

# Metode Identifikasi dan Penentuan Parameter Pulsa Magnet Pel di Indonesia (Identification Method and Parameters Determination of *Pel* Magnetic Pulsation in Indonesia)

**Fitri Nuraeni, Visca Wellyanita, Habirun, Anton Winarko, Cucu E. Haryanto**

Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa

Pusat Sains Antariksa - Lapan

email: [fitri.nuraeni@lapan.go.id](mailto:fitri.nuraeni@lapan.go.id)

Diterima: 12-11-2014. Direvisi: 2-1-2015. Disetujui: 29-1-2015. Diterbitkan: 9-3-2015.

Abstrak. Gelombang ULF geomagnet telah banyak diteliti karena kemampuannya sebagai perangkat untuk memahami dinamika magnetosfer. Pulsa magnet Pel adalah gelombang ULF geomagnet yang memiliki rentang perioda 0,1-5 detik. Penelitian mengenai Pel ini banyak dikaitkan dengan *Electromagnetic Ion Cyclotron* (EMIC) dan transfer energi yang terjadi di magnetosfer dalam. Selain itu juga beberapa penelitian mengenai seismoelektromagnet menggunakan pulsa magnet Pel sebagai perangkat untuk mengidentifikasi anomali sebelum gempa bumi. Oleh karena itu pemahaman mengenai karakteristik dan perilaku Pel di Indonesia sangat diperlukan. Pada makalah ini dipaparkan metode untuk mengidentifikasi pulsa magnet Pel dan penentuan parameter-parameternya. Parameter-parameter yang ditentukan dalam makalah ini dibatasi pada durasi, amplitudo, polarisasi dan frekuensi dominannya. Data geomagnet dari Stasiun Watukosek, Pamengpeuk dan Nagara untuk rentang waktu 2012-2013 telah diolah menggunakan metoda ini, dan beberapa kemunculan Pel teridentifikasi dengan baik beserta parameter-parameternya. Parameter-parameter yang telah diperoleh ini diharapkan dapat digunakan untuk mengembangkan metoda identifikasi Pel secara otomatis.

Kata kunci: *Pulsa magnetik, Pel, spektrum dinamis*

Abstract. Geomagnetic ULF wave has been studied for its capability as a tools to understand the dynamic of magnetosphere. Magnetic pulsation called Pel is geomagnetic ULF wave that has period between 0.1-5 second. Research on Pel is widely associated with *Electromagnetic Ion Cyclotron* (EMIC) and energy transfer that occurs in the inner magnetosphere. There are also studies about seismo-electro magnetism that uses Pel magnetic pulsation as a tool to identify anomaly before earthquake. Therefore an understanding on the characteristic and behavior of Pel in Indonesia is very important. This paper will be described method to identify Pel geomagnetic pulsation and parameters determination. The parameters determined in

this paper are duration, amplitude, polarization and dominant frequency. Geomagnetic data from Watukosek, Pamengpeuk and Nagara station in 2012-2013 periods has been processed using method described, and obtained a very clear identified Pc1 occurrences together with its parameters. The parameters that have been obtained are expected to be used to develop methods for identifying PC1 automatically.

**Keywords:** *Magnetic pulsations, Pc1, dynamic spectrum*

## 1. Pendahuluan

Pulsa magnet merupakan salah satu respon magnetosfer terhadap dinamika lingkungan antariksa dan aktivitas matahari. Penelitian mengenai pulsa magnet Pc1 yang memiliki rentang perioda 0,1-5 detik telah banyak dilakukan terkait dengan gelombang *elektromagnetic ion-cyclotron* (EMIC) yang ditimbulkan oleh ketidakstabilan pada plasma magnetosfer. Energi yang diperlukan untuk menyebabkan ketidakstabilan tersebut berasal dari *anisotropi* proton di arus cincin yang kemudian berakibat adanya presipitasi partikel energetik (Cornwall, 1965). Pc1 ini juga dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk memahami transfer energi yang terjadi di magnetosfer dalam pada saat fasa ekspansi substorm (Troitskaya, 1961; Hayakawa et al., 1992) dan fasa pemulihan badai magnet (Wentworth, 1964; Heacock dan Kivinen, 1972). Beberapa penelitian mengaitkan kemunculan Pc1 dengan fenomena seismoelektromagnet, bahwa terjadi peningkatan frekuensi kemunculan pulsa magnet Pc1 pada satu hingga beberapa minggu sebelum kejadian gempa (Dobnya et al., 2007; Bortnik et al., 2008; Villante et al., 2010).

