

STUDI VARIASI SPATIAL SEISMISITAS ZONA SUBDUKSI JAWA

Supriyanto Rohadi^{1,2}, Hendra Grandis², Mezak A. Ratag³

¹*Program Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II Jakarta*

²*Program Magister Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung*

³*Puslitbang BMG*

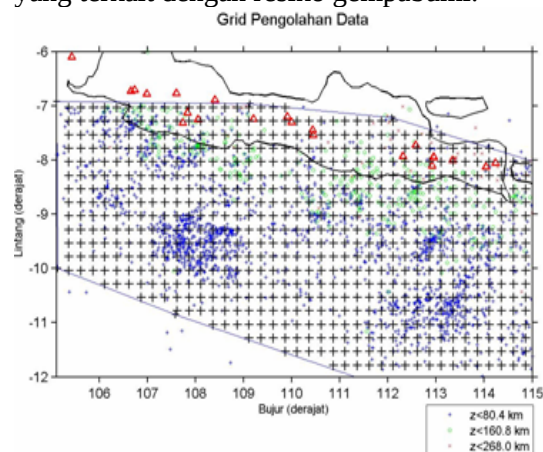
ABSTRAK

Variasi nilai- b dari relasi Gutenberg-Richter memegang peranan penting dalam sebagian besar model prakiraan gempabumi yang terkait dengan resiko bencana. Dari relasi Gutenberg-Richter yaitu $\log N = a - bM$, slope dari hukum pangkat ini merupakan nilai- b yaitu sebuah parameter tektonik yang menggambarkan ukuran distribusi dari gempabumi. Nilai- b yang tinggi mengindikasikan suatu proporsional yang relatif besar dari gempa-gempa kecil dan nilai- b yang rendah sebaliknya. Di dalam analisis kegempaan ini, kelengkapan katalog gempabumi merupakan faktor penting yang dapat mereduksi timbulnya deviasi linearitas. Katalog gempabumi NEIC dari tahun 1973-2006 dan katalog gempabumi BMG digunakan untuk analisis variasi nilai- a , nilai- b dan periode ulang gempabumi di Zona Subduksi Jawa dengan batas $6,5^\circ \text{ LS} - 12^\circ \text{ LS}$ dan $105^\circ \text{ BT} - 115^\circ \text{ BT}$. Dari analisis katalog gempabumi di wilayah penelitian diperoleh variasi nilai- b berkisar antara 0,8-2,5, variasi nilai- a berkisar antara 6-12 sedangkan periode ulang gempabumi dengan magnitude 6 secara umum adalah sekitar 5 tahun.

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilatar belakangi oleh beberapa kejadian gempabumi di wilayah Zona Subduksi Jawa pada tahun 2006. Gempabumi tersebut pada dasarnya adalah akibat dari pergerakan Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam, gempabumi tersebut antara lain gempabumi Yogyakarta, 27 Mei 2006, dengan episenter $8,26^\circ \text{ LS}$, $110,31^\circ \text{ BT}$, magnitude 5,9 dan gempabumi Pangandaran 17 Juli 2006, episenter $9,46^\circ \text{ LS}$, $107,19^\circ \text{ BT}$, magnitude 6,8. Penelitian variasi spatial nilai- b telah dilakukan oleh beberapa peneliti di sejumlah daerah aktif gempa. Dari pengamatan variasi ruang nilai- b , diketahui bahwa nilai- b mencerminkan aktivitas stress lokal. Secara statistik perubahan nilai- b yang signifikan telah teramati di beberapa medan stress seperti di zona subduksi lempeng, di sepanjang zona patahan dan di zona aftershock.

Tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui variasi nilai- b , variasi nilai- a dan mengetahui periode ulang gempabumi tehnik evaluasinya serta penerapannya sebagai usaha yang terkait dengan resiko gempabumi.



Gambar 1. Distribusi kegempaan Zona Subduksi Jawa dari Katalog NEIC 1973-2006 dan grid pengolahan data $0,2^\circ \times 0,2^\circ$.

TEKTONIK SETTING

Tektonik Jawa didominasi oleh tunjaman ke utara lempeng Australia dibawah lempeng Sunda yang relatif diam dan diperkirakan kecepatan pergerakannya 6 cm/th dengan arah mendekati normal terhadap palung. Lempeng Australia menunjam dengan kedalaman 100-200 km dibawah pulau Jawa dan 600 km di utara Jawa. Konsekuensi tunjaman lempeng tersebut mengakibatkan kegempaan yang tinggi dan lebih dari 20 gunung api aktif di zona ini.

