

**METODA PENGOLAHAN DATA PULSA MAGNETPc5 TERKAIT
PERTUBASI ANGIN SURYA DI LINTANG RENDAH
(DATA PROCESSING METHOD OF Pc5 MAGNETIC PULSATION
RELATED TO SOLAR WIND PERTUBATION AT LOW LATITUDE)**

Setyanto Cahyo Pranoto^{1,2}, Alamta Singarimbun² dan Wahyu Srigutomo²

¹Pusat Sains Antariksa,
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
²Fisika Bumi dan Sistem Komplek,
Institut Teknologi Bandung.
e-mail: setyanto.cahyo@lapan.go.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima:
13 Desember 2017
Direvisi:
26 Juni 2018
Disetujui:
28 September 2018
Diterbitkan:
19 Nopember 2018

Kata kunci:

pulsa magnet,
pertubasi angin
surya,
magnetometer.

Manifestasi lain dari interaksi plasma angin surya dengan magnetosfer bumi adalah tereksitasinya gelombang plasma frekuensi rendah *ultra low frequency* (ULF) dikenal sebagai pulsa magnet. Observasi pulsa magnet Pc5 dengan rentang periode 150-600 detik akibat pertubasi angin surya di lintang rendah saat ini tidak banyak dieksplorasi. Dalam makalah ini dibahas secara singkat metode pengolahan data dan analisis pulsa magnet Pc5 di lintang rendah dari data pengamatan magnetometer stasiun; Pontianak (PTN), Parepare (PRP) dan Jayapura (JYP) yang berlokasi di sekitar ekuator. Pengolahan data dilakukan untuk kondisi medan magnet saat hari terganggu dan hari tenang. Hasil yang diperoleh menunjukkan amplitudo komponen H pada siang hari lebih tinggi dari malam hari serta adanya peningkatan amplitudo terkait dengan pertubasi angin surya.

ABSTRACT

Keywords:

magnetic pulse,
solar wind
perturbations,
magnetometer.

Manifestation of interaction of solar wind plasma and Earth's magnetosphere is the excitation of low frequency plasma (ULF) wave known as magnetic pulsations. Observation of Pc5 magnetic pulsations with periods ranging from 150-600 seconds due to solar wind perturbations at low latitudes currently not widely explored. This paper will briefly discuss the data processing methods and analysis of Pc5 magnetic pulsation at low latitudes from observation stations; Pontianak (PTN), Parepare (PRP) and Jayapura (JYP) located around the equator. Data processing is carried out on magnetic field conditions during disturbed days and quiet days. The results show that the amplitude of H component during daytime is higher than nighttime and there is an amplitude increment related with solar wind perturbation.

1. PENDAHULUAN

Fluktuasi angin surya dapat mengeksitasi gelombang hidromagnetik pada berbagai rentang frekuensi *ultra-low frequency* (ULF). Pulsa magnet atau dikenal pula sebagai pulsa ULF merupakan gelombang elektromagnet yang dibangkitkan melalui interaksi magnetosfer dengan angin surya yang berfluktuasi. Pulsa magnet memiliki rentang frekuensi antara 1 mHz sampai 1 Hz. Pulsa magnet yang terekam di permukaan bumi mengindikasikan integrasi beberapa sinyal yang terdapat di magnetosfer dalam bentuk *broadband* frekuensi (Feygin *et al.*, 2009).

Pengamatan medan magnet bumi memiliki peran yang sangat penting dalam memahami mekanisme maupun proses-proses elektromagnet disekitar lingkungan Bumi. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait hal ini menunjukkan variasi medan magnet bumi sebagai akibat efek dinamo di atmosfer atas diantaranya; pengamatan terhadap variasi harian pada komponen medan magnet (Graham, 2010), variasi medan magnet yang teramati dipermukaan dalam bentuk pulsa magnet (McPherron, 2005).

Penyelidikan pulsa magnet telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Ansari mengemukakan pengaruh kecepatan angin surya dalam mengontrol pulsa magnet Pc3 (Ansari, 2006) dan karakteristik pulsa magnet Pc3 di lintang rendah (Cardinal, 2009; villante, 1992) sedangkan pengamatan pulsa magnet Pc5 di lintang menengah dan tinggi (Chisham *et al.*, 1997; Cafarella *et al.*, 2007; Yagova, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa studi terkait pulsa magnet Pc5 dengan pertubasi angin surya di lintang rendah masih kurang mendapat perhatian.