Periode cuplik data geomagnet untuk Pc1 ini sangat rapat, sehingga pengolahan dan identifikasi Pc1 memakan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk mengidentifikasi dengan cepat dan tepat. Makalah ini akan memaparkan metoda identifikasi dan penentuan parameter pulsa magnetik Pc1. Dari metoda dan parameter yang diperoleh ini, diharapkan selanjutnya dapat dikembangkan suatu metoda identifikasi otomatis yang cepat, akurat dan ramah pengguna.

## 2. Tinjauan Pustaka

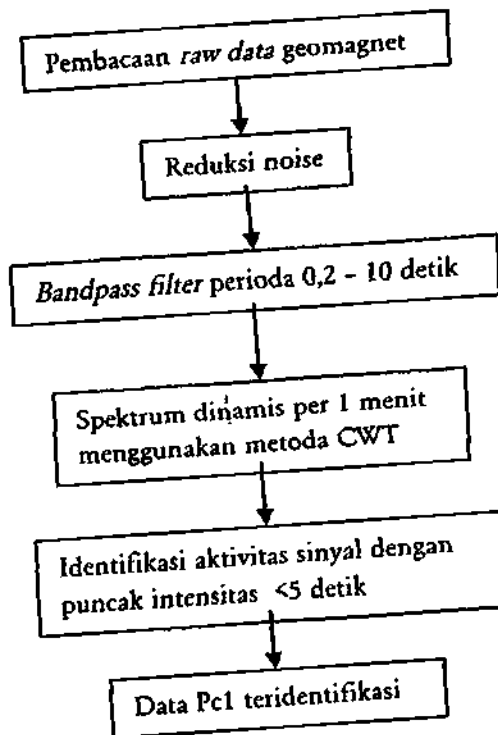
Data geomagnet merupakan data *broadband frequency*, sehingga untuk memperoleh sinyal pada rentang frekuensi tertentu diperlukan suatu metoda pengolahan sinyal yang tepat. Metode yang digunakan untuk memperoleh Pc1 dari data variasi harian geomagnet adalah *bandpass filtering*. Sebelum dilakukan filter data variasi harian geomagnet yang berada dalam domain waktu perlu diubah dulu menjadi domain frekuensi. Untuk melakukan perubahan itu ada berbagai metoda yang dapat digunakan seperti misalnya

*Fast Fourier Transform* (FFT) atau *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Dalam makalahnya, Bortnik, et.al., (2007) menggunakan FFT yang digunakan untuk membuat spektrum dinamis dalam algoritma identifikasi otomatis Pel. Metoda ini digunakan dengan alasan bahwa spectrum dinamis merupakan metoda yang sangat umum untuk menganalisis fenomena gelombang dan informasi yang diperoleh dari spektrum dinamis ini sangat berguna sehingga parameter-parameter gelombang dapat langsung diperoleh.

Metode lain yaitu CWT juga dapat digunakan dengan tujuan yang sama yaitu membuat spektrum dinamis dari suatu gelombang dengan rentang frekuensi lebar. Metode CWT ini digunakan oleh Kulesh.M., et.al. (2003) untuk mengetahui sifat polarisasi dari sinyal Pi2. Pemilihan metode ini karena CWT dapat memunculkan sifat kebergantungan sinyal terhadap waktu dan frekuensi secara bersamaan.

## 1. Metode

Data yang telah diolah untuk identifikasi Pel ini adalah data geomagnet dari Balai Pengamatan Dirgantara (BPD) Watukosek (7 34'5"LS, 112 40'37"BT), Balai Pengujian dan Produksi Roket (BPPR) Pamengpeuk (07 39'35"LS, 107 41'8"BT) dan Stasiun Klimatologi BMKG Nagara (8 20WLS, 114 37WBT) tahun 2012-2013. Pada makalah ini akan ditampilkan contoh identifikasi dan penentuan parameter dari data BPD Watukosek. Metoda yang digunakan untuk mengidentifikasi kemunculan pulsa magnetik Pel adalah *Continuous wavelet transform* (CWT) dengan Morlett sebagai *mother wavelet-nya*. Metoda CWT ini digunakan untuk menghasilkan spektrum dinamis sinyal pada rentang perioda Pel. Berdasarkan spektrum dinamis ini kemudian kita dapat menentukan parameter-parameter menyangkut karakteristik pulsa magnet Pel di Indonesia berdasarkan data yang dimiliki oleh Pusat Sains Antariksa, Lapan. Langkah-langkah identifikasi yang dilakukan pada komponen H dan D data geomagnet adalah seperti dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Langkah-langkah identifikasi pulsa magnet Pc1.

