

PENENTUAN POTENSI GEMPA BUMI MERUSAK BERDASARKAN PARAMETER KEGEMPAAN DI WILAYAH BUSUR BANDA

Drajat Ngadmanto

Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
Jln. Angkasa I No.2 Kemayoran-Jakarta Pusat
e-mail: darajata@yahoo.com

ABSTRACT

Banda arc has a high seismicity, therefore, it is necessary to reduce the earthquake risk. Earthquake parameters variation from Gutenberg - Richter relation, $\log n(M)=a - bM$, has introduced the model of earthquakes prediction related to earthquake risk. Earthquake data from NEIC catalogue for a period of 1973 - 2009 has been used to analyze earthquake parameters variation (a-value, b-value) in the area of Banda arc within coordinates 1° - 13° S and 120° - 135° E. This research used ZMAP ver: 6.0. to analyze the earthquake data. The result of spatial analyze shows the areas of potential destructive earthquakes are surrounding of Flores, Alor and western part of Seram. The probability of earthquakes occurrence with the magnitude 6.5 RS in these areas is 7 – 15 years, whereas the magnitude 7 RS is about 20–60 years.

Keywords: a-value, b-value, earthquake parameters, Banda arc.

PENDAHULUAN

Wilayah Busur Banda merupakan salah satu wilayah dengan tingkat seismisitas yang tinggi (Gambar 1). Hal ini disebabkan karena wilayah ini menjadi pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasific. Batas-batas lempeng-lempeng ini merupakan sebuah zona subduksi yang merupakan zona aktif gempa bumi.¹ Dari data-data *National Earthquake Information Center* (NEIC),² ada beberapa gempabumi besar yang terjadi dan menimbulkan korban jiwa yang cukup banyak, seperti gempa di Flores, Alor, Seram, dan Laut Banda. Untuk meminimalisasi dampak bencana, tentunya upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal. Upaya mitigasi dapat dilakukan dengan penelitian ilmu kebumihangsan yang makin intens, pemasangan jaringan pemantau yang representatif dan mutakhir serta diseminasi informasi.

Salah satu cara untuk meneliti proses gempabumi dalam upaya mitigasi adalah hubungan frekuensi-magnitudo (*Frequency-Magnitude Distribution, FMD*). FMD dari gempabumi

yang dikemukakan oleh Gutenberg-Richter, merupakan hubungan pangkat (*power law*). Secara global nilai-b mendekati 1, yang berarti 10 kali penurunan aktivitas terkait dengan kenaikan dalam tiap unit *magnitude*.³

Berdasarkan pengamatan perubahan nilai-b, diketahui bahwa nilai-b menggambarkan aktivitas *stress* lokal. Secara statistik perubahan nilai-b yang signifikan telah teramati di beberapa medan *stress* seperti di zona tumbukan lempeng, di sepanjang patahan dan di zona *aftershock*. Ada indikasi penurunan nilai-b menjelang terjadinya gempa bumi besar (*foreshocks*) dan kenaikan nilai-b setelah terjadinya sebuah gempa bumi besar tersebut (*aftershocks*).⁴

Analisis terhadap parameter kegempaan diharapkan dapat menentukan daerah-daerah yang berpotensi gempabumi merusak pada masa yang akan datang sebagai usaha mitigasi bencana gempabumi. Penelitian ini difokuskan pada analisis nilai-a dan nilai-b dan kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi merusak dari katalog gempabumi di wilayah Busur Banda.

TEORI

Tatanan tektonik di Busur Banda cukup kompleks, sebelah selatan terdapat palung Timor dan di utara adalah palung Seram. Kedua palung ini melingkar membentuk setengah lingkaran mulai dari selatan pulau Timor, Tanimbar, berbelok ke atas di sebelah timur pulau Seram dan Buru.¹ Hal ini disebabkan tumbukan lempeng Eurasia yang relatif diam dengan lempeng Indo-Australia dari sebelah selatan dengan kecepatan sekitar 70 mm/tahun, sementara lempeng pasifik menabrak dari sebelah timur dengan kecepatan sekitar 90 mm/tahun. Gambar 2 menunjukkan zona-zona subduksi di wilayah busur banda yang merupakan jalur tumbukan antarlempeng.

