

ANALISIS FRAKTAL EMISI SINYAL ULF DAN KAITANNYA DENGAN GEMPA BUMI DI INDONESIA

Sarmoko Saroso

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN

email: sarmoko@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Anomalous ULF geomagnetic field change is one of the most convincing and promising phenomena for earthquake-related electromagnetic studies such as emissions from the crust of the source region. There has been a good deal of accumulated and convincing evidence of ULF magnetic signatures before large earthquakes as reported in the previous studies. In order to verify these phenomena preceding large earthquakes and to clarify the relationship between electromagnetic phenomena and possible physical mechanism, we have been investigated on the basis of ULF geomagnetic observation at Kototabang station associated with the Sumatra earthquakes. A case study is carried out in this work to investigate the pre-earthquake ULF geomagnetic anomalies during the Aceh earthquake on December 26, 2004 and Nias earthquake of March 28, 2005. For this aim, the fractal analysis by means of the Higuchi's method has been applied to the observed data. Results of this analysis show the decrease in fractal dimension one month to a few weeks before the earthquakes. This suggests that the decrease in fractal dimension might be related with the earthquake preparation phase of Aceh and Nias earthquakes.

ABSTRAK

Anomali sinyal ULF pada variasi medan geomagnet merupakan salah satu fenomena yang diyakini kebenarannya dalam studi elektromagnetik yang berhubungan dengan kejadian gempa bumi, seperti terjadinya emisi dari kerak bumi yang berasal dari sumber gempa. Dari studi terdahulu telah banyak ditemukan pertanda anomali sinyal ULF sebelum kejadian gempa bumi berskala besar. Untuk membuktikan kebenaran fenomena tersebut dan untuk menjelaskan hubungan antara fenomena elektromagnetik dan mekanisme fisis yang mungkin terkait, telah dilakukan analisis data geomagnet di Kototabang yang berhubungan dengan kejadian gempa Sumatera. Studi kasus dilakukan untuk mengamati anomali sinyal ULF yang berhubungan dengan gempa Aceh yang terjadi pada tanggal 26 Desember 2004 dan gempa Nias yang terjadi pada tanggal 28 Maret 2005 dengan menggunakan metode analisis fraktal. Dalam analisis fraktal, penentuan anomali emisi sinyal ULF dilakukan dengan menghitung dimensi fraktal dari deret waktu ULF. Untuk menentukan dimensi fraktal digunakan metode

Higuchi karena dimensi fraktal yang dihitung dengan metode ini lebih stabil dibandingkan dengan metode lainnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan terjadinya penurunan dimensi fraktal 1 bulan hingga beberapa minggu sebelum kejadian gempa besar tersebut. Hal ini merupakan indikasi dari fase awal terjadinya peningkatan aktivitas seismik yang kemungkinan terkait dengan variasi geomagnet yang diakibatkan oleh aktivitas lokal yang berasal dari litosfer yang dipicu oleh kejadian gempa bumi di Aceh dan Nias.

