

PENENTUAN PREKURSOR GEMPA BUMI MENGGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIK DI DAERAH PELABUHAN RATU

Noviana Fransiska¹, Agus Setyawan¹, Boko Nurdiyanto²

1. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

2. Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta Pusat

Email: noviana018@gmail.com

ABSTRACT

The research has been done by using data of electromagnetic parameter base on the result of magnetotelluric observation which located in geophysics observation Pelabuhan Ratu. Research of earthquake precursor in order to find out the characteristic of electromagnetic signal by applying spectral analysis ratio method on Ultra Low Frequency (ULF).

The data is electromagnetic secondary data from observation result of magnetotelluric and data of Dst index year 2011. The data magnetotelluric is consist of electric component and magnetic component. The filtering data is executed by using wavelet method. Result of filtering will be shown as graph ratio of magnetic field and electric field spectral intensity in a time domain.

According to the analysis by using spectral density analysis can be found out that the characteristic of ULF signal on frequency 0.01 Hz before earthquake show that there is an increase of value for magnetic polarization and occurred decrease of EM wave impedance value. From the analysis result show an appearance of magnetic polarization anomaly which expected as earthquake precursor and can be seen around 10 – 19 days before the occurrence of earthquake while for the value of EM wave impedance can be seen around 23 – 40 days before earthquake.

Keywords : Precursor, Ultra-Low-Frequency, Spectral Density Ratio Analysis, Pelabuhan Ratu

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan data parameter elektromagnetik berdasarkan pada pengamatan magnetotellurik yang berada di observasi geofisika Pelabuhan Ratu . Penelitian mengenai prekursor gempa bumi yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik sinyal elektromagnetik dengan menerapkan metode polarisasi rasio (*spectral analysis ratio*) pada spektrum ULF (*Ultra Low Frequency*).

Pada penelitian ini data yang digunakan yaitu data elektromagnetik dari hasil pengamatan magnetotellurik dan data Dst indeks tahun 2011. Data yang diperoleh dari hasil pengamatan magnetotellurik adalah komponen listrik dan komponen magnet. Pemfilteran data dilakukan dengan menggunakan metode wavelet. Hasil dari tahapan pemfilteran akan ditampilkan sebagai grafik rasio intensitas spektral medan listrik dan medan magnet dalam rentang waktu.

Berdasarkan analisis dengan menggunakan metode polarisasi rasio (*spectral density analysis*) dapat diketahui bahwa karakteristik sinyal ULF pada frekuensi 0.01 Hz sebelum gempa bumi menunjukkan bahwa adanya kenaikan nilai untuk polarisasi magnetik dan terjadi penurunan nilai impedansi gelombang EM. Dan dari hasil analisis menunjukkan kemunculan anomali polarisasi magnetik yang diduga sebagai prekursor gempa bumi terlihat 10 – 19 hari sebelum kejadian gempa bumi dan untuk nilai impedansi gelombang EM terlihat 23 – 40 hari sebelum gempa bumi.

Kata kunci: Prekursor, *Ultra-low-frequency*, *Spectral density ratio analysis*, Pelabuhan Ratu.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas kegempaan yang

tinggi. Hal ini disebabkan oleh posisi Indonesia yang secara tektonik terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama di

dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, serta Lempeng Mikro Filipina.

Prekursor elektromagnetik gempa bumi tampaknya 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 bumi [1]. Telah banyak penelitian-penelitian tentang prekursor elektromagnetik yang telah dipublikasikan dan asosiasinya dengan gempa bumi [2]. Penelitian ini berkaitan dengan ULF (*Ultra low frekuensi*, dengan frekuensi 0.01 Hz).

Metode polarisasi rasio (*spectral density analysis*) ini diharapkan dapat menganalisis karakteristik sinyal elektromagnetik pada spektrum ULF dan mencari anomali yang nantinya dapat digunakan dalam menjelaskan fenomena prekursor gempa bumi yang terjadi di daerah Pelabuhan Ratu.

DASAR TEORI

Prekursor Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan gerakan atau hentakan tiba-tiba akibat pelepasan akumulasi energi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng, pergeseran sesar, aktivitas gunungapi atau proses-proses lain hasil dari pelepasan akumulasi energi di bumi. Energi yang terlepas tersebut disebarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik/gelombang gempa.