Dalam makalah ini dipaparkan metode pengolahan data pulsa magnet Pc5 dengan rentang periode antara 150-600 detik terkait pertubasi angin surya di lintang rendah. Output dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk membantu penelitian lebih lanjut mengenai pulsa magnet Pc5 khususnya di lintang rendah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 ANGIN SURYA

Sebagai pusat dari sistem tata surya, Matahari merupakan sumber energi bagi proses-proses fisis yang terjadi di magnetosfer bumi. Matahari secara terus menerus mentransmisikan energi dalam bentuk radiasi elektromagnet maupun aliran plasma menuju ruang antarplanet. Adanya perbedaan di permukaan Matahari mengakibatkan terjadinya aliran plasma yang stabil dengan kerapatan rendah dikenal sebagai angin surya (*solar wind*). Aliran angin surya menuju ruang antarplanet disertai dengan membawa medan *interplanetary magnetic field* (IMF).

Terdapat beberapa fenomena yang terjadi di Matahari diantaranya; *coronal mass ejection* (CME), *solar flare*, *sunspot* dan *coronal hole*. Pelepasan partikel-partikel dari korona matahari akibat aktivitas pertumbuhan medan magnet matahari, dikenal sebagai CME. CME yang disertai dengan fenomena *solar flare* akan menghasilkan radiasi elektromagnet yang sampai di Bumi dalam rentang beberapa menit. Aktifitas yang terjadi di Matahari tersebut akan mengakibatkan peningkatan variasi dari angin surya seperti kecepatan dan tekanan dinamik yang pada akhirnya akan mempengaruhi besarnya penetrasi energi menuju ke lapisan magnetosfer bahkan ionosfer bumi. Transmisi energi angin surya menuju magnetosfer bumi juga dipengaruhi oleh orientasi dari medan IMF (Dungey, 1961). Besarnya energi (ϵ) yang ditransmisikan diberikan oleh persamaan berikut (Akasofu, 1981).

$$\epsilon = V_{sw} B^2 F(\theta) I_o^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan V_{sw} kecepatan angin surya (km/s), B medan magnet bumi (nT), $F(\theta)$ fungsi sudut dengan θ (B_y/B_z), I_o radius bumi (km).

2.2 PULSA MAGNET

Pulsa magnet merupakan osilasi gelombang hidromagnetik pada rentang frekuensi gelombang ULF (1 mHz - 1 Hz) di lingkungan magnetosfer bumi. Berdasarkan komite *International Association of Geomagnetism and Aeronomy*

(IAGA), pulsa magnet diklasifikasikan berdasarkan bentuk gelombang dan periodenya menjadi dua jenis yaitu pulsa kontinu (Pc) yang bersifat kuasi-sinusoidal dan pulsa *irregular* (Pi) yang memiliki bentuk gelombang tidak teratur (Jacobs *et al.*, 1964). Klasifikasi pulsa magnet ditunjukkan pada Tabel 2-1.

Terdapat dua mekanisme masuknya energi ke dalam magnetosfer yang berperan dalam pembangkitan gelombang ULF, yaitu: (1) mekanisme kopling energi ULF dari gelombang permukaan (*surface wave*) di magnetopause dengan magnetosfer melalui resonansi garis medan atau dikenal sebagai *Kelvin-Helmholtz Instabilities* (KHI) (Engebretson *dkk.*, 1991), (2) mekanisme lainnya berupa, masuknya energi yang terjadi melalui transmisi langsung gelombang *upstream*, dimana partikel mengalami akselerasi oleh *bow shock* pada daerah subsolar menuju magnetosfer (Russell *et al.*, 1983).

Tabel 2-1. Klasifikasi pulsa magnet (Jacobs, J. A. *dkk.*, 1964).

