

## ANALISIS VARIASI SPASIAL PARAMETER SEISMOTEKTONIK DAERAH SUMATERA BARAT DAN SEKITARNYADENGAN MENGGUNAKAN METODA LIKELIHOOD

Furqon Dawam Raharjo<sup>1,2)</sup>, Syafriani<sup>3)</sup>, Andiyansyah Z.Sabarani<sup>4)</sup>

<sup>1,4)</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Sta. Geofisika Klas I Padang Panjang

<sup>2)</sup>Mahasiswa Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

<sup>3)</sup>Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

[furqondawamraharjo@yahoo.co.id](mailto:furqondawamraharjo@yahoo.co.id)

### ABSTRACT

*West Sumatra is one area with high seismic activity, so that a potentially large and damaging earthquakes. In order to understand the occurrence of large earthquakes and damage need to know the local stress conditions and the level of seismic activity by analyzing seismotectonic parameters (a-value) and (b-value). Seismotectonic parameters low (a-value) and (b-value) can be interpreted with a low level of seismic activity and the condition of local rock high stress, otherwise the high (a-value) and (b-value). This study by using a distribution relationship with the frequency-magnitude earthquake with likelihood method and then analyzed by using software ZMAP shaped graphic user interface (GUI) -based matlab. The data used in this study taken from the USGS and BMKG with the observation period 1960 - 2015, the parameters of earthquakes with shallow depths (h) <60 km and intermediate (h) 60-350 km with a magnitude of earthquakes (M) > 4.0 SR. The results show the spatial variation seismotectonic parameters low (a-value) and (b-value) at shallow depths (h) <60 km observed at southern of Nias Island, along the west coast of northern Sumatra, active faults zone north Sumatra, around the Mentawai islands and parts of Sumatra active fault zone precisely in the area of Solok and South Solok. While at intermediate depths (h) 60-350 km observed at southeastern of Batu island and the west of Padang. Thus these areas a potentially large and damaging earthquakes.*

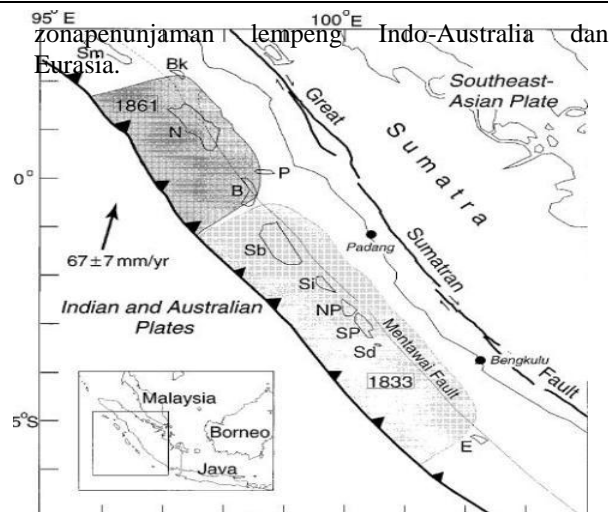
**Keywords :** Local Stress, active seismicity, a-value and b-value

### PENDAHULUAN

Tektonik wilayah Indonesia sebagian besar dipengaruhi oleh adanya empat lempeng besar aktif dunia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Filipina. Mekanisme pergerakan ke-empat lempeng ini konvergen yang saling menunjam sehingga terbentuk barisan gunung api, dan sesar/patahan.

Pada gambar 1, wilayah Sumatera dilalui oleh pertemuan dua lempeng besar yang aktif yaitu lempeng Indo – Australia dan lempeng Eurasia. Lempeng Indo – Australia bergerak secara miring kemudian menabrak lempeng Eurasia yang relatif diam. Disamping itu di wilayah Sumatera juga terdapat sesar aktif yang disebut sebagai sistem sesar Sumatera atau "Sumatera Fault System". Sesar aktif ini bergerak secara *dekstral* mengenai yang membentang pulau Sumatera. Sesar aktif Sumatera dibagi menjadi 20 segmen utama yang panjangnya sekitar 35 s.d 200 km tiap segmen<sup>[1]</sup>.

Wilayah Sumatera Barat sendiri dilalui oleh 4 segmen sesar aktif, yaitu segmen sesar Sumpur, segmen sesar Sianok, segmen sesar Sumani, dan segmen sesar Suliti yang berpotensi menghasilkan gempa bumi besar. Di sepanjang pantai wilayah Sumatera Barat juga berpotensi gempa bumi besar karena berhadapan langsung dengan



**Gambar 1.** Peta Tektonik Wilayah Sumatera Barat<sup>[2]</sup>.

Gempabumi besar dan merusak sudah banyak terjadi di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya antara lain gempa bumi Padang Panjang tahun 2007 dengan Mw6,4 dan 6,3, gempa bumi Pariaman tahun 2009 Mw7,9 dan gempa bumi Pagai Selatan Kep.Mentawai tahun 2010 dengan Mw 7,2. Proses yang menyebabkan terjadinya gempa bumi besar dan merusak di suatu wilayah perlu dipahami dengan kondisi stress lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan. Kondisi stress lokal ini dapat diketahui

dengan menggunakan metode variasi spasial parameter seismotektonik (nilai-b) dan (nilai-a) berdasarkan hubungan distribusi frekuensi-magnitudo dengan pendekatan metode *Likelihood*. Nilai-a dapat menggambarkan tingkat aktivitas kegempaan/seismisitas di suatu wilayah, sedangkan nilai-b mencerminkan kondisi tektonik yang berkaitan dengan stress batuan di suatu wilayah. Parameter seismotektonik ini didasarkan dari hubungan frekuensi jumlah kumulatif data katalog dengan magnitudo gempabumi.