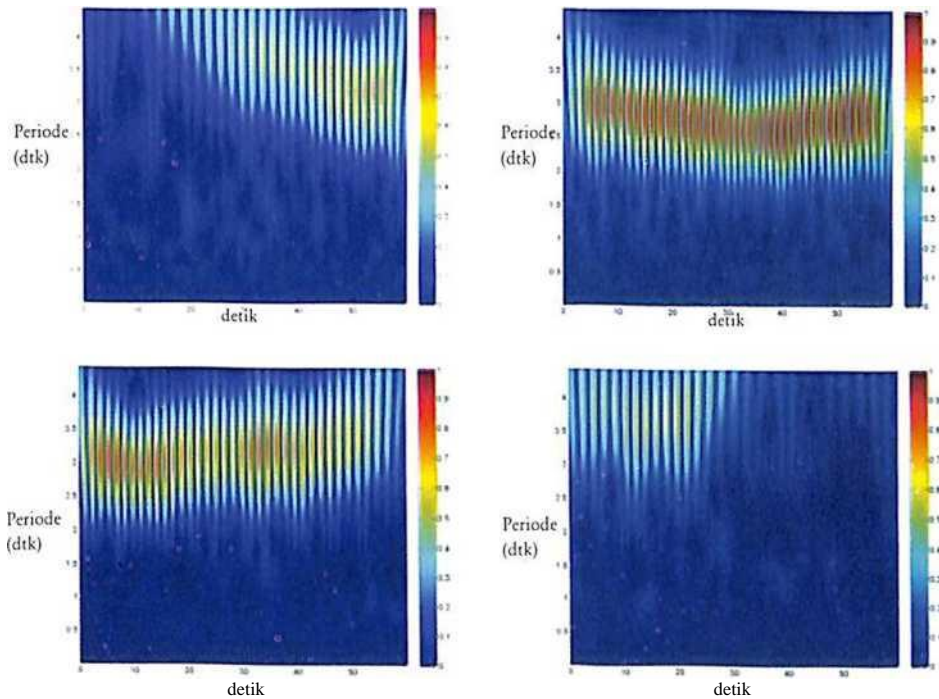
Penggunaan metode CWT untuk pembuatan spektrum dinamis ini karena sifat data geomagnet yang memiliki variasi frekuensi yang lebar. Metoda CWT ini memiliki kemampuan merepresentasikan variasi waktu dan frekuensi suatu sinyal dengan baik. Untuk pengolahan data geomagnet dalam makalah ini *mother wavelet* yang digunakan adalah Morlet karena dapat digunakan pada data-data dengan perubahan frekuensi maupun waktu yang tinggi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \dots\dots\dots (3-1)$$

dengan  $V$  adalah *mother wavelet* ,  $a$  adalah skala dari fungsi  $x(j)$  adalah nilai translasi wavelet. Untuk mengekstrak Pel dan data geomagne^ maka data yang telah difilter pada rentang Pel kemudian dibuat spe dinamisnya dalam plot 1 menit.

Dari plot spektrum dinamis yang diperoleh, kemuchan diJakukan identifikasi Pel secara visual. Identifikasi Pel secara **visual** dilakukan dengan cara memilih waktu-waktu ketika terlihat peningkatan intensitas dibawa

periode 5 detik dengan durasi minimal 3 menit, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-2.