Magnetic Pulsations	Name	Periode (s)	Frequency (Hz)
Continuous pulsations (Pc)	Pc1	0.2-5	0.2-5
	Pc2	5-10	0.1-0.2
	Pc3	10-45	0.022-0.100
	Pc4	45-150	0.007-0.022
	Pc5	150-600	0.002-0.007
Irregular pulsa (Pi)	Pi1	1-40	0.025-1
	Pi2	40-150	0.007-0.025

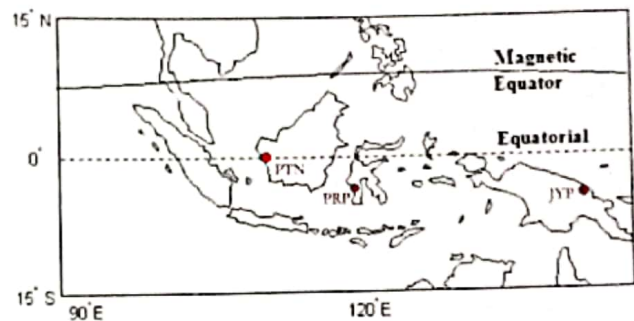
3. DATA DAN METODE

Monitoring terhadap aktivitas medan magnet bumi dilakukan dengan menggunakan magnetometer landas bumi. Fluxgate magnetometer mengukur 3 komponen medan magnet yaitu komponen H, D dan Z yang masing-masing merepresentasikan variasi pada arah Utara-Selatan, Timur-Barat dan vertikal.

Dalam penelitian ini digunakan data magnetometer stasiun pengamatan Pontianak (PTN), Parepare (PRP) dan Jayapura (JYP) dengan resolusi sampling 1 detik. Pemisahan *noise* dilakukan dalam proses awal untuk memisahkan anomali yang berasal dari faktor lingkungan dan *instrument drift* (Pranoto, 2016). Selanjutnya dilakukan ekstrak terhadap *raw data* dengan menerapkan *bandpass-filter* untuk

mendapatkan pulsa magnet dengan rentang frekuensi seperti pada Tabel 2-1.

Metode FFT (*Fast Fourier Transform*) digunakan untuk mengidentifikasi maupun menganalisis fenomena gelombang seperti halnya pulsa magnet (Pranoto, 2011; Bortnik *et al.*, 2007). Metode lain yang digunakan untuk mengidentifikasi kemunculan pulsa magnet yaitu transformasi wavelet (Ngu, 2008). Kesamaan dari kedua metode ini yaitu dapat melokalisir frekuensi dominan pada gelombang pulsa magnet.



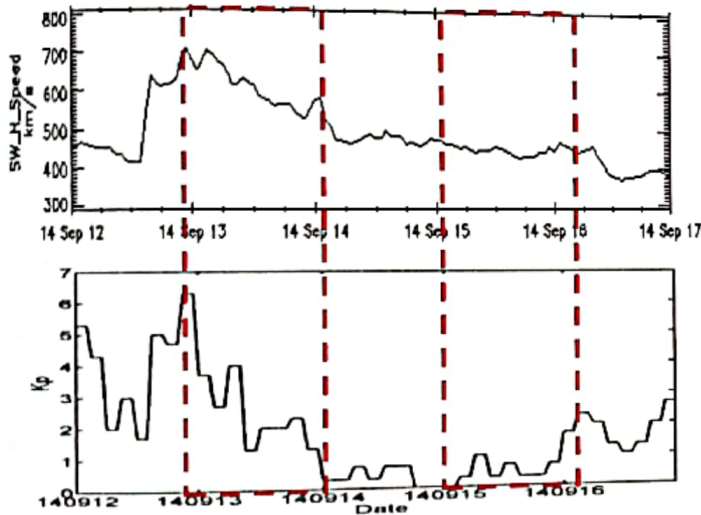
Gambar 3-1. Lokasi stasiun pengamatan PTN, PRP, JYP.

Gangguan angin surya terhadap medan magnet bumi bersifat dominan pada komponen horizontal sedangkan gangguan pada komponen vertikal sangat dipengaruhi aktivitas geologi maupun seismik di sekitar lokasi pengamatan (Rastogi, 1976). Oleh karena itu, analisis yang dilakukan hanya diterapkan pada komponen horizontal. Untuk mempelajari variabilitas medan magnet bumi terkait dengan pertubasi angin surya dibagi menjadi dua kondisi medan magnet yaitu kondisi hari tenang (*quite day*) dan kondisi hari terganggu (*disturbed day*). Penentuan kedua kondisi tersebut dilakukan berdasarkan indeks Kp yang merupakan indeks aktivitas medan magnet bumi (Bartels *et al.*, 1939). Data indeks Kp yang digunakan merujuk pada WDC, Kyoto (*World Data Center*), dengan data angin surya adalah hasil pengamatan satelit ACE (*Advanced Composition Explorer*).