Secara spasial parameter seismotektonik (nilai-a) rendah berarti memiliki aktivitas kegempaan yang rendah dan mengindikasikan adanya akumulasi energi (*asperity*)<sup>[3]</sup>, sebaliknya untuk nilai-a yang tinggi. Sedangkan spasial nilai-b tinggi berasosiasi dengan kondisi stress batuan yang rendah<sup>[4], [5]</sup>. Nilai-b tinggi memiliki kondisi medium heterogenitas tinggi, akan tetapi nilai-b rendah berkorelasi dengan kondisi stress batuan yang tinggi dan memiliki medium heterogenitas rendah<sup>[6]</sup>. Perubahan parameter seismotektonik (nilai-a) dan (nilai-b) disebabkan material *heterogeneity*<sup>[7]</sup> dan *thermal gradients*<sup>[8]</sup>. Suatu wilayah dengan kondisi stress batuan tinggi memiliki nilai-b sebesar 0,4-0,9, sementara pada kondisi stress batuan yang rendah nilai-b sekitar > 1,2<sup>[9]</sup>. Variasi spasial parameter seismotektonik menjadi salah satu metode yang cukup tepat untuk mengetahui kondisi stress lokal tektonik dan tingkat aktivitas kegempaan di suatu wilayah.

Mengingat tingginya aktivitas kegempaan dan banyak peristiwa gempabumi besar yang terjadi di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya, maka dilakukan penelitian dengan judul Analisis Variasi Spasial Seismotektonik Daerah wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya Dengan Menggunakan Metode *Likelihood*.

## METODE PENELITIAN

Hubungan distribusi frekuensi – magnitudo gempabumi merupakan hubungan yang berbentuk persamaan garis lurus (linier) yang dipengaruhi oleh konstanta parameter seismotektonik. Hubungan distribusi frekuensi-magnitudo ini memenuhi persamaan sebagai berikut<sup>[10]</sup> :

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

dimana  $N(M)$  = jumlah frekuensi kumulatif katalog gempabumi dengan magnitudo,  $a$  dan  $b$  konstanta parameter seismotektonik, dan  $M$  = magnitudo gempabumi.

Metoda maksimum likelihood merupakan bagian dari ilmu statistik seismologi yang berguna untuk menentukan parameter seismotektonik (nilai-a) dan (nilai-b). Nilai-b diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} \dots\dots\dots (2)$$

dimana  $\log e = 0,434$ ,  $\bar{M}$  = magnitudo rata-rata dan  $M_0$  = magnitudo minimum kemudian nilai-a dapat ditentukan sesuai dengan persamaan :

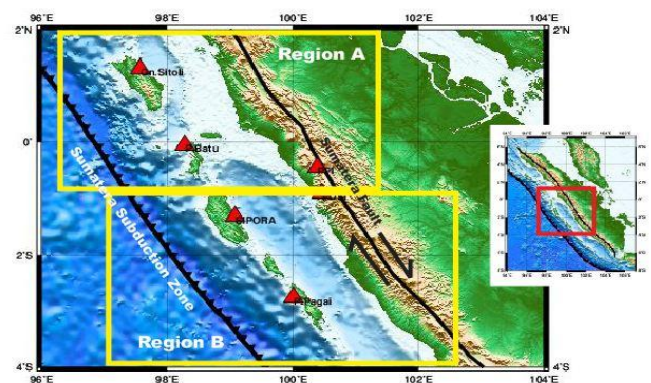
$$a = \log N(M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 b \dots\dots (3)$$

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data katalog gempabumi NEIC/USGS dan BMKG wilayah Sumatera barat dan sekitarnya dengan batas koordinat 2° LU – 4° LS dan 96° BT-104° BT. Periode pengamatan mulai dari tahun 1960 sampai tahun 2015 dengan magnitudo gempabumi ( $M > 4,0$  SR) pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km dan menengah ( $h$ ) 60-350 km.

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa tahap, antara lain :

- Klasifikasikan data katalog gempabumi menjadi parameter : bujur, lintang, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam dan menit.
- Plot kurva distribusi frekuensi-magnitudo gempabumi.
- Analisa variasi spasial parameter seismotektonik menggunakan teknik gridding dengan jarak tiap-tiap grid 0,08° x 0,08°, jumlah frekuensi katalog gempabumi tiap-tiap grid  $N = 30$  dan radius konstan 110 km. Kemudian diolah menggunakan software ZMAP versi 6,0.

Daerah penelitian dibagi menjadi dua zona, yaitu zona A dan zona B untuk mendapatkan hasil yang akurat.

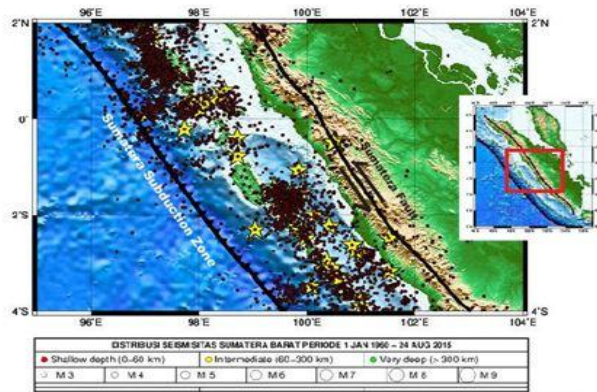


**Gambar 2.** Wilayah Penelitian dengan Dua Zona A dan Zona B.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Penelitian

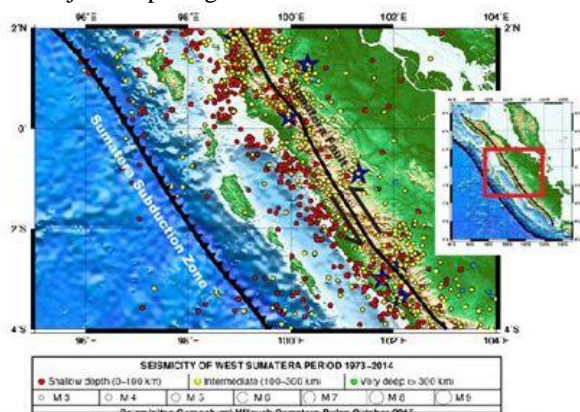
Data katalog gempabumi pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) berjumlah 4343 *event*. Gempabumi dan aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya ditampilkan dalam bentuk peta seismisitas gempabumi pada gambar (3). Peta seismisitas ini menggambarkan pola sebaran aktivitas kegempaan di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya.