Kata kunci : *Anomali sinyal ULF, Dimensi fraktal, Aktivitas seismik*

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki wilayah tektonik sangat aktif. Karena itu, sejumlah besar kejadian gempa bumi yang kadang disertai tsunami dan erupsi gunungapi sering terjadi. Sebagaimana diketahui gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat terjadi sewaktu-waktu dan peristiwa gempa bumi berlangsung secara alami yang sifatnya lokal dan terjadi karena adanya pelepasan energi yang terakumulasi akibat adanya perpindahan materi dalam skala besar di dalam bumi atau pergeseran elastik di daerah patahan pada suatu waktu dan tempat yang tertentu, yang dampaknya sering menimbulkan kerugian yang sangat besar, baik berupa harta benda maupun jiwa manusia. Oleh karena kejadian gempa bumi tidak dapat dicegah, maka usaha yang dapat dilakukan hanyalah sebatas mengevakuasi penduduk yang berada di lokasi terjadinya gempa. Upaya lain yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan prediksi atau peramalan terjadinya gempa bumi. Sampai dengan sekarang ini, sudah ada beberapa teori dan model yang dikembangkan untuk memprediksi terjadinya gempa bumi tektonik, di antaranya adalah studi fenomena elektromagnetik yang berhubungan dengan prediksi gempa yang mempunyai sejarah panjang (Rikitake, 1987). Studi ini terbagi ke dalam dua bagian utama. Yang pertama adalah untuk menemukan beberapa perubahan sifat-sifat bumi sebelum gempa, seperti nilai resistivitas listrik dan magnetisasi. Yang kedua adalah untuk mendeteksi tanda-tanda sinyal elektromagnetik sebelum gempa terjadi. Kedua bidang studi tersebut masih diteliti secara intensif sampai saat ini. Sobolev (1975), Miyakoshi (1985), Warwick et al. (1982), dan Gokhberg et al. (1982) adalah contoh beberapa pionir yang melakukan studi tentang fenomena elektromagnetik dan hubungannya dengan gempa bumi. Untuk membuktikan kebenaran fenomena tersebut, dalam makalah ini akan dibahas studi kasus yang berhubungan dengan gempa Aceh yang terjadi pada tanggal 26 Desember 2004 dan gempa Nias yang terjadi pada tanggal 28 Maret 2005 dengan mengamati anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dari data variasi medan geomagnet di stasiun Kototabang. Sedangkan penentuan anomali emisi sinyal ULF dilakukan dengan menghitung dimensi fraktal dari emisi sinyal ULF tersebut.

2 ANALISIS DATA DAN HASIL

Untuk mengamati anomali pada variasi medan geomagnet yang berhubungan dengan kejadian gempa bumi yang berskala besar tersebut, diperlukan metoda pemrosesan sinyal yang dapat memisahkan antara gangguan yang berasal dari dalam bumi akibat adanya aktivitas seismik dengan gangguan yang ditimbulkan oleh aktivitas geomagnet yang berasal dari magnetosfer (badai magnet) dan dari matahari (variasi harian dan musiman). Untuk meminimalisasi gangguan tersebut, maka data geomagnet yang digunakan (komponen H, D, dan Z) adalah data tahun 2004-2006 dari stasiun Kototabang (0.20°LS, 100.32°BT), seperti terlihat pada Gambar 2-1, dari pukul 22.00 sampai 02.00 waktu lokal, dengan sampling data 1 detik. Untuk menentukan anomali pada emisi sinyal ULF digunakan analisis fraktal (Feder, 1989; Turcotte, 1997; Hayakawa et al., 1999; Smirnova et al., 1999, 2001; Gotoh et al., 2003) dengan menggunakan metode Higuchi (Higuchi, 1988).

Dalam analisis fraktal, penentuan anomali emisi sinyal ULF dilakukan dengan menghitung dimensi fraktal dari deret waktu ULF. Untuk menentukan dimensi fraktal tersebut digunakan metode Higuchi yang memodifikasi metode BK (Burlaga and Klein, 1986) dengan cara membangun deret waktu yang baru $X_m(k)$ yang didefinisikan sebagai,

$$X_m(k); X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots, X(m + \left[\frac{N-m}{k} \right] \cdot k) \quad (m = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (2-1)$$

dengan m adalah waktu awal dan k interval waktu. Selanjutnya didefinisikan panjang kurva $X_m(k)$ sebagai,

$$L_m(k) = \left\{ \left(\sum_{i=1}^{\left[\frac{N-m}{k} \right]} |X(m+ik) - X(m+(i-1) \cdot k)| \right) \frac{N-1}{\left[\frac{N-m}{k} \right] \cdot k} \right\} \quad (2-2)$$

