

ANALISIS POLARISASI DAN FUNGSI TRANSFER EMISI SINYAL ULF DAN KAITANNYA DENGAN GEMPA ACEH DAN NIAS

Sarmoko Saroso

Bidang Aplikasi Geomagnet dan Magnet Antariksa,

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN

e-mail : 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 dan Biak 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 (magnitudo $M_w = 9.0$ dan kedalaman = 30 km, dari katalog USGS) dan gempa Nias yang terjadi pada tanggal 28 Maret 2005 (magnitudo $M_w = 8.7$ dan kedalaman = 30 km). Dalam menentukan anomali emisi sinyal ULF digunakan dua metoda, yaitu analisis polarisasi dan analisis fungsi transfer berbasis transformasi wavelet. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa anomali yang ditentukan dengan menggunakan kedua metoda tersebut mempunyai variasi amplitudo yang sama. Variasi tersebut teramati di Kototabang beberapa minggu sebelum kejadian gempa berskala besar dengan $M > 6.5$, sedangkan data di Biak tidak terlihat adanya perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa anomali yang teramati tersebut merupakan sinyal yang kemungkinan besar berhubungan dengan fase awal terjadinya gempa Sumatera.

Kata kunci : Anomali sinyal ULF, analisis polarisasi, analisis fungsi transfer

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 and Biak stations 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 (magnitude $M_w = 9.0$ and depth = 30 km from USGS catalog), and Nias earthquake of March 28, 2005 ($M_w = 8.7$ and depth = 30 km). For this aim, the polarization analysis and transfer functions analysis based on wavelet transform method have been applied to the observed data. Results of polarization analysis show similar variation of those of amplitude for induction arrow in transfer function analysis. These variations at Kototabang exhibit an anomalous changes a few weeks before the larger earthquakes with $M > 6.5$, while there are no apparent changes in Biak data. This suggests that the anomalous change might be a possible signal related with the earthquake preparation phase of Sumatra earthquakes.

Keywords : ULF geomagnetic anomalies, polarization analysis, transfer function analysis

*Geomagnet dan Magnet Antariksa (2009),
©2009 Massma Publishing, Jakarta.*

ANALISIS POLARISASI DAN FUNGSI TRANSFER EMISI SINYAL ULF DAN KAITANNYA DENGAN GEMPA ACEH DAN NIAS

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.

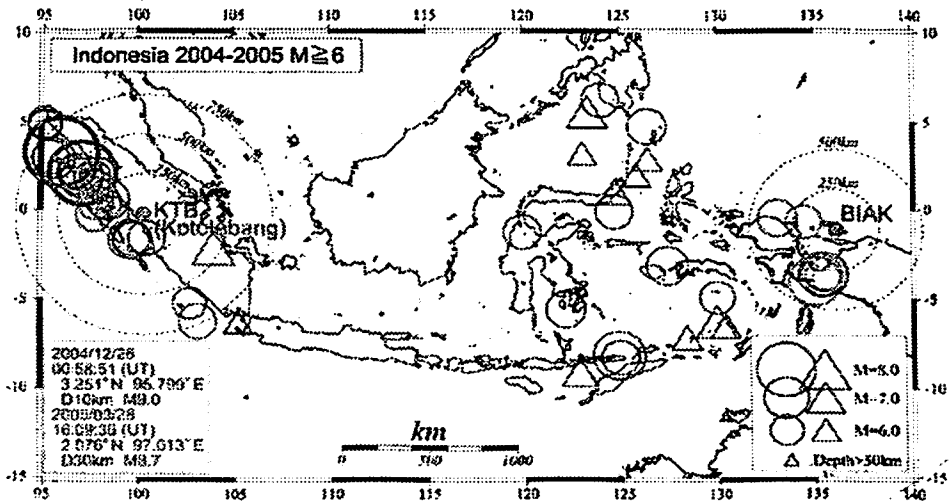
Perubahan medan magnet bumi pada pita frekuensi ULF (ultra low frequency, <3 Hz) serta anomali transmisi gelombang elektromagnetik seperti gelombang OMEGA (VLF, very low frequency, kHz) dan hamburan gelombang radio FM (VHF, very high frequency, MHz) yang disebabkan oleh terganggunya ionosfer adalah merupakan 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, 2002). 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, puncak medan magnetik 223 Hz, 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. Selanjutnya dalam makalah ini akan ditinjau anomali emisi sinyal ULF yang berhubungan dengan kejadian gempa bumi yang berskala besar ($M > 6$) di Indonesia, yaitu gempa Aceh yang terjadi pada tanggal 26 Desember 2004 berkekuatan 9.0 SR (Skala Richter) dan Gempa Nias yang terjadi pada tanggal 28 Maret 2005 berkekuatan 8.7 SR.