Zona subduksi di bawah Busur Banda sangat unik, di mana *slab* litosfer yang menunjam membentuk struktur yang menyerupai sendok. Hal ini dimungkinkan oleh proses terputarnya Busur Banda yang hampir 180° berlawanan dengan arah putar jarum jam. Dari penampang vertikal yang ditunjukkan dalam Gambar 3a. berikut terlihat jelas bahwa litosfer yang menunjam di bawah Busur Banda terdefleksi di atas diskontinuitas seismik pada kedalaman 660 km. Geometri dari litosfer yang tersubduksi di bawah Busur Banda digambarkan secara 3-D dengan lebih jelas dalam diagram blok pada Gambar 3b.⁶

Metode untuk mengetahui parameter kegempaan suatu wilayah adalah dengan hubungan Gutenberg-Richter yang dituliskan sebagai:

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

di mana $n(M)$ adalah jumlah kumulatif gempa bumi dengan magnitude lebih besar atau sama dengan M , sedangkan a dan b adalah konstanta yang disebut sebagai parameter-parameter kegempaan. Dalam penelitian ini nilai- b ditentukan dengan metode *maximum likelihood*. Metode maksimum likelihood menggunakan persamaan berikut:³

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

dimana $\bar{M}$ adalah magnitude rata-rata dan $M_{\min}$ adalah magnitude minimum. Standar deviasi menggunakan formula:

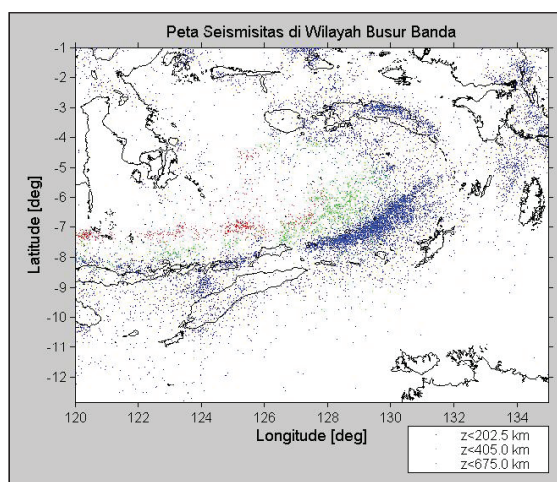
$$\delta b = 2.30b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 / n(n-1)} \quad (3)$$

di mana n adalah jumlah gempa pada sampling perhitungan.

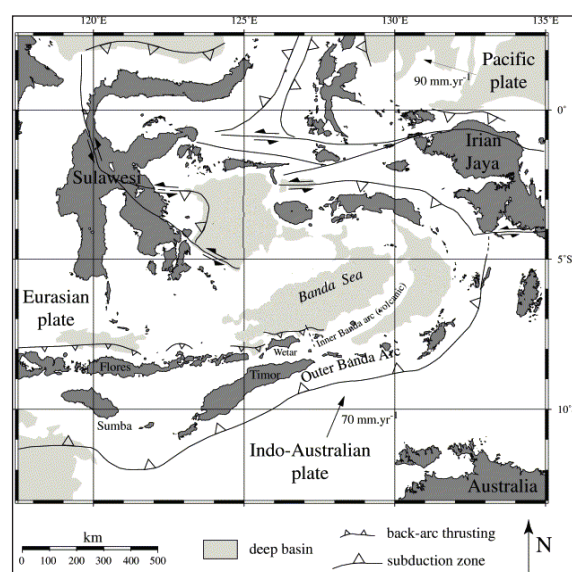
a ditentukan dengan menggunakan formula berikut:

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 b \quad (4)$$

di mana M_0 adalah magnitude terkecil pada wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta seismisitas di wilayah Busur Banda (data dari katalog gempa bumi NEIC 1973–2009)²



Gambar 2. Peta tektonik di wilayah Busur Banda⁵.