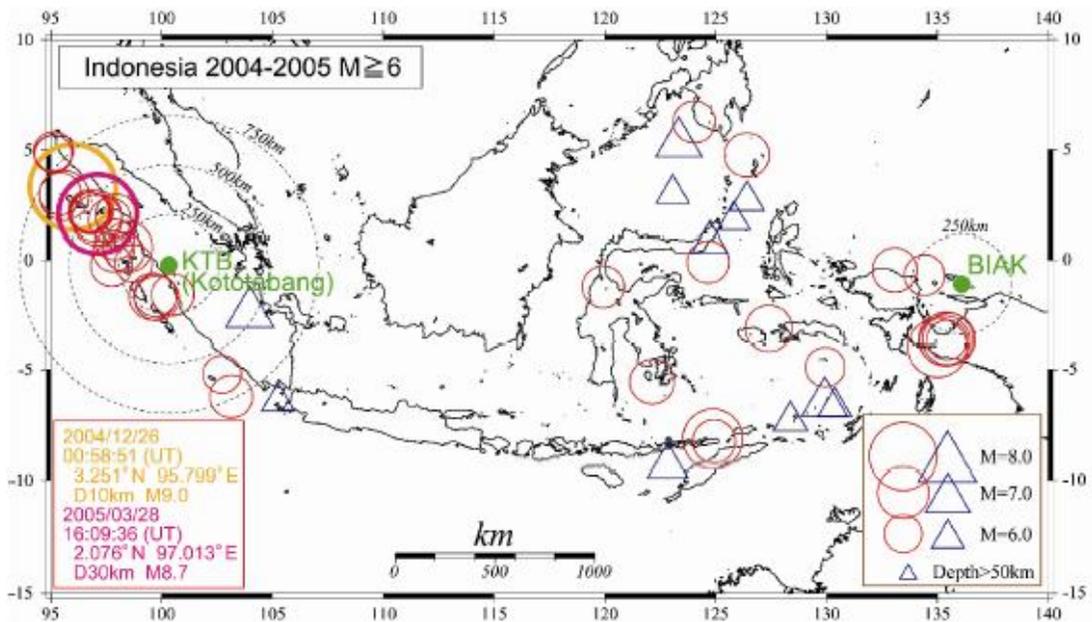
dengan $(N-1) \left[\frac{N-m}{k} \right] \cdot k$ adalah faktor normalisasi.

Selanjutnya didefinisikan panjang kurva untuk interval waktu k, L(k) yaitu harga rata-rata dari $L_m(k)$ yang dapat dituliskan sebagai,

$$L(k) = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{k} \quad (2-3)$$

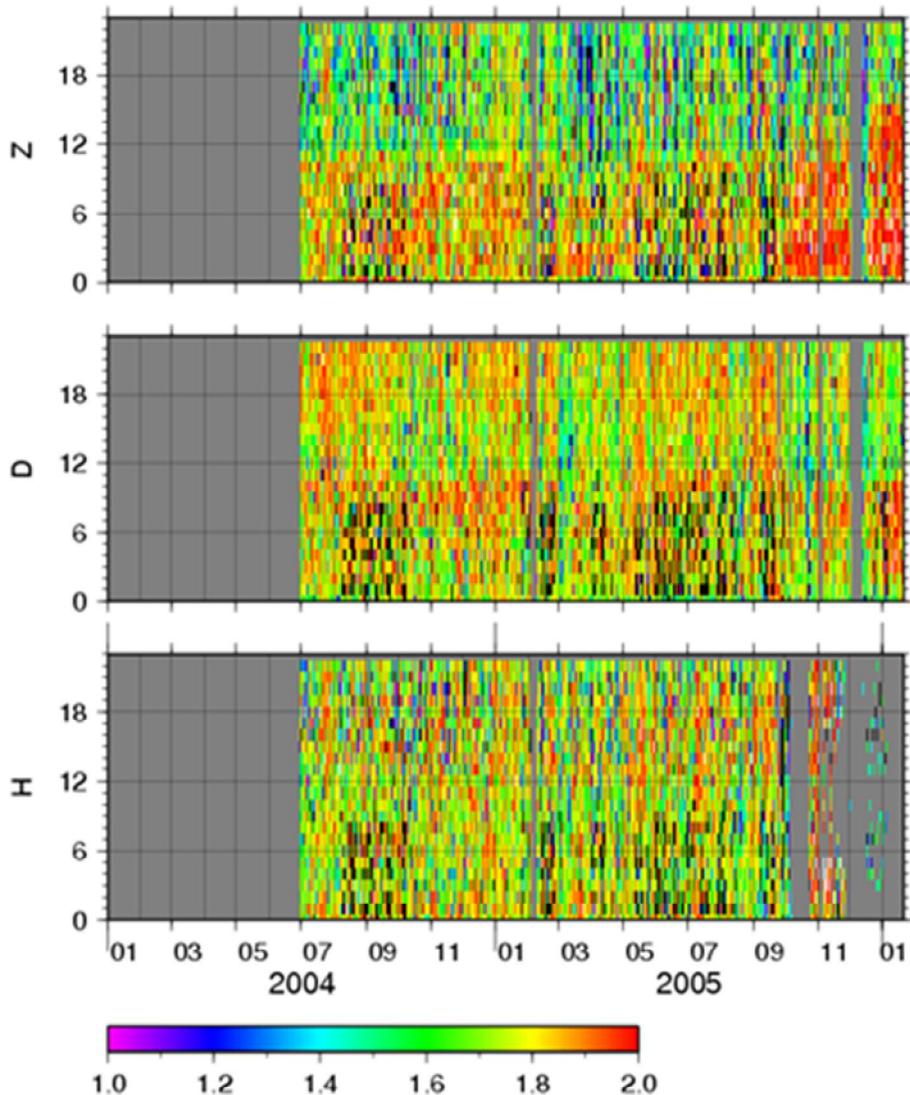
Bila L(k) diplot terhadap k, maka dimensi fraktal D dapat ditentukan dari hubungan $L(k) \propto k^{-D}$.