Pengembangan seismologi pada saat ini adalah mencari tahu dimana energi ini berasal dan menurut Wyss [3] berasal dari pergerakan lempeng elastik pada permukaan bumi yang berperan dalam konveksi pendinginan planet. Geller dkk memperkenalkan definisi prediksi dalam jangka waktu yang sangat pendek sehingga berpendapat bahwa gempa bumi tidak dapat diprediksi karena adanya unsur ketidakpastiran tentang kapan waktu kejadiannya. Menurut Wyss, pernyataan bahwa gempa bumi tidak dapat diprediksi itu salah, karena gempa bumi dapat diprediksi

jika menggunakan definisi yang berlaku secara umum dalam prediksi.

Pemahaman mengenai mekanisme kegempaan dan fenomena alam yang muncul sebelum (prekursor) gempa bumi terjadi sangat diperlukan dalam langkah awal prediksi gempa bumi. Pada umumnya penelitian prediksi gempa bumi yang dilakukan sampai saat ini adalah berdasarkan pada pengamatan prekursor gempa bumi seperti parameter seismik (V_p/V_s , kesenyapan seismik, *b-value*), parameter magnetik dan EM, gravitasi, efek pasang surut, gas Radon, suhu, kelembaban dan parameter fisika lainnya.

Tensor Impedansi

Gelombang Elektromagnetik (EM) merambat secara tiga dimensi, maka medan magnet \vec{H} memiliki komponen H_x , H_y , H_z , dan medan listrik \vec{E} memiliki komponen E_x , E_y , E_z . Semakin jauh perambatan gelombang elektromagnetik, bentuk medan EM akan menjadi lebih serupa dengan bidang datar (*plane*) relatif terhadap medium. Fenomena ini dapat mendeskripsikan diferensiasi gelombang elektromagnetik terhadap kedalaman, yaitu ditunjukkan pada persamaan 2.1 dan 2.2.

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = \mu i \omega H_y \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = -\mu i \omega H_x \quad (2.2)$$

Input yang digunakan pada magnetotellurik (MT) adalah gelombang elektromagnetik. Tujuan dari pengukuran adalah mengetahui resistivitas pada setiap kedalaman tertentu. Salah satu komponen medium yang mendeskripsikan resistensi terhadap gelombang EM adalah impedansi (Z). Impedansi merupakan tensor yang menghubungkan medan listrik dengan medan

magnet, yang ditunjukkan oleh persamaan (2.3).

$$\vec{E} = \vec{Z}\vec{H} \quad (2.3)$$

Dengan diperhitungkannya dimensi medan listrik maupun magnet, maka dimensi Z pun diperhitungkan. Cantwell memodifikasi persamaan (2.3) menjadi persamaan (2.4) untuk struktur lateral inhomogen.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Salah satu variabel penting berikutnya dalam MT adalah resistivitas (ρ). Informasi resistivitas didapatkan melalui pengukuran respon gelombang elektromagnetik yang merambat melalui medium.

Prekursor Magnetik dan Elektromagnetik

Yumoto dkk. [4] telah meneliti prekursor elektromagnetik dengan frekuensi yang lebar mencakup ULF, emisi pulsa listrik, VLF dan VHF pada atmosfer dan observasi-observasi gelombang plasma satelit.

Pengamatan gelombang EM di permukaan bumi dalam batasan ULF ($f < 10$ Hz) dipercaya sebagai yang paling menjanjikan dari pemantauan keaktifan kerak bumi karena daya tembus dari EM dapat diperbandingkan dengan kedalaman di mana aktivitas kerak bumi berlangsung dan fluktuasi konduktivitas elektrik di bagian dalam bumi dapat dideteksi secara langsung.