Jumlah frekuensi kumulatif gempabumi per tahun atau disebut indeks seismisitas adalah

$$N_1(M) = 10^{a_1 - bM} \quad (5)$$

Dengan demikian dapat diformulasikan kemungkinan terjadinya satu kali atau lebih gempabumi dengan *magnitude* lebih besar dari M dalam periode T sebagai:

$$P(M, T) = (1 - e^{-N(M) \cdot T}) \quad (6)$$

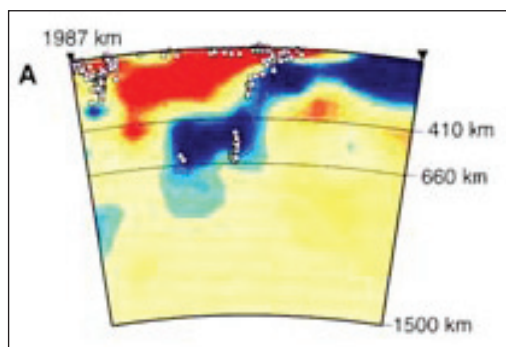
Dengan diperoleh $N_1(M)$ dapat dihitung kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi merusak, yaitu :

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \text{ tahun} \quad (7)$$

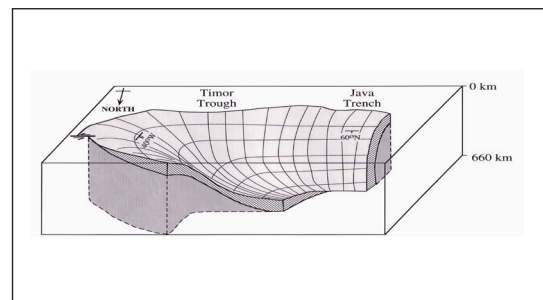
METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder yaitu data gempabumi dari katalog *NEIC* wilayah Busur Banda, meliputi batas $1^\circ - 13^\circ$ LS dan 120° BT– 135° BT dalam kurun waktu Januari 1973–Maret 2009.² Langkah-langkah pengolahan dan analisis data seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Langkah pertama dalam pengolahan data adalah melakukan seleksi data dan penyeragaman *magnitude* menjadi *magnitude moment* (M_w), Selanjutnya adalah melakukan dekluster katalog gempabumi dengan tujuan untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock* sehingga diperoleh gempa yang *independent*. Kemudian dibuat plot distribusi frekuensi *magnitude* untuk melihat kelengkapan data sehingga diketahui kelengkapan *magnitude* (M_c). Langkah berikutnya adalah menghitung nilai- a , nilai- b , dan

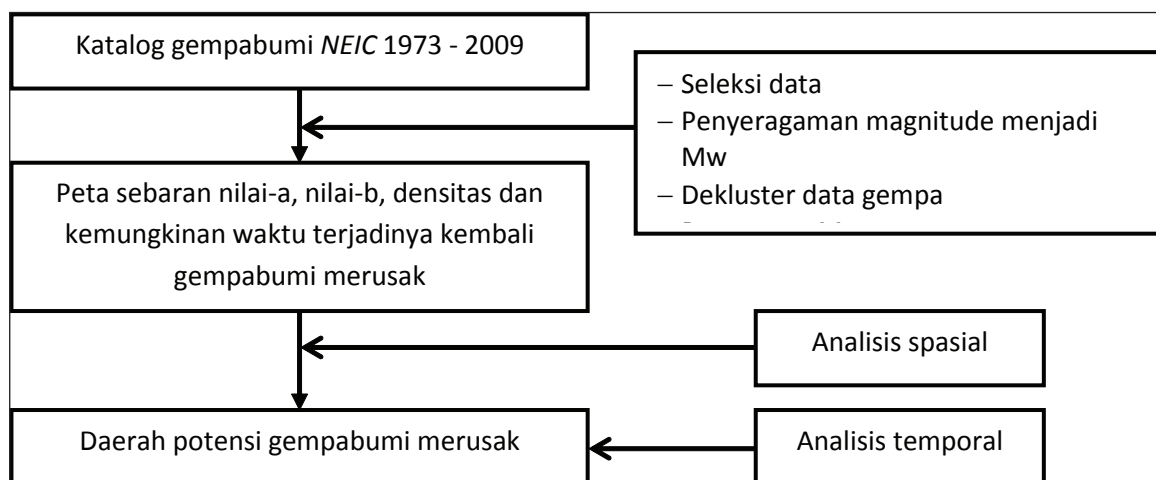


(a)



(b)

Gambar 3. a) Penampang vertikal di bawah busur Banda: dari Selatan/kanan ke Utara/kiri. b) Diagram blok/kartun yang menggambarkan struktur 3-D dari penunjaman litosfer yang membuat sebuah bentuk sendok di bawah busur Banda.



