untuk data gempa yang tidak ter-*cluster* dalam satuan hari (nilai *default* 1 hari),

*taumax* adalah waktu *look-ahead* maksimum untuk data gempa yang tidak ter-cluster dalam satuan hari (nilai *default* 10 hari), *P1* adalah tingkat keyakinan secara statistik untuk gempa berikut dalam suatu rangkaian (nilai *default* 0,95), *xmeff* merupakan magnitudo *cutoff* terendah dari suatu katalog, *xk* adalah faktor yang dipakai dalam *xmeff* (nilai *defaultnya* adalah 0,5), *rfact* adalah faktor radius interaksi event gempa yang saling berhubungan (nilai *defaultnya* adalah 10), *Epicenter-Error* adalah eror lokasi secara horizontal dalam km (nilai *default* 1,5). *Depth-Error* merupakan eror lokasi hiposenter gempa secara vertikal dalam km (nilai *default* 2). *Outputnya* berupa *vcl* yaitu sebuah vektor yang mengindikasikan kelompok gempa (cluster) dimana tiap-tiap gempa teralokasi (nilainya 0 jika tidak teralokasi), *v\_mainshock* yaitu katalog gempa yang hanya berisi gempa utama, *flag\_vector* yaitu sebuah vektor yang mengindikasikan apakah suatu *event* gempa dikategorikan gempa rintisan (-1), gempa utama (0) atau gempa susulan (1).

3. Estimasi nilai  $M_c$  secara spasial dengan menggunakan metode MAXC dan EMR untuk data lebih akurat
4. Estimasi nilai  $M_c$  secara temporal dengan menggunakan metode MAXC dan EMR supaya nilai  $M_c$  terlihat lebih detail untuk beberapa dekade.
5. Memetakan nilai  $M_c$  sehingga terlihat wilayah mana saja yang stasiun seismiknya sudah merekam magnitudo gempa lebih kecil.

Parameter-parameter seismisitas merupakan harga yang dapat digunakan sebagai ukuran dalam kaitannya dengan tingkat kegempaan suatu daerah. Parameter-parameter seismisitas yang bisa ditinjau meliputi nilai-*a* dan nilai-*b*. nilai-*b* adalah parameter konstanta yang secara langsung berhubungan dengan karakteristik tektonik masing-masing daerah kegempaan. Nilai-*b* dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$b = \frac{\log(e)}{\overline{M} - \left( M_c - \frac{\Delta M}{2} \right)} \tag{1}$$

$\overline{M}$  adalah rata-rata magnitudo gempa,  $M_c$  adalah batas bawah magnitudo gempa pada daerah kajian dan  $\log e$ : 0,4343.

Nilai-*a* adalah parameter tingkat seismisitas suatu daerah kajian dan bergantung pada periode pengamatan dan seismisitas daerah tersebut. Nilai-*a* untuk frekuensi kumulatif untuk  $M \geq 6,0$  SR. Nilai-*a* dapat dihitung dengan Persamaan 2.

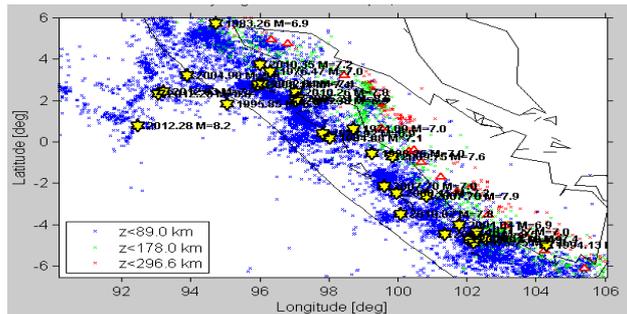
$$a = \log N(M \geq 6,0) + \log(b \ln 10) + (6,0b) \tag{2}$$

*a* adalah parameter tingkat seismisitas suatu daerah yang diamati, *N* adalah Frekuensi terjadinya gempa pada magnitudo tertentu. Nilai parameter *a* selalu berubah-ubah dan bergantung pada lamanya periode pengamatan dan ukuran rata-rata dari suatu daerah gempa yang ditinjau.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Penyeragaman Skala Magnitudo