Tabel 3-1. Tingkat aktivitas geomagnet berdasarkan Indeks Kp.

Indeks Kp	Aktivitas Geomagnet
<2	Kondisi geomagnet tenang
2-4	Gangguan geomagnet rata-rata
4-6	Kondisi geomagnet terganggu
>7	Kondisi geomagnet sangat terganggu

Kondisi parameter angin surya dapat memicu kemunculan pulsa magnet. Gambar 3-2 menunjukkan kecepatan angin surya terhadap kondisi medan magnet bumi pada tanggal 12-16 september 2014. Pada penelitian ini dipilih kondisi hari terganggu ($Kp > 2$) pada tanggal 13 September 2014 sedangkan untuk kondisi hari tenang ($Kp < 2$) pada tanggal 15 September 2014.

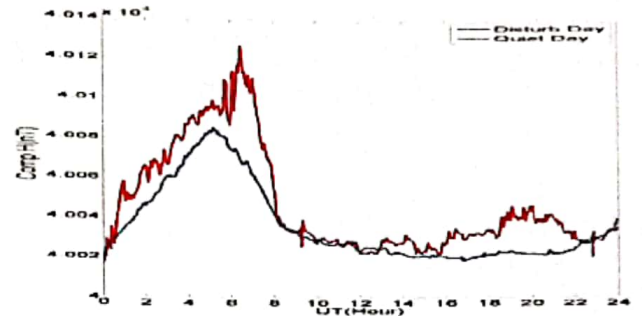


Gambar 3-2. Kecepatan anggi surya (atas) dan indeks Kp (bawah) tanggal 12 - 16 september 2014.

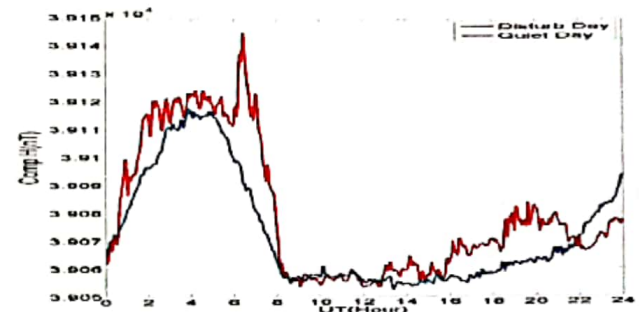
4. PEMBAHASAN

Gambar 4-1 menunjukkan kondisi variasi medan magnet bumi komponen H saat hari terganggu (13 September 2014) dan hari tenang (15 September 2014) untuk stasiun pengamatan PTN, PRP dan JYP. Variasi medan magnet pada kedua kondisi tersebut memperlihatkan amplitudo yang lebih tinggi selama siang hari (20 - 06 UT) jika dibandingkan malam hari yang relatif lebih konstan (08 - 20 UT). Hal ini sesuai dengan hasil studi beberapa peneliti sebelumnya yang menjelaskan bahwa amplitudo medan manget bumi terlihat relatif konstan pada malam hari karena tidak adanya radiasi matahari (Agbo, 2010; James, 2008). Sementara itu variasi

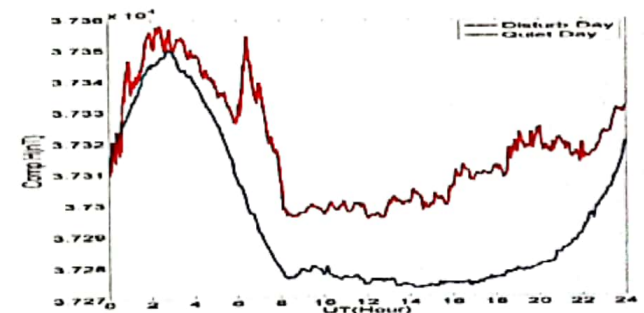
diurnal komponen H pada hari tenang terkait dengan sistem arus yang mengalir di lapisan E ionosfer (Rastogi, 1976). Secara umum variasi medan magnet bumi di lintang rendah maupun equator menunjukkan pola peningkatan di waktu siang dan penurunan di waktu malam.



