

## STUDI PERIODISITAS GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI JAWA DENGAN METODE WAVELET

*Supriyanto Rohadi<sup>1,2</sup>, Hendra Grandis<sup>2</sup>, Mezak A. Ratag<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>. *Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II Jakarta*

<sup>2</sup>. *Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Teknologi Bandung*

<sup>3</sup>. *PusLitbang BMG*

### ABSTRAK

*Gempabumi merupakan proses titik (point process) yang berarti setiap kejadian merepresentasikan waktu dan ruang masing-masing. Oleh karena itu, analisis katalog gempabumi secara metodologi lebih sulit daripada analisis model deret waktu lain. Dalam pelaksanaannya aplikasi model deret waktu pada katalog gempabumi memerlukan perubahan sementara, misalnya kedalam bentuk akar kuadrat energi (strain energy release). Selain itu, dalam analisis deret waktu ini biasanya dihadapkan pada permasalahan resolusi frekuensi-waktu dimana dalam paper ini suatu metode multi resolusi wavelet digunakan untuk mensiasati permasalahan frekuensi-waktu. Transformasi Box-Cox, maksimum entropi, transformasi wavelet digunakan untuk mendeteksi periodisitas dari strain energy release gempabumi. Data yang digunakan adalah katalog gempabumi NEIC tahun 1973-2006 untuk Zona Subduksi Jawa dengan batas 6,5° LS - 12° LS dan 105° BT - 115° BT. Dari periodisitas energi dapat diketahui aktivitas gempabumi berdasarkan kedalaman dimana dominan siklus kegempaan adalah empat tahun, sedangkan berdasarkan zona wilayah memiliki siklus kegempaan dua hingga delapan tahunan.*

### PENDAHULUAN

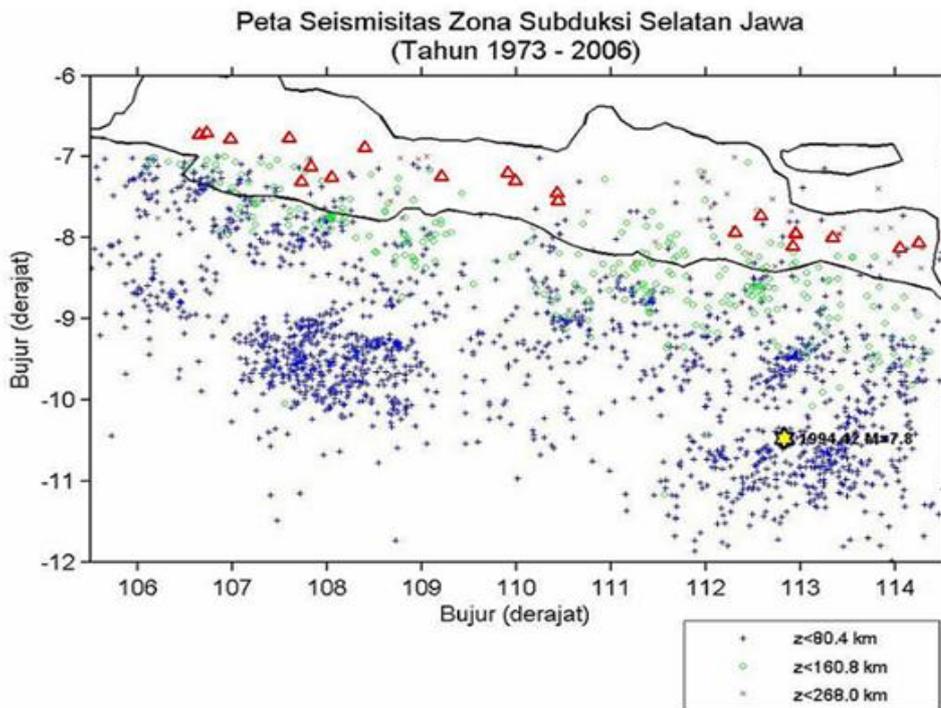
Penelitian ini dilatar belakangi oleh beberapa kejadian gempabumi di wilayah zona subduksi Jawa pada tahun 2006. Gempabumi tersebut pada dasarnya adalah akibat dari pergerakan Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertumbukan dengan lempeng Eurasia yang relatif diam, sehingga wilayah ini memiliki aktivitas kegempaan yang tinggi. Aktivitas kegempaan tersebut seperti gempabumi yang terjadi tahun 2006 yaitu gempabumi Yogyakarta, tanggal 27 Mei 2006, pukul 05.53 WIB dengan episenter 8,26°LS, 110,31°BT, kedalaman 33 Km, magnitudo 5.9 dan gempabumi Pangandaran 17 Juli 2006, dengan episenter 9,46° LS, 107,19° BT, magnitudo 6,8.