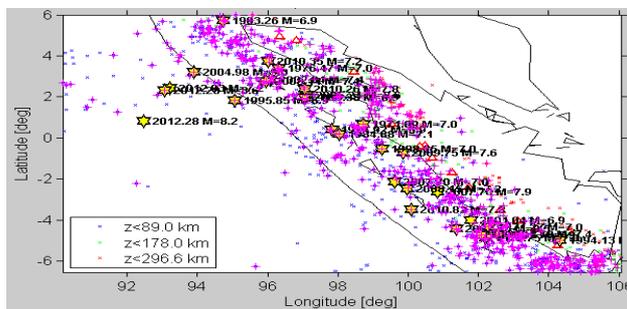
Hasil penyeragaman dari data gempa dapat dilihat pada Gambar 1 dimana terlihat bahwa distribusi kejadian gempa utama di setiap daerah atau wilayah Sumatera dari utara sampai selatan hampir merata. Sebaran gempa dengan magnitudo 6,8 SR sampai 9,0 SR didapatkan pada bagian barat pulau Sumatera tepatnya pada lempeng subduksi (Indo-Australia dan Eurasia). Ini berarti bahwa wilayah Sumatera bagian barat sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Gempa-gempa dangkal banyak terjadi pada wilayah rawan gempa yaitu Andaman, Aceh, pulau Simeulue, Nias, Siberut dan Sekitar Bengkulu. Sedangkan gempa menengah dan dalam kebanyakan terdistribusi di sepanjang pulau Sumatera yang diakibatkan oleh pergerakan Sesar Sumatera dan akibat aktivitas gunung berapi.



Gambar 1 Plot data gempa di daerah Sumatera dari Januari 1970 sampai Maret 2015

### 3.2 Sortir Gempa Utama

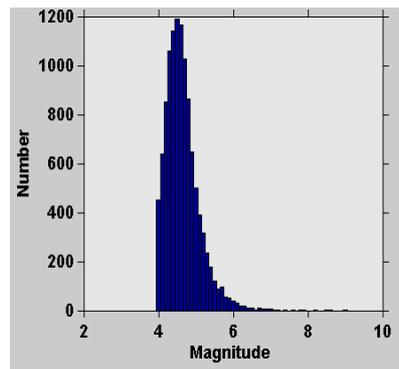
Dari kriteria Reasenberg didapatkan sekitar 655 kelompok gempa yang telah dipisahkan dan total gempa yang terbangun sebanyak 10.065 gempa dari 11.317. Sehingga setelah di sortir menjadi 1.252 gempa seperti yang terlihat pad Gambar 2.



Gambar 2 Plot data gempa utama berdasarkan kriteria Gardner & Knopoff (1974).

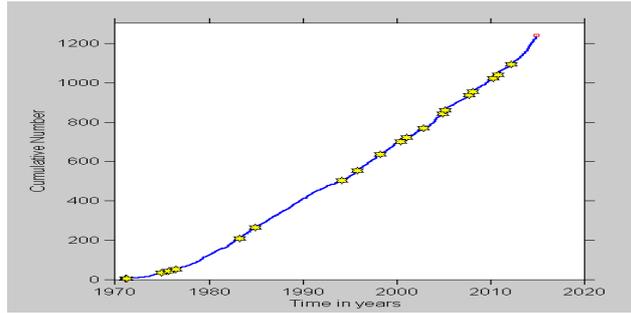
### 3.3 Frekuensi Gempa di Wilayah Sumatera

Total gempa daerah Sumatera dengan koordinat koordinat 90° BT – 106° BT dan 6° LU - 6° LS (Januari 1970 sampai Maret 2015) dari katalog USGS sekitar 11.317 dengan magnitudo sekitar 4 SR kurang lebih berjumlah 400 – 1200 gempa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Histogram Magnitudo vs jumlah gempa

Gambar 3 menunjukkan adanya perubahan frekuensi aktivitas kegempaan secara signifikan pada tahun 1994 sampai tahun 2012 dibandingkan tahun 1970 sampai tahun 1984. Berdasarkan plot kumulatif kegempaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 periode kegempaan dibagi menjadi dua untuk magnitudo 6,8 SR sampai 9,0 SR, yaitu Februari 1971 – November 1984 dan Februari 1994 – April 2012.

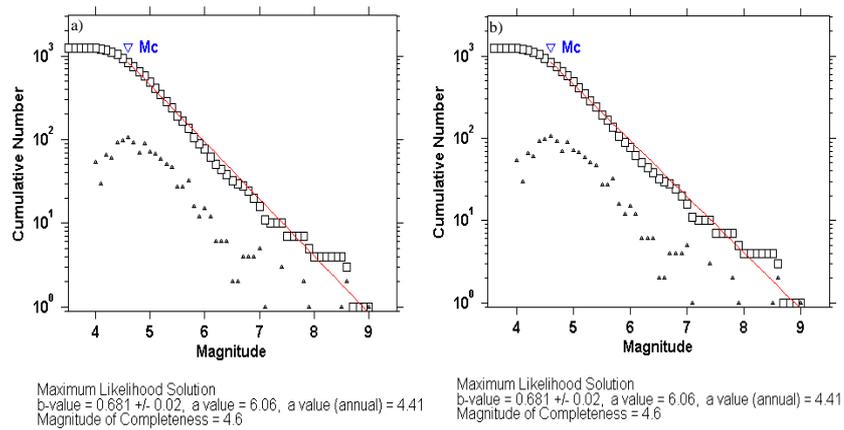


Gambar 4 Plot kumulatif gempa bumi dan gempa magnitudo 6,8 sampai 9,0 (warna kuning)