(a)



(b)

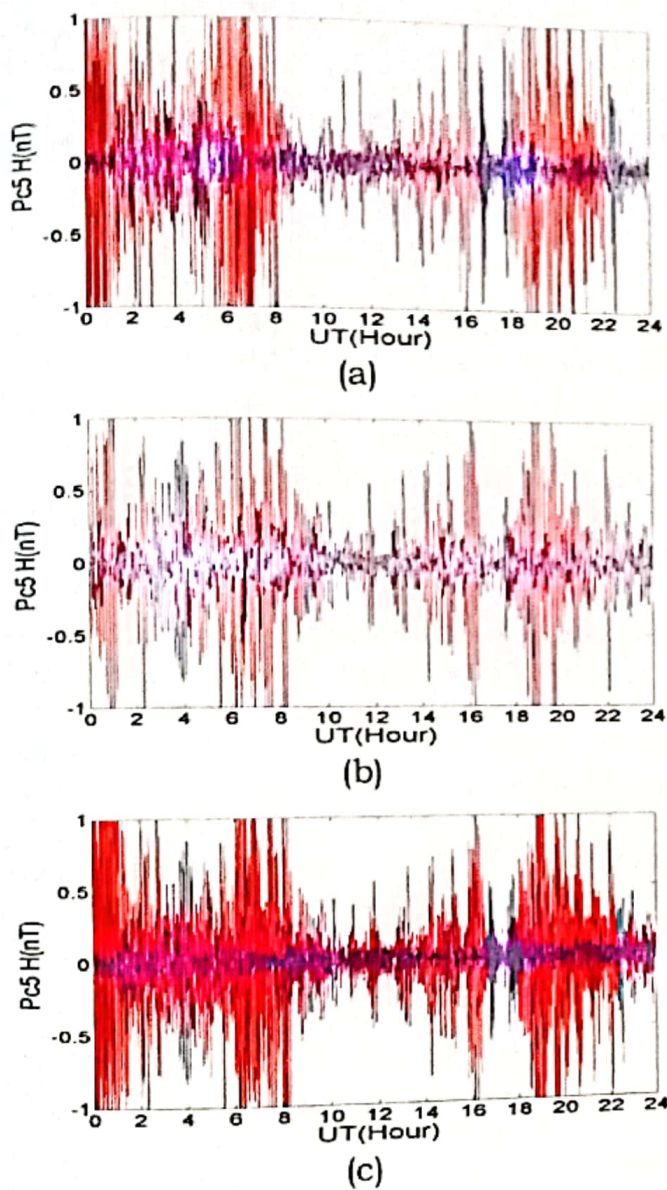


(c)

Gambar 4-1. Variasi medan magnet bumi komponen X pada stasiun (a) PTN, (b) PRP dan (c) JYP.

Dari Gambar 4-1 terlihat bahwa amplitudo variasi medan magnet bumi mengalami peningkatan yang sangat signifikan saat hari terganggu. Hal ini mengimplikasikan adanya transmisi energi angin surya menuju magnetosfer bumi (Akasofu, 1981). Transfer energi terjadi selama proses rekoneksi (*merging*) garis medan IMF dengan garis medan magnet bumi di sekitar daerah lintang rendah ketika kedua medan magnet tersebut memiliki polaritas berlawanan (Dungey, 1961).

Besarnya energi yang ditransmisikan juga di pengaruhi oleh lokasi stasiun pengamatan, ini terlihat dari rata-rata amplitudo komponen H stasiun PTN yang lebih besar jika dibandingkan dengan PRP dan JYP baik pada saat kondisi hari terganggu maupun hari tenang.