Gambar 4. Diagram alir pengolahan data

kemungkinan waktu terjadinya kembali gempa bumi merusak dengan menggunakan *software ZMAP ver. 6.0*. ZMAP yang merupakan *software* berbentuk *Graphich User Interface* (GUI) dengan basis MATLAB yang dikembangkan oleh Stefan Wiemer dkk. sejak tahun 1993 untuk analisis seismisitas.⁷

Perhitungan Nilai-b menggunakan metode *maximum likelihood*. Pemetaan spasial nilai-a, nilai-b, dan kemungkinan waktu terjadinya kembali gempa bumi merusak dilakukan dengan membagi wilayah penelitian menjadi grid-grid dan parameter kegempaan dihitung untuk tiap titik grid dalam radius konstan. Dalam penelitian ini digunakan radius konstan 110 km dan grid pengolahan data $0.2^\circ \times 0.2^\circ$. Pemetaan spasial dari pemetaan parameter kegempaan dilakukan setelah memilih radius konstan dan M_c yang digunakan. Selanjutnya nilai-a, nilai-b dan kemungkinan waktu terjadinya kembali gempa bumi merusak dihitung menggunakan luasan lingkaran yang berpusat pada *node* (pusat grid). Sebagai analisis tambahan dibuat pemetaan densitas gempa bumi di wilayah penelitian untuk melihat *seismic gap* secara spasial.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai-b secara temporal dengan menggunakan metode *sliding time-window* pada lokal area yang didapat dari analisis spasial. Data yang digunakan adalah data tanpa proses dekluster. Nilai-b dihitung dari N even pada daerah kluster, kemudian *window* digeser sejauh $N/10$, langkah ini dilakukan sampai pada even gempa terakhir.⁸ Pada penelitian ini digunakan jumlah even 100 dengan pergeseran 10 even.

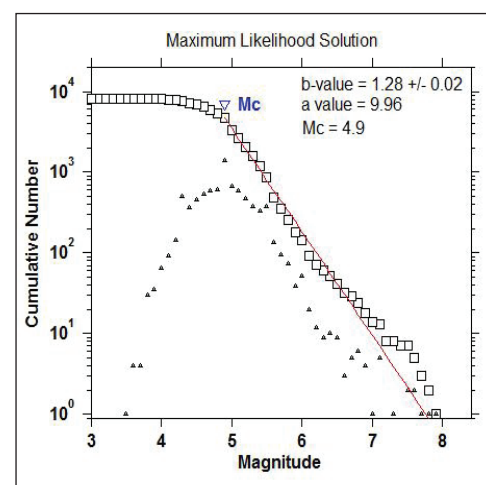
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi frekuensi-magnitudo menggambarkan distribusi katalog tentang bagaimana hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi. Parameter paling penting dalam menentukan nilai-a dan nilai-b adalah *magnitude completeness* (M_c). Dari distribusi frekuensi magnitudo (Gambar 5) diketahui kelengkapan magnitudo (M_c) dari katalog adalah 4,9. Hal ini menunjukkan katalog NEIC merekam dengan baik gempa dengan magnitudo terkecil 4,9 di wilayah Busur Banda. Distribusi frekuensi magnitudo diperoleh parameter kegempaan secara umum, nilai-a

yaitu 9,96, sedangkan nilai b yaitu 1,28. Dengan wilayah kegempaan Busur Banda yang relatif luas besarnya nilai-b seperti hasil penelitian sebelumnya di beberapa wilayah lain didapatkan nilai-b mendekati satu.⁴ Nilai-a menunjukkan tingkat keaktifan gempa bumi, dengan nilai-a 9,96 yang berarti wilayah Busur Banda memiliki keaktifan kegempaan yang relatif tinggi. *besarnya parameter ini bergantung banyaknya even dan untuk wilayah tertentu bergantung pada penentuan volume dan time window.*³

