

GANGGUAN GEOMAGNET PADA FASE MINIMUM AKTIVITAS MATAHARI DAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET YANG TERKAIT

Mamat Ruhimat

Peneliti Pusat Sains Antariksa, LAPAN
email: mruhimat@yahoo.com

ABSTRACT

Geomagnetic disturbances are closely related with the interplanetary magnetic field, particularly the southward component (negative B_z), since such condition can lead to the energy transfer from the solar wind into the Earth's magnetosphere. The energy transfer can cause disturbance in geomagnetic field, which is represented by disturbance index Dst. The good correlation between the minimum values of B_z and Dst means that the stronger the magnetic field can lead to the stronger disturbance. However, the minimum of both parameter do not occur simultaneously. From analysis of 41 geomagnetic storms with $Dst \leq -30$ nT, in general, the time delay between B_z and Dst is two hours, which B_z reach minimum two hour before the Dst. It represent the time that required by the disturbance to travel from magnetopause to the Earth.

Keywords: *Geomagnetic disturbance, Interplanetary magnetic field*

ABSTRAK

Gangguan geomagnet sangat erat kaitannya dengan medan magnet antarplanet, terutama yang mengarah ke selatan (B_z negatif), karena kondisi ini yang akan menyebabkan rekoneksi magnet yang mentransfer energi dari angin surya ke magnetosfer Bumi. Aliran energi ini dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada medan magnet Bumi, yang dinyatakan dengan indeks gangguan Dst. Korelasi antara nilai minimum B_z dan Dst cukup baik, yang menunjukkan bahwa makin kuat intensitas B_z , makin kuat pula gangguan geomagnet yang ditimbulkan. Akan tetapi waktu terjadinya gangguan yang terbesar tidak bersamaan dengan waktu terjadinya nilai B_z yang paling minimum. Dari 41 peristiwa badai geomagnet dengan $Dst \leq -30$ nT yang dianalisis diperoleh bahwa pada umumnya selang waktu antara B_z dan Dst adalah dua jam, dengan B_z mencapai minimum dua jam lebih dahulu dibandingkan dengan Dst. Ini menunjukkan waktu yang diperlukan oleh gangguan dari magnetopause untuk sampai ke Bumi

Kata kunci: *Gangguan geomagnet, Medan magnet antarplanet*

1 PENDAHULUAN

Penyebab utama dari munculnya fenomena geomagnet adalah transfer energi dari Matahari ke magnetosfer Bumi melalui angin surya. Mekanisme masuknya energi dari angin surya ini ke dalam magnetosfer adalah terjadinya rekoneksi magnet yang bisa terjadi bila kondisi medan magnet antarplanet *Interplanetary Magnetic Field* (IMF), yaitu komponen IMF B_z yang mengarah ke

selatan dengan medan magnet magnetopause yang mengarah ke utara (misalnya dalam Gonzalez et al., 1999). Energi ini akan terkumpul di magnetosfer, dan akan menyebabkan gangguan magnetosfer bila terjadi rekoneksi medan magnet. Gangguan magnetosfer ini akan menimbulkan gangguan pada geomagnet yang disebut sebagai badai geomagnet.