METODOLOGI

Relasi Getenberg-Richter

Metode untuk mengetahui parameter seismik dan tektonik suatu wilayah adalah dengan hubungan Gutenberg-Richter atau *magnitude-frequency relation* (MFR) yang dituliskan sebagai :

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

$$\log N(M) = a' - bM \quad \dots (2)$$

dimana $n(M)$ adalah jumlah gempabumi dengan magnitude M dan $N(M)$ adalah jumlah kumulatif. Nilai- a merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung banyaknya even dan untuk wilayah tertentu bergantung pada penentuan volume dan *time window*. Nilai- b biasanya mendekati 1 merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan yang besar. Nilai- b dapat ditentukan dengan metode *least square* atau maksimum likelihood. Metode maksimum likelihood menggunakan persamaan yang diberikan Utsu (1967) yaitu

$$b = \frac{\log e}{\overline{M} - M_{\min}} = \frac{0.4343}{\overline{M} - M_{\min}} \quad \dots (3)$$

Dimana $\overline{M}$ adalah magnitude rata-rata dan $M_{\min}$ adalah magnitude minimum. Dengan standar deviasi dihitung menggunakan formula dari Shi dan Bold (1982) sebagai berikut :

$$\sigma_b = 2.30b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \overline{M})^2 / n(n-1)} \quad \dots (4)$$

Nilai- a ditentukan dari menggunakan formula dari Wekner (1965) berikut

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

atau untuk distribusi kumulatif

$$a' = a - \log(b \ln 10)$$

Jumlah gempabumi per tahun secara teoritis dihitung dengan membagi nilai- a dengan periode observasi (T)

$$a_1 = a / \log T$$

$$a'_1 = a' / \log T$$

Sehingga Jumlah frekuensi kumulatif gempabumi per tahun atau disebut indeks seismisitas adalah

$$N_1(M) = 10^{a'_1 - bM}$$

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

$$P(M, T) = (1 - e^{-N_1(M) \cdot T}) \quad \dots (5)$$

Dengan diperoleh $N_1(M)$ dapat dihitung nilai rata-rata periode ulang dari gempabumi merusak yaitu :

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \text{ tahun} \quad \dots (6)$$

DATA DAN PENGOLAHAN

Data

Data menggunakan data gempabumi dari katalog NEIC dan BMG di Zona Subduksi Jawa meliputi batas 6,5° LS - 12° LS dan

105° BT - 115° BT, dengan kedalaman 0-300 km untuk kurun waktu tahun 1973-2006.

Pengolahan Data

Tahapan dalam pengolahan data meliputi :

- Seleksi data dan penyeragaman magnitude menjadi magnitude gelombang badan (Mb).
- Plot distribusi frekuensi magnitude untuk melihat kelengkapan data sehingga diketahui nilai magnitude completenessnya (Mc).
- Decluster katalog untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock*.
- Perhitungan nilai-b, nilai-a, periode ulang menggunakan program ZMAP V 6.0 (Wiemer and Wyss, 1996).

Perhitungan Nilai-b dalam program ini menggunakan metode *weighted lest square* dan *maximum likelihood* dengan Mc dipilih yaitu kombinasi terbaik antara magnitude minimum dan 95% *confidence interval*.

Untuk memetakan nilai-b dalam ruang, wilayah penelitian dibagi menjadi grid-grid dan nilai-b dihitung untuk tiap titik grid dalam suatu radius konstan yang mengandung sejumlah even (misalnya 50 gempa). Dengan menggunakan metode ini, radius divariasikan terhadap densitas gempa di wilayah tersebut. Ukuran grid dapat bervariasi umumnya mulai 0,1°-1°. Dalam paper ini dipilih kriteria yaitu jumlah gempa $N=80$ atau radius konstan 110 km dan grid pengolahan data 0,2° x 0,2°.