Variasi parameter kegempaan secara *spatial* dapat dilihat pada Gambar 6a dan 6b. Pada Gambar 6a tampak variasi spasial nilai-b di wilayah Busur Banda. Terlihat adanya anomali nilai-b yang relatif rendah dibandingkan wilayah lain yang ditunjukkan oleh warna biru, yaitu di sekitar Flores, Alor, dan di sebelah barat Seram. Berdasarkan hasil penelitian para ahli sebelumnya, nilai-b yang rendah biasanya berkorelasi dengan tingkat *stress* yang tinggi, sedangkan sebaliknya.^{3,4}

Distribusi spasial nilai-a (Gambar 6b) tampak mirip dengan sebaran nilai-b, di mana nilai-a yang rendah, warna biru, juga terjadi di wilayah sekitar Flores, Alor, dan sebelah barat Seram. Nilai-a yang rendah menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif rendah, yang berarti adanya akumulasi energi (*asperity*) di wilayah-wilayah tersebut dan sebaliknya.



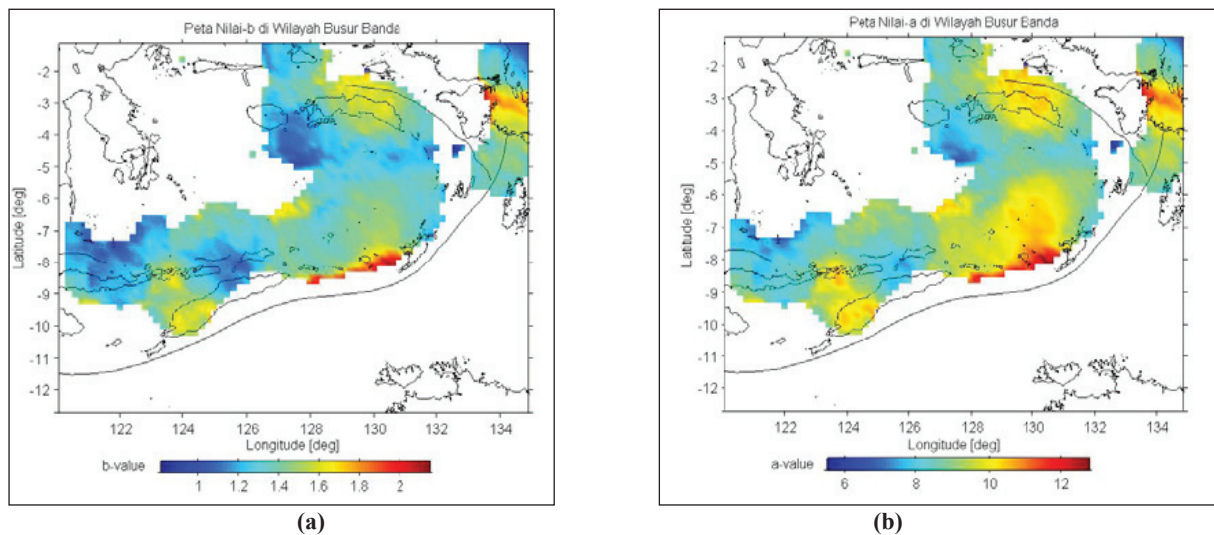
Gambar 5. Distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di wilayah Busur Banda, slope dari kurva merupakan nilai-b dari relasi Gutenberg-Richter.

Nilai-b dan nilai-a yang relatif rendah di Flores, Alor, dan di sebelah barat Seram mengindikasikan bahwa di wilayah tersebut berpeluang terjadi gempa besar di waktu yang akan datang yang disebabkan oleh adanya akumulasi energi yang menimbulkan tingkat *stress* yang tinggi di daerah-daerah tersebut.