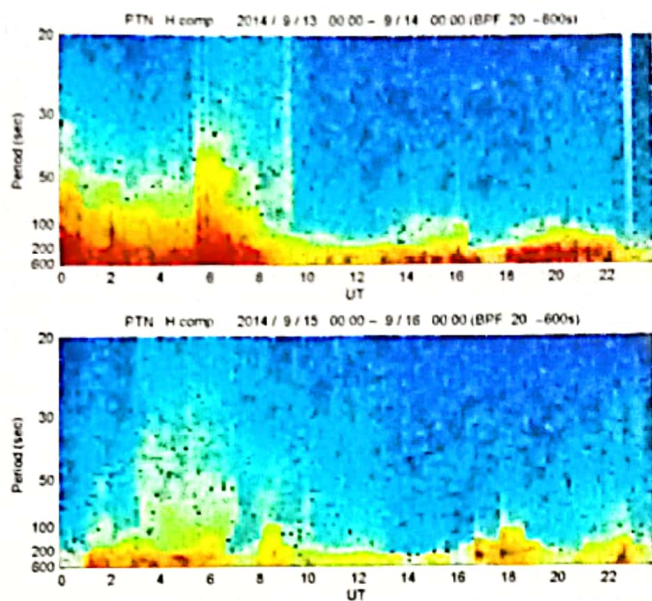


Gambar 4-2. Pulsa magnet Pc5 komponen X saat kondisi hari tenang (biru) dan hari terganggu (merah) pada stasiun (a) PTN, (b) PRP dan (c) JYP.

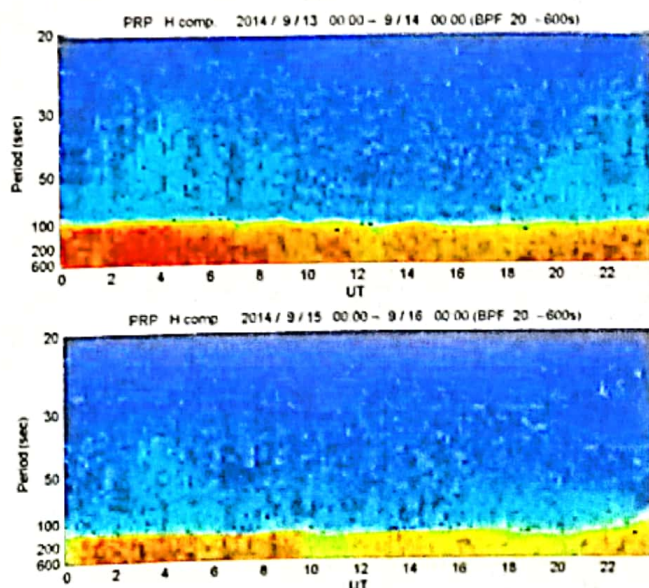
Gambar 4-2 memperlihatkan pulsa magnet Pc5 pada saat hari terganggu dan hari tenang di stasiun pengamatan PTN, PRP, JYP. Teramati bahwa pulsa magnet Pc5 saat hari terganggu mengalami fluktuasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hari tenang. Fluktuasi ini terjadi akibat injeksi plasma angin surya ke dalam magnetosfer dan ionosfer.

Variasi ULF bersifat *broadband* atau kuasi-sinusoidal dan gelombang ini dapat

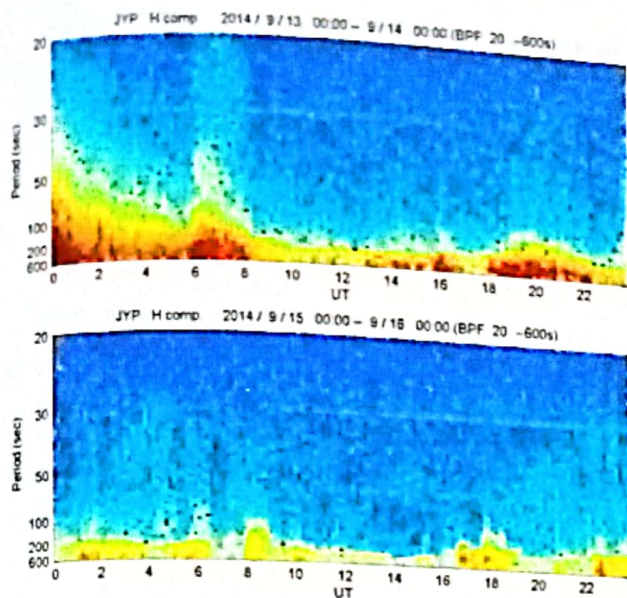
terekstasi sebagai akibat adanya gangguan baik eksternal dari pengaruh angin surya maupun internal dari ketidakstabilan plasma. Pulsa magnet Pc5 lebih didominasi oleh interaksi angin surya dengan magnetopause melalui KHI. Hasegawa mengemukakan bahwa ketidakstabilan KHI dapat mengeksitasi gelombang ULF di magnetosfer melalui kopling yang terjadi antara mode gelombang permukaan dengan resonansi garis medan bumi FLR (*Field Line Resonance*) (Hasegawa dkk., 2004).



