

HUBUNGAN ANTARA MEDAN MAGNET ANTAR PLANET DENGAN FREKUENSI PULSA MAGNET Pc3

Setyanto Cahyo Pranoto

*Pusat Sains Antariksa, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional,
Jl. Dr. Djunjunan No. 133 Bandung, Indonesia, 40173.*

Email : setya_cp@yahoo.com

Abstrak. Interaksi antara angin surya dengan medan magnet bumi membangkitkan berbagai macam sinyal hidromagnet diantaranya pulsa magnet Pc3. Pulsa magnet Pc3 merupakan osilasi gelombang hidromagnet pada frekuensi gelombang *Ultra Low Frequency (ULF)* dengan rentang periode 10 – 45 detik. Pembangkitan pulsa ini diyakini terjadi pada magnetopause dan menyebar sampai magnetosfer dan ionosfer sehingga bisa teramati dengan menggunakan magnetometer landas bumi. Untuk mempelajari respon pulsa magnet Pc3 terhadap kondisi medan magnet antarplanet (Bz) khususnya pada lintang rendah, dalam makalah ini dilakukan analisis hubungan antara medan magnet antar-planet (Bz) terhadap frekuensi pulsa magnet Pc3 dengan menggunakan data hasil observasi magnetometer landas bumi stasiun pengamatan biak yang memiliki resolusi sampling 1 detik, data parameter angin surya oleh satelit *ACE (Advanced Composition Explorer)* dan data *Dst (Disturbance Store Time)* yang merupakan sebuah indeks global perubahan medan magnet bumi. *Butterworth filter* dan *Fast Fourier Transform* digunakan untuk mengekstraksi pulsa magnet Pc3 dari data variasi medan magnet bumi.

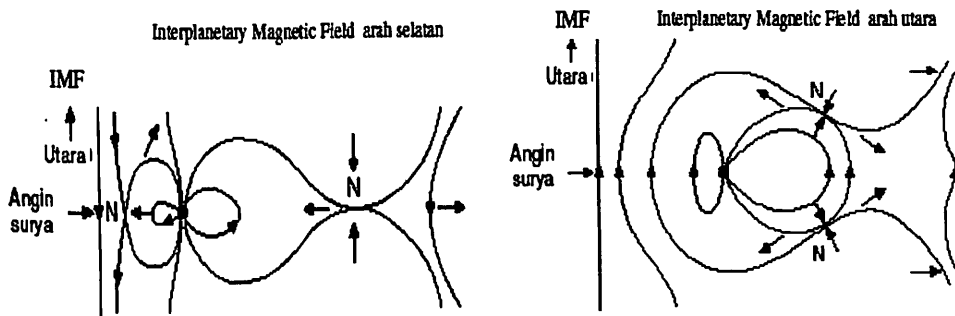
Kata kunci: pulsa magnet Pc3, ULF, angin surya

Abstract. The interaction between solar wind and geomagnetic field generate various hydromagnetic signals such as magnetic pulse Pc3 (pulse continuous). Pc3 is a oscillation of hidromagnetic wave at Ultra Low Frequency (ULF) with a period of 10-45 seconds. Generation of pulse magnetic is believed occur at the magnetopause and spread through the magnetosphere and ionosphere that can be observed using ground-based magnetometer. To study the magnetic pulse Pc3 response to the condition of interplanetary magnetic field (Bz), especially at low latitudes, in this paper we analyzed the relationship between interplanetary magnetic field (Bz) with the frequency of magnetic pulse Pc3 using the observational data from ground-based magnetometer at Biak observatory which have a resolution of one second, the data of solar wind parameters by satellite ACE (Advanced Composition Explorer) and Dst (Disturbance Store Time) which is a global index of geomagnetic field. Butterworth filter and Fast Fourier Transform are used to extract the magnetic pulse Pc3 from geomagnetic field variation data.