3.4 Estimasi Nilai Magnitude of Completeness ( $M_c$ )

3.4.1 Estimasi  $M_c$  dalam Fungsi Ruang (*Spatio*)

Grafik jumlah gempa terhadap magnitudo berdasarkan metoda MAXC dan EMR dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai  $M_c$  yang diperoleh dengan metoda MAXC adalah  $4,6 \pm 0,2$  SR, sedangkan nilai  $M_c$  yang diperoleh dengan metoda EMR didapatkan sebesar  $4,6 \pm 0,1$  SR. Hal ini berarti katalog USGS mampu merekam gempa dengan magnitudo terkecil 4,6 SR dengan baik. Berdasarkan distribusi frekuensi magnitudo diperoleh nilai- $b$  sebesar 0,681. Nilai- $b$  yang rendah ini berarti daerah tersebut memiliki tingkat stress yang tinggi yang artinya memiliki peluang yang tinggi untuk terjadinya gempa-gempa besar. Dari hasil perhitungan juga diperoleh nilai- $a$  sebesar 6,06 ( $annual = 4,41$ ), yang berarti wilayah Sumatera memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi.



Gambar 5 (a) Estimasi  $M_c$  dengan Metode MAXC, (b) Estimasi  $M_c$  dengan Metode EMR

3.4.2 Estimasi  $M_c$  dalam Fungsi Waktu (*Temporal*)

Estimasi  $M_c$  dalam fungsi waktu ini menunjukkan tentang bagaimana hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi dalam fungsi waktu (temporal) yang bertujuan untuk melihat adanya evolusi nilai  $M_c$  setiap 10 tahun dari tahun 1970 sampai 2015. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Nilai  $M_c$ , nilai- $b$  dan nilai- $a$  menggunakan metoda MAXC

Periode Katalog	$M_c$	nilai- $b$	nilai- $a$
1970 – 1982	4,9	0,689	5,44
1983 – 1993	4,6	0,781	5,96
1994 – 2004	4,7	0,724	5,65
2005 – 2015	4,4	0,623	5,23

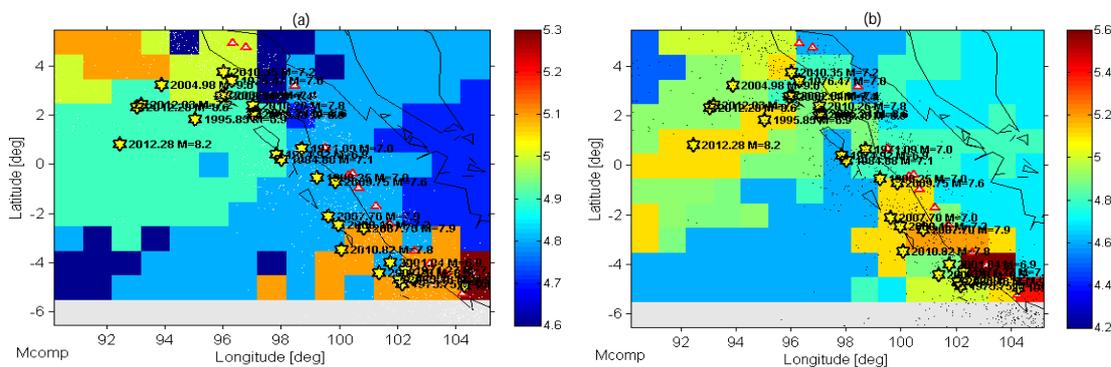
**Tabel 2** Nilai  $M_c$ , nilai- $b$  dan nilai- $a$  menggunakan metoda EMR

Periode Katalog	$M_c$	nilai- $b$	nilai- $a$
1970 – 1982	5,0	0,683	5,41
1983 – 1993	4,7	0,810	6,11
1994 – 2004	4,8	0,717	5,62
2005 – 2015	4,8	0,646	5,35

Secara rata-rata nilai  $M_c$  mengecil selama empat dekade terakhir. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kualitas perekaman dan pengolahan data gempa yang dipengaruhi oleh penambahan jumlah stasiun, sensitifitas alat dan metoda yang digunakan.