HASIL DAN ANALISIS

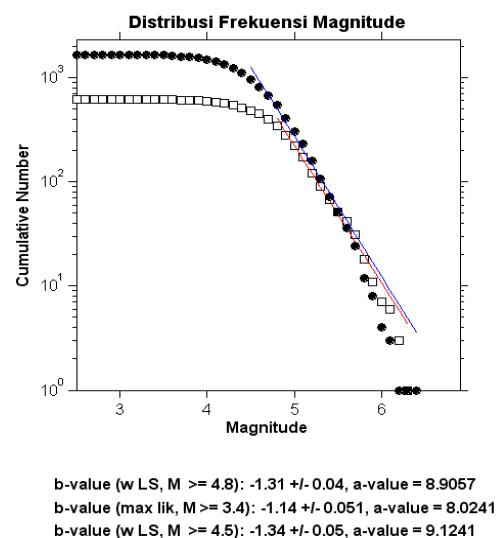
Distribusi Frekuensi-Magnitude

Dari distribusi frekuensi magnitude Gambar 2 terlihat bahwa jumlah gempabumi dengan magnitude 6 sekitar 10 gempa. Pada Gambar yang sama dengan menggunakan metode *least square* diperoleh nilai-b sekitar 1,3 dan nilai-a sekitar 9 bila menggunakan maksimum

likelihood nilai-b sekitar 1,1 dan nilai-a sekitar 8.

Magnitude Completeness (Mc)

Parameter paling penting dalam menentukan nilai-b dan nilai-a adalah magnitude completeness (Mc) dimana diperlukan deskripsi akurat dari Mc lokal karena Mc pada wilayah penelitian sangat bervariasi. Mc ini dapat diperoleh dengan cukup akurat dari data observasi dengan mengasumsikan sebuah *power-law distribution* sehingga kehilangan data diujung katalog dapat dimodelkan. Nilai Mc di wilayah penelitian seperti pada Gambar 3, dimana Mc berkisar antara 4,5 hingga 5,5. Besarnya Mc ini sangat berpengaruh terhadap penentuan nilai-b dengan metode maksimum likelihood.

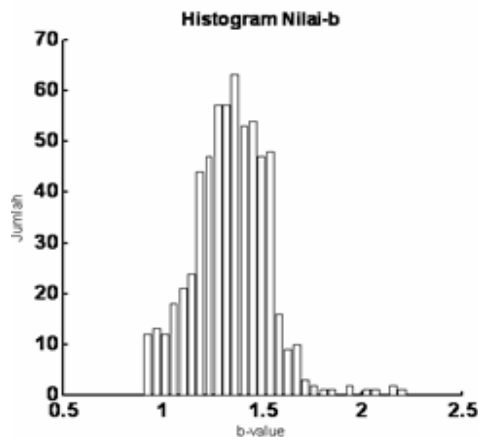


Gambar 2. Distribusi Frekuensi-Magnitude (FMD) dari Kegempaan di Zona Subduksi Jawa 1973-2006. *Slope* dari garis menyatakan relasi Gutenberg Richter $\log N = a - bM$.

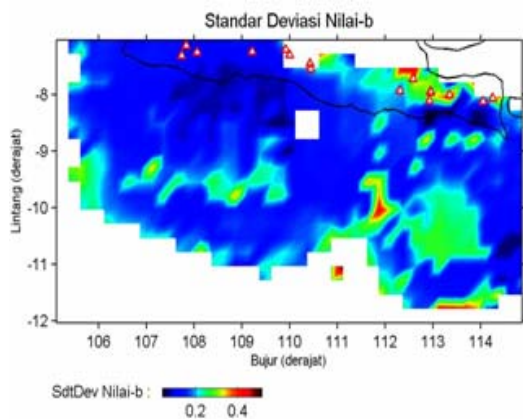
Analisis

Pada histogram Gambar 3. tampak nilai-b rata-rata sekitar 1,3 dari histogram tampak secara umum nilai-b terdistribusi normal. Variasi *spatial* nilai-b dan nilai-a di wilayah penelitian tampak seperti pada Gambar 6. dimana minimum nilai-b sekitar 0,8 dan nilai maksimumnya sekitar 2,3. Berdasarkan hasil

penelitian nilai-b para ahli yang rendah biasanya berkorelasi dengan tingkat stress yang tinggi, sedangkan nilai-b rendah sebaliknya. Selain itu, wilayah dengan heterogenitas yang besar berkorelasi dengan harga b-value yang tinggi (Mogi, 1962). Dari peta ini zona seismik gap teridentifikasi dengan baik sesuai dengan identifikasi dari NOAA dan ISC.



