

# APLIKASI WAVELET STASIONER DALAM PREDIKSI AKTIVITAS STRAIN ENERGY RELEASE GEMPABUMI DI ZONA SUBDUKSI JAWA

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

<sup>1</sup>Balai Besar Wilayah II Jakarta

<sup>2</sup>Program Magister Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup> Puslitbang BMG

## Abstrak

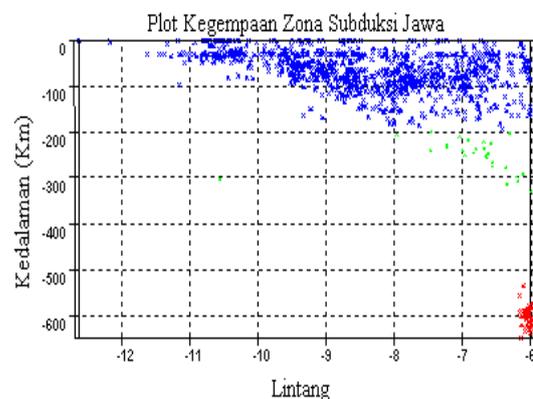
Utsu (1977), Rikitake (1976) dan Hagiwara (1974) mengusulkan suatu pendekatan prediksi probabilistik terjadinya gempabumi pada segmen patahan tertentu berdasarkan pada sebuah model perulangan gempabumi, model ini mengasumsikan bahwa probabilitas gempabumi dimulai dengan ruptur pada segmen yang lemah kemudian meningkat secara gradual bersamaan dengan proses tektonik yang bekerja pada patahan tersebut. Selain itu, peningkatan aktivitas kegempaan sebelum terjadinya gempa besar biasanya teramati untuk daerah gempa tertentu. Prediksi berdasarkan peningkatan aktivitas kegempaan ini menjadi dasar model prediksi penelitian berbasis wavelet ini. Metode wavelet stasioner, model deret waktu autoregressive dan ANFIS digunakan untuk prediksi strain energi release gempabumi pada penelitian ini. Data yang digunakan adalah data gempabumi dangkal dan menengah di Zona Subduksi Jawa dari katalog gempabumi NEIC tahun 1973-2006. Dengan metode prediksi ini diperoleh bahwa strain energi release pada tahun 2007 untuk zona Bagian Barat kegempaan fluktuatif dan relatif lebih tinggi dibandingkan zona Bagian Tengah dan Bagian Timur.

## 1. PENDAHULUAN

Rikitake (1976) dan Hagiwara (1974) menganggap gempabumi sebagai suatu proses yang diperbaharui (*renewal proses*), yang mana akumulasi energi strain elastik diperbaharui dalam periode yang panjang setelah terjadinya sebuah gempabumi sebelum terjadi gempabumi berikutnya. Pendekatan ini untuk prediksi gempabumi telah banyak diaplikasikan sebagai dasar untuk prediksi jangka panjang dari aktivitas kegempaan di waktu yang akan datang. Konsep model yang diusulkan oleh Utsu (1977),

Dua algoritma prediksi gempabumi populer yaitu algoritma CN dan M8 dirancang menggunakan pola pengenalan untuk mengidentifikasi waktu peningkatan probabilitas (TIP) untuk wilayah tertentu (Keilis-Borok et al, 1988). Algoritma

ini menyertakan faktor seperti peningkatan seismisitas lokal, pola perubahan magnitudo lokal gempabumi, klustering seismisitas berdasar ruang dan waktu dan periode dari masa tenang.



**Gambar 1.** Distribusi gempabumi terhadap kedalaman di zona subduksi jawa.

Penelitian ini dilatar belakangi oleh beberapa gempabumi di Zona Subduksi Jawa pada tahun 2006 antara lain gempabumi Yogyakarta, 27 Mei 2006, dengan episenter 8.26°LS, 110.31°BT, magnitud 5,9 dan gempabumi Pangandaran 17 Juli 2006, episenter 9.46°LS, 107.19°BT, magnitud 6,8.

**2. TEKTONIK SETING**

Tektonik Jawa didominasi oleh tunjaman ke utara lempeng Indo-Australia dibawah lempeng Sunda yang relatif diam dan diperkirakan kecepatan pergerakannya 6 cm/tahun 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.

