

# **GEO-EFEKTIVITAS AKTIVITAS MATAHARI DAN LINGKUNGAN ANTARIKSA PADA SAAT BADAI GEOMAGNET [GEO-EFFECTIVENESS OF SOLAR ACTIVITY AND SPACE ENVIRONMENT DURING GEOMAGNETIC STORM]**

**Anwar Santoso**

Peneliti Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa–Pusat Sains Antariksa, Lapan

e-mail: anwar@bdg.lapan.go.i

Diterima 5 September 2014; Disetujui 28 Nopember 2014

## **ABSTRACT**

Geo-effectiveness of solar and space environment is a space weather conditions (combination of CME, CH, solar wind, IMF Bz) ideal at the time of Interplanetary Shock (IPS) that can trigger the formation of moderate ( $-50 \text{ nT} < \text{Dst} < -100 \text{ nT}$ ), strong ( $\text{Dst} < -100 \text{ nT}$ ) and very strong ( $\text{Dst} < -250 \text{ nT}$ ) geomagnetic storms. This study was conducted to get an overview of the most optimal combination of the components of the solar wind and IMF Bz for the formation of geomagnetic storm events and their effects on the intensity. CME event data, the solar wind (Nsw, Vsw and Psw), the IMF Bz (-) and the Dst index from 1996-2001 were used for analysis. The method used is a visual and statistical analysis. The results obtained 44 strong geomagnetic storm events ( $\text{Dst} < -100 \text{ nT}$ ) during 1996-2001 which consists of 9 events (20.45%) are affected predominantly by the solar wind density component (NSW), 8 events (18.18%) influenced predominantly by the same forces of the three components of the solar wind (Nsw, Vsw and Psw), 1 incidence (2.27%) is predominantly influenced only by the solar wind pressure components (Psw), that is the geomagnetic storms on July 20, 2000 and the remaining 26 events (59.09%) is influenced predominantly by the solar wind velocity components (Vsw). In addition, it was found that the full halo CME events in the western hemisphere of the sun, and the increase in the solar wind components along with the IMF Bz southward shortly and after the IPS is a condition of geo-effectiveness of space weather parameters that determine the effectiveness of geomagnetic storm formation with every large percentage. It is proved that geo-effectiveness determine the success of the formation and intensity of geomagnetic storms.

Keywords: *Geomagnetic storm, Geoeffectiveness, Solar wind, Interplanetary Magnetic Field (IMF), Interplanetary Shock (IPS)*

## **ABSTRAK**

Geo-efektivitas aktivitas matahari dan lingkungan antariksa atau *Geoeffectiveness* adalah suatu kondisi cuaca antariksa (kombinasi antara CME, CH, angin surya, IMF Bz) yang ideal pada saat *Interplanetary Shock* (IPS) yang dapat memicu terbentuknya badai geomagnet sedang ( $-50 \text{ nT} < \text{Dst} < -100 \text{ nT}$ ), kuat ( $\text{Dst} < -100 \text{ nT}$ ) dan sangat ( $\text{Dst} < -250 \text{ nT}$ ). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran bagaimana kombinasi antara komponen-komponen angin surya dan IMF Bz yang paling optimal sebagai pembentuk kejadian badai geomagnet dan sekaligus berpengaruh terhadap intensitasnya. Data kejadian CME, angin surya (Nsw, Vsw dan Psw), IMF Bz (-) dan indeks Dst tahun 1996-2001 digunakan untuk analisis. Metode yang digunakan adalah metode analisis visual dan statistik. Hasilnya diperoleh 44 kejadian badai geomagnet yang terdiri dari 9 kejadian (20,45%) dipengaruhi oleh

komponen densitas angin surya (Nsw), 8 kejadian (18,18%) dipengaruhi oleh kekuatan yang sama ketiga komponen angin surya (Nsw, Vsw dan Psw), 1 kejadian (2,27%) dipengaruhi hanya oleh komponen tekanan angin surya (Psw) yaitu kejadian badai geomagnet tanggal 20 Juli 2000 dan sisanya yaitu 26 kejadian (59,09%) dipengaruhi dominan oleh komponen kecepatan angin surya (Vsw). Selain itu, juga diperoleh bahwa pada peristiwa CME *full halo* di belahan barat matahari dan kenaikan komponen angin surya bersamaan dengan IMF Bz mengarah ke selatan sesaat dan setelah IPS merupakan kondisi geoeftivitas parameter cuaca antariksa yang menentukan terbentuknya badai geomagnet dengan persentase keberhasilan sangat besar dan efektif. Hal ini membuktikan bahwa *geoeffectiveness* sangat menentukan keberhasilan terbentuknya badai geomagnet dan intensitasnya.