**Gambar 3.** Peta Seismisitas di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya Periode 1960 – 2015 untuk Kedalaman Dangkal ( $h$ ) < 60 km. (sumber data : NEIC/USGS dan BMKG)

Pada gambar 3 kerapatan seismisitas (kegempaan) di wilayah ini terlihat di sekitar pulau Nias, di sekitar selat Mentawai dan di pulau Pagai bagian Selatan, kemudian di zona sesar aktif Sumatera. Pada *event* gempa bumi besar dan merusak dengan magnitudo ( $M < 6,5$  SR) banyak terjadi di sekitar kepulauan Nias bagian selatan dan di sekitar kepulauan Mentawai.

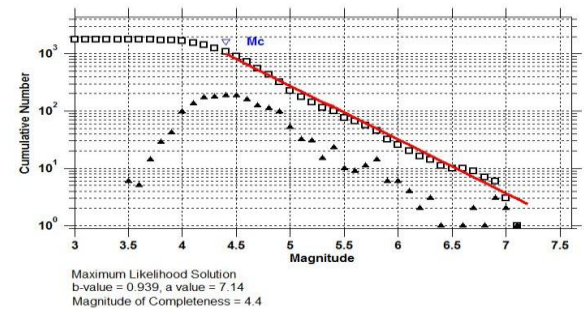
Sedangkan data katalog gempa bumi pada kedalaman ( $h$ ) 60 – 350 km di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya berjumlah 921 event. Gempa bumi dan pola sebaran seismisitas ditunjukkan pada gambar 4.



**Gambar 4.** Peta Seismisitas (kegempaan) di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya Periode 1960–2015 untuk Kedalaman Menengah ( $h$ ) 60–350 km.

Pada gambar 4 aktivitas kegempaan terkonsentrasi hampir di sepanjang pantai barat Sumatera Barat dan di sepanjang punggung bukit barisan di daratan Sumatera Barat. Pada peta seismisitas (gambar 4) *event* gempa bumi besar dan merusak dengan magnitudo ( $M < 6,5$  SR) banyak terjadi di dekat sesar aktif Sumatera Barat bagian selatan.

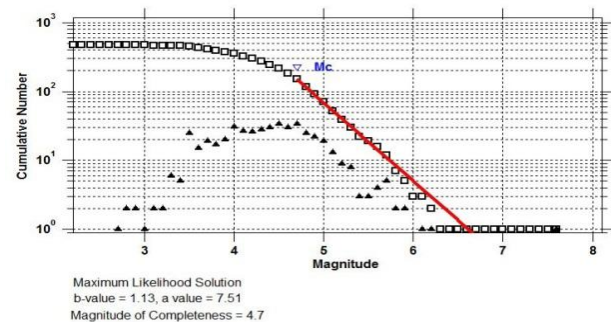
Hasil analisis distribusi frekuensi–magnitudo gempa bumi di zona A dengan kedalaman dangkal ( $h$ ) < 60 km dapat dilihat pada gambar (5).



**Gambar 5.** Kurva Distribusi Frekuensi-Magnitudo Gempabumi di Zona A Kedalaman Dangkal ( $h$ ) < 60 km.

Pada gambar 5 di zona A pada kedalaman dangkal ( $h$ ) < 60 km didapatkan nilai- $a$  sebesar 7,14. Hal ini menunjukkan secara umum tingkat keaktifan kegempaan cukup tinggi dan untuk nilai- $b$  didapatkan cukup rendah yaitu sebesar 0,939, berarti secara umum di zona A kondisi stress tidak terlalu tinggi dan kelengkapan magnitudo (*magnitude completeness*) didapatkan sekitar 4,4 SR. Nilai magnitudo ini menunjukkan magnitudo yang paling banyak terekam dalam katalog data gempa bumi pada periode pengamatan.

Hasil analisis distribusi frekuensi– magnitudo gempa bumi di zona A dengan kedalaman menengah ( $h$ ) 60-350 km ditunjukkan pada gambar (6).



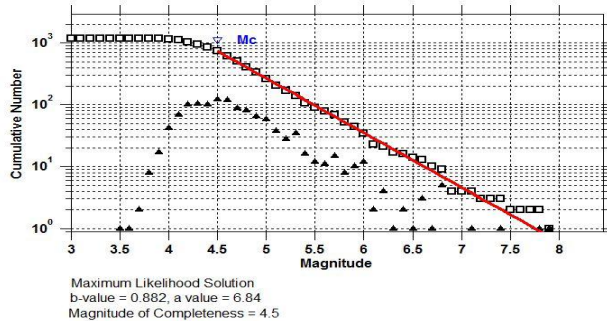
**Gambar 6.** Kurva Distribusi Frekuensi-Magnitudo Gempabumi di Zona A pada Kedalaman Menengah ( $h$ ) 60-350 km.

Pada gambar 6 di zona A pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60 - 350 km didapatkan nilai- $a$  yang dihasilkan relatif tinggi yaitu sebesar 7,51, hal ini berarti memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi. Hasil nilai- $b$  juga terlihat tinggi lebih dari satu yaitu sebesar 1,13 dengan demikian dapat diartikan mempunyai kondisi stress lokal cukup rendah. Nilai kelengkapan magnitudo (*magnitude completeness*) diperoleh sebesar 4,7 SR, nilai magnitudo ini dapat diartikan sebagai magnitudo



yang paling banyak terekam dalam data katalog gempa bumi pada periode pengamatan.