Dari perhitungan dimensi fraktal (D) dengan menggunakan metode Higuchi dan dengan menggunakan data variasi medan geomagnet di stasiun Kototabang untuk komponen H, D, dan Z, kemudian dibuat spektrogram seperti terlihat pada Gambar 2-2 yang menunjukkan besarnya dimensi fraktal untuk komponen H, D, dan Z di stasiun Kototabang, pada bulan Juli 2004 sampai dengan Januari 2006, dari pukul 00.00-23.00 waktu lokal. Selanjutnya ditentukan dimensi fraktal tiap 1 jam, dalam selang waktu antara pukul 22.00 sampai dengan 02.00 waktu lokal dan dihitung rata-ratanya untuk selang waktu tersebut, yang hasilnya seperti terlihat pada Gambar 2-3.

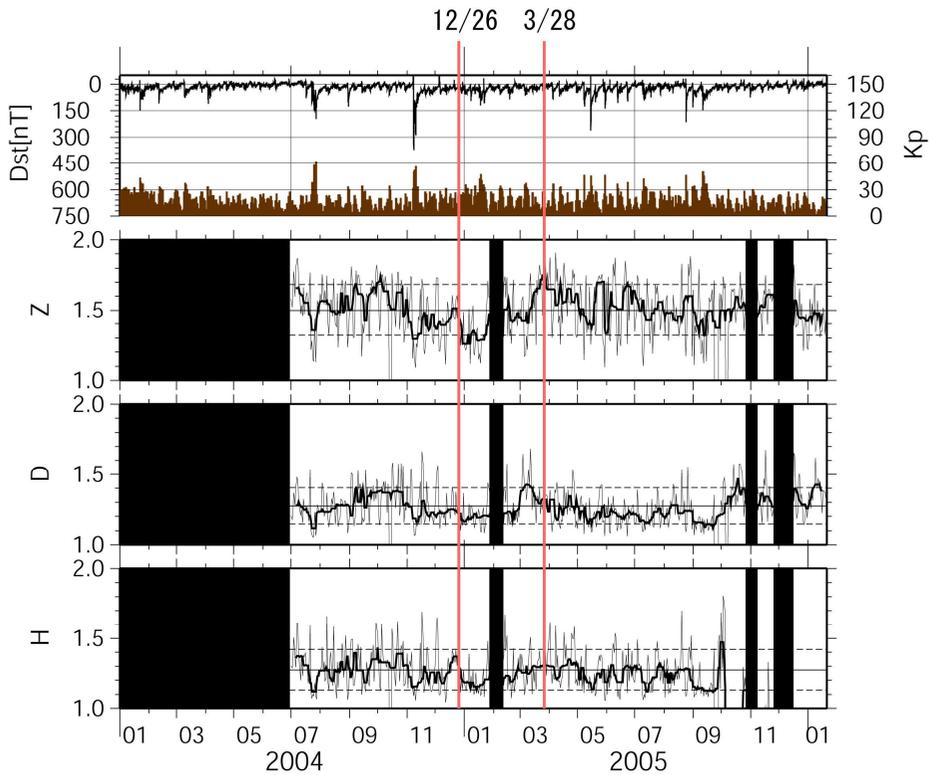


Gambar 2-1: Peta seismisitas gempa di Indonesia tahun 2004-2005, $M \geq 6$

Kototabang



Gambar 2-2: Spektogram yang berturut-turut menunjukkan besarnya dimensi fraktal untuk komponen H, D, dan Z di stasiun Kototabang, pada bulan Juli 2004 sampai dengan Januari 2006, dari pukul 00.00-23.00 waktu lokal. Warna ungu, biru tua, biru muda, hijau, kuning, dan merah masing-masing menunjukkan besarnya dimensi fraktal sekitar 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, dan 2.0



Gambar 2-3: Histogram paling atas menunjukkan indeks geomagnet Dst dan Kp, dari tanggal 1 Januari 2004 sampai dengan 31 Januari 2006. Histogram di bawahnya berturut-turut menunjukkan besarnya dimensi fraktal untuk komponen Z, D, dan H, dari bulan Juli 2004 sampai 31 Januari 2006. Garis tipis menunjukkan harga rata-rata jam-an sedangkan garis tebal menunjukkan harga median berjalan ± 5 hari. Garis horizontal menunjukkan harga rata-rata selama periode tersebut dan garis putus-putus menunjukkan $\pm \sigma$ (σ : standard deviasi). Garis vertikal yang tebal masing-masing menunjukkan saat kejadian gempa Aceh 26 Desember 2004 dan gempa Nias tanggal 28 Maret 2005