Intensitas badai geomagnet umumnya ditunjukkan dengan suatu

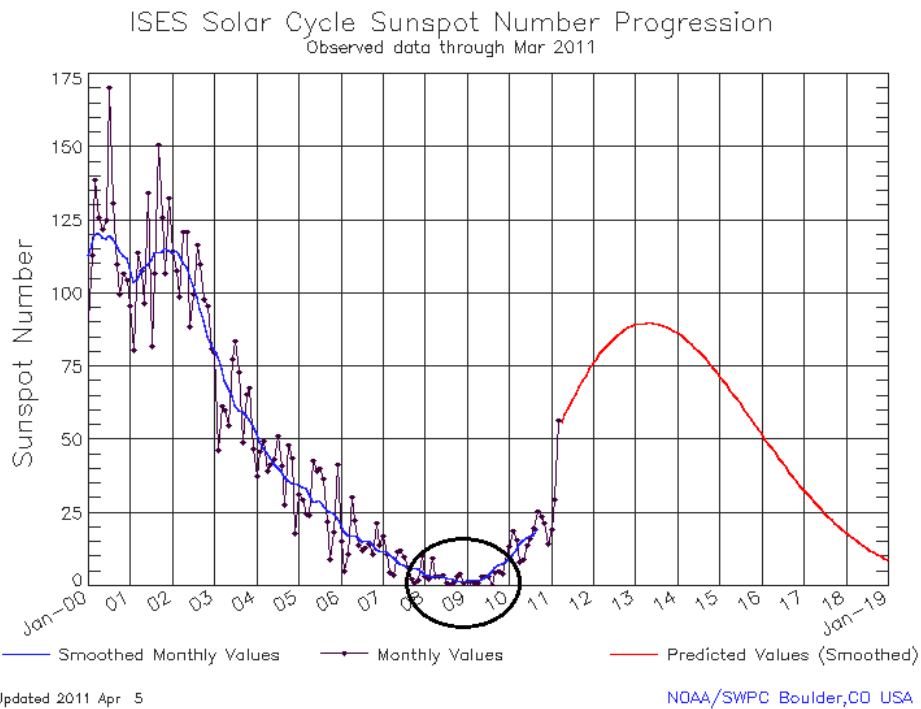
indeks. Untuk daerah lintang rendah intensitas ini ditunjukkan oleh indeks *Disturbance Storm Time index* (Dst). Indeks Dst menunjukkan gangguan medan magnet di sekitar ekuator permukaan Bumi. Pada umumnya gangguan medan magnet ini, atau dikenal sebagai badai magnet, dinyatakan dengan nilai negatif yang menunjukkan penurunan medan magnet Bumi (Gonzalez et al., 1994). Penurunan ini disebabkan terutama oleh sistem arus ekuatorial di magnetosfer yang disebut sebagai arus cincin (*ring current*). Indeks Dst ini mengukur efek arus cincin pada medan magnet. Nilai Dst ini merupakan nilai rata-rata jam-an dari komponen horisontal medan magnet dari beberapa observatori di lintang rendah yang telah dikoreksi terhadap variasi hari tenangnya (Sugiura, 1991). Intensitas gangguan geomagnet (badai geomagnet) diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu (i) badai lemah dengan intensitas $-50 \text{ nT} < \text{Dst} < -30 \text{ nT}$, (ii) badai sedang dengan intensitas $-100 \text{ nT} < \text{Dst} < -50 \text{ nT}$, (iii) badai kuat dengan $\text{Dst} \leq -100 \text{ nT}$ (Gonzalez et al., 1999).

Sumber utama dari munculnya badai geomagnet adalah Matahari. Pada saat aktivitas Matahari maksimum (ditunjukkan oleh banyaknya bintik Matahari di permukaannya), lontaran masa korona *Coronal Mass Ejection* (CME) dan flare merupakan peristiwa di Matahari yang merupakan penyebab utama gangguan antarplanet dan kemudian juga badai geomagnet (misalnya dalam Burlaga et al., 1987; Farrugia et al., 1993; dan Gonzalez et al., 1996). Kecepatan angin surya yang dilontarkan karena flare dan CME ini dapat mencapai lebih dari 600 km/detik, bahkan melampaui 1000 km/detik. Akibatnya, gelombang kejut yang ditimbulkan dapat menimbulkan badai geomagnet yang cukup kuat. Sebaliknya pada saat tingkat aktivitas Matahari

rendah, semburan materi dari Matahari lebih jarang, tetapi lubang korona yang lebih banyak terdapat di Matahari dapat menyebabkan angin surya yang kecepatan tinggi dan menyebabkan gangguan pada geomagnet (Timothy et al., 1975 dan Burlaga et al., 1978). Farrugia et al. (1993) menyatakan bahwa lubang korona ini tidak akan menyebabkan badai geomagnet kuat. Badai geomagnet yang terjadi karena lubang korona ini umumnya adalah badai lemah dan sedang.