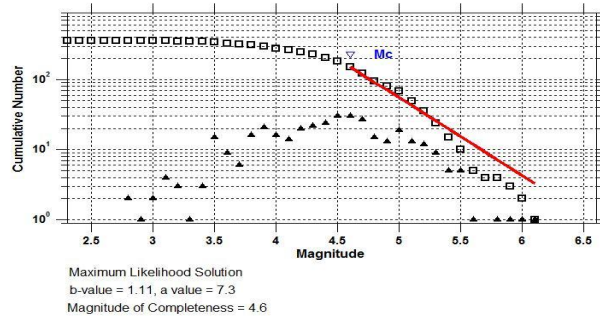
Pada zona B dengan kedalaman dangkal ( $h$ ) < 60 km, hasil distribusi frekuensi – magnitudo gempa bumi ditunjukkan pada gambar 7.



**Gambar 7.** Kurva Distribusi Frekuensi-Magnitudo Gempabumi di Zona B pada Kedalaman Dangkal ( $h$ ) < 60 km.

Pada zona B gambar 7, kedalaman dangkal ( $h$ ) < 60 km didapatkan nilai-asebesar 6,84. Nilai ini menunjukkan bahwa secara umum tingkat keaktifan kegempaan di zona B tidak terlalu tinggi, kemudian didapatkan nilai-bcukup rendah yaitu sebesar 0,882 sehingga dapat diartikan kondisi stress secara umum di zona B relatif tinggi. Nilai kelengkapan magnitudo (*magnitude completeness*) didapatkan sekitar 4,5 SR, ini menunjukkan magnitudo yang paling banyak terekam dalam katalog gempa bumi pada periode pengamatan.

Pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60 – 350 km di zona B, hasil distribusi frekuensi – magnitudo gempa bumi ditunjukkan pada gambar 8.

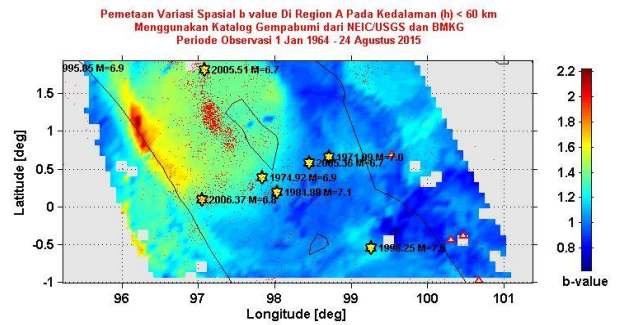


**Gambar 8.** Kurva Distribusi Frekuensi-Magnitudo Gempabumi di Zona B pada Kedalaman Menengah ( $h$ ) 60-350 km.

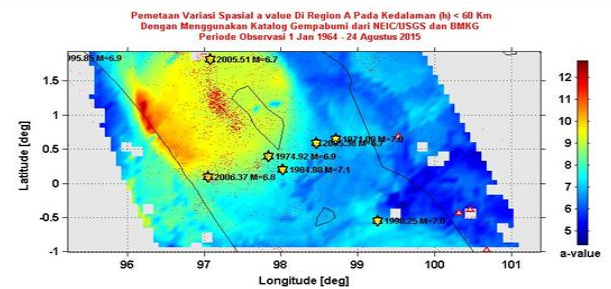
Pada gambar 8 terlihat di zona B pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60 - 350 km didapatkan nilai-ayang dihasilkan relatif tinggi yaitu sebesar 7,3. Hal ini berarti memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggikan hasil nilai-b juga terlihat tinggi lebih dari satu yaitu sebesar 1,11 dengan demikian dapat diartikan mempunyai kondisi stress lokal cukup rendah. Nilai kelengkapan magnitudo (*magnitude completeness*) diperoleh sebesar 4,6 SR, nilai

magnitudo ini dapat diartikan sebagai magnitudo yang paling banyak terekam dalam data katalog gempa bumi.

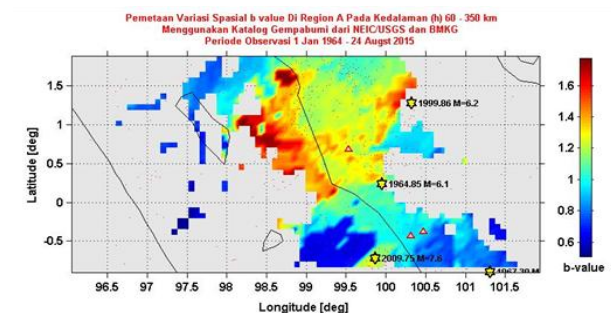
Pemetaan variasi spasial parameter seismotektonik (nilai-a) dan (nilai-b) di zona A pada kedalaman dangkal ( $h$ ) < 60 km dan menengah ( $h$ ) 60-350 km ditunjukkan pada gambar 9.



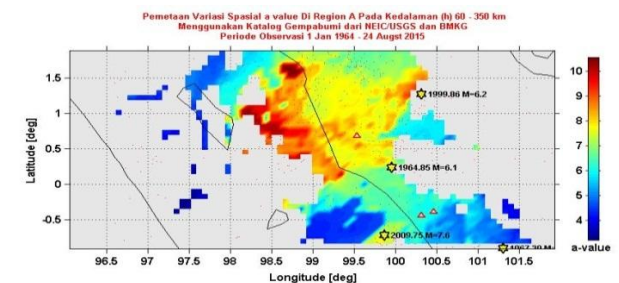
(a)



(b)



(c)