Key word: magnetic pulse Pc3, ULF, solar wind

1. Pendahuluan

Magnetosfer adalah suatu lapisan di sekitar bumi yang mengandung medan magnet yang terproyeksi dalam 3 komponen yaitu komponen H (utara-selatan), D (timur-barat) dan Z (arah vertikal). Perilaku dari variasi medan magnet bumi sangat dominan dipengaruhi oleh aktivitas di permukaan matahari seperti CME (*Coronal Mass Ejection*), *Flare* dan lubang korona. CME dan flare memiliki partikel-partikel berkecepatan tinggi dan kerapatan rendah, sedangkan lubang korona memiliki partikel-partikel berkecepatan lebih rendah dan kerapatan lebih tinggi. Kedua sifat tersebut sangat mempengaruhi perubahan dari orientasi medan magnet antar-planet. Badai geomagnet terjadi ketika orientasi medan magnet antar-planet menuju selatan dalam jangka waktu yang lama. Selama berlangsungnya badai magnet, terjadi transfer energi menuju magnetosfer yang mengakibatkan terjadinya pertumbuhan arus cincin, yang ditandai dengan terjadinya peningkatan aktivitas medan magnet. Ketika orientasi medan magnet kembali ke arah utara maka terjadi pengurangan transfer energi yang menuju magnetosfer disertai penurunan arus cincin menuju kondisi tenang. Skema rekoneksi garis medan magnet bumi dan medan magnet ruang antar-planet ditunjukkan pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1. Skema rekoneksi garis medan magnet bumi dan medan magnet ruang antar planet. (Dungey, 1963, <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/ssc/tutorial/mp06.gif>)

Manifestasi interaksi antara angin surya dan magnetosfer bumi secara umum dapat diamati melalui pemunculan pulsa magnet. Pulsa magnet yang terekam dengan menggunakan magnetometer landas bumi (*ground-based magnetometer*) merupakan indikasi bahwa sinyal di magnetosfer bumi dapat diamati dari permukaan bumi. Pulsa magnet merupakan osilasi gelombang hidromagnet pada rentang frekuensi gelombang ULF (1 mHz to 1 Hz) di lingkungan magnetosfer bumi. Berdasarkan bentuk gelombang dan periodenya, gelombang ULF diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu pulsa kontinyu (Pc) yang bersifat kuasi-sinusoidal dan pulsa iregular (Pi) yang memiliki bentuk gelombang tidak teratur yang kemudian terbagi lagi dalam rentang-rentang periode tertentu (Jacobs et al., 1964).

Tabel 1-1.
Klasifikasi pulsa magnet Jacobs et al. (1964).

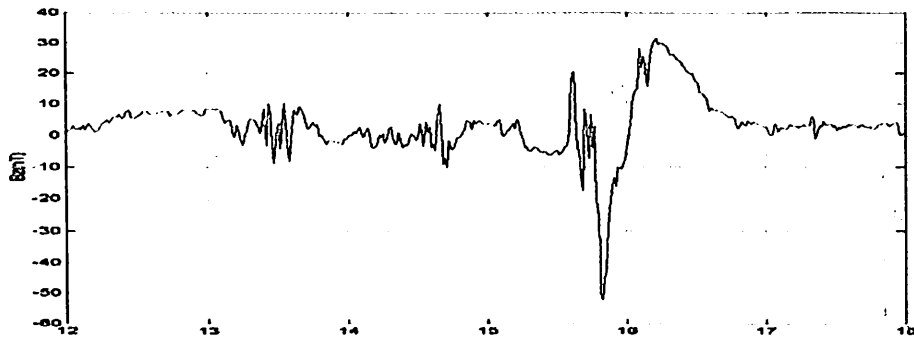
Pulsa Magnet							
Kelas	Kontinyu					Iregular	
Jenis	Pc1	Pc2	Pc3	Pc4	Pc5	Pi1	Pi2
T (detik)	0,2-5	5-10	10-45	45-150	150-600	1-40	40-150
Frekuensi	0,2-5 Hz	0,1-0,2 Hz	22-100 mHz	7-22 mHz	2-7 mHz	0,025 – 1 Hz	2-25 mHz

Melalui variasi spasial dan temporal yang teramati dari kejadian pulsa magnet Pc3 memberikan bukti sangat penting yang dapat dihubungkan dengan mekanisme pembangkitan gelombang baik di bagian dalam maupun luar magnetosfer (Vallee et al., 2007). Dalam makalah ini dilakukan analisis hubungan antara medan magnet antar-planet (Bz) dengan frekuensi pulsa magnet Pc3 yang terjadi selama tahun 2000 dengan menggunakan data magnetometer di Balai Penjejukan dan Kendali Wahana Antariksa (BPKWA) Biak, indek Dst dan *Advanced Composition Explorer* (ACE).