Telah diketahui bahwa medan magnet antarplanet arah selatan mempunyai keterkaitan yang sangat erat dengan munculnya badai geomagnet. Badai geomagnet kuat, yang salah satunya direpresentasikan dengan Dst, mempunyai tiga fasa, yaitu (i) fasa awal (*initial phase*) yaitu waktu naiknya komponen horisontal menjadi bernilai positif, (ii) fasa utama (*main phase*) yaitu saat Dst mencapai nilai paling negatif, dan (iii) fasa pemulihan (*recovery phase*), yaitu kembalinya kuat medan magnet ke tingkat semula (Singh et al., 2005).

Tujuan dari penelitian ini adalah melihat keterkaitan waktu antara fasa utama dari badai geomagnet (indeks Dst) dengan medan magnet antarplanet arah selatan (B_z negatif) yang paling kuat. Keterkaitan ini terutama dilihat dari selang waktu antara saat B_z menjadi paling minimum dengan fasa utama badai geomagnet ini (Dst minimum). Periode yang diambil terutama pada saat aktivitas Matahari minimum siklus Matahari ke-24 (yang dimulai tahun 2008) sampai dengan tahun 2010. Periode ini merupakan periode aktivitas Matahari yang paling rendah, seperti digambarkan pada Gambar 1-1. Karena pada periode ini badai geomagnet yang terjadi lebih banyak pada badai lemah dan sedang, maka yang dianalisis adalah badai geomagnet yang mempunyai indeks $\text{Dst} \leq -30 \text{ nT}$.



Gambar 1-1: Plot siklus aktivitas Matahari. Bagian yang dilingkari menunjukkan fasa minimum awal siklus ke-24 (Sumber: *Space Weather Prediction Center*)

2 DATA DAN METODE

Untuk mengetahui keterkaitan medan magnet antarplanet dengan terjadinya badai geomagnet, maka yang dianalisis disini adalah medan magnet antarplanet arah utara-selatan (Bz) dan indeks Dst yang merupakan indikator intensitas badai geomagnet di lintang rendah. Data Bz dan Dst merupakan data jam-an, dan dapat diperoleh di <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx2.html>. Bz diukur oleh satelit *Advanced Composition Explorer* (ACE), sedangkan data Dst dipublikasikan oleh *World Data Center for Geomagnetism Kyoto*. Sesuai dengan periode minimum aktivitas Matahari di awal siklus ke-24, maka periode waktu yang dianalisis adalah tahun 2008 sampai tahun 2010. Karena periode ini adalah periode aktivitas Matahari rendah, maka badai geomagnet yang terjadi umumnya adalah badai geomagnet lemah dan sedang. Oleh karena itu badai geomagnet yang dianalisis dan dikaitkan dengan medan magnet antarplanet Bz adalah badai geomagnet dengan indeks $Dst \leq -30$ nT.

Langkah yang dilakukan adalah dengan mencari korelasi antara Bz dan Dst. Data Bz dan Dst yang dikorelasikan adalah data ketika mulai terjadi gangguan sampai kembali ke keadaan semula. Yang pertama dilakukan adalah mencari nilai korelasi pada waktu yang bersamaan. Kemudian dilakukan pergeseran pada Dst, yaitu data yang dikorelasikan adalah data Bz dengan data Dst satu jam setelahnya. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa gangguan yang terjadi di magnetosfer memerlukan waktu dalam penjalarnya ke Bumi. Selanjutnya penghitungan korelasi dilakukan antara Bz dengan Dst yang digeser 2 jam, 3 jam, dan seterusnya sampai dengan 6 jam. Bila korelasi terbaik terjadi pada waktu yang sama maka dikatakan selisih waktunya adalah 0 jam. Bila terjadi setelah Dst digeser 1 jam ke belakang, maka dikatakan selisih waktunya adalah 1 jam, dan seterusnya. Dengan mengetahui selang waktu antara Bz dan Dst untuk korelasi terbaik keduanya diharapkan dapat diketahui waktu yang dibutuhkan oleh gangguan yang disebabkan oleh medan magnet antarplanet Bz untuk sampai di Bumi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