### 3.5 Peta Magnitude of Completeness ( $M_c$ ), nilai- $b$ dan nilai- $a$ .

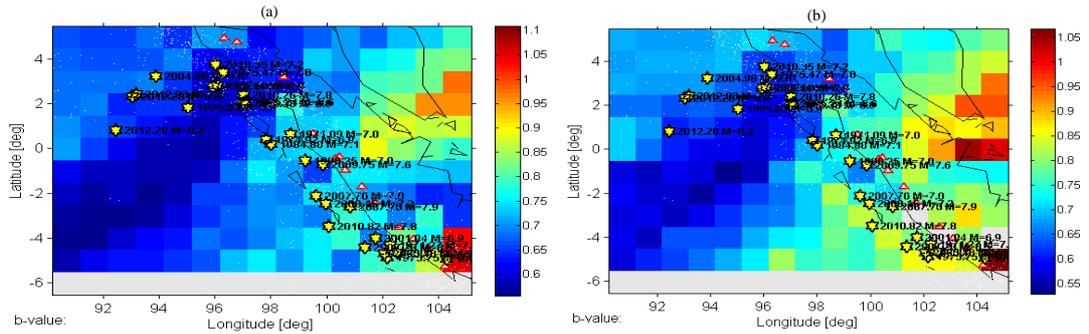
Hasil pemetaan nilai  $M_c$  wilayah Sumatera untuk katalog USGS dengan menggunakan metoda MAXC dan EMR dengan menggunakan *software* ZMAP dengan *bin size* dapat dilihat pada Gambar 6(a) dan Gambar 6(b).



**Gambar 6** Pemetaan  $M_c$  berdasarkan plot grid dengan  $N=250$  menggunakan metoda (a) MAXC, (b) metoda EMR

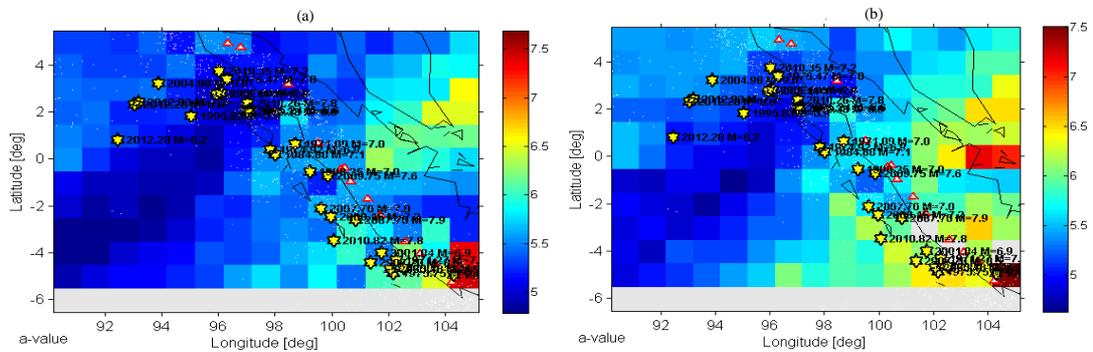
Dari Gambar 6 (a) dan 6 (b) terlihat bahwa daerah-daerah Sumatera bagian utara seperti Pantai barat Aceh, Sumatera utara, Pulau Simeulue, Pulau Nias, Sumatera barat, Riau dan Jambi dan Bengkulu memiliki nilai  $M_c$  yang relatif rendah yaitu sekitar 4,6 – 5 SR. Peta nilai  $M_c$  dengan metoda EMR terlihat lebih detil dibandingkan dengan menggunakan metoda MAXC. Hal ini dikarenakan estimasi nilai  $M_c$  dengan metoda EMR menggunakan model FMD yang lengkap.

Variasi nilai  $M_c$  juga dapat dianalisis berdasarkan posisi stasiun perekam gempa yang digunakan oleh katalog USGS. Untuk wilayah Sumatera terdistribusi kurang lebih 20 – 23 stasiun perekam gempa yang mengcover daerah-daerah dengan nilai  $M_c$  yang rendah di atas. Faktor lain yang mengakibatkan variasi nilai  $M_c$  berhubungan juga dengan tersedianya data *real time* dari stasiun perekam gempa setempat. Untuk wilayah sebelah timur dari pulau Sumatera diperoleh nilai  $M_c$  yang cukup tinggi karena hanya ada satu stasiun yang mengcover perekaman gempa untuk daerah tersebut yang berlokasi di lepas pantai Sulawesi Selatan. Hal ini mengakibatkan data gempa tidak terekam dengan baik sebagaimana halnya untuk daerah Sumatera. Setelah memetakan nilai  $M_c$  di petakan pula nilai- $b$  yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7(a), dan Gambar 7(b). Berdasarkan metode MAXC maupun metode EMR, nilai- $b$  didapatkan sekitar 0,65 sampai mendekati 1. Dari hasil penelitian para peneliti sebelumnya bahwa nilai- $b$  yang rendah biasanya berkorelasi dengan tingkat keaktifan gempa yang tinggi, sedangkan nilai- $b$  yang tinggi berarti sebaliknya. Pada penelitian ini, terlihat variasi nilai- $b$  yang rendah di daerah Aceh, Simeulue, Nias, Mentawai, Bengkulu dan Samudera Hindia dimana yang berarti potensi terjadinya gempa-gempa besar cukup tinggi pada wilayah tersebut.