**3. METODOLOGI**

**Hubungan Magnitude dan Energi**

Hubungan antara  $M_S$  dan  $m_b$  dapat dituliskan dengan rumus empiris berikut

$$m_b = 0.56M_S + 2.9 \dots\dots\dots (1)$$

$M_S$  merupakan magnitude gelombang permukaan dengan periode 20 detik. Konversi magnitude menjadi energi dengan menggunakan formulasi dari Gutenberg and Richter (1956) yang dinyatakan sebagai :

$$\log E = 11.8 + 1.5M_s \dots\dots\dots(2)$$

**Strain Release Energy**

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

$$\varepsilon(t) = \sum_i^N E_i(t)^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

dimana  $E_i$  adalah energi even ke-i.

**Transformasi Wavelet Stasioner**

Transformasi wavelet stasioner merupakan *time-invariant* dan bukan *shift-invariant* karena hasil transformasinya tergantung pada pergeseran input yang menghasilkan pergeseran output. Untuk mengamati komponen frekuensi suatu deret waktu pada waktu tertentu transformasi dengan interval sampling  $d_j$  dibuat sama untuk seluruh harga j. Selain itu,  $f(t)$  ditentukan di seluruh proyeksi dan kemudian dilakukan transformasi wavelet stasioner dengan persamaan berikut :

$$d'_j(k) = \langle f(t), 2^{j/2} \Phi[2^j(t - 2^{-j}k)] \rangle, (R \leq j < J)$$

$$c'_j(k) = \langle f(t), 2^{R/2} \Phi[2^R(t - 2^{-j}k)] \rangle$$

..... (4)

Berikut ini hubungan antara koefisien transformasi wavelet stasioner dan koefisien wavelet stasioner :

$$d'_j(2^{j-jk}) = d_j(k), c'_j(2^{j-R}k) = c_R(k) (R \leq j < J)$$

..... (5)

Seperti dalam kasus transformasi wavelet diskrit untuk deret waktu dengan panjang  $2^j$  berlaku korespondensi sebagai berikut :

$$x = [x(1), \dots, x(2^j)] \Leftrightarrow \begin{cases} d'_{j-1} = [d'_{j-1}(1), \dots, d'_{j-1}(2^j)] \\ d'_{j-2} = [d'_{j-2}(1), \dots, d'_{j-2}(2^j)] \\ \vdots \\ d'_R = [d'_R(1), \dots, d'_R(2^j)] \\ c'_R = [c'_R(1), \dots, c'_R(2^j)] \end{cases}$$

..... (6)

Rekontruksi deret waktu dilakukan dengan invers transformasinya yaitu dengan penjumlahan koefisien tiap level untuk indeks waktu yang bersesuaian, dimana dapat dituliskan sebagai :

$$\hat{X}_k = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{A_j} d'_j(k) + \sum_{k=1}^{A_j} c'_j(k) \dots\dots\dots(7)$$

**Model AR (Autoregressive model)**

Notasi AR(*p*) mengacu pada model autoregressive model order *p*. Model AR(*p*) dapat dituliskan sebagai :

$$X_t = c \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad \dots (8)$$

dimana  $\varphi_1, \dots, \varphi_p$  adalah parameter model, *c* adalah konstanta dan  $\varepsilon_t$  adalah suku error. Model autoregressive pada dasarnya merupakan respon impuls tak hingga dari filter. Beberapa konstrain nilai parameter diperlukan agar model tetap bersifat stasioner, misalnya untuk model AR(1) atau skema *Markov* dengan  $|\varphi_1| > 1$  adalah tidak stasioner. AR(2) sering disebut proses *Yule*.