2. Data dan Metode

Dalam penelitian ini digunakan data hasil rekaman magnetometer di BPKWA Biak selama tahun 2000 yang terletak pada koordinat geomagnet (-1.08° S – 136.05° E atau $L=1.05$). Magnetometer ini melakukan pengukuran terhadap tiga komponen variasi medan magnet bumi; H (arah utara-selatan), D (arah timur-barat), Z (arah vertikal) dengan resolusi satu detik. Selain data magnetometer digunakan pula data indek *Disturbance Store Time* (Dst) yang merupakan ukuran intensitas medan magnet bumi secara global dengan resolusi satu jam dan medan magnet antar-planet (Bz) dari satelite ACE pada rentang waktu yang sama.

Untuk analisis dalam hubungannya dengan medan magnet antar-planet (Bz) kami hanya menggunakan variasi medan magnet bumi komponen H dikarenakan gangguan angin surya terhadap medan magnet bumi bersifat dominan pada komponen H. Untuk ekstraksi pulsa magnet Pc3 dari data variasi medan magnet dilakukan dengan menerapkan teknik *Butterworth filter*, serta *Fast Fourier Transform* untuk menghitung power spektrum dari sinyal ULF (Musafar, 2009).

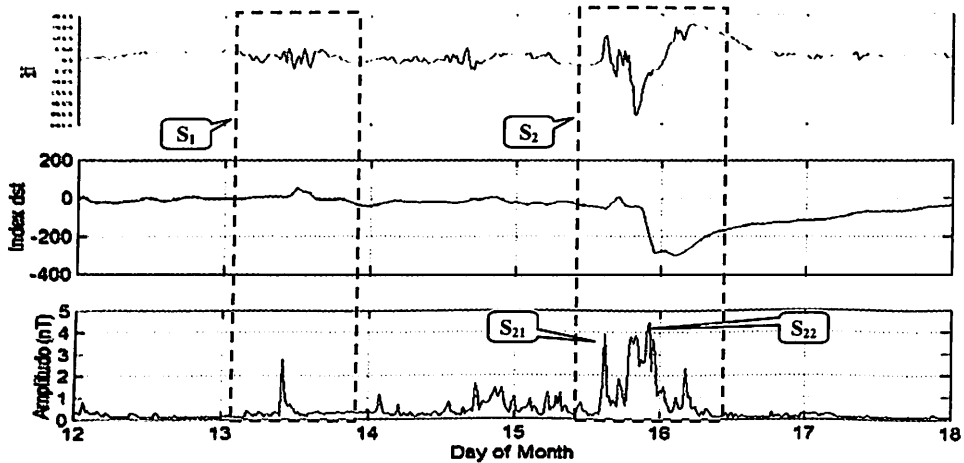


Gambar 2-1. Plot Medan magnet antar-planet (Bz) 12 - 18 Juli 2000

3. Hasil dan Pembahasan

Perilaku medan magnet bumi sangat bergantung pada interaksinya dengan medan magnet antar-planet (Bz). Ketika medan magnet antar-planet memiliki orientasi arah selatan maka probabilitas terjadinya rekoneksi medan magnet menjadi besar. Contoh dari hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-1. Pada rentang waktu 12 – 18 Juli 2000 dilakukan plot terhadap data Bz, data indeks Dst dan pulsa magnet Pc3 di BPKWA Biak. Sumbu horizontal menyatakan hari sedangkan sumbu vertikal menyatakan besarnya amplitudo.