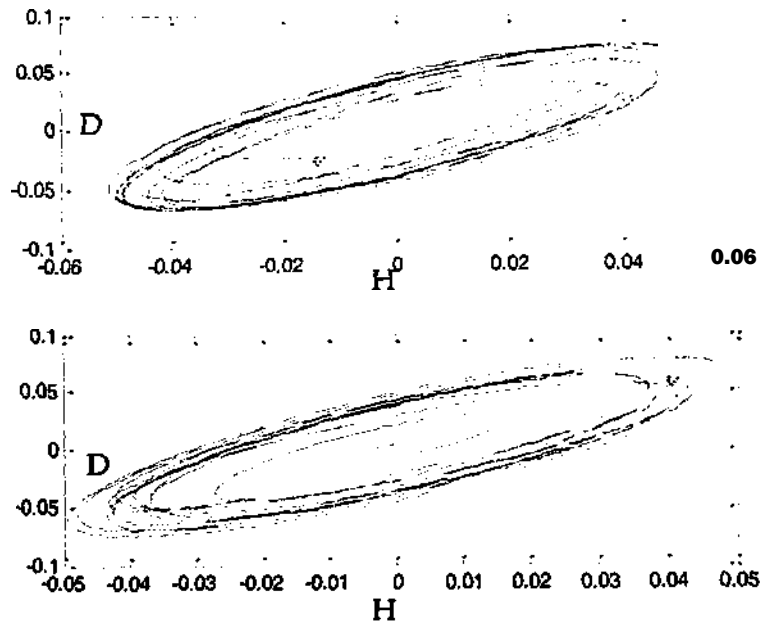


Gambar 3-2: Plot spectrum dinamis Pel komponen D tanggal 23 Juni 2013 pukul 00.29 - 00.32 UT.

Penentuan parameter dilakukan dengan melakukan analisis lebih lanjut pada data Pel teridentifikasi. Parameter yang dapat langsung diperoleh dari plot spektrum dinamis adalah durasi, yang diketahui dengan cara melihat berapa lama peningkatan intensitas Pel tersebut berlangsung. Parameter yang dapat diperoleh selanjutnya adalah amplitudo dan frekuensi dominan dari Pel yang teridentifikasi.

Amplitudo diperoleh dari simpangan terbesar pada hasil *bandpass* filter dari 1 paket pulsa Pel. Sedangkan frekuensi dominan diperoleh berdasarkan frekuensi maksimum yang sering muncul pada suatu paket pulsa Pel. Parameter polarisasi memiliki arah polarisasi dan orientasi sumbu polarisasi. Kedua parameter tersebut dapat ditentukan langsung dengan membandingkan hasil filter pada rentang periode dan waktu Pel komponen H dengan komponen D. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3-3. Pada Gambar 3-3 (atas) terlihat bahwa pada jam 00.30 arah polarisasinya putar kanan dan pada jam 00:30:30 (Gambar 3-3 bawah) polarisasinya putar kanan juga. Dari

Gambar 3-3 juga dapat diketahui bahwa orientasi sumbu polarisasi berada di kuadran 1-3 atau arah Timur Laut - Barat Daya (arah elips).



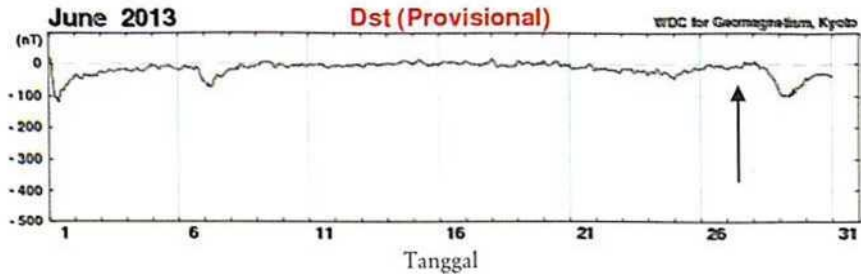
Gambar 3-3: Plot polarisasi Pel teridentifikasi tanggal 23 Juni 2013 pada 30 detik pertama pukul 00.30 - 00.31 UT (atas) dan 30 detik berikutnya (bawah).