**4. DATA DAN PENGOLAHAN**

**Data**

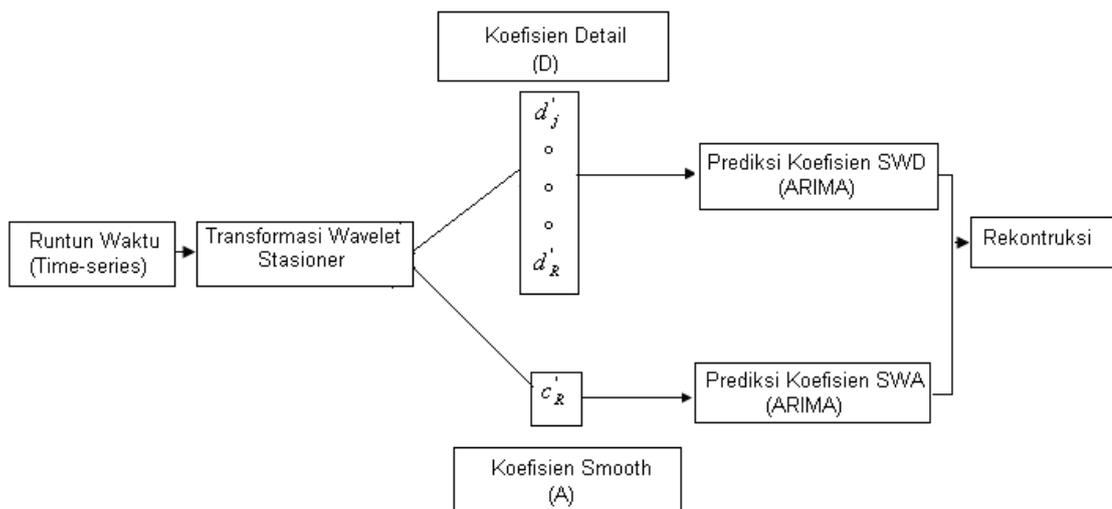
Pada paper ini menggunakan data sekunder yang berasal dari katalog gempabumi NEIC di zona subduksi Jawa meliputi batas 6.5° LS - 12° LS dan 105° BT - 115° BT untuk kurun waktu tahun 1973-2006 dengan kedalaman hingga sekitar 300 km.

**Pengolahan Data**

Pembagian zona penelitian menjadi tiga wilayah dengan luasan yang tidak sama berdasarkan ketinggian atau nilai-*b* dari hasil penelitian sebelumnya yaitu yaitu bagian Barat (105°BT-110°BT), Bagian Tengah (110°BT-111°BT) dan Bagian Timur (111°BT-115°BT).

Dengan menggunakan vektor observasi yang lampau  $X = (X_1, \dots, X_N)$  dan koefisien dari transformasi wavelet untuk prediksi  $X_{N+1}$ . Koefisien-koefisien dan fungsi wavelet yang akan digunakan untuk prediksi *N*+1 mempunyai bentuk  $d'_j(k)$  dan  $c'_j(k)$ . Selanjutnya prediksi dilakukan dengan model prediksi deret waktu AR dan dengan ANFIS sebagai pembandingan prediksi. Prediksi dapat dilakukan untuk satu langkah kedepan atau multi langkah kedepan.

Gambar 2. menunjukkan skema metode wavelet yang digunakan untuk prediksi yaitu menggunakan semua resolusi level *j*. Dengan metode ini prediksi jangka panjang dapat dengan mudah dilakukan baik dengan menambah jumlah skala dalam transformasi wavelet atau dengan menambah orde pada model prediksi deret waktu.



**Gambar 2.** Skema prediksi berdasarkan koefisien wavelet deret waktu gempabumi.

Dalam penelitian ini modeling dan prediksi menggunakan autoregressive lag-3 meskipun dapat juga dilakukan dengan lagging. Tahapan prediksi strain release energi adalah sebagai berikut :

- i. Pemilihan periode setting atau periode uji model yaitu periode panjang katalog hingga gempa besar yang pernah terjadi gempa bumi Pangdaran 17 Juli 2006 untuk Bagian Barat, Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 dan Gempabumi Banyuwangi 3 Juni 1994.
- ii. Transformasi wavelet stasioner dari vektor data dan untuk memenuhi panjang data dilakukan padding di awal deret waktu (*left padding*) dan mother wavelet dipilih wavelet *Haar* dan wavelet *Daubechies* level 5.
- iii. Prediksi satu tahun kedepan menggunakan model prediksi deret waktu AR(3) dan metode ANFIS (meskipun yang reliabilitasnya cukup baik hanya satu bulan kedepan karena data bulanan).
- iv. Rekonstruksi deret waktu berdasarkan koefisien-koefisien tiap level hasil prediksi.
- v. Bandingkan hasil prediksi dengan data untuk mengetahui tingkat kesalahan.

## 5. HASIL DAN ANALISIS

Dalam prediksi ini periode prediksi dibagi menjadi periode setting dan periode test prediksi.