Fenomena anomali ULF yang berhubungan dengan gempa bumi besar, Saroso [5] menganalisis sinyal ULF di stasiun Kototabang dan Biak pada saat terjadinya gempa bumi Aceh dan Nias pada tahun 2004-2005, menggunakan analisis polarisasi dan fungsi pindah dengan menggunakan metoda

transformasi wavelet. Hasil-hasil analisis polarisasi menunjukkan peningkatan anomali nyata sebelum terjadinya gempa bumi Aceh dan Nias. Peningkatan nyata ini ditemukan pada SZ/SD. Peningkatan anomali ini ditemukan beberapa minggu sebelum gempa bumi utama terjadi.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data parameter elektromagnetik yaitu data hasil pengamatan magnetotellurik yang berada di observatory Geofisika Pelabuhan Ratu dengan rentang waktu 1 Januari – 18 Agustus 2011. Selain itu digunakan indeks Dst (*Disturbance storm time*) untuk konfirmasi gangguan eksternal yang bersifat global. Studi kasus yang dilakukan adalah terhadap kejadian – kejadian gempa seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

Untuk memperoleh sinyal ULF dilakukan langkah – langkah sebagai berikut, data magnet komponen H_h dan H_z yang masih dalam domain waktu diubah kedalam domain frekuensi menggunakan *Mother wavelet* sebagai fungsi dari suatu sinyal-sinyal wavelet. Transformasi wavelet yang digunakan yaitu transformasi wavelet db5. Data magnet ini dalam bentuk data harian selanjutnya data di filter dan di analisis spektral (*spectral analysis ratio*) pada spektrum ULF (0.01 Hz), kemudian dilakukan pemilihan data pada malam hari dengan tujuan untuk menghilangkan atau mengurangi gangguan (*noise*) yang terjadi akibat aktifitas manusia dibandingkan dengan data pada waktu siang hari. Setelah mendapatkan nilai analisis spektral pada setiap komponen H_h dan H_z kemudian dilakukan polarisasi rasio terhadap komponen vertikal dan horizontal (Z/H) dan rasio H_h/H_h rata-rata tahunannya.

Tabel 3.1. Daftar Gempa bumi yang diperoleh dari BMKG

No	Tanggal	Waktu	Lintang	Bujur	Kedalaman (km)	Magnitudo (SR)	Jarak (km)	Radius manisfestasi
----	---------	-------	---------	-------	----------------	----------------	------------	---------------------

								(km)
1.	6-Feb-11	11:21:17	-8.21	104.07	10	5.6	210	255.86
2.	4-Apr-11	20:06:41.2	-9.87	107.67	10	6.7	214	760.33
3.	26-Apr-11	06:39:35.2	-8.44	108.39	66	5.8	214	311.89
4.	22-Aug-11	20:12:21.5	-6.48	103.93	28	6.1	210	419.76

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum menganalisis hasil dari parameter magnetik, perlu dilihat pada indeks Dst – nya untuk mengetahui adanya peningkatan atau penurunan intensitas variasi medan magnetik yang diakibatkan oleh aktivitas matahari atau yang bersifat global seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Dari grafik Dst tersebut bisa diketahui bahwa terjadi penurunan nilai Dst yaitu pada tanggal 5 – 19 Maret 2011 dan tanggal 4 – 14 Agustus 2011.

Analisis Polarisasi Magnetik

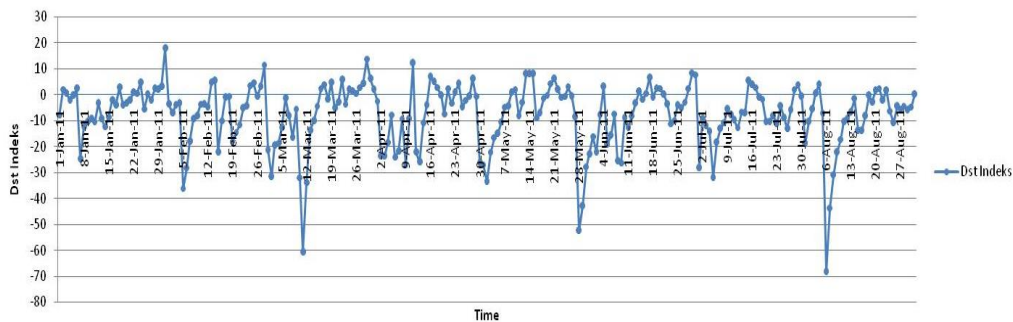
Pada gambar 4.2, memperlihatkan rasio polarisasi magnetik (H_h) terhadap nilai rata-rata tahunannya selama 8 (delapan) bulan yaitu dari tanggal 1 Januari 2011 sampai tanggal 22 Agustus 2011. Dari hasil analisis polarisasi magnetik didapatkan kenaikan nilai anomali yang dianggap sebagai prekursor gempa bumi yaitu 10 – 19 hari sebelum gempa bumi terjadi.