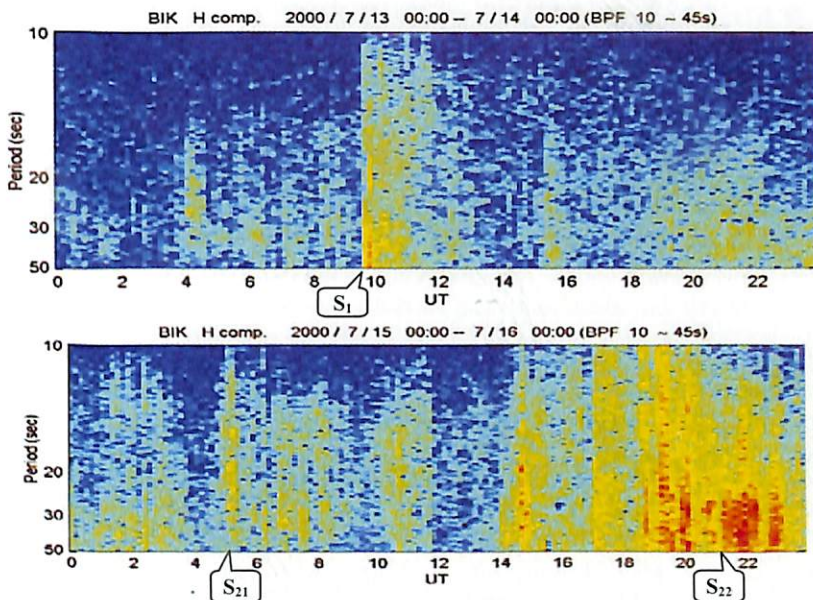
Selama berlangsungnya badai magnet, komponen Bz medan magnet antar-planet sebagian besar berada pada arah selatan. Selain itu, selama rentang waktu fase pertumbuhan badai magnet komponen Bz medan magnet antar-planet memiliki nilai negatif. Ini berarti rentang waktu dimana medan magnet arah selatan berpotensi menghasilkan rekoneksi medan magnet yang cukup lama sehingga memicu terjadinya badai magnet. Kondisi medan magnet antar-planet yang memiliki orientasi arah selatan ini terus berlangsung sampai melewati fase pemulihannya.



Gambar 3-1. Plot data Juli tahun 2000 (a) Plot medan magnet antar planet - Bz, (b) Plot indeks Dst, (c) Plot pulsa magnet Pc3 biak. Sumbu horizontal menyatakan hari dalam bulan sedangkan sumbu vertikal menyatakan besarnya amplitudo.

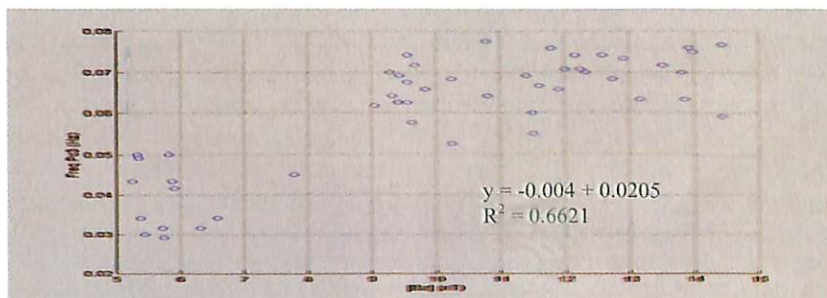
Pada Gambar 3-1, terlihat jelas hubungan antara kenaikan amplitudo pulsa magnet Pc3 dengan kondisi medan magnet antar-planet pada saat terjadi *shock* dan pada saat terjadi badai magnet. Pada saat terjadi *shock* pada tanggal 13 Juli 2000, label S_1 , terjadi peningkatan amplitudo pulsa magnet Pc3 sebesar 2.5 nT. Sedangkan pada saat terjadi badai magnet pada tanggal 15 Juli 2000, label S_2 , terjadi penurunan amplitudo Bz yang sangat signifikan ~ 31 nT sampai ~ -52 nT yang terjadi pada rentang waktu 14:40 – 19:40 UT. Pada kondisi tersebut teramati pada indeks Dst terjadi badai magnet skala kuat (-301 nT) dengan fase utama badai ini terjadi pada rentang waktu 15 Juli 2000 pukul 18 UT sampai 16 Juli 2000 pukul 00 UT. Pada saat bersamaan teramati amplitudo pulsa magnet Pc3 di BPKWA Biak menunjukkan adanya anomali dengan peningkatan sebesar 4.5 nT.

