

Analisis fraktal emisi sinyal ULF dan kaitannya dengan gempa bumi di Indonesia

Sarmoko Saroso

*Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN
Jl. Dr. Djundjuran No. 133, Bandung 40173
email: sarmoko@bdg.lapan.go.id*

Abstrak

Anomali sinyal ULF pada variasi medan geomagnet adalah 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

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.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki wilayah tektonik sangat aktif. Karena itu, sejumlah besar kejadian gempa yang kadang disertai tsunami dan erupsi gunungapi sering terjadi. Dalam kaitan dengan bencana itu, suatu kajian sains dan teknologi yang bersifat penanggulangan dan mitigasi terhadap bencana gempa dan erupsi gunungapi tersebut sudah sangat diperlukan. Salah satu kajian penting yang perlu dilakukan adalah upaya untuk menentukan prekursor gempa bumi. Akhir-akhir ini, kemunculan anomali medan elektromagnetik yang berhubungan dengan kejadian gempa telah banyak dilaporkan. Perubahan medan magnet bumi pada pita frekuensi ULF (ultra low frequency, <3Hz) serta anomali transmisi gelombang elektromagnetik seperti gelombang OMEGA (VLF, very low frequency, kHz) dan hamburan gelombang radio FM (VHF, very high frequency, MHz) yang disebabkan oleh terganggunya ionosfer adalah merupakan kajian untuk menentukan prekursor gempa bumi yang menjanjikan bila diaplikasikan.

Dalam kaitan dengan kajian tersebut, analisis yang komprehensif terhadap perubahan pada variasi medan magnet bumi yang dikenal sebagai anomali emisi sinyal ULF merupakan kegiatan yang menjadi prioritas utama dalam penelitian ini. Pada awal 1990-an, beberapa hasil yang menarik dari penelitian medan elektromagnetik ULF (Ultra-Low Frequency) dilaporkan oleh Fraser-Smith et al. (1990), Kopytenko et al. (1993), dan Hayakawa et al. (1996). Dari hasil penelitian yang mereka peroleh telah dapat memotivasi beberapa peneliti lain untuk melakukan pengukuran medan elektromagnetik dalam berbagai frekuensi. Kejadian gempa Kobe 1995 memberikan dampak besar, karena perubahan medan elektromagnetik sebelum gempa terjadi dalam berbagai pita frekuensi dapat terdeteksi oleh beberapa peneliti yang melakukan penelitian di bidang tersebut secara independen.

Hasil pengamatan tersebut boleh jadi merupakan kasus pertama yang mana beberapa metode dapat mendeteksi tanda-tanda secara bersamaan untuk satu kejadian gempa, dengan stasiun observasi mereka yang berjarak ratusan kilometer dari episenter. Data yang terkumpul berupa perubahan geopotensial DC, sinyal gelombang radio VLF 1-9 kHz, sinyal puncak LF, fluktuasi komponen vertikal arus bumi frekuensi tinggi lebih dari 1 MHz, emisi 22.2 MHz, perilaku abnormal pada gelombang VLF sampai 10 kHz berupa transmisi gelombang Omega, dan gelombang balik modulasi frekuensi FM-VHF

77.1 MHz. Semua data tersebut menunjukkan anomali secara simultan pada frekuensi ULF, VLF, LF, HF, dan VHF yang terjadi 7 hari sebelum gempa Kobe terjadi, dan pada umumnya perubahan sinyal-sinyal dari frekuensi lebih tinggi terjadi lebih dekat dengan waktu kejadian gempa. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum makin tinggi frekuensi sinyal elektromagnetik yang digunakan, maka tanda-tanda atau prekursor akan semakin dekat dengan waktu kejadian gempa. 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 Sumatra. 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.

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 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 (1988) yang memodifikasi metode BK (Burlaga and Klein, 1986) dengan cara membangun deret waktu yang baru $X_m(k)$ yang didefinisikan sebagai,

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

dengan m adalah waktu awal dan k interval waktu.

Selanjutnya didefinisikan panjang kurva $X_m(k)$ sebagai,

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

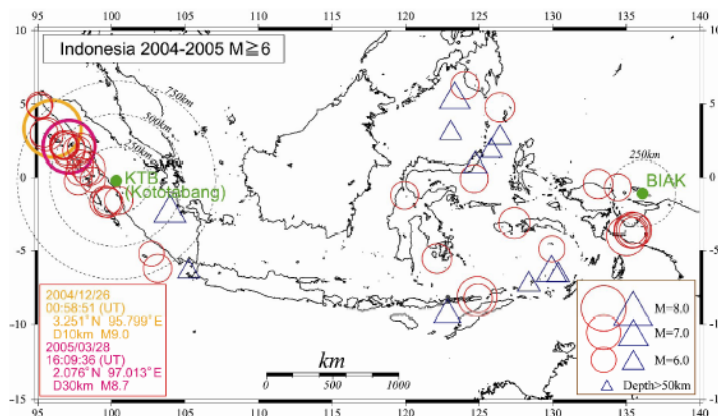
dengan $(N-1)/[\frac{N-m}{k}] \cdot k$ adalah faktor normalisasi.