Pada beberapa paper dilaporkan adanya periodisitas gempabumi pada range magnitudo tertentu dari berbagai daerah gempa dan,

antara lain satu tahun, satu hari satu bulan synodic (29.530598 hari), satu bulan sideric (27.32.32166 hari), 11 tahun (siklus sunspot) dan lainnya. Periode 42 menit dilaporkan oleh Davison (1938) yang menurut penelitian terbaru merupakan mode normal osilasi bumi.

Konsep model yang diusulkan oleh Utsu, Rikitake dan Hagiwara menganggap gempabumi sebagai suatu proses yang diperbaharui, yang mana akumulasi energi strain elastik diperbaharui dalam periode yang panjang setelah terjadinya sebuah gempabumi sebelum patahan siap untuk melepaskan sebagai sebuah gempabumi berikutnya.

Pada penelitian ini menggunakan metode *wavelet* untuk menganalisis katalog gempabumi sehingga dapat diketahui bagaimana periodisitas gempabumi di zona subduksi Jawa.



**Gambar 1.** Kegempaan di Wilayah Penelitian Dari Katalog NEIC dari Tahun 1973-2006.

### TEKTONIK SETTING

Struktur tektonik busur Sunda terbentuk dengan adanya tumbukan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia sekitar 50 juta tahun yang lalu (Hamilton, 1979). Lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke utara bertemu dengan lempeng Eurasia yang relatif diam dan diperkirakan kecepatan pergerakannya berkurang dari 8,6 cm/th menjadi 3 cm/th tetapi kemudian terjadi kenaikan kecepatan subduksi hingga 7,6 cm/th setelah terbentuknya tektonik baru.

Dari hasil studi tomografi Widiyantoro dan Van der Hilst (1996) untuk daerah Busur Sunda dinyatakan bahwa lempeng lithosfer yang menunjam di bawah Busur Sunda bagian barat (Sumatera) terputus sedangkan lempeng lithosfer yang menunjam di bawah Busur Sunda bagian timur (Jawa-Flores) masih kontinyu tetapi ada indikasi bahwa lempeng lithosfer mantel bagian atas menyempit terutama di bawah Jawa. Selain itu ditemukan pula adanya *seismic gap* di selatan Jawa yang dicirikan dengan adanya kekosongan pusat gempa di daerah tersebut. Hal tersebut diatas mengindikasikan bahwa struktur lempeng

yang menunjam di bawah Busur Sunda bagian timur lebih dalam dibandingkan dengan struktur lempeng yang menunjam dibawah Busur Sunda bagian barat. Sudut penunjaman di bawah Busur Sunda bagian timur sekitar 60° sedangkan di bawah Busur bagian barat sekitar 40° (Widiyantoro dan Van der Hilst, 1996; Puspito, 1993).