Spektrogram pada Gambar 3-2, memperlihatkan dengan jelas korespondensi antara frekuensi pulsa magnet Pc3 dengan medan magnet antar-planet pada saat terjadi *shock* tanggal 13 Juli 2000 dan badai magnet tanggal 15 Juli 2000. Spektrogram pada Gambar 3-2, (panel atas) memperlihatkan terjadinya peningkatan aktivitas pulsa magnet Pc3 pada rentang frekuensi (0.02 – 0.04 Hz) sekitar pukul 09:40UT - 10:00UT. Sementara itu pada saat badai magnet, Gambar 3-2, (panel bawah) terjadi dua kali peningkatan aktifitas pulsa magnet Pc3; pertama terkait dengan *sudden commencement* (label S_{21}), dan kedua terkait badai magnet (label S_{22}). Pada saat terjadi *sudden commencement* sekitar pukul 14:40UT frekuensi dominan pulsa magnet Pc3 berada pada rentang (0.02-0.05Hz) sedangkan pada saat fase pertumbuhan badai magnet frekuensi dominan dari pulsa magnet Pc3 berada pada rentang (0.02-0.08Hz).



Gambar 3-2. Spektrogram pulsa magnet Pc3 stasiun Biak; (panel atas) 13 Juli 2000 dan (panel bawah) 15 Juli 2000. Sumbu horizontal menunjukkan waktu dalam universal time-UT dan sumbu vertikal menunjukkan rentang peroda pulsa magnet Pc3.

Untuk analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara medan magnet antar-planet terhadap frekuensi pulsa magnet Pc3 maka dilakukan seleksi paket-paket pulsa Pc3 dan estimasi frekuensi dominan dari power spektrum pulsa magnet Pc3 pada saat kondisi medan magnet antar-planet (-Bz) arah selatan selama tahun 2000. Korelasi antara frekuensi pulsa magnet Pc3 dengan medan magnet antar-planet (Bz) ditunjukkan pada Gambar 3-3. Terlihat bahwa berdasarkan analisis regresi linier diperoleh persamaan korelasi $f(\text{Hz}) = -0.004 Bz (\text{nT}) + 0.0205$ dengan nilai korelasi sebesar 81.37%.



Gambar 3-3. Korelasi antara frekuensi pulsa magnet Pc3 dengan medan magnet antar-planet (Bz). Sumbu horizontal menyatakan medan magnet antar-planet (Bz) dan Sumbu vertikal menyatakan frekuensi pulsa magnet Pc3.

4. Kesimpulan

Telah dilakukan analisis terhadap frekuensi pulsa magnet Pc3 terkait dengan kondisi medan magnet antar-planet (Bz) pada rentang tahun 2000. Dari hasil seleksi paket-paket pulsa Pc3 dan estimasi frekuensi dominan dari power spektrum pulsa magnet Pc3 pada saat kondisi medan magnet antar-planet (-Bz) arah selatan didapat persamaan korelasi $f(\text{Hz}) = -0.004 Bz (\text{nT}) + 0.0205$ dengan nilai korelasi sebesar 81.37%. Hal ini membuktikan juga bahwa interaksi antara angin surya dan magnetosfer bumi secara umum dapat diamati melalui pemunculan pulsa magnet Pc3.

Daftar Rujukan

- Hourly Equatorial DST Value, WDC For Geomagnetism, Kyoto.2000. (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/2000/index.html).
- Jacobs, J. A., Y. Kato, S. Matsushita, and V. A. Troitskaya. 1964, *Classification of geomagnetic micropulsations*, J. Geophys. Res., **69**, 180.
- Marc A. Vallee, Larry Newitt, Ian R. Mann, Mouhammed Moussaoui, Regis Dumont, Pierre Keating, 2007, *The Spatial and Temporal Characteristic of Pc3 Geomagnetic*, Pure appl. Geophys., **164**, 161.
- Musafar, L. M. 2009. *Pc3 Magnetic Pulsations Recorded By Ground-Based Magnetometer At Biak*. Prosiding Seminar Nasional, Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA. Yogyakarta, 16 Mei 2009: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- R. A. Marshall., F. W. Menk, 1999, *Observation of Pc3-4 and Pi2 Geomagnetic Pulsations in The Low-Latitude Ionosphere*, Ann Geophysicae., **17**,1397.
- Singh, B., Dubey, S.C., Tiwari, D.P., Tripathi, A.K., 2005, *The Study of Large Geomagnetic Storms Observed During Of Period 1986 – 2002*, 29th International Cosmic Ray Conference Pune., **2**, 229