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 adalah data tahun 2004 dan 2005 dari stasiun Kototabang (0.20°LS , 100.32°BT) dan Biak (1.10°LS , 136.05°BT), seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, dalam rentang waktu 3 jam, mulai dari pukul 00 sampai 03 waktu lokal, dengan sampling data 1 detik. Untuk menentukan anomali pada emisi sinyal ULF digunakan analisis polarisasi dan analisis fungsi transfer, berbasis transformasi wavelet. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara hasil analisis polarisasi dan hasil analisis fungsi transfer.



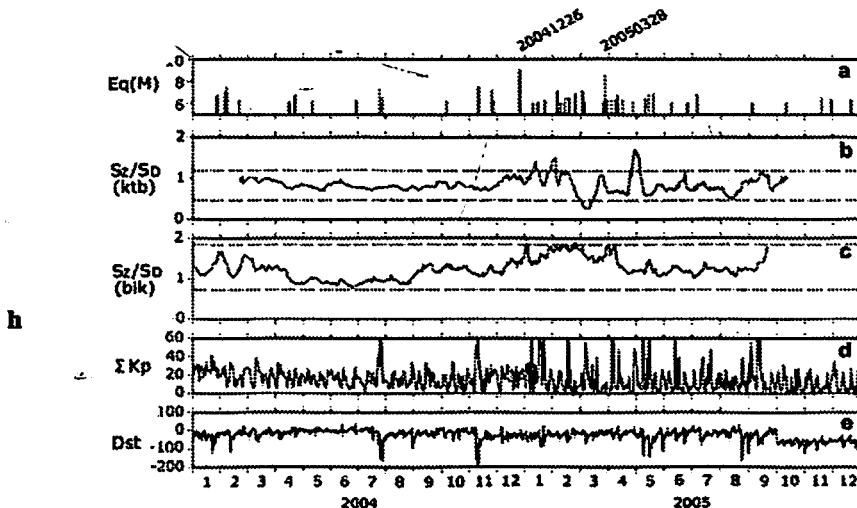
Gambar 2.1. Lokasi episenter dari gempa yang berkekuatan $M > 6$ pada tahun 2004–2005 dan lokasi stasiun geomagnet Kototabang dan Biak (sebagai stasiun referensi).

2.1. HASIL ANALISIS POLARISASI

Oleh karena variasi spektrum komponen H sangat sensitif terhadap aktivitas geomagnet yang berasal dari sumber eksternal, maka untuk menentukan anomali sinyal ULF dengan menggunakan metoda polarisasi digunakan perbandingan rapat spektra (spectral density ratio) komponen Z (S_Z) dengan komponen D (S_D). Gambar 2.2 (a) menunjukkan kejadian gempa di Sumatera ($M > 6$) dalam kurun waktu 2004–2005, (b) menunjukkan variasi polarisasi (S_Z/S_D), masing-masing di Kototabang dan Biak untuk perioda 32 detik, sedangkan garis putus-putus warna merah adalah $\pm\sigma$ (σ : standar deviasi), variasi polarisasi tersebut menunjukkan median berjalan ± 5 hari (11 hari), (d) dan (e) masing-masing adalah ΣKp dan Dst. Variasi polarisasi di Kototabang tidak berkorelasi dengan gangguan geomagnet (ΣKp dan Dst), tetapi sangat dipengaruhi oleh aktivitas seismik setelah gempa Aceh dan berakhir pada bulan Juli 2005. Peningkatan polarisasi (S_Z/S_D) bersesuaian dengan berkurangnya jarak ke episenter gempa yang berkekuatan $M > 6$. Periode dimana gangguan sangat besar adalah pada akhir bulan Desember 2004 hingga Juli 2005. Hal ini berbeda dengan yang terjadi di Biak, dimana tidak terjadi perubahan polarisasi yang signifikan dan tidak ada kejadian gempa di daerah tersebut. Terjadi sedikit peningkatan pada polarisasi di Biak pada awal tahun 2005 yang kemungkinan disebabkan oleh mulai dioperasikannya ionosonde di Biak, sedangkan