Dari hasil analisis polarisasi magnetik yang ditandai dengan adanya kenaikan nilai yang dianggap sebagai prekursor gempa bumi seperti yang dilakukan oleh peneliti – peneliti sebelumnya [6] [7] [8].

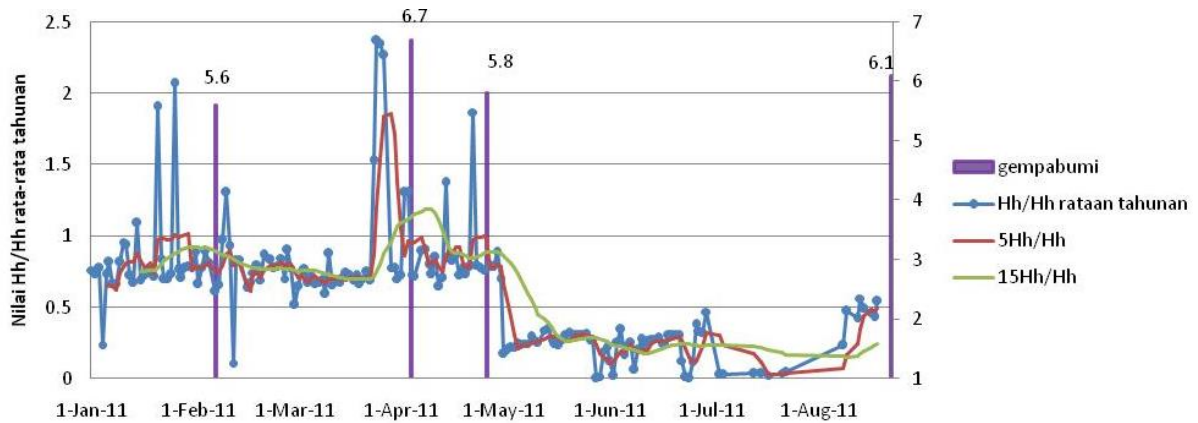
Analisis Parameter Impedansi Gelombang EM

Pada gambar 4.3, memperlihatkan rasio parameter impedansi gelombang EM (E_{x1}/H_y) selama 8 (delapan) bulan yaitu dari tanggal 1 Januari 2011 sampai tanggal 22 Agustus 2011. Dari hasil parameter impedansi didapatkan penurunan nilai anomali yang dianggap sebagai prekursor yaitu 23 – 40 hari sebelum gempa bumi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.3.

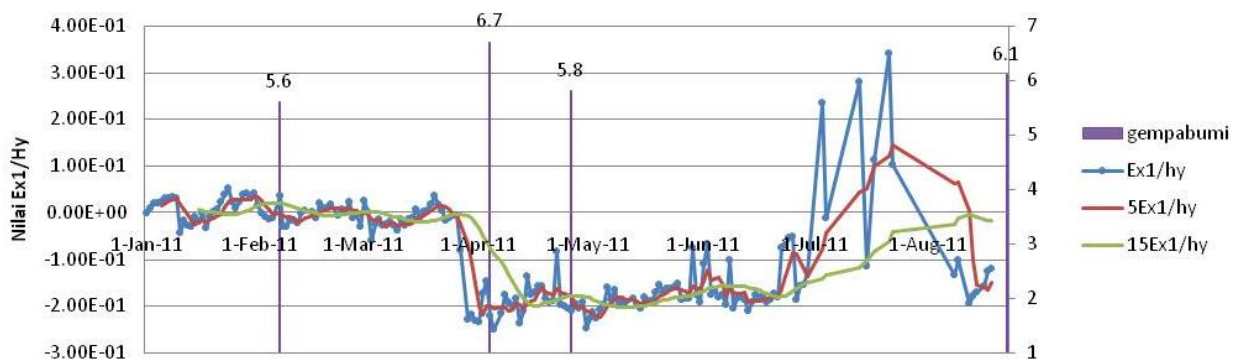
Dari hasil penelitian terhadap parameter impedansi gelombang EM menunjukkan bahwa anomali prekursor terjadi penurunan nilai seperti yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya [9] yaitu anomali impedansi gelombang yang diduga sebagai prekursor gempa bumi adalah adanya terjadi penurunan nilai impedansi.