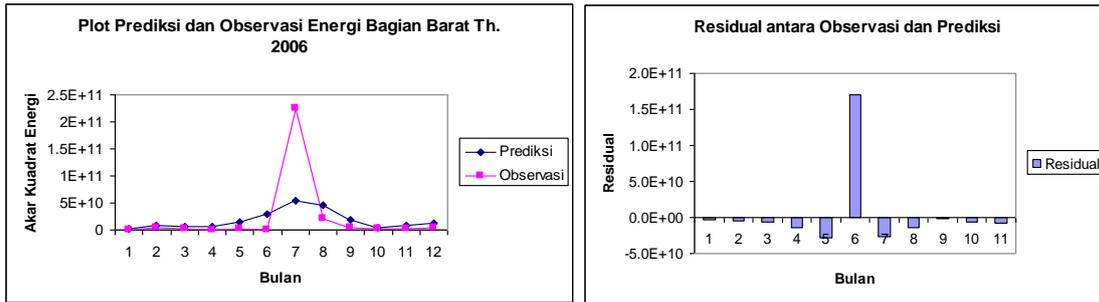
### *i. Periode Setting*

Dari pemilihan model deret waktu didapatkan model autoregressive AR(3) yang sesuai karena mampu menunjukkan adanya kecenderungan aktivitas kegempaan. Pada periode setting, model prediksi mampu menunjukkan bahwa adanya kecenderungan kenaikan aktivitas sebelum terjadinya gempa bumi besar. Dari model setting ini model tidak mampu mengakomodasi adanya frekuensi tinggi selama gempa bumi (aftershock). Selain itu, perbedaan strain energi release prediksi dan hasil observasi cukup besar.

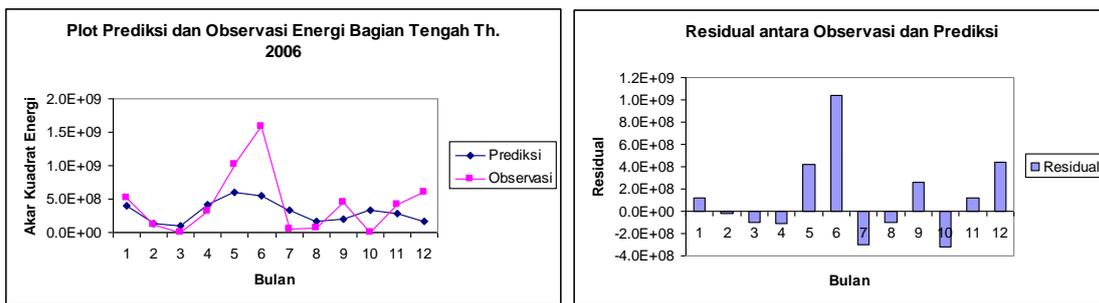
### *ii. Periode Test Prediksi*

Prediksi atau estimasi aktivitas untuk tahun 2007 adalah untuk Bagian Barat terdapat variasi aktivitas yaitu adanya kenaikan dan penurunan aktivitas di sepanjang tahun 2007, untuk Bagian Tengah kecenderungan menurunnya aktivitas kegempaan sedangkan untuk Bagian Timur adanya ketidakpastian estimasi yang cukup dari 95 % batas kepercayaan. Bila dibandingkan dengan metode prediksi ANFIS (Gambar 6) secara langsung, tampak bahwa dengan metode wavelet dan autoregressive lebih mampu mengakomodasi adanya perubahan frekuensi dari deret waktu gempa bumi.