Kata Kunci: *Badai geomagnet, Geoeffectiveness, Angin surya, Interplanetary Magnetic Field (IMF), Interplanetary Shock (IPS).*

## 1 PENDAHULUAN

Badai geomagnet merupakan gangguan geomagnet yang terjadi secara global dan serempak (di lintang tinggi, menengah, rendah dan ekuator) serta sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari dan lingkungan antariksa. Intensitas badai geomagnet paling kuat terjadi di lintang tinggi dan semakin menurun dengan menurunnya lintang sampai ke lintang rendah dan ekuator. Hal ini karena partikel dan medan magnet yang terbawa angin surya masuk ke magnetosfer bumi melalui kutub-kutub bumi. Tingkat gangguan geomagnet di lintang tinggi dinyatakan dengan indeks *Auroral Elektrojet* (AE) dalam satuan nT. Sedangkan tingkat gangguan geomagnet di daerah lintang rendah dan ekuator dinyatakan dengan indeks Dst. Indeks Dst juga menggambarkan kuat arus di daerah *ring current*. Indeks Dst diperoleh dari rata-rata komponen H di stasiun geomagnet di daerah lintang rendah seperti Hermanus, Kakioka, Honolulu dan San Juan. Peristiwa di permukaan matahari yang mengganggu geomagnet dinamakan *Coronal Mass Ejection* (CME) dan *Coronal Holes* (CH). CME dibedakan menjadi 2 tipe berdasarkan semburan massanya yaitu *full halo* CME dengan bentuk semburan 360° dan *halo* CME dengan bentuk semburan tidak 360°. *Halo* CME dibedakan lagi menjadi 2 tipe yaitu tipe S (simetri) dan tipe asimetri. Tipe asimetri terdiri dari *Brightness Asymetry* (BA) dan *Outline Asymetry* (OA). Sementara itu, CH merupakan bagian matahari dengan medan magnet monopolar.

Ketika CME terjadi, medan magnet dan partikel-partikel bermuatan terbawa serta oleh angin surya (*solar wind*) menjelajah ke seluruh ruang antar planet di jagad raya dalam 3 komponen yaitu komponen kecepatan angin surya (Vsw), komponen densitas angin surya (Nsw) dan komponen tekanan angin surya (Psw). Pada saat CME bertemu dengan magnetosfer bumi di sebut peristiwa *Interplanetary Shock* (IPS), maka akan terjadi transfer energi dan momentum ke dalam magnetosfer. Selanjutnya akan memicu timbulnya perubahan sistem arus listrik di dalam magnetosfer dan juga ionosfer. Perubahan arus tersebut menyebabkan peningkatan arus cincin (*ring current*) menyebabkan kenaikan aktivitas medan magnet di seluruh permukaan bumi yang dinamakan badai geomagnet. Perkembangan badai geomagnet proporsional terhadap pertumbuhan arus cincin yang terkait dengan komponen angin surya dan medan magnet antar planet arah utara-selatan (*Interplanetary Magnetic Field*, IMF Bz). Pada awalnya pertumbuhan tersebut diyakini proporsional dengan kecepatan angin surya Vsw dan IMF komponen Bz yang dilambangkan dengan VBz (Burton et al., 1975; Gonzales et al., 1994; Nagatsuma, 2002; Ballatore and Gonzales, 2003; Maltsev, 2003; Crooker, 2000; Kivelson dan Russell, 1995). Namun, ternyata komponen Nsw dan Psw

juga berperan dalam pertumbuhan arus cincin ini bersamaan dengan IMF arah ke selatan (Khabarova, 2007; Santoso, 2010a dan 2010b).