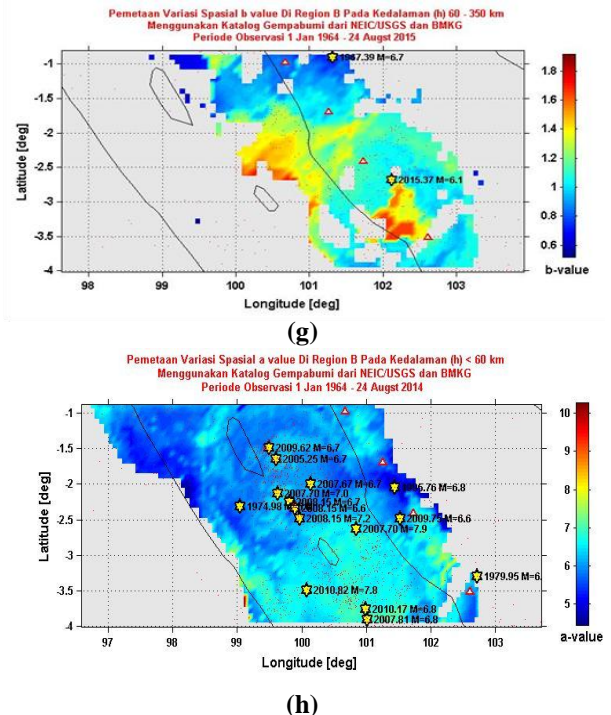
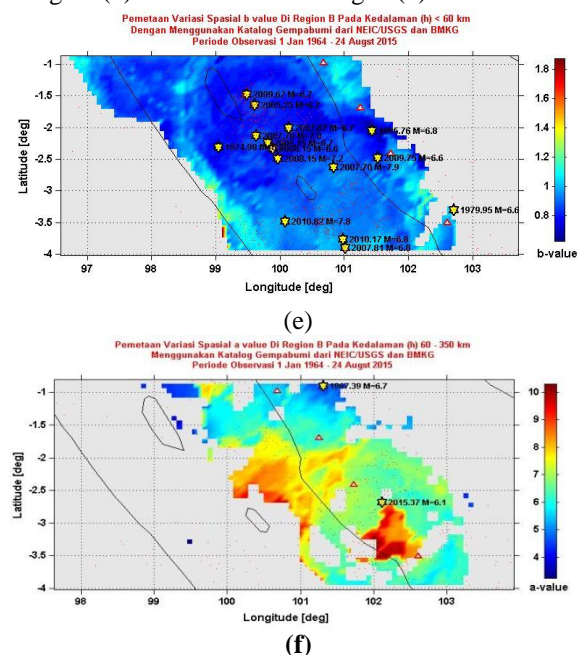
(d)

**Gambar 9.** a) dan b) Variasi Spasial Nilai-b dan Nilai-a pada Kedalaman ( $h$ ) < 60 km kemudian c) dan d) Variasi Spasial Nilai-b dan Nilai-a pada Kedalaman ( $h$ ) 60 - 350 km di Zona A.

Pada gambar 9 (a) dan (b) memperlihatkan variasi spasial parameter seismotektonik nilai-b dan nilai-a di zona A pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) terlihat variasi spasial nilai-b berkisar 0,8 sampai 2,2. Variasi spasial nilai-b yang rendah teramati di wilayah Pulau Nias bagian selatan, di sepanjang pantai barat Sumatera bagian utara dan di sebagian zona sesar aktif Sumatera bagian utara dengan variasi spasial nilai-b sekitar 0,8 sampai 1,0. Sedangkan variasi spasial nilai-b yang relatif tinggi berada di bagian barat Pulau Nias-Gn Sitoli dengan nilai-b berkisar 1,4 hingga 1,6. Kemudian variasi spasial nilai-a di region A berkisar 5,0 sampai 12.

Variasi spasial nilai-a yang rendah berkisar antara 5,0 sampai 6,0 terjadi di sepanjang pantai barat Sumatera bagian utara dan sebagian di zona sesar aktif Sumatera bagian utara. Kemudian untuk variasi spasial nilai-a yang tinggi terjadi di bagian barat Pulau Nias – Gn. Sitoli sekitar 9,0 sampai 11. Pada gambar 9 (c) dan (d) pada kedalaman menengah  $h$  60-350 km variasi spasial nilai-b, diperoleh sekitar 0,6 hingga 1,6.

Variasi spasial nilai-b yang rendah sekitar 0,7 hingga 1,0 dan teramati di bagian tenggara pulau Batu-Kep. Nias. Kemudian variasi spasial nilai-b yang relatif tinggi sekitar 1,2 hingga 1,6 dan terjadi di sekitar wilayah sepanjang pantai barat Sumatera bagian utara dan di zona sesar aktif Sumatera bagian utara. Sedangkan variasi spasial nilai-a berkisar antara 4,0 sampai 10. Hasil variasi spasial nilai-a yang rendah terlihat di bagian tenggara pulau Batu-Kepulauan Nias dengan rentang 4,0 hingga 5,0 dan untuk nilai-a yang tinggi berkisar antara 8,0 hingga 10 terjadi di wilayah sepanjang pantai barat Sumatera bagian utara dan di zona sesar aktif Sumatera bagian utara. Gambar 10 merupakan variasi spasial parameter seismotektonik Zona B pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) dan menengah ( $h$ ) 60-350 km.



**Gambar 10.** a) dan b) Variasi Spasial Nilai-b dan Nilai-a pada Kedalaman ( $h < 60$  km) kemudian c) dan d) Variasi Spasial Nilai-b dan Nilai-a pada Kedalaman ( $h$ ) 60 - 350 km di Zona B.

Variasi spasial nilai-b dan nilai-a di zona B pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) (Gambar 10) (e) berkisar antara 0,8 hingga 1,8. Variasi spasial nilai-b yang relatif rendah teramati di sekitar kepulauan Mentawai dan sebagian di zona sesar aktif Sumatera tepatnya di wilayah Solok Selatan dengan rentang 0,8 sampai 1,0, sedangkan di zona B pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) tidak terlihat adanya variasi spasial nilai-b yang relatif tinggi. Kemudian hasil variasi spasial nilai-a di zona B pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km) berkisar antara 5,0 hingga 10.