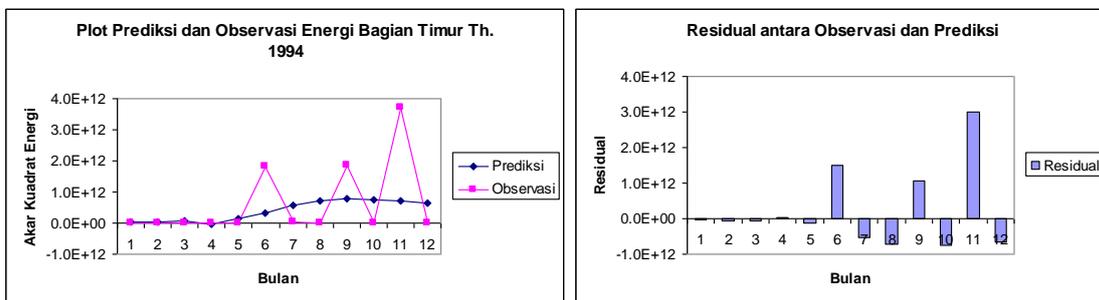
Kelemahan dari suatu metode statistik dalam model prediksi adalah masalah kelengkapan data dan skala magnitudo (uniform) yang digunakan. Dalam katalog global biasanya tidak merekam gempa-gempa yang relatif kecil dengan baik ( $M < 3$ ). Dalam katalog regional biasanya permasalahan yang menonjol adalah ke-uniform-an pada magnitudo, dimana bila terdapat perubahan sistem analisis gempa bumi biasanya menggunakan formulasi yang berbeda tanpa adanya penelitian terlebih dahulu, sehingga kekuatan gempa bumi dengan magnitudo yang sama pada waktu yang berbeda (terutama berbeda program analisis) memiliki kekuatan yang berbeda. Selain itu, permasalahan pembagian zona daerah gempa juga berpengaruh besar terhadap hasil prediksi, untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pembagian daerah gempa yang lebih representatif. Dengan pembagian daerah gempa yang baik tentunya akan diperoleh perulangan gempa yang menunjukkan siklus kegempaan di suatu wilayah gempa. Tentu hasil prediksi ini masih perlu penelitian lebih lanjut untuk dapat mengidentifikasi baik periodisitas maupun prediksi aktifitas kegempaan, hal ini karena metode tidak memperhitungkan kondisi geologi dan aktivitas sesar lokal.



a. Model prediksi periode seting gempabumi Pangandaran 17 Juli 2006.

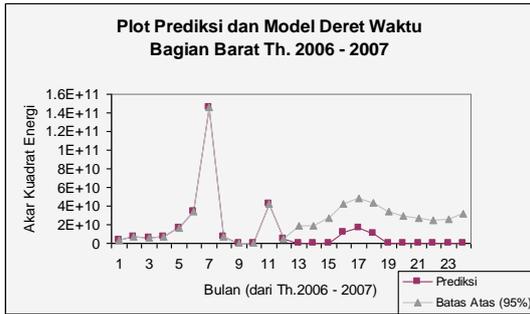


b. Model prediksi periode seting gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

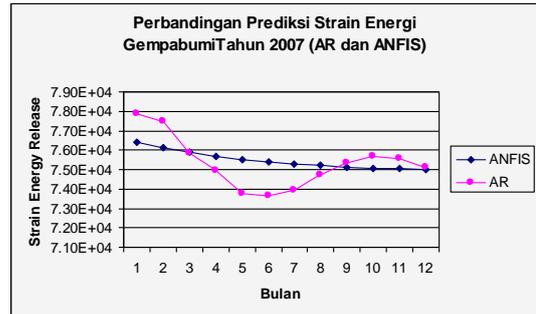


c. Model Prediksi Periode Seting Gempabumi Banyuwangi 3 Juni 1994.

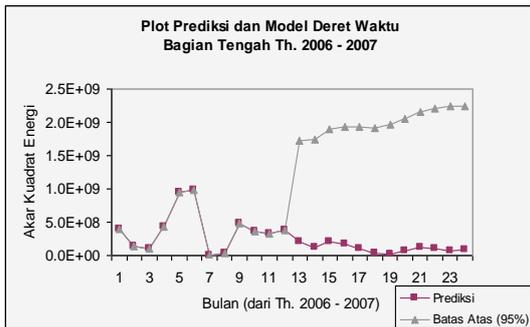
**Gambar 3.** Model seting prediksi gempabumi dari gempa Pangandaran (2006), gempa Yogyakarta (2006) dan gempa Banyuwangi (1994)



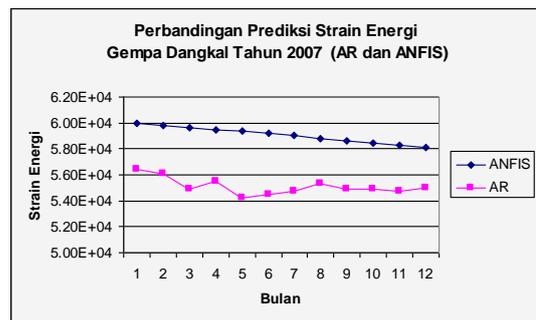
a. Model prediksi Bagian Barat.