Dengan demikian, badai geomagnet sangat dikendalikan oleh arah dan intensitas CME, perilaku kopleng angin surya dan medan magnet antar planet sebelum dan saat peristiwa *Interplanetary Shock* (IPS). Hal-hal tersebut menjadi faktor penentu terbentuk atau tidaknya badai geomagnet. Kondisi seperti ini disebut kondisi geoeftivitas atau *geo-effectiveness* aktivitas matahari dan lingkungan antariksa (Gopalswamy, 2009, Vats, 2006, Jadeja et al., 2008, Barabash et al., 2007). Badai geomagnet akan semakin intens ketika angin surya meningkat bersamaan dengan kondisi medan magnet antar planet yang cenderung mengarah ke selatan (IMF Bz(-)) dalam waktu lama dan kuat (Russell, 2006). Namun kenyataannya, tidak semua kejadian CME menimbulkan badai geomagnet kuat. Kondisi angin surya dan arah IMF terutama komponen Bz juga berperan dalam pembentukan badai geomagnet. Untuk mengetahui kombinasi kesemuanya dalam perannya membangkitkan badai geomagnet maka penelitian ini dilakukan. Jadi tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana keterkaitan masing-masing komponen angin surya dan IMF Bz dalam setiap kejadian badai geomagnet dan kombinasi mereka yang paling optimal pada kejadian badai geomagnet sebagai kondisi *geoeffectiveness* menggunakan metode analisis statistik.

## 2 DATA OBSERVASI DAN METODOLOGI

### 2.1 Data

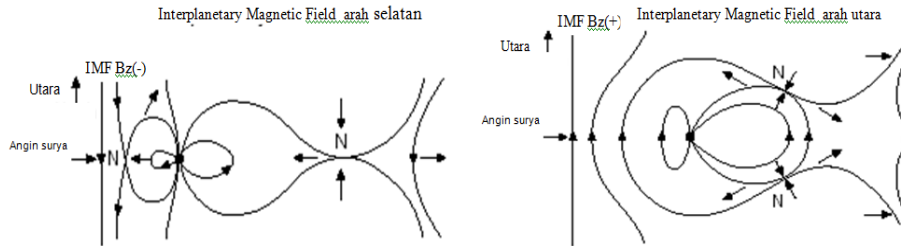
Data yang digunakan adalah indek Dst ([http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_final/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html)) untuk identifikasi kejadian badai geomagnet dan sekaligus sebagai ukuran geoeftivitas aktivitas matahari dan lingkungan antariksa, komponen kecepatan (Vsw), densitas (Nsw) dan tekanan angin surya (Psw), kejadian CME, komponen IMF Bz tahun 1996-2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>) untuk bahan analisis. Adapun alasan pemilihan tahun data adalah bahwa tahun 1996-2001 merupakan setengah siklus matahari ke-23, yaitu mewakili aktivitas matahari minimum untuk tahun 1996 dan aktivitas matahari maksimum untuk tahun 2001.

### 2.2 Metodologi

Badai geomagnet kuat ( $Dst < -100$  nT) dan sedang ( $-100 \text{ nT} \leq Dst \leq -50$  nT) diidentifikasi menggunakan indeks Dst. Selanjutnya, diambil data angin surya dan IMF Bz pada masing kejadian badai geomagnet yang sudah teridentifikasi serta data kejadian CME 2-4 hari sebelum kejadian badai geomagnet. Untuk mengetahui pengaruh *geoeffectiveness* parameter cuaca antariksa (CME, CH, IMF Bz, komponen angin surya) terhadap pembentukan badai geomagnet maka dilakukan analisis visual terhadap data aktivitas matahari dan lingkungan antariksa pada saat badai geomagnet dan indeks Dst. Analisis visual dilakukan antara plot IMF Bz dengan plot komponen angin surya dan antara plot komponen angin surya dengan indeks Dst. Badai geomagnet akan terbentuk efektif bersamaan dengan IMF Bz yang mengarah ke selatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-1.

Untuk menguatkan analisis dilakukan uji korelasi antar komponen angin surya dan IMF Bz serta indeks Dst. Idealnya nilai korelasinya bertanda minus (-) karena kenaikan komponen angin surya bertanda plus (+) dan orientasi IMF Bz mengarah ke selatan bertanda (-) serta penurunan indeks Dst bertanda minus (-) pula. Semakin besar dan minus harga korelasinya artinya komponen angin surya naik (+) bersamaan waktu dengan IMF Bz yang mengarah ke selatan (keduanya memang berlawanan arah).

Bila nilai korelasinya negatif tetapi tidak terlalu besar artinya bahwa kenaikan komponen angin surya tidak bersamaan waktu dengan IMF Bz yang mengarah ke selatan. Pada saat itu bisa terjadi harga korelasi antara komponen angin surya dan indeks Dst besar dan negatif. Contoh, andaikan saat IPS, komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) naik tetapi tidak pada saat bersamaan dengan IMF Bz mengarah ke selatan (ada jeda waktu) maka korelasi antara komponen angin surya dengan IMF Bz (-) bisa kecil tapi negatif, tetapi harga korelasinya dengan indeks Dst bisa besar dan negatif. Penentuan dominasi komponen-komponen angin surya terhadap pembentukan badai geomagnet ditentukan dari analisis visual terlebih dahulu dan kemudian diperkuat dengan analisis korelasi.