Gambar 4-3. Spektrum pulsa magnet; (atas) hari terganggu, (bawah) hari tenang di stasiun PTN.



Gambar 4-4. Spektrum pulsa magnet; (atas) hari terganggu, (bawah) hari tenang di stasiun PRP.



Gambar 4-5. Spektrum pulsa magnet; (atas) hari terganggu, (bawah) hari tenang di stasiun JYP.

Spektrum data gelombang ULF di lintang rendah saat hari terganggu dan hari tenang ditunjukkan pada Gambar 4-3 sampai Gambar 4-5. Power spektrum diterapkan pada pengolahan data untuk melihat frekuensi dominan dari gelombang ULF. Dari hasil pengamatan pada ketiga stasiun teramati bahwa frekuensi dominan pada hari terganggu berada pada rentang 50-600s (1.6-20mHz), sementara hari tenang berada pada rentang 400-600s (1.6-2.5mHz). Frekuensi tersebut berada pada domain pulsa magnet Pc5. Hal ini menunjukkan bahwa pulsa magnet Pc5 memiliki korelasi yang baik terhadap parameter angin surya.

Terdapat berbagai disturbansi magnetik yang dapat menghasilkan *power* pada frekuensi ULF. Variasi medan magnet magnetosfer lainnya terkait dengan frekuensi gelombang ULF berhubungan dengan perubahan gerak konvektif skala besar magnetosfer sebagai akibat dari rekoneksi magnetosferik global dan aliran angin surya di sekeliling magnetopause. Ini mengimplikasikan bahwa gelombang ULF yang teramati di permukaan bumi maupun magnetosfer memiliki kontribusi dari berbagai sumber. Namun untuk dapat melakukan analisis lebih lanjut dibutuhkan data yang mewakili semua lintang dari lintang rendah sampai lintang tinggi.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan pengolahan data medan magnet bumi di lintang rendah

sekitar ekuator pada stasiun pengamatan Pontianak (PTN), Parepare (PRP) dan Jayapura (JYP). Pengolahan data dilakukan berdasarkan kondisi hari terganggu dan hari tenang. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa selama hari terganggu pulsa magnet Pc5 teramati pada rentang periode 50-600s (1.6-20mHz), sedangkan untuk hari tenang pada rentang periode 400-600s (1.6-2.5mHz). Hal ini menunjukkan bahwa pulsa magnet Pc5 memiliki korelasi yang baik terhadap parameter angin surya. Metode ini juga dapat digunakan untuk melakukan penelitian terhadap hubungan angin surya dan dinamika di magnetosfer meskipun diperlukan analisis lebih lanjut serta data pengamatan yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains Antariksa-Lapan atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bartels, J., N.H. Heck and H.F. Johnston. (1939). The three-hour-range index measuring geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 44, 411.
- Bortnik, J., J. W. Cutler., C. Dunson., and T. E. Bleier. (2007). An Automatic Wave Detection Algorithm Applied To Pc1 Pulsations. *Journal of Geophysical Research*, Volume 112,A04204,Doi:10.1029/2006JA011900.
- Dungey, J.W. (1961). Interplanetary magnetic field and the auroral zones. *Phys. Rev. Lett.*, 6, 47.
- E. E Ngu., K. Ramar., R. Montano., and V. Cooray. (2008). Fault Characterization and Classification using Wavelet and Fast Fourier Transforms. *WSEAS Transactions on Signal Processing*, ISSN: 1790-5052, Vol.4.
- Engebretson, M. J., Cahill Jr., L. J., Arnoldy, R. L., Anderson, B. J., Rosenberg, T. J., Carpenter, D. L., Inan, U. S. dan Eather, R. H. (1991) : Simultaneous Observations Of Pc3-4 Pulsations in the Solar Wind And in the Earths Magnetosphere, *J. Geophys. Res.* 96, 1527.