Dari Gambar 2-3 terlihat bahwa 1 bulan sampai beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh 26 Desember 2004 dan gempa Nias 28 Maret 2005, terjadi penurunan dimensi fraktal dari komponen H, D, dan Z di stasiun Kototabang dan tidak terjadi di tempat lain yang letaknya sangat jauh dari episenter, seperti di stasiun Biak (gambar tidak ditampilkan). Hal ini mengindikasikan terjadinya proses SOC (*Self Organizing Criticality*) atau kekritisian yang diatur sendiri di hiposenter dan di sekitar hiposenter dari gempa tersebut yang merupakan awal dari peningkatan aktivitas seismik sebelum kejadian gempa. Mengenai mekanisme yang terkait dengan kejadian ini, telah banyak dikemukakan untuk menjelaskan sumber dari emisi sinyal ULF (Fraser-Smith et al., 1990; Kopytenko et al., 1993, Hayakawa and

Molchanov, 2002), seperti efek elektrokinetik, efek induksi, dan efek *microfracturing*. Meskipun demikian, dari berbagai mekanisme fisis yang paling mungkin terkait dengan kejadian gempa bumi tersebut adalah disebabkan oleh terjadinya perubahan konduktivitas yang diakibatkan oleh gerakan air bawah tanah atau mekanisme yang ditimbulkan oleh efek elektrokinetik akibat perubahan stress mekanik di sekitar lokasi gempa. Untuk mengklarifikasi berbagai mekanisme yang terkait dengan kejadian gempa tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk kejadian gempa yang sama pada waktu yang bersamaan dengan menggunakan berbagai metode dan peralatan.

3 KESIMPULAN

Dengan memproses dan menganalisis data geomagnet di Kototabang tahun 2004 - 2006, dapat ditentukan keterkaitan anomali sinyal ULF yang teramati di Kototabang dengan kejadian gempa di Aceh dan Nias. Dari hasil analisis fraktal emisi sinyal ULF, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