Gambar 2-1: Ilustrasi mekanisme terbentuknya badai geomagnet setelah “interplanetary shock” (Russell, 2006). IMF mempunyai 3 komponen yaitu  $B_x$ ,  $B_y$  dan  $B_z$ . Diantara ketiga komponen tersebut yang dominan berperan dalam pembentukan badai geomagnet adalah IMF  $B_z$ . Dalam gambar IMF  $B_z$  mengarah ke utara (ke atas, IMF  $B_z(+)$ )-selatan (ke bawah, IMF  $B_z(-)$ ).

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa geo-efektivitas aktivitas matahari dan lingkungan antariksa terbesar terjadi ketika *halo* CME bersamaan dengan keberadaan IMF  $B_z$  arah selatan sehingga menimbulkan badai geomagnet (Gopalswamy, 2009, Vats, 2006, Jadeja et al., 2008, Barabash et al., 2007). Gopalswamy (2009), juga mengatakan bahwa badai geomagnet juga bisa terjadi oleh fenomena selain *halo* CME misalnya *Coronal Hole* (CH) dan *Co-rotating Integrated Region* (CIR) yang ditandai dengan kenaikan angin surya. Jadi badai geomagnet merupakan ukuran geo-efektivitas aktivitas matahari dan lingkungan antariksa.

Hasil identifikasi badai geomagnet dengan indeks Dst dan juga hasil analisis korelasi antara komponen-komponen angin surya, medan magnet antar planet arah selatan dan kejadian badai geomagnet (diwakili oleh indeks Dst) sepanjang 1996-2001, ditunjukkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: HASIL IDENTIFIKASI BADAI GEOMAGNET DAN HARGA KORELASI ANTARA KOMPONEN-KOMPONEN ANGIN SURYA, IMF  $B_z(-)$  DENGAN KEJADIAN BADAI GEOMAGNET (INDEKS Dst) TAHUN 1996-2001

No.	Waktu Badai	Dst (nT)	Korelasi					
			Vsw-Bz	Vsw-Dst	Nsw-Bz	Nsw-Dst	Psw-Bz	Psw-Dst
1.	23 Oktober 1996	-105	0.15	-0.50	-0.66	-0.53	-0.599	-0.69
2.	21 April 1997	-107	-0.89	-0.67	-0.12	0.30	-0.241	0.18
3.	15 Mei 1997	-115	-0.22	-0.81	0.05	0.54	-0.12	0.02
4.	3 September 1997	-115	-0.09	-0.79	0.26	-0.06	0.11	-0.49
5.	11 Oktober 1997	-130	-0.89	-0.85	-0.65	-0.55	-0.79	-0.69
6.	23 November 1997	-108	-0.23	0.49	-0.76	-0.40	-0.77	-0.27
7.	21 Maret 1998	-116	0.34	-0.44	-0.26	0.47	-0.10	-0.05
8.	4 Mei 1998	-205	-0.26	-0.79	-0.08	-0.59	-0.07	-0.66
9.	26 Juni 1998	-101	-0.44	-0.59	0.19	0.42	0.22	0.39
10.	6 Agustus 1998	-138	-0.76	-0.23	-0.13	-0.71	-0.262	-0.68
11.	25 September 1998	-207	-0.78	-0.82	0.29	0.64	0.09	0.42
12.	8 November 1998	-149	0.07	-0.48	0.86	0.79	0.866	0.63