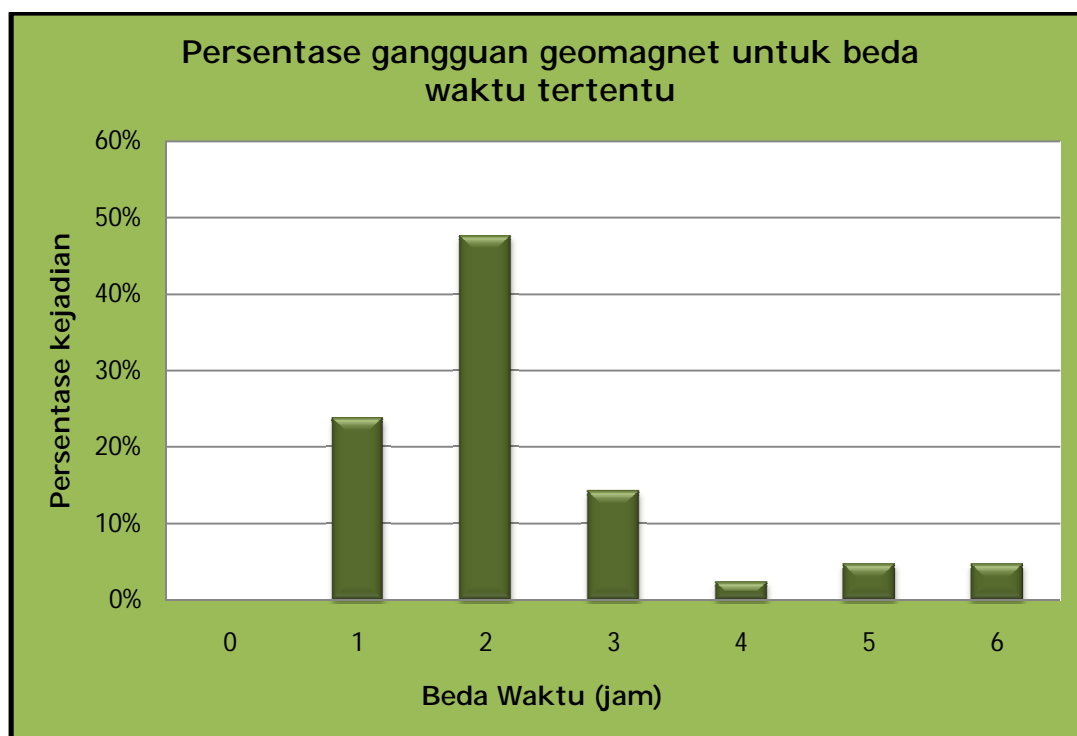
Dengan klasifikasi badai geomagnet yang ditentukan, yaitu $Dst \leq -30$ nT, maka dalam periode tahun 2008 sampai dengan 2010 diperoleh sejumlah 41 badai geomagnet yang mempunyai intensitas badai lemah sampai kuat. Badai geomagnet ini yang kemudian dianalisis keterkaitannya dengan medan magnet antarplanet arah selatan Bz.

Tabel 3-1 memperlihatkan hasil perhitungan yang dilakukan. Pada tabel

ini diperlihatkan nilai korelasi antara Bz dan Dst pada waktu yang bersamaan, dan pada waktu setelah pada Dst dilakukan pergeseran satu sampai enam jam. Terlihat bahwa korelasi terbaik diperoleh bila Dst digeser selama dua jam, dengan jumlah kejadian sebanyak 20 kejadian atau 47.62% dari seluruh kejadian badai geomagnet. Demikian juga distribusi yang diperlihatkan oleh Gambar 3-1 menunjukkan bahwa kejadian geomagnet yang terbanyak mempunyai selang waktu selama dua jam.