### METODOLOGI

#### Kegempaan

Metode untuk mengetahui karakter kegempaan suatu wilayah adalah dengan relasi Gutenberg-Richter yang biasanya dinyatakan sebagai :

$$\text{Log } N = a - bM \quad \dots (1)$$

dimana nilai  $a$  menunjukkan aktivitas seismik dan bergantung banyaknya even serta untuk wilayah tertentu bergantung pada penentuan luas dan jangka waktu. Nilai  $b$  biasanya mendekati 1, nilai ini merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari gempabumi yang kecil hingga yang besar.

### Cumulative Benioff strain

Perubahan katalog gempa bumi dalam analisis aktivitas kegempaan biasanya dilakukan dalam bentuk deret waktu *Benioff strain release* atau akar kuadrat energi di suatu daerah gempa tertentu yang besarnya pada waktu  $t$  adalah :

$$\varepsilon(t) = \sum_i^N E_i(t)^{1/2} \quad \dots (2)$$

dimana  $E_i$  adalah energi even ke- $i$ . Konversi magnitudo menjadi energi dengan menggunakan formulasi dari Gutenberg and Richter (1956) yang dinyatakan sebagai :

$$\log E_s = 11.8 + 1.5 M_s \quad \dots (3)$$

### Wavelet Kontinyu

Transformasi wavelet kontinyu dari suatu deret diskrit  $x_n$  didefinisikan sebagai konvolusi dari  $x_n$  dengan versi skala dan translasi dari  $\psi_0(\eta)$  :

$$W_n(s) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \psi^* \left[ \frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad \dots (4)$$

dimana tanda (\*) menunjukkan kompleks konjugat. Dengan memvariasikan skala wavelet  $s$  dan mentranslasikan disepanjang indek waktu lokasi  $n$  maka dapat dihasilkan sebuah gambar yang menunjukkan baik amplitudo dari suatu tampilan terhadap skalanya ataupun bagaimana amplitudo tersebut bervariasi terhadap waktu.

## DATA DAN PENGOLAHAN

### Data

Pada paper ini menggunakan data sekunder yang berasal dari katalog gempa bumi NEIC di zona subduksi Jawa (batas  $6.5^\circ$  LS -  $12^\circ$  LS dan  $105^\circ$  BT -  $115^\circ$  BT) untuk kurun waktu

tahun 1973-2006, dengan batas kedalaman hingga sekitar 300 km.

### Pengolahan Data

Katalog NEIC terdiri dari berbagai tipe magnitudo sehingga perlu penyeragaman magnitudo sebelum magnitudo dikonversi menjadi energi. Untuk melihat kelengkapan data menggunakan plot distribusi frekuensi magnitudo sehingga diketahui nilai magnitudo kompletnessnya ( $M_c$ ) dan magnitudo maksimum yang masih memenuhi linearitas hubungan Gutenberg-Richter, selanjutnya hanya menggunakan data yang memenuhi linearitas yang dianalisis.

### Periodisitas

Tahapan untuk menentukan periodisitas energi dan frekuensi kejadian pada dasarnya sama, yaitu sebagai berikut :

- i. Normalisasi data dengan transformasi Box-Cox yang dapat dituliskan sebagai :

$$T(Y) = (Y^\lambda - 1) / \lambda \quad \dots (5)$$

- dimana  $Y$  adalah variable responsible dan  $\lambda$  adalah parameter transformasi.
- ii. Modeling data dengan autoregressie lag-1 dengan metode Burg dimana metode ini menggunakan prinsip maksimum entropy.
- iii. Transformasi menggunakan wavelet non orthogonal, karena transformasi non orthogonal seauai untuk analisis deret waktu yang *smooth*, dimana variasi kontinyu pada amplitudo waveletnya. Mother wavelet yang dipilih wavelet Morlet level 6 karena skala wavelet ini mendekati periode Fourierinya.
- iv. Transformasi dengan wavelet dilakukan dengan script Matlab, dari transformasi akan diperoleh kontur periodisitas terhadap waktu dan perbandingan spektrum *even* terhadap spektrum globalnya.