- Terjadi penurunan variasi dimensi fraktal beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh 26 Desember 2004. Hal ini kemungkinan merupakan awal dari peningkatan aktivitas seismik sebelum kejadian gempa,
- Variasi temporal dari dimensi fraktal kemungkinan terkait dengan variasi geomagnet yang diakibatkan oleh aktivitas lokal yang berasal dari litosfer yang dipicu oleh kejadian gempa bumi di Aceh dan Nias,
- Meskipun mekanisme fisis emisi sinyal ULF yang terkait dengan kejadian gempa masih belum dapat diterangkan dengan jelas, namun perlu diupayakan untuk dapat mengklarifikasi mekanisme tersebut. Untuk itu, perlu dilakukan akumulasi kejadian emisi sinyal ULF yang terkait dengan kejadian gempa. Dengan menggunakan berbagai metode dan peralatan baik yang ada di bumi maupun pengamatan dari satelit, untuk kejadian yang sama adalah merupakan cara yang sangat diharapkan agar hasil yang diperoleh mempunyai reliabilitas yang tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- Burlaga, L. F. and Klein, L. W., 1986. *Fractal Structure of the Interplanetary Magnetic Field*, J. Geophys. Res., 91, A1, 347-350.
- Feder, J., 1989. *Fractals*, Plenum, New York.
- Fraser-Smith, A.; Bernardi, C.A.; McGill, P.R.; Ladd, M.E.; Hellowell, R.A.; and Villard Jr., O.G., 1990. *Low-Frequency Magnetic Field Measurements Near the Epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake*, Geophys. Res. Lett., 17, 1465-1468.
- Gokhberg, M. B.; Morgounov, V. A.; Yoshino, T.; and Tomizawa, I., 1982. *Experimental Measurements of Electromagnetic Emissions Possibly Related to Earthquake in Japan*, J. Geophys. Res., 87, 7824-7828.

- Gotoh, K., Hayakawa, M. and Smirnova, N. A., 2003. *Fractal Analysis of the ULF Geomagnetic Data Obtained at Izu Peninsula, Japan in relation to the nearby earthquake swarm of June–August 2000*, NHESS 3 3/4, pp. 229–236.
- Hayakawa, M. and Molchanov, O. A., Editors, 2002. *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling*, Terra Scientific Publishing Company (TERRA-PUB), Tokyo, p. 477.
- Hayakawa, M., Ito, T. and Smirnova, T., 1999. *Fractal Analysis of ULF Geomagnetic Data Associated with the Guam Earthquake on August 8, 1993*, Geophys. Res. Lett. 26 18, pp. 2797–2800.
- Higuchi, T., 1988. *Approach to an Irregular Time Series on the Basis of Fractal theory*, Physica D 31, 277–283.13.
- Kopytenko, Y.A.; Matishvili, T.G.; Voronov, P.M.; Kopytenko, E.A.; and Molchanov, O.A., 1993. *Detection of Ultra-Low-Frequency Emissions Connected with the Spitak Earthquake and its Aftershock Activity*, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. Phys. Earth Planet. Inter. 77, pp. 85–95.
- Miyakoshi, J., 1985. *On some Problems of the Variation of Self-Potential Observed in an Active Fault*, the Yamasaki fault, Disaster Prev. Res. Inst. Ann. Rep., 28B, 127-132.
- Molchanov O. A., M. Hayakawa, 1998. *On the Generation Mechanism of ULF Seismogenic Electromagnetic Emissions*, Physics of the earth and planetary interior, 105, 201-210.
- Rikitake, T., 1987. *Magnetic and Electric Signals Precursory to Earthquake: An Analysis of Japanese data*, J. Geomag. Geoelectr., 39, 47-61.
- Smirnova, N. A.; Hayakawa, M.; and Ito, T., 1999. *Structure of the ULF Geomagnetic Noise in a Seismoactive Zone and its Relation to the Earthquake*, In: Surya, C., Editor, , 1999. Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF'99, Hong Kong, August 23–26), World Scientific, Singapore, pp. 471–474.
- Smirnova, N. A.; Hayakawa, M.; Gotoh, K.; and Volobuev, D., 2001. *Scaling Characteristics of the ULF Geomagnetic Fields at the Guam Seismoactive Area and their Dynamics in Relation to the Earthquake*, NHESS 1, pp. 119–126.
- Sobolev, G. A., 1975. *Application of Electric Method to the Tentative Short-Term Forecast of Kamchatka Earthquakes*, Pure Appl. Geophys., 113, 229-235.
- Turcotte, D. L., 1997. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, (Second edition.), Cambridge University Press 397.
- Warwick, J. W.; Stoker, C.; and Meyer, T. R., 1982. *Radio Emission Associated with Rock Fracture: Possible Application to the Great Chilean Earthquake on May 22, 1960*, J. Geophys. Res., 87, 2851-2859.