#### 4. Hasil

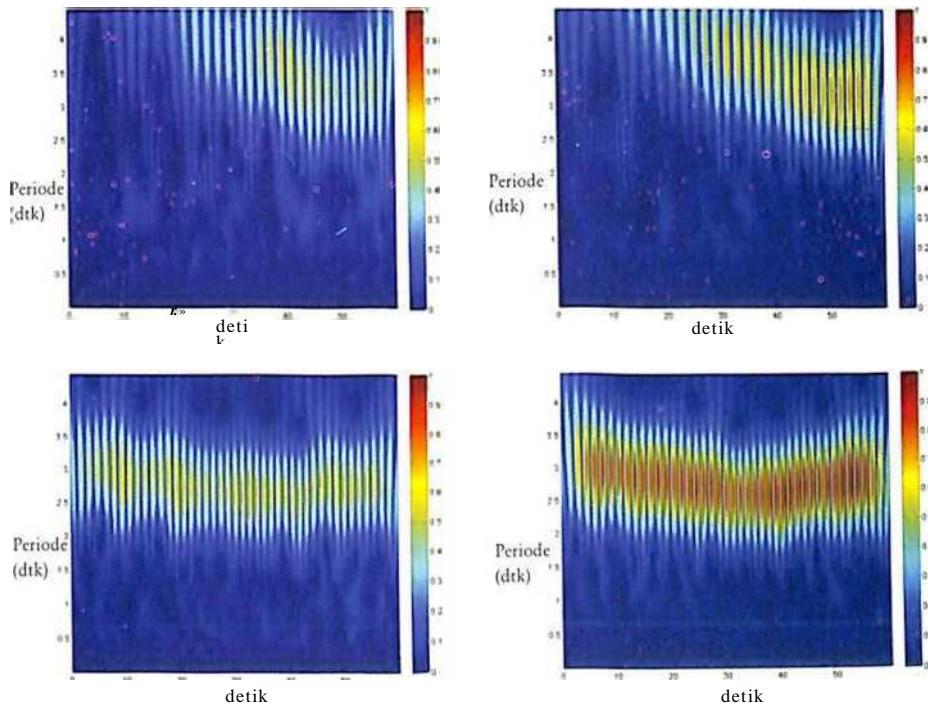
Metode identifikasi dan penentuan parameter  $Pc1$  ini kemudian diaplikasikan pada data geomagnet yang memiliki *sampling frequency* rapat seperti data dari Stasiun Watukosek, Stasiun Pamengpeuk dan Stasiun Nagara. Masing-masing stasiun tersebut memiliki *sampling frequency* yang berbeda, dan yang paling rendah kerapatannya adalah data dari Stasiun Watukosek bulan September - Desember 2013 yaitu 10 Hz. Sedangkan data dari Stasiun Pamengpeuk memiliki *sampling frequency* 50 Hz dan Stasiun Nagara *sampling frequency*-nya 64 Hz. Perbedaan *sampling frequency* ini hanya mengubah batas frekuensi minimum filter. Untuk data dari Stasiun Watukosek yang memiliki *sampling frequency* 10 Hz maka frekuensi maksimum yang dapat difilter pada rentang  $Pc1$  adalah 3,3 Hz, sedangkan untuk Stasiun Pamengpeuk dan Nagara dapat difilter sampai frekuensi 5 Hz. Hal tersebut dikarenakan *sampling frequency* mempengaruhi frekuensi *nyquist*-nya.

Data Watukosek tanggal 23 Juni 2013 digunakan untuk studi kasus. Pada 23 Juni 2013 kondisi geomagnet tenang dengan indeks  $Dst$  terendah adalah -28