## HASIL DAN ANALISIS

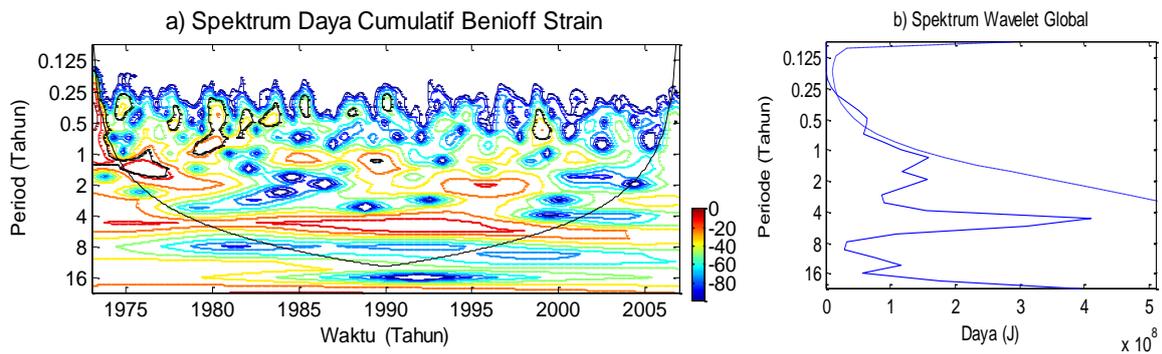
### Kegempaan

Berdasarkan nilai-b dan nilai-a diatas zona penelitian dibagi tiga bagian, yaitu bagian Barat ( $105^{\circ}\text{BT}-110^{\circ}\text{BT}$ ), Bagian Tengah

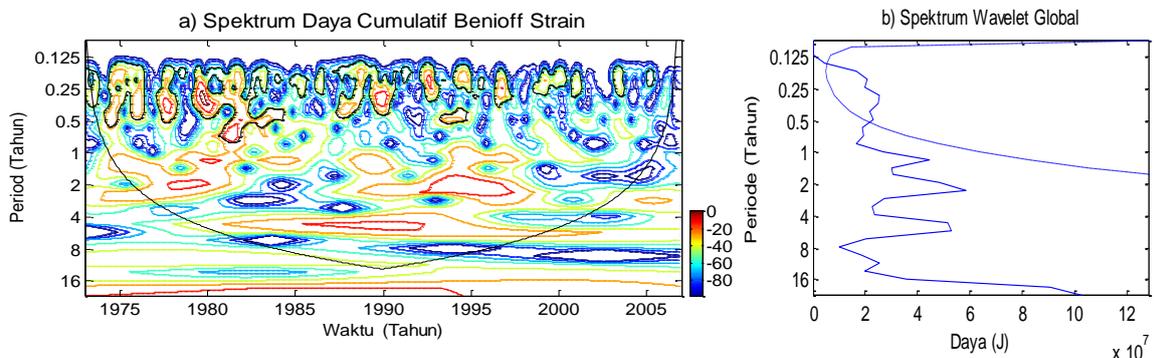
( $110^{\circ}\text{BT}-111^{\circ}\text{BT}$ ) dan Bagian Timur ( $111^{\circ}\text{BT}-115^{\circ}\text{BT}$ ).