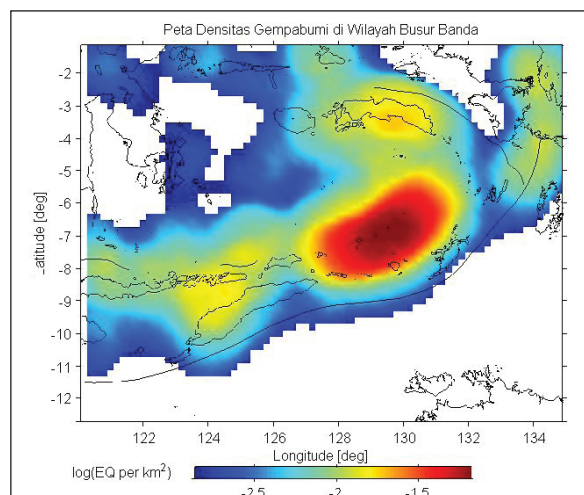
Variasi spasial densitas kegempaan (Gambar 7) juga mengindikasikan adanya zona gap kegempaan (*seismic gap*) di wilayah Flores, Alor, dan di sebelah barat Seram. Hal ini juga mendukung bahwa ketiga daerah tersebut perlu diwaspadai akan ancaman gempabumi besar. *Seismic gap* juga tampak di sebelah selatan Seram. Hal ini perlu juga diwaspadai karena

mengindikasikan adanya peluang terjadi gempabumi besar di daerah ini. Teori gap kegempaan (*seismic gap*) berhipotesis bahwa ukuran relatif dan frekuensi kejadian gempabumi di suatu daerah gempa bergantung pada ukuran dan frekuensi kejadian gempa daerah tersebut. Wilayah dimana telah terjadi banyak gempa kecil tidak berpeluang terjadi gempa besar, sedangkan wilayah yang dalam waktu lama tidak terjadi gempa maka akan berpeluang terjadinya gempa besar.⁹

Gambar 8a. menunjukkan kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi dengan magnitude 6,5 SR di sekitar Flores, Alor, dan di sebelah barat Seram adalah sekitar 7 hingga sekitar 15 tahun. Untuk gempabumi dengan



Gambar 6. a. Peta variasi spasial nilai-b di wilayah Busur Banda (1973–2009), b. Peta variasi spasial nilai-a di wilayah Busur Banda (1973–2009)



Gambar 7. Peta densitas kegempaan wilayah Busur Banda (1973–2009).

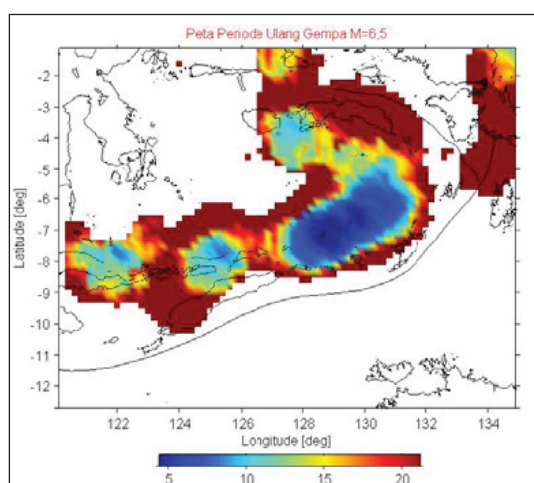
magnitude 7 SR (Gambar 8b), kemungkinan waktu terjadinya kembali di wilayah ini berkisar 20 sampai 60 tahun. Kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi yang pendek biasanya berkorelasi dengan nilai-b dan nilai-a yang tinggi, yang berarti berkorelasi dengan wilayah yang memiliki aktivitas kegempaan yang relatif tinggi.³

Analisis temporal nilai-b digunakan untuk melihat pola perubahan nilai-b terhadap waktu dan hubungannya dengan gempabumi yang terjadi. Berdasarkan Gambar 9, tampak bahwa gempa-gempa dengan Magnitude > 6,5 SR (bintang berwarna kuning pada grafik bawah) biasanya didahului dengan adanya penurunan nilai-b menjelang kejadian (grafik atas). Hal ini ditunjukkan oleh tanda panah berwarna merah. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa gempa besar didahului kenaikan nilai-b yang diikuti penurunan nilai-b sebelum kejadian.⁹ Akan tetapi, ada beberapa kejadian gempabumi justru terjadi pada saat nilai-b dalam keadaan meningkat atau saat berada di puncak. Kejadian ini ditunjukkan pada Gambar 9 oleh tanda panah berwarna ungu dan hijau yang menghubungkan kejadian gempabumi merusak dengan perubahan nilai-b. Hal ini dimungkinkan terjadi karena beberapa kasus menunjukkan bahwa nilai-b naik secara tiba-tiba sebelum gempabumi merusak.¹⁰