Tabel 3-1: DISTRIBUSI KORELASI TERBAIK ANTARA Dst DAN Bz

Selang Waktu (Bz-Dst)	Rata-rata Korelasi	Jumlah Kejadian Badai Geomagnet
0 jam	33.7 %	0 (0%)
1 jam	49.6 %	10 (23.81%)
2 jam	53.1 %	20 (47.62%)
3 jam	49.5 %	6 (14.29%)
4 jam	43.7 %	1 (2.38%)
5 jam	37.9 %	2 (4.76%)
6 jam	34.4 %	2 (4.76%)



Gambar 3-1: Distribusi persentase peristiwa gangguan geomagnet dengan selang waktu pada korelasi terbaik antara Bz dan Dst

Pada Tabel 3-1 dan Gambar 3-1 dapat diketahui bahwa Bz dan Dst tidak mencapai nilai minimum pada saat yang sama. Dst mencapai minimum lebih lambat dari pada Bz. Tidak ada yang terjadi bersamaan. Yang terbanyak adalah pada selang waktu 2 jam, yaitu sebanyak 47% dari seluruh peristiwa yang diamati atau sebanyak 20 peristiwa. Sedangkan selang waktu yang diperoleh bervariasi hingga 6 jam.

3.2 Pembahasan

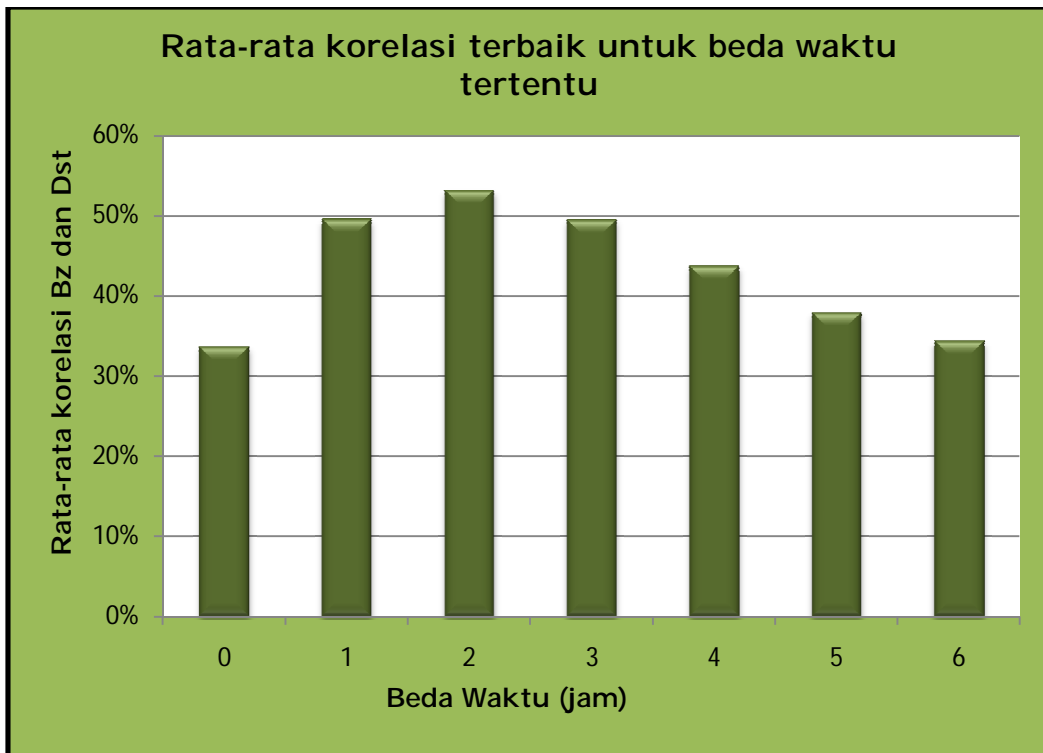
Dengan metode seperti yang telah dijelaskan, dan dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3-1 dan Gambar 3-1, maka diperoleh bahwa antara Bz dan Dst mempunyai korelasi yang lebih baik apabila Dst digeser sejauh satu sampai enam jam, lebih besar dari pada apabila korelasi dilakukan untuk Bz dan Dst pada waktu yang bersamaan. Artinya Bz dan Dst mempunyai beda waktu selama 1 – 6 jam dengan Dst akan mengalami keterlambatan sebesar selang waktu tersebut. Korelasi yang terbaik pada umumnya dapat diperoleh pada pergeseran sebesar 2 jam.