### Periodisitas Gempabumi

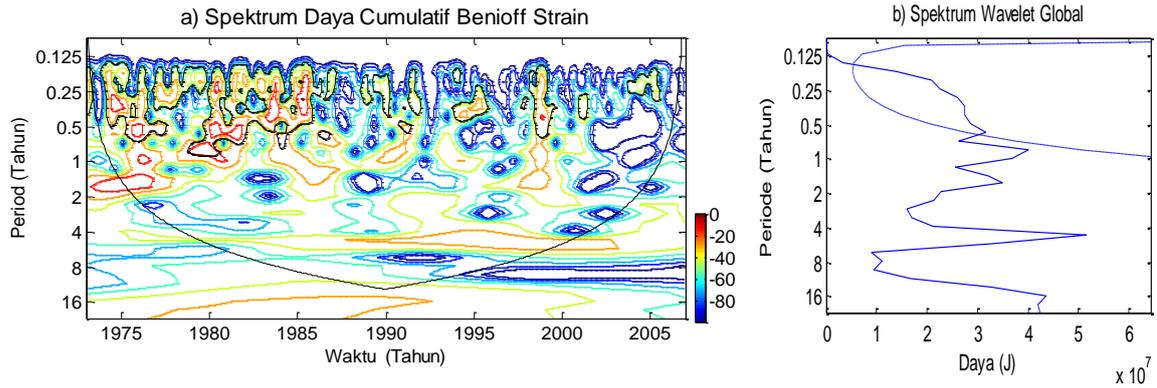
Pola periodisitas kegempaan berdasarkan kedalaman dan bagian zona seperti pada gambar berikut



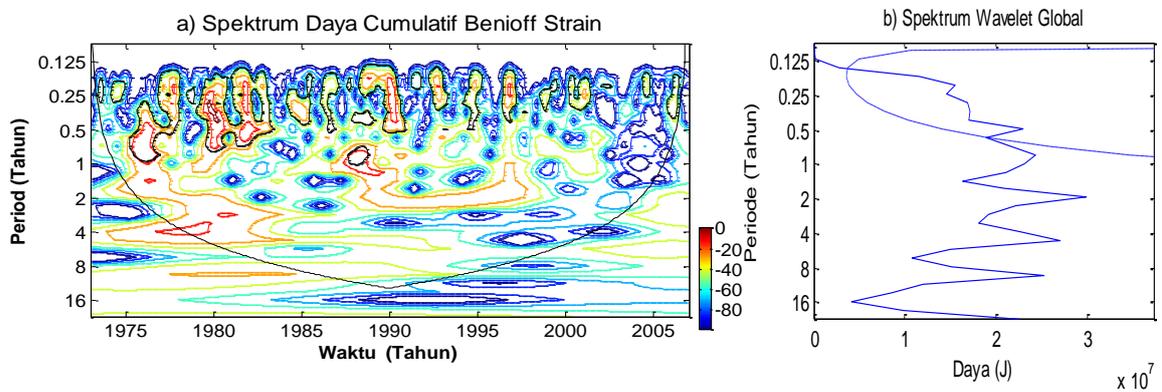
**Gambar 2.** Periodisitas Gempabumi Dangkal dan Menengah (0-300 km)



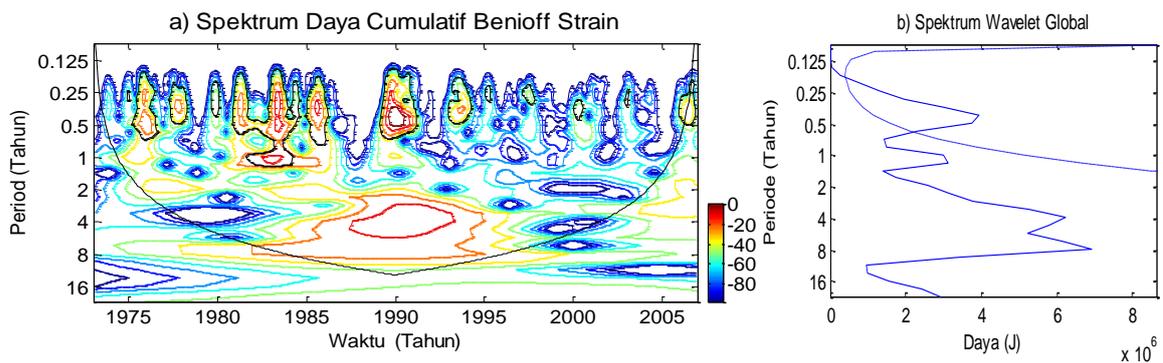
**Gambar 3.** Periodisitas Gempabumi Dangkal ( $h \leq 70$  km)