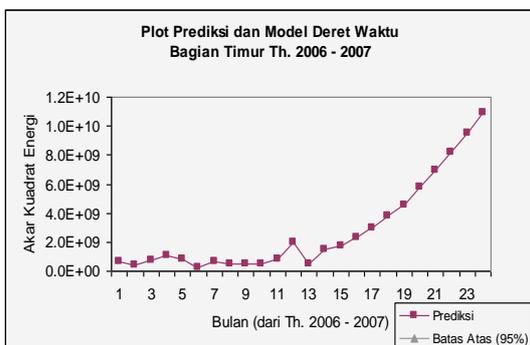
a. Perbandingan model prediksi Bagian Barat.



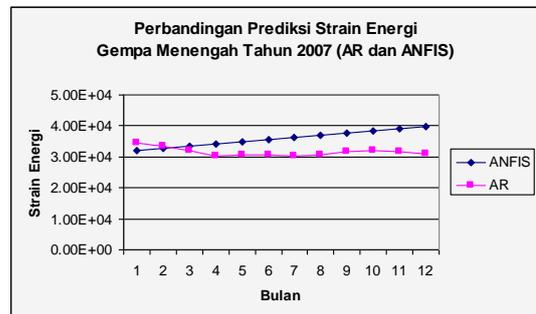
b. Model prediksi Bagian Tengah.



b. Perbandingan model prediksi Bagian Tengah.



c. Model prediksi Bagian Timur



a. Perbandingan model prediksi Bagian Timur.

**Gambar 4.** Model testing prediksi berdasar zona subduksi Jawa, tahun 2007.

**Gambar 5.** Perbandingan model prediksi autoregresive dan ANFIS, tahun 2007.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan studi prediksi menggunakan metode berbasis wavelet stasioner untuk data gempabumi di zona subduksi Jawa dapat disimpulkan bahwa :

- Model prediksi dengan metode wavelet mampu mendeteksi adanya kecenderungan kenaikan aktivitas gempabumi sebelum gempa besar.
- Prediksi *strain energy release* untuk zona Bagian Barat terdapat variasi keaktifan gempabumi sepanjang tahun 2007, zona Bagian Tengah terdapat kecenderungan turunnya aktivitas gempabumi dan Bagian Timur terdapat ketidakpastian yang besar dan dimungkinkan memiliki potensi terjadinya gempabumi diwaktu yang akan datang.
- Metode prediksi ini sangat bergantung panjang katalog dan kualitas katalog dalam mencatat gempa yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hagiwara, Y, 1974. Probability of earthquake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain., *Tectonophysics* ,23, pp. 323-318.
2. Hamilton, W., 1979, Tectonics of Indonesian Region, *U.S Geol. Survey, Prof. Paper*, 1078, Whasington, 345 pp.
3. Kagan, Y., 1999. The universality of the frequency-magnitude relationship. *Pure and Appl. Geophys.*, 155: 537-574.
4. Kellis-Borok, V.I., L. Knopoff, I.M. Rotwain, and C.R. Allen, 1988, Intermediate-term prediction of occurrence times of strong earthquakes, *Nautre*, v.335, 690-694.
5. Kellis-Borok, V.I., L. Knopoff, V. Kossobokov, and I. Rotwain, 1990, Intermediate-term prediction in advance of the Loma Prieta earthquake, *Geoph. Res. Letts.*, V. 17, N.9, 1461-1464.
6. Keilis-Borok, V.I., 1996, Intermediate-term earthquake prediction, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v.93, 3748-3755.
7. Lyubushin A.A., V.F.Pisarenko, V.V.Ruzich and V.Yu.Buddo, 1998. A New Method for Identifying Seismicity Periodicities - *Vulcanologiya i Seismologiya*. No. 1, pp. 62-76. English translation: *Volcanology and Seismology*, Vol. 20, pp. 73-89.
8. 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.
9. Peng Yu, Anna Goldenber, Zhiqiang Bi, 2001, Time Series Forecasting using Wavelets with Predictor-Corrector Boundary Treatment, Center for Automated Learning and Discovery, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA.
10. Rikitake et.al., 1976, Earthquake Prediction, *Developments in Solid Earth Geophysics*, n.9, Elsevier Scientific Pub. Co.
11. Utsu, T., 1977. Probabilities in earthquake prediction, *Zisin(2) (J. Seismol. Soc. Jap.)*, 30, 179-185.