Gonzalez et al. (1999) menyatakan bahwa penyebab utama dari munculnya fenomena geomagnet adalah transfer energi dari Matahari ke magnetosfer Bumi melalui angin surya. Rekoneksi magnet akan terjadi bila Bz mengarah ke selatan. Gangguan yang terjadi akan menjalar ke Bumi dan menyebabkan

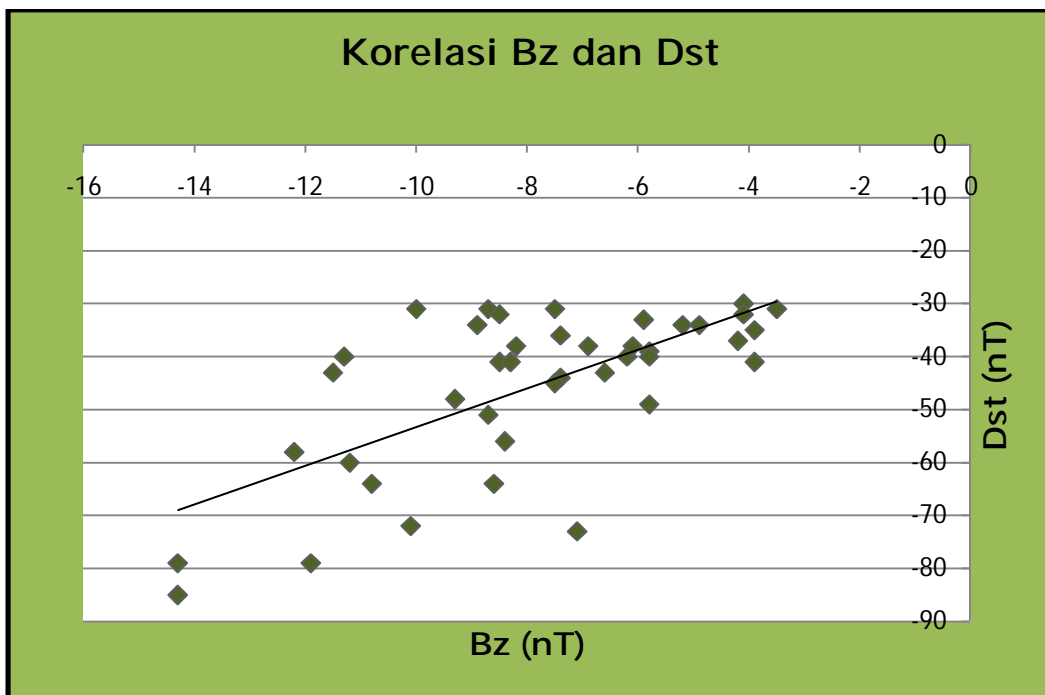
badai geomagnet yang ditandai dengan turunnya indeks Dst. Selang waktu antara Bz dan Dst menunjukkan lamanya penjalaran gangguan ini dari magnetopause sampai terdeteksi di medan magnet Bumi. Sedangkan perbedaan lamanya waktu penjalaran menunjukkan adanya perbedaan kecepatan penjalaran gangguan dari magnetopause ke Bumi.

Nilai rata-rata korelasi yang diperoleh untuk semua peristiwa digambarkan pada Gambar 4-1. Rata-rata korelasi tertinggi adalah 53% yang dipunyai oleh selang waktu 2 jam. Rata-rata korelasi untuk selang waktu yang lain juga tidak berbeda jauh, bervariasi antara 33% sampai 50%. Korelasi yang tidak terlalu besar ini menunjukkan adanya fluktuasi nilai Bz dan Dst yang cukup besar. Walaupun demikian, bila kita lihat nilai minimum dari kedua parameter ini, maka keduanya menunjukkan keterkaitan yang cukup erat.