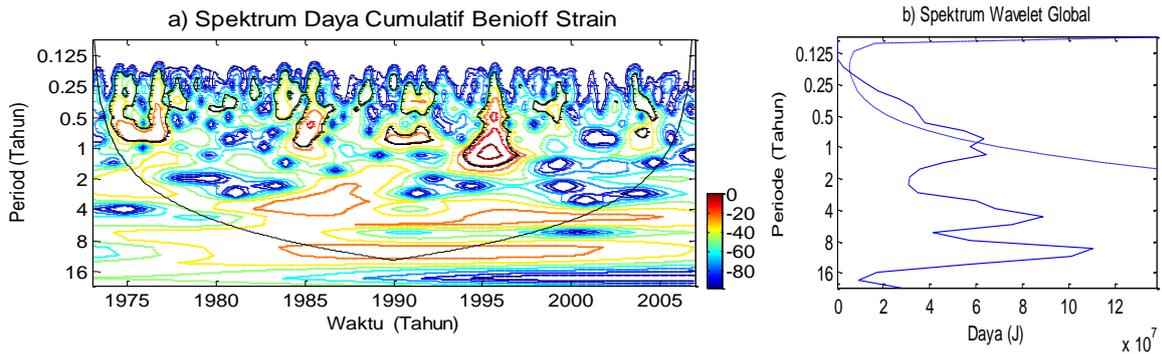
**Gambar 4.** Periodisitas Gempabumi Menengah ( $70 \leq h \leq 300$  km)



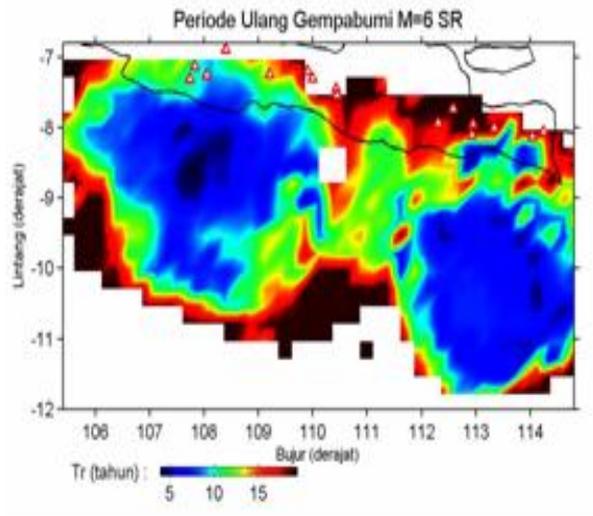
**Gambar 5.** Periodisitas Gempabumi di Zona Bagian Barat.



**Gambar 5.** Periodisitas Gempabumi di Zona Bagian Tengah.



**Gambar 5.** Periodisitas Gempabumi di Zona Bagian Timur.



**Gambar 6.** Peta Periode Ulang Gempabumi Magnitude 6

### Pembahasan

Interpretasi dari periodisitas kegempaan memberikan informasi bahwa periodisitas gempabumi dengan kedalaman 0-300 km menunjukkan periodisitas gempabumi dominan yaitu sekitar empat hingga lima tahunan (Gambar 2.), meskipun demikian untuk gempa dangkal terdapat siklus dua tahunan yang cukup kuat.

Di lain pihak, periodisitas berdasarkan wilayah menunjukkan perbedaan yang menonjol, seperti di zona Bagian Barat periodisitas gempabumi variatif mulai dari dua tahunan, empat tahunan dan delapan tahunan. Periodisitas di Bagian Timur paling dominan adalah delapan tahun kemudian terdapat periodisitas empat tahunan sedangkan di Bagian Tengah dengan luasan yang lebih kecil diperoleh periodisitas gempabumi paling

dominan adalah delapan tahunan dan empat tahunan. Dari beberapa paper umumnya periodisitas yang pendek dikaitkan dengan fenomena alam yang lain, seperti iklim dan pelelehan salju, karena periodisitas tinggi biasanya terjadi pada gempa-gempa dangkal.