Gambar 4.1. Grafik plot indeks Dst periode Januari – Agustus 2011. Plot garis warna biru menunjukkan Dst indeks.



Gambar 4.2. Plot garis warna biru adalah rasio polarisasi variasi magnetik komponen horizontal (H_h) terhadap rata-rata tahunan (*Annual Mean*) / (*one year average*). Plot garis warna merah dan hijau adalah rata-rata (*running average*)



Gambar 4.3. Plot garis warna biru adalah variasi impedansi gelombang (E_{x1}/H_y). Plot garis warna merah dan hijau adalah rata-rata (*running average*)

KESIMPULAN

Hasil pengolahan data parameter elektromagnetik dari Stasiun Pengamatan Geofisika Pelabuhan Ratu, diperoleh sebagai berikut :

1. Karakteristik sinyal ULF (frekuensi 0.01 Hz) sebelum gempa bumi menunjukkan adanya kenaikan nilai polarisasi magnetik dan penurunan nilai impedansi gelombang EM.
2. Kemunculan anomali polarisasi elektromagnetik yang diduga sebagai prekursor gempa bumi terlihat 10 – 19 hari sebelum gempa bumi dan untuk nilai impedansi gelombang EM terlihat 23 – 40 hari sebelum gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Geller, R.J., D.D. Jackson, Y.Y. Kagan, F., 1997, *Mulargia, Earthquakes Cannot Be Predicted*, Science, 275.
- [2] Yumoto, K., and The MAGDA5 Group, 2006, *MAGDAS Project and Its Application For Earthquake Prediction*, Proceedings of the International Workshop on Integration of Geophysical Parameter as a Set of Large Earthquake Precursors, Research and Development Center BMG, Jakarta.
- [3] Wyss, M., 2000, *Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes*, Adv. Geophys., 45, 259-302.
- [4] Yumoto, K., Ikemoto, S., Cardinal M.G., Kawano. H., Yoshikawa A., Maeda G Hayakawa M., Hattori K., Liu J.Y., Saroso S., Husni M., Widarto D.S., Ramos E.G., Otodoy R.E.S., dan MAGDAS group, 2007, *Space Weather dan Seismo Electromagnetic. Electromagnetic in Seismic dan Volcanic Areas, Proceeding Bilateral Seminar Italy Japan, July 25-27 2007*.
- [5] Saroso, S., Hattori. K., Ishikawa. H., Ida. Y., Shirogane. R., Hayakawa. M., Yumoto. K., Shiokawa. K., Nishihashi. M., 2009, *ULF geomagnetic anomalous changes possibly associated with 2004-2005 Sumatra earthquake*, Physics and Chemistry of the Earth, 34, 343-349.
- [6] Hayakawa, M., Kawate, R., Molchanov, O. A., Yumoto, K, 1996, *Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993*. Geophys. Res. Lett., 23, 241-244.
- [7] Hattori, K., Hayakawa, M., 2007, *Recent Progress and State of the Art of Seismo-electromagnetics' Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, 127(1), 4-6.
- [8] Yumoto, K., Ikemoto, S., Cardinal M.G., Hayakawa, H., Hattori, K., Liu J.Y., Saroso S., Ruhimat, M., Husni, M., Widarto, D.S., Ramos E., McNamara, D, Otoday R.E, Yumul G., Eborra R., dan Servdano N., 2009, *A new ULF wave analysis for Seismo-Electromagnetics using CPMN/MAGDAS data*, Pysics dan Chemistry of the Earth, Part A/B/C 34, 6-7, 360-366.
- [9] Zhang, Xuemin., Xuhui, Shen., 2011, *Electromagnetic Anomalies around The Wenchuan Earthquake and Their Relationship with Earthquake Preparation*, *International Journal of Geophysics*, 2011, 904132, 8.