Gambar 3. Histogram variasi nilai-b diestimasi dari luasan dengan radius konstan atau minimum even 80.

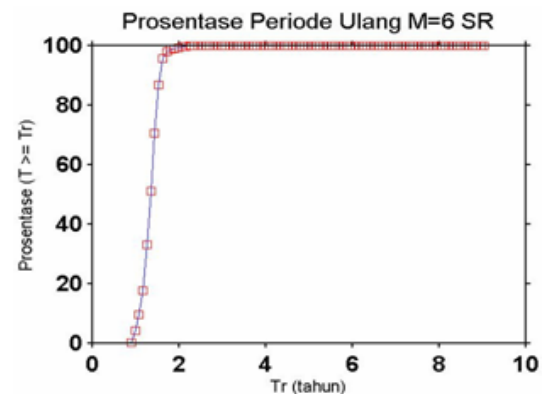


Gambar 4. Standar deviasi Nilai-b.

Variasi spasial nilai-a dengan minimum nilai-a sekitar 6 dan nilai maksimumnya sekitar 12. Pada Gambar 6. tampak dua kluster dengan variasi nilai-a sekitar 9 sehingga kedua kluster ini berarti memiliki aktivitas kegempaan yang tinggi.

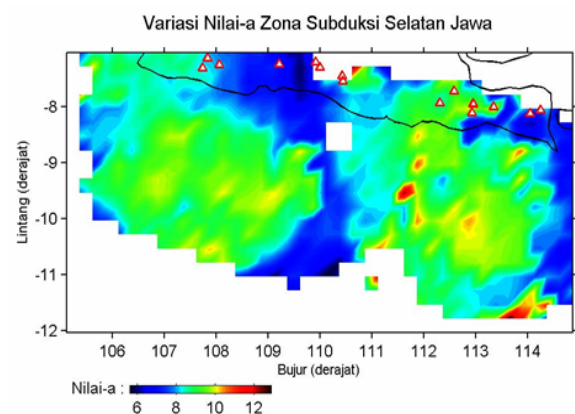
Gempabumi dengan magnitudo 6 pasti terjadi di zona ini dalam kurun waktu dua tahun (Gambar 5) bila dilihat dari prosentase periode ulangnya. Secara umum dari peta Gambar 7. gempabumi dengan magnitudo 6 di

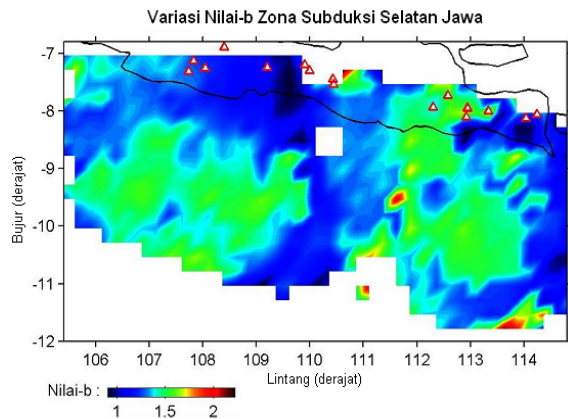
zona ini memiliki periode ulang yang berbeda-beda yaitu sekitar 5 hingga 20 tahun. Gempabumi dengan $M=6,5$ memiliki periode ulang bervariasi dari 15 hingga 60 tahun. Periode ulang yang pendek biasanya berkorelasi dengan nilai-b dan nilai-a yang tinggi. Periode yang pendek dengan wilayah dengan aktivitas kegempaan yang relatif tinggi terutama adalah wilayah samudera Indonesia sebelah selatan Jawa Barat dan selatan Jawa Timur.