Hasil periodisitas gempabumi dengan metode wavelet secara global ini tidak jauh berbeda dengan periodisitas dengan metode distribusi frekuensi-magnitude seperti pada Gambar 6 seperti pada paper sebelumnya. Tampak pada Gambar 6. periodisitas gempa dengan magnitude 6 secara kualitatif spatial adalah dominan empat hingga lima tahun. Dari analisis periodisitas dengan metode wavelet ini menunjukkan bahwa periodisitas yang dapat ditentukan kurang dari setengah panjang katalog, hal ini karena adanya *cone influence* meskipun tampak periodisitas yang lebih dari delapan tahunan tetapi hal tersebut

reliabilitasnya rendah. Disamping itu, periodisitas gempabumi ini hanya berlaku untuk gempabumi dengan magnitudo kurang dari 6 karena analisis hanya dipilih untuk gempabumi maksimum 6 akibat kelengkapan katalog. Kelemahan dari metode ini adalah diperlukannya katalog yang cukup panjang untuk menentukan periodisitas gempa dengan magnitudo besar sedangkan periodisitas gempa besar diperoleh dengan panjang katalog terbatas bila menggunakan distribusi frekuensi magnitudo atau model periode ulang.

### KESIMPULAN

Berdasarkan studi periodisitas *strain energy release* gempabumi di Zona Subduksi Jawa menggunakan metode berbasis *wavelet*, dapat disimpulkan bahwa :

- Periodisitas dari data kumulatif Benioff *strain* energi berdasarkan kedalaman sumber gempa didominasi siklus empat-lima tahunan sedangkan berdasarkan wilayah periodisitas bervariasi dari dua hingga delapan tahunan.
- Periodisitas dengan metode *wavelet* tergantung pada panjang katalog dan pencatatan gempa-gempa besar.
- Periodisitas gempabumi dengan metode *wavelet* tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan periode ulang dari distribusi frekuensi magnitudo.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Compo, 1998, A Practical Guide to Wavelet Analysis, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado, *Bulletin of the American Meteorological Society*.
2. Daubechies, I., 1992, Ten Lectures on Wavelets, 357 pp., *Soc. for Ind. and Appl. Math., Philadelphia, Pa.* Science, 262, 1589–1591.
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, Washington, 345 pp.
5. Ishimoto, M. and Iida, K., 1939. Observations sur les seismes enregistres par le microsismographe construit dernierement (1). *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo* 17: 443-478 (in Japanese with French abstract).
6. Katili, J.A., 1971, A Review of Geotectonic Theories and Tectonics Map of Indonesia. *Earth Science Review*. 7, 143-163.
7. Kagan, Y., 1999. The universality of the frequency-magnitude relationship. *Pure and Appl. Geophys.*, 155: 537-574.
8. Kellis-Borok, V.I., L. Knopoff, I.M. Rotwain, and C.R. Allen, 1988, Intermediate-term prediction of occurrence times of strong earthquakes, *Nature*, v.335, 690-694.
9. Lyubushin A.A., 2000 Wavelet-Aggregated Signal and Synchronous Peaked Fluctuations in Problems of Geophysical Monitoring and Earthquake Prediction, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, vol.36, 2000, pp. 204-213.
10. Rikitake, Tsuneji., 1976, Earthquake Prediction, *Developments in Solid Earth Geophysics*, n.9, Elsevier Scientific Pub. Co.
11. Widiyantoro, S. & Van der Hilst, R.D., 1996, "Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda arc, Indonesia", *Science*, 271, 1566-1570.