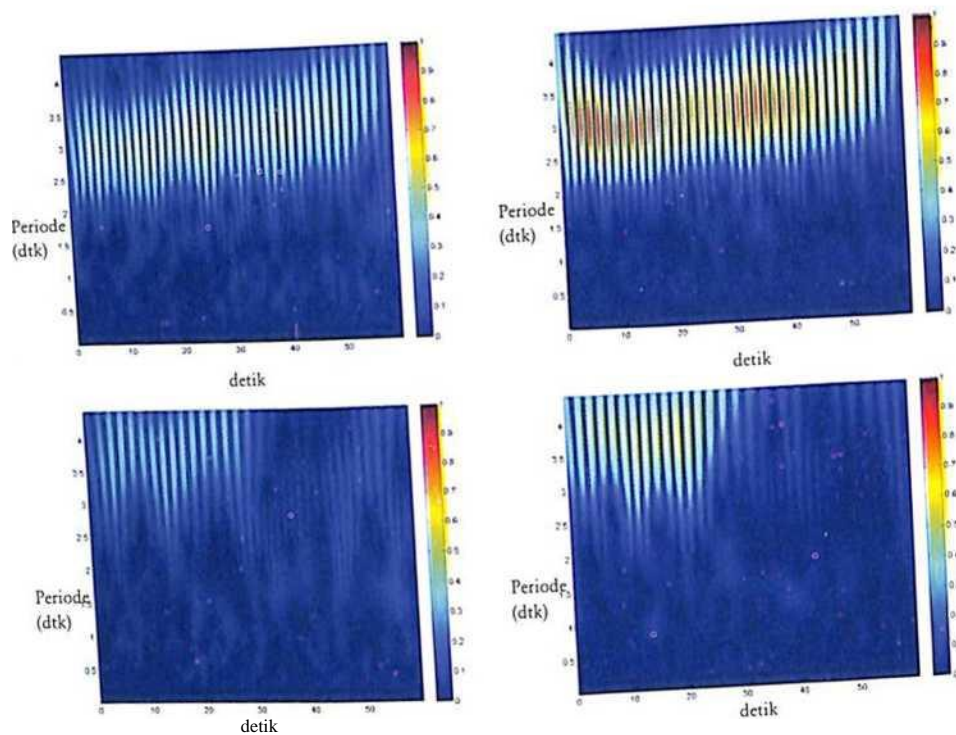
nT pada pukul 11.00 UT, dapat dilihat pada Gambar 4-1. ditandai dengan anak panah. Data geomagnet pada tanggal tersebut kemudian dibuat spektrumnya dan teridentifikasi 5 kejadian Pel, baik pada komponen H maupun D dan contohnya dilihat pada gambar 4-2.



Gambar 4-1: Indeks *Dst* bulan Juni 2013 (sumber: [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_provisional/201306/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/201306/index.html))



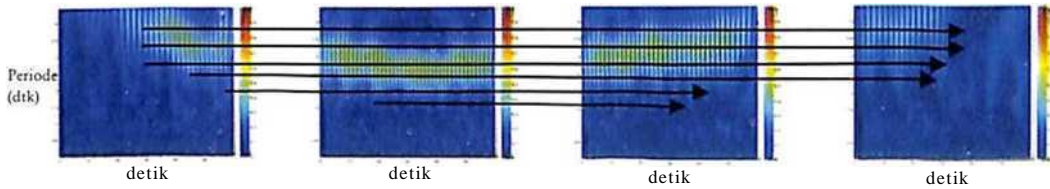
Gambar 4-2: Spektrum dinamis komponen H (kolom kiri) dan komponen D (kolom kanan) data tanggal 23 Juni 2013 Stasiun Watukosek jam 00.29 - 00.32 UT.



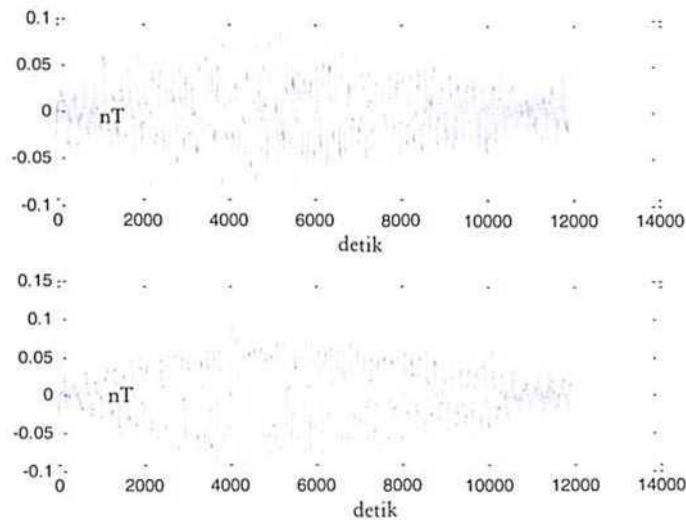
Gambar 4-2: (Lanjutan).

Setelah Pel teridentifikasi, kemudian parameter yang dapat langsung diketahui dari plot spektrum ini adalah durasi. Dari Gambar 4-2 dapat diketahui bahwa durasi Pel pada waktu ini berlangsung selama 4 menit. Parameter yang dapat ditentukan selanjutnya adalah frekuensi dominan. Untuk menghitung frekuensi dominan ini dilakukan dengan cara menjumlahkan intensitas pada masing-masing frekuensi yang muncul dalam paket pulsa tersebut, kemudian frekuensi dengan nilai tertinggi berarti merupakan rentang dominannya seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3. Skala frekuensi yang digunakan untuk kasus ini adalah 0,1 Hz. Sedangkan parameter amplitudo diperoleh dari hasil *bandpass filter* data geomagnet pada rentang perioda dan rentang waktu 1 pulsa Pel teridentifikasi. Hasil *bandpass filter* dapat dilihat pada Gambar 4-4, sehingga diketahui amplitudo paket pulsa Pel ini 0,1 nT baik pada komponen H maupun komponen D.