Keterkaitan antara nilai minimum Bz dan minimum Dst diperlihatkan pada Gambar 4-2. Pada gambar ini terlihat bahwa keterkaitan keduanya cukup bagus, dengan koefisien korelasi sebesar 0.68. Ini menunjukkan bahwa makin kuat Bz (nilainya makin negatif) maka makin besar gangguan yang terjadi (nilai Dst juga makin kecil), meskipun nilai minimumnya tidak diperoleh pada saat yang bersamaan.



Gambar 4-1: Korelasi terbaik antara Bz dan Dst untuk selang waktu tertentu



Gambar 4-2: Plot antara nilai Bz minimum dan Dst minimum

4 KESIMPULAN

Pada penelitian ini dianalisis gangguan geomagnet yang terjadi selama fase aktivitas minimum di awal siklus ke-24, yaitu tahun 2008-2010, dengan intensitas Dst ≤ -30 nT. Dari 41 peristiwa gangguan yang terjadi selama periode

ini, diperoleh adanya korelasi antara medan magnet antarplanet arah utara-selatan (Bz) dengan indeks Dst. Korelasi terbaik antara kedua parameter ini terjadi tidak pada waktu yang bersamaan, tetapi ada perbedaan waktu antara keduanya, yaitu antara 1 sampai

6 jam. Selang waktu yang paling sering terjadi adalah 2 jam. Perbedaan selang waktu ini mengindikasikan bahwa gangguan yang terjadi di magnetopause memerlukan waktu untuk sampai ke Bumi.

Walaupun korelasi antara kedua parameter ini secara keseluruhan tidak cukup baik, namun apabila dilihat nilai minimum dari masing-masing parameter menunjukkan keterkaitan yang cukup erat, dengan koefisien korelasi sebesar 0.68. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas medan magnet antarplanet, terutama yang mengarah ke selatan, berperan dalam menentukan intensitas gangguan geomagnet yang akan terjadi. Makin kuat medan magnet antarplanet arah selatan, maka intensitas gangguan geomagnet yang akan terjadi juga akan makin kuat.

DAFTAR RUJUKAN

- Burlaga, L.F., Behannon, K.W., Hansen, S.F., Pneumann, G.W., Feldman, W.C., 1978. *Sources of Magnetic Fields in Recurrent Interplanetary Streams*, J. Geophys. Res. 83, 4177.
- Burlaga, L.F., Behannon, K.W., Klein, L. W., 1987. *Compound Streams, Magnetic Clouds, and Major Geomagnetic Storms*, J. Geophys. Res. 92, 5725.
- Farrugia, C.J., Burlaga, L.F., Osherovich, V.A., Richardson, I.G., Freeman, M. P., Lepping, R.P., Lazarus, A.J., 1993. *A Study of an Expanding Interplanetary Magnetic Cloud and Its Interaction with the Earth's Magnetosphere-The Interplanetary Aspect*, J. Geophys. Res. 98, 7621.
- Gonzalez, W.D., Joselyn, J.A., Kamide, Y., Kroehl, H.W., Rostoker, G., Tsurutani, B.T., Vasyliunas, V.M., 1994. *What is a Geomagnetic Storm?*, J. Geophys. Res. 99, 5571.
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., Clua de Gonzalez, A.L., 1999. *Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms*, Space Sci. Rev. 88, 529.
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., Tang, F., 1996. *The Solar and Interplanetary Causes of Geomagnetic Activity and Quiet*, ASP Conference Series 95, 453.
- 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.
- Space Weather Prediction Center, <http://www.swpc.noaa.gov>.
- Sugiura, M., 1991. *On Dst Index*, World Data Center for Geomagnetism Kyoto University, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>.
- Timothy, A.F., Krieger, A.S., Vaiana, G. S., 1975. *The Structure and Evolution of Coronal Holes*, Solar Phys. 42, 135.