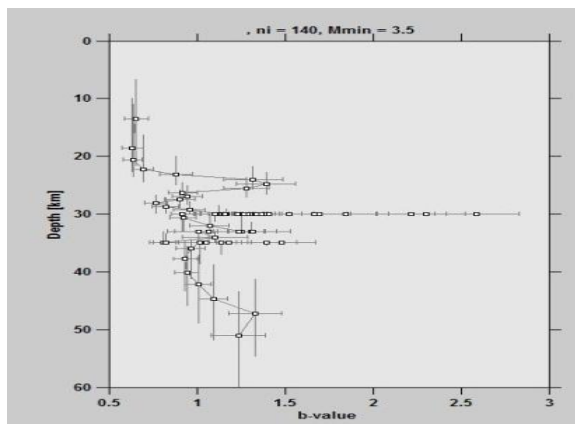
Variasi spasial nilai-a yang rendah terjadi di bagian barat timur pulau Siberut, bagian barat pulau Siberut dan di zona sesar aktif Sumatera Barat tepatnya di wilayah Solok Selatan dengan rentang nilai-a berkisar antara 5,0 hingga 6,0. Kemudian variasi spasial nilai-a yang relatif tinggi terjadi di sekitar pulau Pagai Selatan dan di zona sesar aktif Sumatera tepatnya di wilayah Kerinci dengan nilai-a sekitar 6,0 hingga 7,0.

Di zona B pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60 - 350 km menghasilkan variasi spasial nilai-b berkisar 0,6 hingga 1,8. Sebagaimana pada gambar 10 (e) diatas, wilayah di sebelah barat Padang mempunyai variasi spasial nilai-b yang cukup rendah dengan rentang 0,8 hingga 0,85. Sedangkan variasi spasial nilai-b yang cukup tinggi terlihat di sebelah barat Pesisir Selatan dan di wilayah Kerinci dengan rentang nilai-b berkisar 1,4 hingga 1,6. Pemetaan variasi spasial nilai-a (gambar 10) di zona B pada



kedalaman menengah (h) 60 – 350 km berkisar 4,0 hingga 10. Di wilayah sebelah barat Padang dan di zona sesar aktif Sumatera tepatnya di Solok menghasilkan variasi spasial nilai-a yang cukup rendah berkisar antara 5,0 sampai 6,0 dan untuk variasi spasial nilai-a tinggi terjadi di sebelah barat Pesisir Selatan dan di wilayah Kerinci dengan rentang 7,0 sampai 9,5.

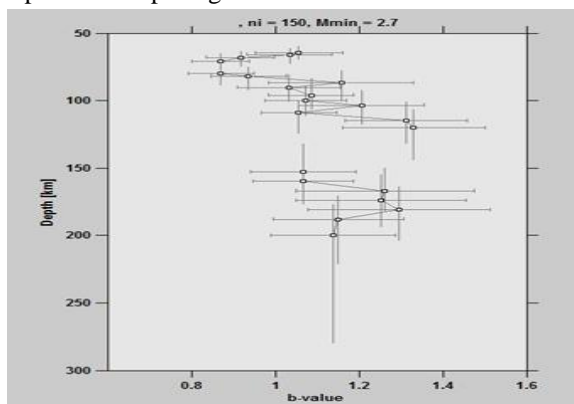
Dengan menganalisis *nilai-b* di zona subduksi dengan kedalaman dangkal (h) < 60 km di wilayah Sumatera barat dan sekitarnya, Hubungan nilai-b terhadap kedalaman dapat ditunjukkan pada gambar 11.



**Gambar 11.** Hubungan *b value* Terhadap Kedalaman (h) < 60 km, di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya.

Pada gambar 11, dengan pendekatan metode maksimum likelihood menghasilkan variasi spasial nilai-b pada kedalaman dangkal (h) < 60 km sekitar 0,5 sampai 2,0. Nilai-b rendah ( $b < 1$ ) teridentifikasi berada di kedalaman 10 – 20 km 27 – 30 km dan 35 km.

Hubungan nilai-b terhadap kedalaman menengah (h) 60-350 km di zona Wadati-Benioff untuk wilayah Sumatera barat dan sekitarnya diperlihatkan pada gambar 12.



**Gambar 12.** Hubungan Nilai-b Terhadap Kedalaman Menengah (h) 60-350 km di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya.

Pada gambar 12, menggunakan metoda likelihood diperoleh variasi spasial parameter

tektonik (nilai-b) berkisar antara 0,7 sampai 1,6. Nilai-b rendah pada kedalaman menengah (h) 60-350 km teridentifikasi pada kedalaman 60 – 80 km, sedangkan nilai-b yang relatif tinggi berada pada kedalaman 100 – 200 km dibawah zona Wadati-Benioff.

## 2. Pembahasan

Berdasarkan pada gambar 3, aktivitas kegempaan yang cukup aktif di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya pada kedalaman dangkal (h) < 60 km berada di bagian barat, bagian selatan pulau Nias-Gn. Sitoli, di sekitar bagian timur pulau Siberut dan di sekitar pulau Pagai Selatan. Tingginya seismisitas/kegempaan di wilayah ini diduga dipengaruhi oleh adanya dua aktivitas tektonik, yaitu ; di bagian barat terdapat zona subduksi lempeng Indo – Australia dengan lempeng Eurasia yang bergerak secara miring dengan sistem pergerakan konvergen yang menunjam cukup dangkal dan di bagian selatan berupa adanya sesar – sesar aktif di bawah laut seperti ; sesar aktif Mentawai (*Mentawai active fault*) dan sesar aktif Batee (*Batee active fault*).

Selain itu sebaran seismisitas / kegempaan cukup tinggi juga terlihat di daratan Sumatera Barat dan sekitarnya tepatnya di Bukitbarisan Sumatera. Seismisitas/kegempaan yang terjadi di Bukitbarisan Sumatera disebabkan karena adanya sesar aktif Sumatera (*Sumatera active fault*). Peristiwa gempabumi besar dan merusak sebagian besar disebabkan oleh aktivitas zona subduksi Sumatera dan sesar aktif Sumatera.

Sedangkan hasil untuk sebaran seismisitas/kegempaan yang relatif aktif pada kedalaman menengah (h) 60–350 km di wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya sebagian besar berada di sepanjang pinggiran pantai barat Sumatera dan di daratan Sumatera Barat tepatnya di Bukitbarisan. Gempa – gempa yang terjadi di wilayah ini pada pada kedalaman menengah (h) 60 – 350 km dipengaruhi oleh aktivitas zona subduksi yang menunjam cukup dalam dan terjadi di bawah slab subduksi atau di zona Wadati-Benioff. Aktivitas kegempaan yang terjadi di zona subduksi Sumatera yang menunjam cukup dalam mempunyai kedalaman sampai 300 km di bawah pulau Sumatera dan pada umumnya gempa – gempa tersebut terjadi di pinggiran pantai Sumatera dan di daratan Sumatera<sup>[11]</sup>.