ANALISIS POLARISASI DAN FUNGSI TRANSFER EMISI SINYAL ULF DAN KAITANNYA DENGAN GEMPA ACEH DAN NIAS

peningkatan yang terjadi di bulan April 2005 kemungkinan disebabkan oleh tidak berfungsinya ionosonde tersebut.



Gambar 2.2. (a) Kejadian gempa di Sumatera ($M > 6$) dalam kurun waktu 2004-2005, (b) variasi polarisasi (S_z/S_D) masing-masing di Kototabang dan Biak untuk periode 32 detik, sedangkan garis putus-putus warna merah adalah $\pm\sigma$ (σ : standar deviasi) variasi polarisasi tersebut menunjukkan median berjalan ± 5 hari (11 hari), (d) dan (e) masing-masing adalah ΣK_p dan Dst.

2.2. HASIL ANALISIS FUNGSI TRANSFER

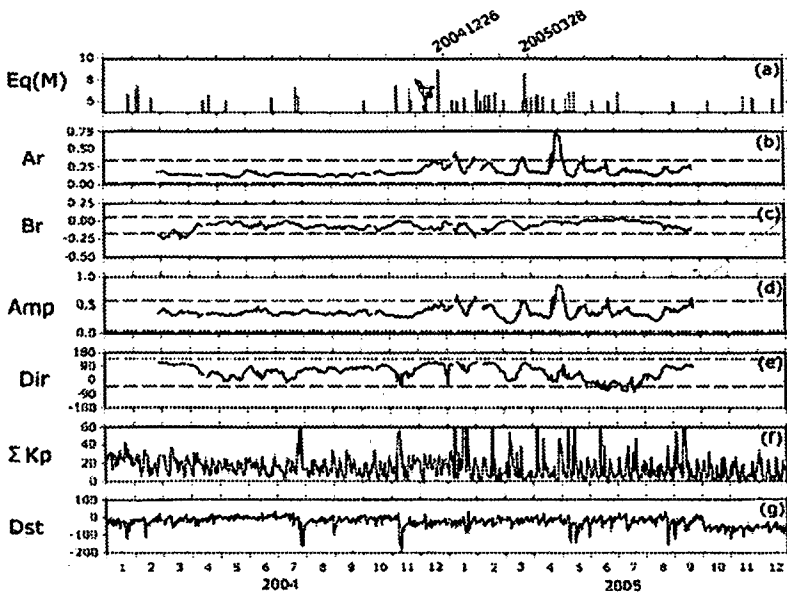
Metode analisis fungsi transfer berbasis transformasi wavelet adalah salah satu metoda yang dapat digunakan untuk menentukan anomali emisi sinyal ULF (Yanagihara and Nagano, 1976; Honkura and Koyama, 1978; Honkura, 1979; Fujiwara and Toh, 1996; Harada et al., 2004). Berdasarkan metode ini, hubungan antara ketiga komponen geomagnet dapat dinyatakan sebagai,

$$\Delta Z(\omega) = A(\omega) \cdot \Delta X(\omega) + B(\omega) \cdot \Delta Y(\omega),$$