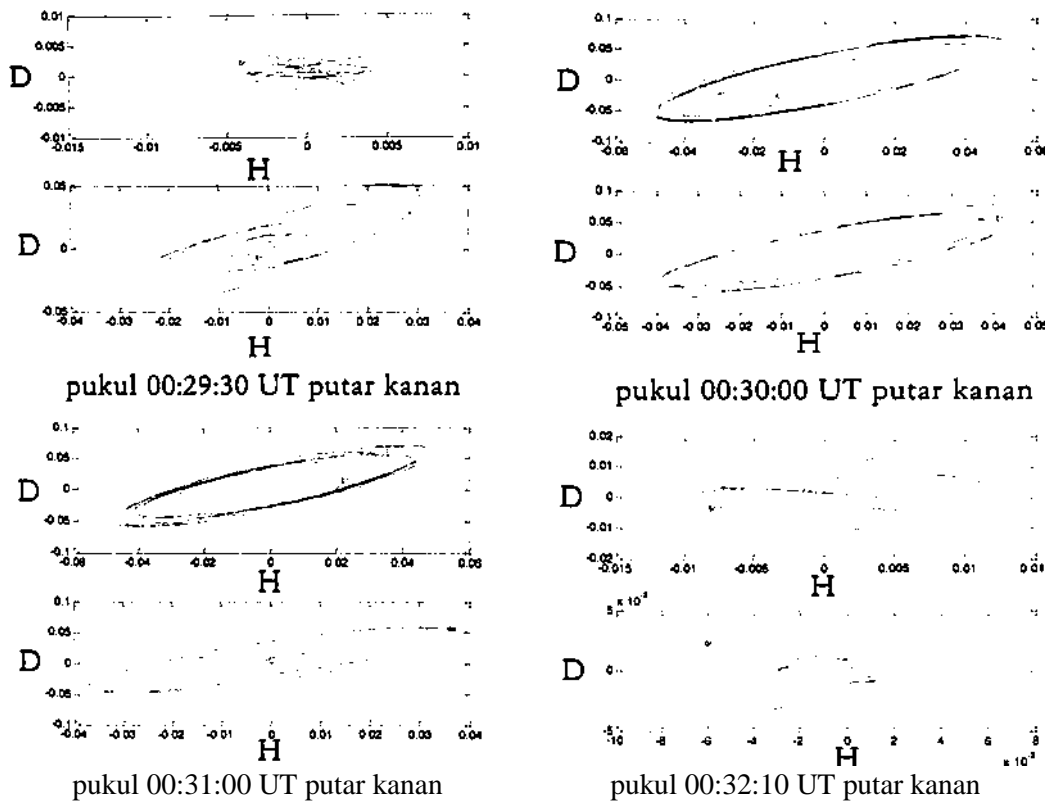


**Gambar 4-3:** Penentuan frekuensi dominan, penjumlahan intensitas pada masing-masing frekuensi yang muncul mengikuti arah panah.



**Gambar 4-4:** Plot *bandpass* filter pada rentang Pel data tanggal

Parameter polarisasi untuk studi kasus ini dapat dilihat pada Gambar 4-5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa Pel yang teridentifikasi pada pukul 00.29-00.32 UT ini memiliki sumber yang sama karena arah polarisasinya seragam, selain itu orientasi sumbu utama polarisasinya juga berada pada arah Timur laut - Barat daya. Resume dari seluruh kejadian Pel yang teridentifikasi pada tanggal 23 Juni 2013 beserta parameternya dapat dilihat pada Tabel 4-1.



Gambar 4-5: Polarisasi Pel 23 Juni 2013 pukul 00.29 - 00.32 UT.