Hubungan jumlah kumulatif frekuensi gempabumi di zona A dan zona B dengan kedalaman dangkal (h) < 60 km mempunyai hubungan yang relatif linier (lurus) (gambar 5 dan 7), dan terlihat garis *slope* nilai-b cukup landai, hal ini menandakan di wilayah tersebut memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang cukup rendah atau nilai-a rendah. Nilai-a rendah berasosiasi dengan nilai-b rendah. Jika suatu wilayah jarang menghasilkan gempabumi

kecil, akan tetapi sesekali menghasilkan gempabumi besar, maka kurva frekuensi jumlah kumulatif terhadap magnitudo gempabumi akan landai dan gradien kurva (*slope* nilai-b) akan rendah<sup>[9]</sup>.

Sedangkan untuk kedalaman menengah (h) 60-350 km di zona A dan zona B (gambar 6 dan 8), tampak garis *slope* nilai-b agak curam. Hal ini berarti di kedua zona tersebut menghasilkan nilai-b cukup tinggi. Aktivitas kegempaan di zona subduksi dengan kedalaman menengah sampai dalam (*Wadati Beniof Zone*) berasosiasi dengan nilai b-tinggi, karena dipengaruhi oleh kondisi *high thermal gradients* di antara slab dan mantel<sup>[7]</sup>.

Analisis variasi spasial nilai-a dan nilai-b diperoleh dari hubungan distribusi frekuensi – magnitudo gempabumi dengan pendekatan metode likelihood. Menurut para ahli seismologi menyatakan bahwa nilai-b yang rendah berkorelasi terhadap kondisi stress yang tinggi (*high local stress*), penurunan *pore pressure* dan peningkatan *effective stress*. Kemudian kita lihat pada gambar 9 (a) dan 10 (e), wilayah yang mempunyai variasi spasial nilai-b rendah dalam penelitian ini banyak terjadi peristiwa gempabumi besar dan merusak dengan magnitudo momen ( $M_w > 6.5$ ), hal ini menandakan bahwa setelah terjadi gempabumi besar dan merusak di wilayah tersebut masih menyimpan stress yang cukup tinggi dan berpotensi terjadi gempabumi besar dan merusak yang akan datang.

Pada wilayah penelitian yang mempunyai variasi spasial nilai-b rendah berada di zona seismik (*regime stress*) yang cukup dinamis seperti di kepulauan Mentawai pada bagian timur terdapat sesar aktif Mentawai (*Mentawai Fault Zone*), terdapatnya zona *megathrust* segmen Mentawai, dan di daratan Sumatera terdapatnya sesar aktif Sumatera (*Sumatera fault system*), dimana kemungkinan tempat terjadinya gempabumi besar dan merusak bisa terjadi. Kemudian pada wilayah dengan nilai-b rendah terlihat memiliki aktivitas kegempaan yang rendah, hal ini menandakan pada wilayah tersebut sedang mengalami *build up stress*. Wilayah dengan variasi spasial nilai-b rendah dapat disebut juga sebagai wilayah *asperities*, *asperities* merupakan wilayah seismik aktif yang masih terkunci (*locked zone*) dan juga dapat membangkitkan gempabumi besar dan merusak<sup>[12]</sup>. Variasi spasial nilai-b yang tinggi dapat disebut juga sebagai zona *creeping*, zona *creeping* merupakan daerah sesar aktif yang mengalami *slip* dan tidak mengakumulasi stress.

Kedua zona tersebut, dapat dilihat nilai-b rendah untuk kedalaman dangkal (h) < 60 km dan menengah (h) 60 – 350 km berada di zona B, hal ini didasarkan dari frekuensi aktivitas kegempaan di zona B terbilang cukup rendah bila dibandingkan di zona A. Seismisitas rendah berasosiasi dengan variasi spasial nilai-b yang rendah<sup>[13]</sup>. Dengan demikian di zona B khususnya di kepulauan Mentawai dan di sesar aktif Sumatera tepatnya di wilayah Solok dan

Solok Selatan perlu diwaspadai terhadap ancaman gempabumi besar dan merusak diwaktu yang akan datang.

Suatu wilayah yang berasosiasi dengan distribusi spasial nilai-a yang rendah dapat interpretasikan mempunyai tingkat keaktifan kegempaan yang relatif rendah dan adanya akumulasi energi (*asperities*) di wilayah tersebut. Sedangkan distribusi spasial nilai-a tinggi menunjukkan tingkat keaktifan kegempaan yang relatif tinggi, Kemudian wilayah dimana telah terjadi banyak gempa kecil kemungkinan kecil terjadi gempabumi besar dan merusak, sedangkan wilayah yang jarang terjadi gempa kecil akan berpeluang terjadinya gempabumi besar<sup>[14]</sup>. Dari Analisis parameter seismotektonik nilai-a dan nilai-b, penulis juga melihat adanya zona *seismic gap* di sebelah barat kepulauan Mentawai dekat dengan palung (*trench*), pada wilayah tersebut memiliki nilai-a dan nilai-b yang cukup rendah. Teori *seismic gap* berhipotesis bahwa ukuran relatif dan frekuensi kejadian gempabumi disuatu daerah gempa bergantung pada ukuran dan frekuensi kejadian gempa pada daerah tersebut<sup>[14]</sup>.