yang berbentuk fungsi transfer kompleks dan bergantung pada frekuensi, dengan $\Delta X(\omega)$, $\Delta Y(\omega)$, and $\Delta Z(\omega)$ masing-masing adalah komponen arah utara-selatan, timur-barat, dan komponen vertikal. Hubungan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai sistem linear dengan dua input $\Delta X(\omega)$ dan $\Delta Y(\omega)$, dan outputnya adalah $\Delta Z(\omega)$. Koefisien $A(\omega)$ and $B(\omega)$ dapat dianggap konstan untuk durasi tertentu yang besarnya berbeda untuk masing-masing stasiun. Fungsi transfer tersebut memberikan informasi mengenai konduktivitas listrik di dalam bumi. Studi tentang fungsi transfer ini biasanya digunakan untuk menentukan anomali pada komponen vertikal, yang juga dinyatakan sebagai anomali konduktivitas, dan 'induction arrow' atau vektor Perkinson digunakan untuk menggambarkan anomali ini, dimana panjang dan arahnya masing-masing menunjukkan besarnya anomali magnetik dan arah dari sumber gangguan (Rikitake and Honkura,

1985). Pada umumnya studi tentang anomali konduktivitas ini digunakan untuk menjelaskan distribusi konduktivitas listrik pada bagian mantel dan kerak bumi. Yanagihara and Nagano (1976) menyatakan bahwa variasi temporal dari fungsi transfer dengan gempa bumi yang berkekuatan lebih besar dari 5 SR mempunyai korelasi yang baik yang terjadi disekitar stasiun Kakioka.

Analisis fungsi transfer ini pada umumnya dilakukan dengan menggunakan transformasi Fourier. Dalam penelitian ini digunakan transformasi wavelet Morlet (Morlet et al., 1982), karena transformasi Fourier sangat lemah untuk sinyal yang sifatnya transien, seperti pulsa magnetik. Hasil analisis fungsi transfer berbasis transformasi wavelet ini terlihat pada Gambar 2.3 yang menunjukkan variasi fungsi transfer untuk perioda 32 detik di Kototabang disertai aktivitas gempa dan aktivitas geomagnet. Gambar 2.3 (a) menunjukkan kejadian gempa di Sumatera ($M > 6$) dalam kurun waktu 2004-2005, (b) variasi A, (c) variasi B, (d) variasi Amp, dan (e) variasi Dir, sedangkan garis putus-putus warna merah adalah $\pm 2\sigma$ (σ : standar deviasi), (f) dan (g) masing-masing adalah ΣKp dan Dst.



Gambar 2.3. Variasi fungsi transfer untuk perioda 32 detik di Kototabang disertai aktivitas gempa dan aktivitas geomagnet. Gambar 2.3 (a) kejadian gempa di Sumatera ($M > 6$) dalam kurun waktu 2004-2005, (b) variasi A, (c) variasi B, (d) variasi Amp, dan (e) variasi Dir, sedangkan garis putus-putus warna merah adalah $\pm 2\sigma$ (σ : standar deviasi), (f) dan (g) masing-masing adalah ΣKp dan Dst.

3. PEMBAHASAN

Dari Gambar 2.2 dan 2.3 terlihat bahwa dengan menggunakan metoda analisis polarisasi dan analisis fungsi transfer masing-masing untuk periode 32 detik, teramati fluktuasi yang sangat mirip antara variasi polarisasi (S_z/S_D) dengan variasi amplitudo

ANALISIS POLARISASI DAN FUNGSI TRANSFER EMISI SINYAL ULF DAN KAITANNYA DENGAN GEMPA ACEH DAN NIAS

(Amp) yang terjadi pada waktu yang bersamaan, yaitu beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh dan gempa Nias. Anomali ini ternyata tidak teramati di Biak. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi tersebut kemungkinan terkait dengan variasi geomagnet yang diakibatkan oleh aktivitas lokal yang berasal dari litosfer yang dipicu oleh kejadian gempa bumi di Aceh dan Nias. Mengenai mekanisme yang terkait dengan kejadian ini telah banyak dikemukakan untuk menjelaskan sumber dari emisi sinyal ULF ini, 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 disekitar 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.