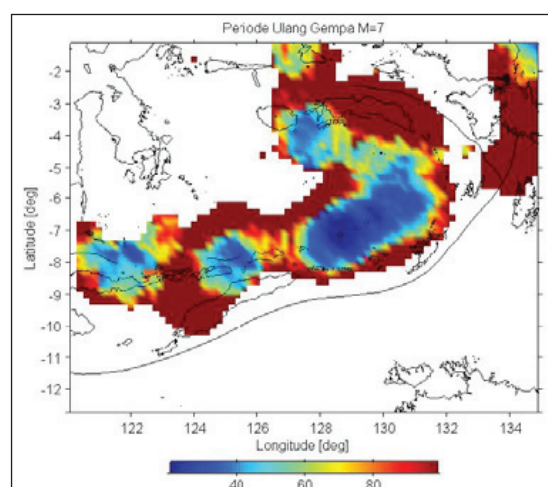
Analisis temporal nilai-b belum mampu dijadikan analisis tanda-tanda awal sebuah gempabumi secara mutlak dan konsisten. Akan tetapi, dalam beberapa kasus hal tersebut dapat memberi petunjuk perlu diwaspadainya kenaikan yang diikuti oleh penurunan yang tajam dari nilai-b, karena mengindikasikan akan terjadi gempabumi merusak. Dari ketiga tempat yang berpotensi gempabumi merusak, yang perlu mendapat perhatian lebih dalam waktu dekat adalah Flores, karena dari grafik perubahan nilai-b terhadap waktu menunjukkan bahwa nilai-b menurun walaupun tidak signifikan. Sementara untuk Alor, walaupun di tahun terakhir menunjukkan nilai-b yang turun, tetapi hal ini disebabkan oleh beberapa gempa di tahun-tahun akhir dengan magnitude sekitar 6 SR. Untuk wilayah Seram tampak nilai-b sedang beranjak meningkat dan tidak signifikan. Jadi untuk wilayah Alor dan Seram berdasarkan analisis temporal nilai-b menunjukkan indikasi yang cukup aman dari gempabumi merusak dalam beberapa tahun ke depan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis spasial parameter kegempaan di wilayah Busur Banda dapat disimpulkan bahwa ada beberapa wilayah yang berpotensi terjadi gempabumi merusak sehingga perlu diwaspadai untuk kepentingan mitigasi, yaitu di