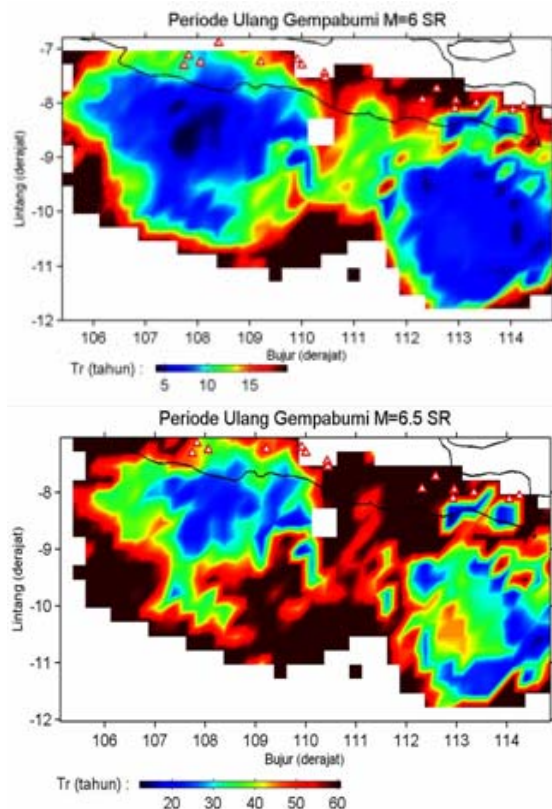
Gambar 5. Prosentase Periode Ulang ($M=6$).

Dalam paper ini perhitungan distribusi frekuensi-magnitudo menggunakan magnitudo gelombang badan sehingga deviasi linearitas lebih cepat timbul dibandingkan dengan menggunakan magnitudo gelombang permukaan atau magnitudo moment.





Gambar 6. Distribusi nilai-b dan nilai-a Zona Subduksi Jawa dari Katalog NEIC 1973-2006. Nilai-b diestimasi dari wilayah dengan radius konstan atau minimum even 80 dengan grid $0,2^\circ \times 0,2^\circ$.



Gambar 7. Peta periode ulang gempabumi M=6 dan M=6,5.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi variasi karakteristik kegempaan yaitu nilai-b, nilai-a dan periode ulang di Zona Subduksi Jawa dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan nilai-b wilayah kegempaan di zona subduksi Jawa dikelompokkan menjadi dua bagian utama yaitu berada di bagian barat dan bagian timur dengan minimum nilai-b sekitar 0,8 dan maksimumnya sekitar 2,3.
2. Minimum nilai-a sekitar 6 dan nilai maksimumnya sekitar 12, hal ini dapat berarti bahwa aktivitas kegempaan di wilayah ini umumnya sangat tinggi.
3. Periode ulang gempabumi dengan magnitude 6 di wilayah ini adalah rata-rata sekitar lima tahun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aki, K. 1965, Maksimum likelihood estimate of b-values in the formula $\log N = A - bM$ and its confidence limits, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokio Univ.* 43, 237- 240.
2. Geller, R.J., D.D. Jackson, Y.Y. Kagan, F. Mulargia, Earthquakes Cannot Be Predicted, *Science*, v. 275, 1997
3. Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1942. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 32: 163-191.
4. Hamilton, W., 1979, Tectonics of Indonesian Region, *U.S Geol. Survey, Prof. Paper*, 1078, Whashington, 345 pp.
5. Hanks, T.C. and Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *J. Geophys. Res.*, 84: 2348-2350.
6. Ishimoto, M. and Iida, K., 1939. Observations sur les seismes enregistres par le microsismographe construit dernièrement (1). *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo* 17: 443-478 (in Japanese with French abstract).
7. Katili, J.A., 1971, A Review of Geotectonic Theories and Tectonics Map of Indonesia. *Earth Science Review.* 7, 143-163.
8. Kagan, Y., 1999. The universality of the frequency-magnitude relationship. *Pure and Appl. Geophys.*, 155: 537-574.
9. Mogi, K., 1962. Magnitude-frequency relationship for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in

- earthquakes. *Bull. Earthquake Res. Inst.*
10. Nuannin, P.-, Kulhanek, O. and Persson, L., 2005. Spatial and temporal *b* value anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004. *Geophys. Res. Let.*, 32, L11307.
 11. Prawirowardoyo.S dan Triyoso.W,1986, Quantitative Seismicity Map of Indonesia, *Proceedings, Seminar/ Workshop on*
 - Univ. Tokyo*, 40: 831-883.
 - Preparedness for Earthquake Hazard in Southeast Asia*, Jakarta, Indonesia.
 12. Widiyantoro, S. & Van der Hilst, R.D., 1996, "Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda arc, Indonesia", *Science*, 271, 1566-1570.
 13. Wiemer S., and M. Wyss, (2002), Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes, *Adv. Geophys.*, 45, 259–302.