4. KESIMPULAN

Dengan memproses dan menganalisis data geomagnet di Kototabang dan Biak tahun 2004 dan 2005, dapat ditentukan keterkaitan anomali sinyal ULF yang teramati di Kototabang dan Biak dengan kejadian gempa di Aceh dan Nias. Dari hasil analisis polarisasi dan analisis fungsi transfer berbasis transformasi wavelet untuk menentukan anomali emisi sinyal ULF, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu,

1. Variasi spektrum komponen H sangat sensitif terhadap aktivitas geomagnet yang berasal dari sumber eksternal. Hal ini dapat dilihat pada variasi spektrum komponen H saat terjadi peningkatan aktivitas geomagnet yang ditunjukkan oleh indeks K_p dan Dst.
2. Oleh karena variasi spektrum komponen H sangat sensitif terhadap aktivitas geomagnet yang berasal dari sumber eksternal, maka untuk menentukan anomali sinyal ULF dengan menggunakan metoda polarisasi digunakan perbandingan antara komponen Z dan D (S_Z/S_D), sedangkan untuk analisis fungsi transfer digunakan variasi Amplitudonya (Amp).
3. Anomali yang ditentukan dengan menggunakan metoda analisis polarisasi dan analisis fungsi transfer masing-masing untuk periode 32 detik, teramati di Kototabang pada waktu yang bersamaan, yaitu beberapa minggu sebelum kejadian gempa Aceh dan Nias. Anomali ini ternyata tidak teramati di Biak. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi tersebut kemungkinan terkait dengan variasi geomagnet yang diakibatkan oleh aktivitas lokal yang berasal dari litosfer yang dipicu oleh kejadian gempa bumi di Aceh dan Nias.

DAFTAR PUSTAKA

- Fraser-Smith, A., C. A. Bernardi, P. R. McGill, M. E. Ladd, R. A. Hellowell, and O. G. Villard Jr., 1990, *Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake*, Geophys. Res. Lett., 17, 1465-1468.
- Fujiwara, S. and H. Toh, 1996, *Geomagnetic transfer functions in Japan obtained by first order geomagnetic survey*, J. Geomag. Geoelectr. 48, pp. 1071-1101.
- Harada, M., K. Hattori, and N. Isezaki, 2004, *Transfer function analysis approach for anomalous ULF geomagnetic field change detection*, Phys. Chem. Earth, 29, pp. 409-417.

- Hayakawa, M., R. Kawate, O. A. Molchanov, and K. Yumoto, 1996, *Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993*, Geophys. Res. Lett. 23, pp. 241-244.
- Hayakawa, M. and O. A. Molchanov, Editors, 2002, *Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, p. 477.
- Honkura, Y. and S. Koyama, 1978, *Observation of short-period geomagnetic variations at Nakaizu*, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 53, pp. 925-930.
- Honkura, Y., 1979, *Observation of short-period geomagnetic variations at Nakaizu (2). Changes in transfer functions associated with the Izu-Ohsima-Kinkai earthquake of 1978*, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 54, pp. 477-490.
- Kopytenko, Y.A., T. G. Matishvili, P. M. Voronov, E. A. Kopytenko, and O. A. Molchanov, 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.
- Morlet, J., G. Arens, E. Fourgeau, and D. Giard, 1982, *Wave propagation and sampling theory—Part I: Complex signal and scattering in multilayered media*, Geophysics 47, pp. 203-221.
- Rikitake, T., 1987, *Magnetic and electric signals precursory to earthquake: An analysis of Japanese data*, J. Geomag. Geoelectr., 39, 47-61.
- Yanagihara, K. and T. Nagano, 1976, *Time change of transfer function in the central Japan anomaly of conductivity with special reference to earthquake occurrences*, J. Geomag. Geoelectr. 28, pp. 157-163.