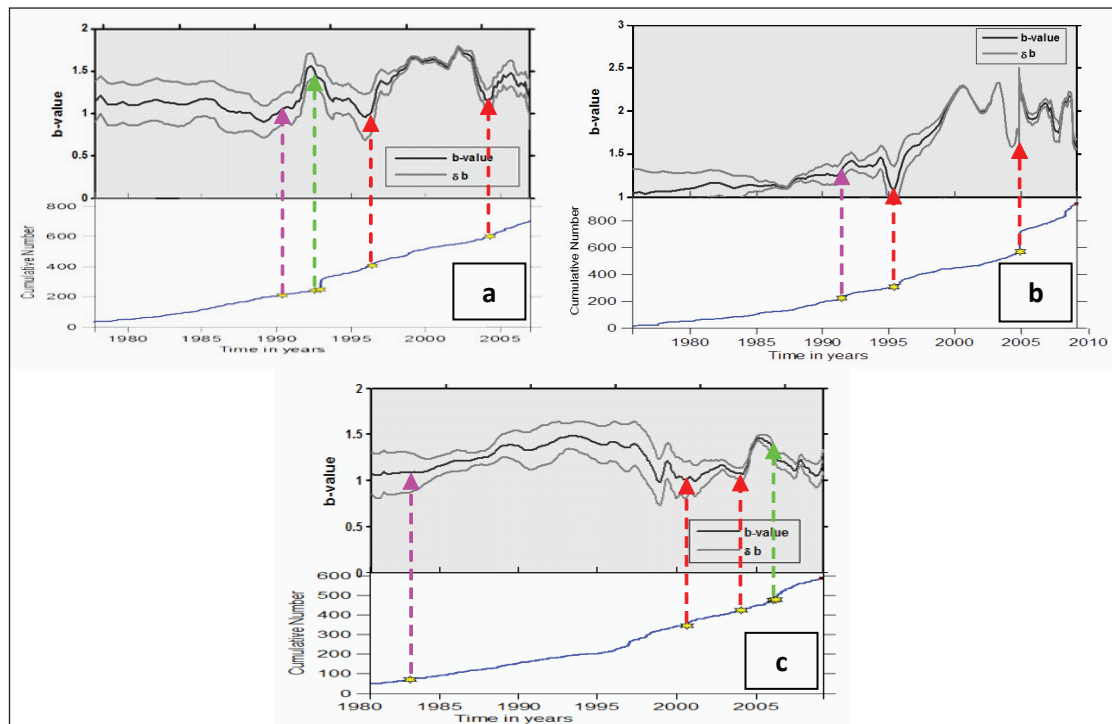


(a)



(b)

Gambar 8. a. Peta kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi, M=6,5 SR., b. Peta kemungkinan waktu terjadinya kembali gempa bumi, M=7 SR.



Gambar 9. Grafik bawah menunjukkan jumlah kumulatif gempa terhadap waktu dan grafik atas menunjukkan variasi nilai-b terhadap waktu untuk daerah (a) Flores, (b) Alor dan (c) Seram. Tanda bintang berwarna kuning menunjukkan gempabumi dengan magnitudo > 6,5 SR.

sekitar Flores, Alor dan di sebelah barat Seram. Kemungkinan waktu terjadinya kembali gempabumi dengan magnitudo 6,5 SR di wilayah tersebut bervariasi sekitar 7–15 tahun. Untuk gempabumi dengan magnitudo 7 SR bervariasi sekitar 20–60 tahun. Dari analisis temporal nilai-b, daerah di sekitar Flores perlu mendapat perhatian lebih dalam beberapa tahun ke depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Wahjoe Soeprihantoro yang telah memberi bimbingan dalam penulisan ini. Kepada Bapak Muzli, Pupung Susilanto, Bambang Sunardi, M. Najib Habibie dan teman-teman Puslitbang BMKG maupun teman-teman DFP Gelombang III tahun 2009 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, penulis juga mengucapkan banyak terima kasih atas masukan, saran, dan diskusi selama penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Ibrahim G., dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ²<http://neic.usgs.gov> diakses Maret 2009.
- ³Rohadi, S., Grandis H., dan Mezak A. Ratag. 2007. Studi Variasi Spasial Seismisitas Zona Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.8, No.1.
- ⁴Kulhanek, O. 2005. *Seminar on b-value*. Prague: Dept. of Geophysics: Charles University.
- ⁵Hamson, G. 2004. *The Tectonic Evolution of East Timor and the Banda Arc*. Honours Literature Review submitted as part of the B.Sc. (Hons) degree in the School of Earth Sciences, University of Melbourne.
- ⁶Widiyantoro, S. 2008. *Fisika Interior Bumi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- ⁷Wyss M, Wiemer, S, and Zúñiga, R, 2002, *ZMAP A Tool For Analyses Of Seismicity Patterns*, Typical Applications And Uses: A Cookbook.
- ⁸Nuannin P., Kulhanek, O., and Persson, L. 2006. Spatial and temporal b value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L11307.

⁹Rohadi, S. 2008. *Studi Aplikasi Wavelet pada Periodisitas dan Prediksi Aktivitas Gempabumi di Zona Subduksi Jawa*. Master Thesis Pasca Sarjana ITB. Bandung.

¹⁰Muzli. 2009. *Signatures of Tectonic Stress in Seismicity*. Master Thesis in Free University Berlin. Germany.