TABEL 4-1: Kejadian Pel teridentifikasi pada tanggal 23 Juni 2013

Tanggal	Waktu (UT)	Durasi	Periode dominan	Amplitudo	Polarisasi	Orientasi polarisasi
23 Juni 2013	00.29 - 00.32	3	2,5 - 3,5	<b>V- 0,1</b>	putar kanan	Timur laut - Barat daya
	03.14 - 03.17	3	2.2 - 2.3	<b>V- 0,i</b>	putar kiri	Timur laut - Barat daya
	09.48 - 09.54	6	3-3,5	<b>V- 0,i</b>	putar kiri	Timur laut - Barat daya
	19.04-19.11	7	2,5 - 3,4	<b>+/- 0.i</b>	putar kiri	Timur laut - Barat daya
	23.19 - 23.26	7	2,5 - 3,7	<b>V- 0,i</b>	putar kiri	Timur laut - Barat daya

## 2. Kesimpulan

Berdasarkan pemaparan diatas disimpulkan bahwa, spektrum dinamis ini merupakan metoda yang cukup baik untuk mengekstrak sinyal dalam rentang frekuensi tertentu dalam hal ini rentang frekuensi Pel dari data yang memiliki rentang frekuensi lebar. Dari spektrum dinamik ini pula beberapa parameter gelombang dapat langsung diketahui, seperti durasi dan frekuensi dominan. Sedangkan amplitudo dan polarisasi Pel diperoleh dengan menganalisis hasil bandpass filter-nya. Amplitudo Pel sangat kecil hanya mencapai 0,1 nT sedangkan polarisasi yang diperoleh dengan membandingkan hasil bandpass filter komponen H dengan komponen D dapat diinterpretasi untuk mengetahui arah pergerakan partikelnya. Dari arah pergerakan partikel kita dapat mengetahui arah medan magnet yang terlibat.

## Daftar Rujukan

- Bortnik, J., J. W. Cutler, C. Dunson, and T. E. Bleier, 2007. An Automatic Wave Detection Algorithm Applied to Pel Pulsations, *Journal of Geophysical Research*, Vol 112, A04204.
- Bortnik, J., J. W. Cutler, C. Dunson, T. E. Bleier, and R. L. Mcpherron, 2008. Characteristics of Low-Latitude Pel Pulsations During Geomagnetic Storms, *Journal of Geophysical Research*, Vol 113, A04201.
- Cornwall, J. M., 1965. Cyclotron Instabilities and Electromagnetic Emission in The Ultra Low Frequency and Very Low Frequency Ranges, *Journal of Geophysical Research*, Vol 70. No.1, 61 - 69.
- Dovbnya, B.V., A. S. Potapov, and R. A. Rakhmatulin, 2010. Earthquake Effects in The Pulsations of Geomagnetic Field, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference "Problems of Geocosmos"* St. Petersburg, Rusia, 20-24 September.
- Hayakawa, M., S. Shimakura, T. Koboyashi, and N. Sato, 1992. A Study of Polarization of Irregular Pulsations of Diminishing Period and Their Generation Mechanism, *Planet. Space Sci.*, 40, Issue 8, 1081-1091.
- Heacock, R. R., dan M. Kivinen, 1972. Relation of Pel Micropulsations to The Ring Current and Geomagnetic Storms, *Journal of Geophysical Research*, Vol 77, No. 34, halaman 6746 -6760.
- Kulesh, M., M. Nose, M. Holschneider, K. Yumoto, 2007. Polarization Analysis of a Pi2 Pulsation Using Continuous Wavelet Transform, *Earth Planet Spaces*, Vol.59 (No.8), pp. 961-970.
- Troitskaya, V. A., 1961. Pulsations of The Earth's Electromagnetic Field With Periods of 10<sup>15</sup> Second and Their Connection With Phenomena in The High Atmosphere, *Journal of Geophysical Research*, Vol 66, No. 1, 5-18.

- Villante, U., M. De Lauretis, C. De Paulis, P. Francia, A. Piancatelli, E. Pietropaolo, M. Vellante, A. Meloni, A. Palangio, K. Schwingenschuh, G. Prattes, W. Magnes, and P. Nenovski, 2010. The 6 April 2009 Earthquake at L<sup>5</sup>Aquila: A Preliminary Analysis of Magnetic Field Measurements, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 203-214.
- Wentworth, R. C., 1964. Enhancement of Hydromagnetic Emissions After Geomagnetic Storms, *Journal of Geophysical Research*, Vol 69, No. 11, 2291 - 2298.