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

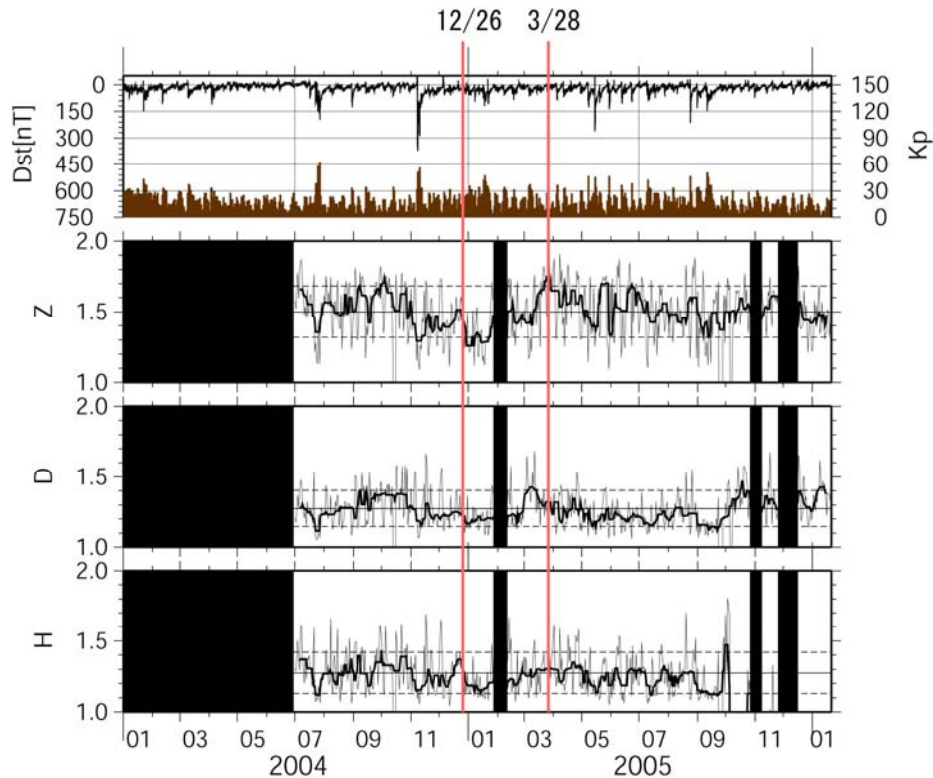
$$L(k) = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{k} \quad (3)$$

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 geomagnet dari stasiun Kototabang untuk komponen H, D, dan Z dalam selang waktu antara pukul 22.00 sampai dengan 02.00 waktu lokal, dari bulan Juli sampai dengan Desember tahun 2004. Kemudian dimensi fraktal dihitung tiap 1 jam dan dihitung rata-ratanya untuk selang waktu 5 jam, yang hasilnya seperti terlihat pada gambar 2.



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



Gambar 2. Histogram paling atas menunjukkan indeks geomagnet Dst dan Kp, dari tanggal 1 Januari 2004 sampai dengan 31 Januari 2006. Histogram dibawahnya 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 histogram di atas terlihat bahwa 1 bulan sampai beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh 26 Desember 2004 dan gempa Nias 28 Maret 2005, terjadi penurunan dimensi fraktal. Hal ini mengindikasikan terjadinya proses SOC (Self Organizing Criticality) di litosfer yang merupakan awal dari peningkatan aktivitas seismik sebelum kejadian gempa.

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 :

1. Terjadi penurunan variasi dimensi fraktal beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh 26 Desember 2004. Hal ini kemungkinan merupakan awal dari peningkatan aktivitas seismik se belum kejadian gempa.
2. 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.
3. Meskipun mekanisme fisis emisi sinyal ULF yang terkait dengan kejadian gempa masih belum dapat diterangkan dengan jelas, namun perlu diupayakan untuk dapat mengklarifikasi mekanisme tsb. 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 Pustaka

- 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.
- 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 Fujinawa, Y., Editors (1994), *Electromagnetic phenomena related to earthquake prediction*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, p. 677.
- Hayakawa, M., Editor (1999), *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Related with Earthquakes*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, p. 996.
- 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.
- Hayakawa, M. and Molchanov, O. A., Editors (2002), *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling*, Terra Scientific Publishing Company (TERRA-PUB), Tokyo, p. 477.
- Higuchi, T. (1988), Approach to an irregular time series on the basis of fractal theory, *Physica D* 31, 277–283.
- 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.
- Smirnova, N. A. (1999), The peculiarities of ground-observed geomagnetic pulsations as the background for detection of ULF emissions of seismic origin, In: Hayakawa, M., Editor, 1999, *Atmospheric and Ionospheric electromagnetic phenomena associated with Earthquakes*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, pp. 215–232.
- 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.