- Feygin, F.Z., Karel Prikner., and Jorma Kangas, 2009. Pc1 With a Broad Frequency Spectrum - Goose Pulsations. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Volume 53, Issue 4, p: 519-536.
- G. Chisham and D. Orr. (1997). A statistical Study of the Local Time Asymmetry of Pc5 ULF Wave Characteristics Observed at Midlatitudes by SAMNET, *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, No.A11, pp.24339-24350.
- Graham. A. Agbo., A.O. Chikwendu and T. N. Obiekezie. (2010). Variability of Daily Horizontal Component of Geomagnetic Field Component at Low and Middle Latitudes. *Indian J.Sci.Res.*, Vol.1, No.2, pp.1-8.
- Hasegawa, H., M. Fujimoto, T.-D. Phan, H. Rème, A. Balogh, M. W. Dunlop, C. Hashimoto, dan R. TanDokoro. (2004). Transport of solar wind into earth's magnetosphere through rolled-up kelvin-helmholtz vortices, *Nature*, 430, 755-758, doi:10.1038/nature02799.
- I.A. Ansari. (2006). Solar Wind velocity and its control on low latitude Pc3 geomagnetic pulsations. *ILWS Workshop*.
- Jacobs, J. A., Y. Kato., S. Matsushita., and V. A. Troitskaya, 1964. Classification of Geomagnetic Micropulsations, *Journal of Geophysical Research*, Volume 69, p:180.
- Lili Cafarella, Marcello De Lauretis, Domenico Di Mauro, Patrizia Francia, Stefania Lepidi, Antonio Meloni, Paolo Palangio, Andrea Piancatelli, Lucia Santarelli, Massimo Vellante and Umberto Villante. (2007). ULF Geomagnetic Pulsations at High Latitudes: the Italian Contribution, *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, Vol.398.
- M.E. James, R.G. Rastogi and H. Chandra. Day to Day Variation of Geomagnetic H field and Equatorial Ring Current. *J. Ind. Geophys Union*, Vol.12, No.2, pp.69-78.
- M.G. Cardinal and K. Yumoto. (2009). Characteristics of Equatorial Pc3 Pulsations, *Proceeding of the International Space Science and Communication*.
- N. V. Yagova, V. A. Pilipenko, L. N. Baransky, and M. J. Engebretson. (2010). Spatial distribution of Spectral Parameters of High Latitude Geomagnetic Disturbances in the Pc5/Pi3 Frequency Range. *Ann. Geophys.*, Vol.28, pp:1761-1775.
- R. G. Rastogi and K. N. Iyer. (1976). Quiet Day Variation of Geomagnetic H-Field at Low Latitudes. *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol.28, pp.461-479.
- Robert L. McPherron. (2005). Magnetic Pulsations: Their Sources and Relation to Solar Wind and Geomagnetic Activity. *Surveys in Geophysics*, Vol: 26, pp. 545-592.
- Russell, C. T., Luhmann, J. G., Odera, T. J., and Stuart, W. F.: The rate of occurrence of dayside Pc 3,4 pulsations: The L-value dependence of the IMF cone angle effect, *Geophys. Res. Lett.*, 10, 663-666, 1983.
- S. C. Pranoto. (2016). Pemisahan Sinyal Noise Pada Pengolahan Data Medan Magnet Bumi Menggunakan Transformasi Wavelet. *Prosiding Seminar Kontribusi Fisika 2016. Institut Teknologi Bandung*.
- S. C. Pranoto. (2011). Identifikasi Karakteristik Pulsa Magnet Pc3 Menggunakan Data Magnetometer Landas Bumi Stasiun Biak. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa 2011, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Pusat Sains Antariksa*.
- S.I. Akasofu. (1981). Energy Coupling between the Solar Wind and the Magnetosphere. *Space Science Reviews*, Vol.28, No.2, pp.121-190.
- U. Villante, S. Lepidi and M. Vellante. (1992). Pc3 Activity at Low Geomagnetic Latitudes: A Comparison with Solar wind Observations, *Planet. Space Sci.*, Vol.40, No.10, pp.1399-1408.