**Gambar 7** Pemetaan nilai-*b* berdasarkan plot grid dengan N=250 menggunakan metoda (a) MAXC dan (b) metoda EMR.

Hasil pemetaan nilai-*a* dapat dilihat pada Gambar 8(a), dan Gambar 8(b) mirip dengan sebaran nilai-*b*. Nilai-*a* yang rendah juga terlihat untuk daerah Simeulue, Nias, Kepulauan Mentawai dan sekitar Bengkulu. Nilai-*a* yang rendah menunjukkan tingkat frekuensi kegempaan yang rendah namun potensi terjadinya gempa besar cukup tinggi. Tetapi jika daerah tersebut memiliki nilai-*a* yang tinggi maka daerah tersebut memiliki tingkat frekuensi kegempaan yang tinggi namun magnitudo gempa yang terjadi pada daerah tersebut relatif rendah.



**Gambar 8** Pemetaan nilai-*a* berdasarkan plot grid dengan N=250 menggunakan metoda (a) MAXC dan (b) metoda EMR.

**IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Estimasi rata-rata nilai  $M_c$  untuk wilayah regional Sumatera dengan koordinat 90° BT – 106° BT dan 6° LU - 6° LS dari Januari 1970 sampai Maret 2015 yang diambil dari katalog gempa USGS secara spasial menggunakan metoda MAXC dan EMR adalah 4,6 SR. Hal ini berarti katalog USGS merekam dengan baik gempa dengan magnitudo terkecil 4,6 SR. Metoda EMR lebih detail dibandingkan metoda MAXC dalam memetakan nilai  $M_c$ . Dari hasil pemetaan daerah Sumatera bagian utara dan daerah lepas pantai barat Sumatera menunjukkan  $M_c$  terendah. Hal ini berarti pada daerah tersebut data gempa cukup lengkap mulai dari 4,2 SR. Estimasi nilai  $M_c$  secara temporal menunjukkan penurunan selama 4 dekade terakhir. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan perekam data gempa semakin meningkat. Nilai-*b* rata-rata adalah 0,681, nilai tersebut menunjukkan bahwa wilayah Sumatera yaitu Aceh, Simeulue, Nias, Mentawai dan Bengkulu merupakan daerah yang berpotensi gempa-gempa besar. Nilai-*a* rata-rata adalah 6,06, yang artinya wilayah ini memiliki tingkat seismisitas yang relatif rendah.

**DAFTAR PUSTAKA**

Gutenberg, B. Richter, C. F., *Annali di Geofisica*, **9**, 1–15, (1956).  
 Habermann, R. E., *Bull. Seismol*, **77**, 141-159, (1987).  
 Mignan, A., *Bull. Seismol*, 101-102, (2012).  
 Pasau, G, Lumintang, dan Tengku, *Jurnal Ilmiah Sains*, **15**, 95-98, (2015).  
 Putra, R, Kiyono, J, dan Ono, Y., *Journal of Natural Disaster Science*, **33**, (2012).  
 Rohadi, S, dan Grandis, S., *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **9**, (2008).

- Rydelek, P. A. dan I. S., *Nature*, **337**, 251-253, (1989).
- Sagar, S dan Leonard., *Geoscience Australia*, (2007).
- Utsu, T dan Ritsuko., *J. Phys. Earth*, **43**, (1995).
- Wiemer, S., *Seismological Research Letters*, **72**, 1-10, (2001).
- Wiemer, S. dan Wyss, M., *Bulletin of the Seismological Society of Amerika*, **90**, hal 1-9, (2000).
- Zuniga, F. R. dan S. Wiemer., *Pure Appl. Geophys.* **155** , 713–726, (1999).
- Woessner, J, dan Wiemer, S., *Bulletin of the Seismological Society of Amerika*, **95**,1-2, ( 2005).