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, bahwa parameter tektonik (nilai-b) rendah berasosiasi dengan kondisi stress lokal yang tinggi. Kondisi stress lokal yang tinggi ini dapat berpotensi terjadinya gempabumi besar dan merusak yang akan datang dan biasanya mempunyai periode ulang gempabumi yang panjang<sup>[12]</sup>. Kondisi stress lokal yang tinggi disuatu wilayah memiliki kondisi medium homogenitas batuan yang tinggi, artinya di wilayah tersebut memiliki kondisi batuan yang cukup kuat untuk menahan tekanan sedangkan sebaliknya untuk kondisi stress yang rendah. Kondisi stress lokal yang rendah dipengaruhi oleh *high pore pressure*, *temperature*, dan normal *effective stress*<sup>[5]</sup>. Kondisi stress lokal yang rendah biasanya ditemukan di wilayah geothermal, Gunung Api dan di slab subduksi yang cukup dalam, Hal ini disebabkan karena di wilayah tersebut mempunyai *temperature* yang relatif tinggi dan mengalami proses *dehydration*<sup>[16]</sup>. Kondisi stress lokal yang tinggi mempunyai static stressdrop yang tinggi dan anomali  $V_p/V_s$  yang rendah<sup>[12]</sup>.

Hubungan nilai-b terhadap kedalaman (h < 60 km) pada gambar 11 terlihat nilai-b rendah berada di kedalaman 10 – 20 km 27 – 30 km dan 35 km dan pada kedalaman menengah (h) 60 – 350 km (gambar 12) nilai-b rendah berada di kedalaman 60 – 80 km. Nilai-b rendah di kedalaman tersebut memiliki kondisi stress yang cukup tinggi, hal ini berarti masih tersimpan akumulasi energi gempabumi dan dapat berpeluang terjadi gempabumi signifikan.

## KESIMPULAN

1. Secara umum parameter tektonik (nilai-b) pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km dan menengah ( $h$ ) 60 – 350 km berdasarkan distribusi frekuensi dengan magnitudo gempa bumi di zona A diperoleh 0,939 dan 1,11 dan zona B sebesar 0,882 dan 1,11 kemudian untuk parameter seismisitas (nilai-a) pada zona A sebesar 7.14 dan 6,84 dan di zona B diperoleh 6,84 dan 7,3.
2. Variasi spasial nilai-a dan nilai-b untuk kedalaman dangkal ( $h < 60$  km di zona A sekitar 5,0 sampai 12,0 dan 0,8 sampai 2,2, kemudian untuk zona B diperoleh sekitar 5,0 sampai 10,0 dan 0,8 sampai 1,8. Sedangkan pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60-350 km didapatkan variasi spasial nilai-a dan nilai-b untuk zona A sekitar 4,0 sampai 10,0 dan 0,6 sampai 1,6, kemudian di zona B sekitar 4,0 sampai 10,0 dan 0,6 sampai 1,8.
3. Berdasarkan analisis variasi spasial parameter seismotektonik (nilai-a) dan (nilai-b) diperoleh pemetaan kondisi stress yang tinggi terjadi dibagian selatan pulau Nias, disepanjang pantai barat Sumatera bagian utara, di zona sesar aktif Sumatera tepatnya di wilayah Lubuk Sikaping, Solok Selatan, disekitar kepulauan Mentawai, di sekitar bagian tenggara pulau Batu dan disebelah barat Padang.
4. Nilai-b rendah pada kedalaman dangkal ( $h < 60$  km teridentifikasi berada dikedalaman 10 – 20 km, 27 – 30 km dan 35 km, kemudian pada kedalaman menengah ( $h$ ) 60-350 km nilai-b rendah berada pada kedalaman 60 – 80 km. Dengan demikian pada kedalaman tersebut dapat berpotensi terjadinya gempa bumi besar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari hibah penelitian skema penelitian unggulan perguruan tinggi dengan tim peneliti diketuai oleh Syafriani, Ph.D berdasarkan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian No.335/UN35.2/PG/2016. 18 April 2016. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Klas I Padang Panjang atas data yang telah digunakan dalam studi ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sieh, K., and Natawidjaja, D.H., (2000). Neotectonics of the Sumatera fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105, B12, pp. 28, 295- 28, 326.
- [2] Natawidjaja, D.H.,(2003). Neotectonics of the Sumatran Fault and paleogeodesy of the Sumatran subduction zone.
- [3] Rohadi, dkk. (2007). Variasi Spasial Seismisitas di Zona Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 8 No.1 Juli 2007 : 42 - 47.
- [4] Scholz, C.H., The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 58, 399- 415, 1968.
- [5] Wyss, M., S. Wiemer, and S. Tsuboi, (1973). Mapping b-value anomalies in the subducting slabs beneath Japan, using the JUNE data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
- [6] Gibowicz, S.J. (1973), Variation of the frequency-magnitude relation during earthquake sequence in New Zealand, *Bull. Seimol. Soc. Am.*, 63, 517 – 528.
- [7] Mogi,K.,Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 40, 831-853, 1963.
- [8] Warren, N.W., and G.V. Latham, An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity, *J. Geo- phys Res.*, 75, 4455-4464, 1970.
- [9] Wiemer, S. and M. Wyss, Seismic quiescence before the 1993  $M=7.5$  Landers and  $M=6.5$  Big Bear (California) earthquakes, *Bull. Seis. Soc. Amer.*, 84, 900-916, 1994.
- [10] Gutenberg, B. And Richter, C. F., (1944). Frequency of earthquake in California, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 34, hal. 185 – 188.
- [11] Natawidjaja, D.H., and W. Triyoso. (2007) The Sumatran fault zone: from source to hazard, 1 (No.1), 21-47.
- [12] Wiemer, S. & Wyss, M., (1997), Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence time?, *J. Geophys. Res.*, 102, 15, 115 – 15, 128.
- [13] Heety, A. L., Emad, A. M., (2011). Variation of b-value in the earthquake frequency-magnitude distribution with depth in the intraplate regions, *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 11, p29.
- [14] Ngadmanto, D., (2012). Penentuan Potensi Gempabumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan Di Wilayah Busur Banda. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 8 No.1 Juli 2012 : 16 – 22.
- [15] Wiemer, S., and J. Benoit, (1996). Mapping the b-value anomaly at 100 km depth in the Alaska and New Zealand subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1557-1560,.