13.	13 November 1998	-128	0.19	0.52	0.74	0.64	0.742	0.69
14.	13 Januari 1999	-112	-0.19	-0.79	-0.29	-0.79	-0.28	-0.83
15.	22 September 1999	-173	-0.15	-0.31	0.25	0.36	0.0356	0.09
16.	22 Oktober 1999	-237	-0.16	-0.69	0.07	0.19	-0.047	-0.15
17.	11 Januari 2000	-81	-0.69	-0.84	0.26	0.66	0.021	0.39
18.	23 Januari 2000	-97	-0.01	-0.12	0.22	0.22	0.196	0.24
19.	12 Februari 2000	-133	-0.14	0.32	-0.39	0.07	-0.39	0.053
20.	6 April 2000	-288	-0.96	-0.76	-0.86	-0.83	-0.91	-0.84
21.	17 Mei 2000	-92	-0.67	0.23	-0.38	-0.59	-0.49	-0.51
22.	24 Mei 2000	-147	0.02	-0.13	-0.13	0.46	-0.15	0.45
23.	8 Juni 2000	-90	-0.35	-0.54	-0.05	0.39	-0.13	0.167
24.	15 Juli 2000	-301	-0.55	-0.70	0.01	0.11	-0.23	-0.19
25.	20 Juli 2000	-93	-0.64	-0.36	0.15	-0.43	-0.10	-0.57
26.	12 Agustus 2000	-235	-0.08	-0.56	0.24	0.02	0.10	-0.32
27.	17 September 2000	-201	0.62	-0.71	-0.47	0.34	-0.04	-0.21
28.	5 Oktober 2000	-182	0.24	-0.52	-0.19	-0.52	-0.139	-0.61
29.	29 Oktober 2000	-127	-0.91	-0.87	0.08	0.24	-0.16	0.02
30.	6 November 2000	-159	-0.06	-0.31	-0.04	-0.61	-0.06	-0.59
31.	29 November 2000	-119	-0.81	-0.20	-0.71	-0.38	-0.69	-0.32
32.	10 Oktober 2000	-96	-0.18	-0.57	0.14	0.41	0.001	0.19
33.	14 Oktober 2000	-115	0.87	0.85	0.05	-0.35	0.42	0.02
34.	20 Maret 2001	-149	-0.83	-0.63	-0.51	-0.48	-0.69	-0.58
35.	31 Maret 2001	-387	-0.28	-0.70	0.07	-0.13	-0.06	-0.33
36.	11 April 2001	-271	-0.85	-0.79	-0.65	-0.58	-0.67	-0.63
37.	18 April 2001	-114	-0.01	-0.60	-0.15	-0.28	-0.13	-0.34
38.	17 Agustus 2001	-105	-0.11	-0.45	0.03	-0.44	0.01	-0.46
39.	26 September 2001	-102	-0.29	-0.83	-0.19	-0.06	-0.28	-0.27
40.	3 Oktober 2001	-166	0.06	0.79	-0.67	-0.59	-0.639	-0.34
41.	21 Oktober 2001	-184	-0.34	-0.92	-0.14	-0.54	-0.208	-0.72
42.	28 Oktober 2001	-157	-0.62	-0.87	-0.63	-0.91	-0.702	-0.89
43.	6 November 2001	-292	0.65	-0.99	-0.74	0.99	-0.789	0.97
44.	24 November 2001	-221	0.04	-0.69	-0.24	0.14	-0.237	0.08

Keterangan warna:

- Merah : Korelasi terbesar terjadi antara komponen densitas dan tekanan angin surya (Nsw dan Psw) dengan Bz dan badai geomagnet
- Biru : Korelasi hampir merata diantara ketiga komponen angin surya (Vsw, Nsw dan Psw) dengan Bz dan badai geomagnet
- Hijau : Korelasi terbesar terjadi antara komponen tekanan angin surya (Psw) dengan Bz dan badai geomagnet
- Hitam : Korelasi terbesar terjadi antara komponen kecepatan angin surya dengan Bz dan badai geomagnet

Pada Tabel 3-1, ditunjukkan bahwa sepanjang tahun 1996-2001 telah diperoleh 44 kejadian badai geomagnet kuat ( $Dst \leq -100$  nT) yang digunakan sebagai studi dan bahan analisis. Dari 44 kejadian badai geomagnet tersebut, 26 kejadian atau 59,09 % dari total 44 kejadian badai geomagnet terkait dengan dominasi komponen kecepatan angin surya (Vsw), 9 kejadian atau 20,45% dari total 44 kejadian badai terkait dengan dominasi komponen kerapatan angin surya (Nsw dan Psw), 8 kejadian atau 18,18% dari total 44 kejadian terkait dengan pengaruh yang sama di antara ketiga komponen angin surya (Vsw, Nsw, Psw) dan 1 kejadian atau 2,27% dari total 44 kejadian terkait dengan dominasi hanya oleh komponen tekanan angin surya (Psw). Pemberian istilah dominasi dilakukan berdasarkan analisis visual (penampakan) plot grafik variasi komponen-komponen angin surya, IMF Bz(-) dan indeks Dst sebelum, saat dan setelah badai geomagnet. Selain itu, pemberian istilah dominasi juga dilakukan berdasarkan pada besarnya harga korelasi setiap komponen angin surya dibandingkan komponen angin surya lainnya. Untuk lebih jelasnya, pada masing-masing kondisi diambil satu kasus kejadian badai geomagnet sebagai studi kasus.

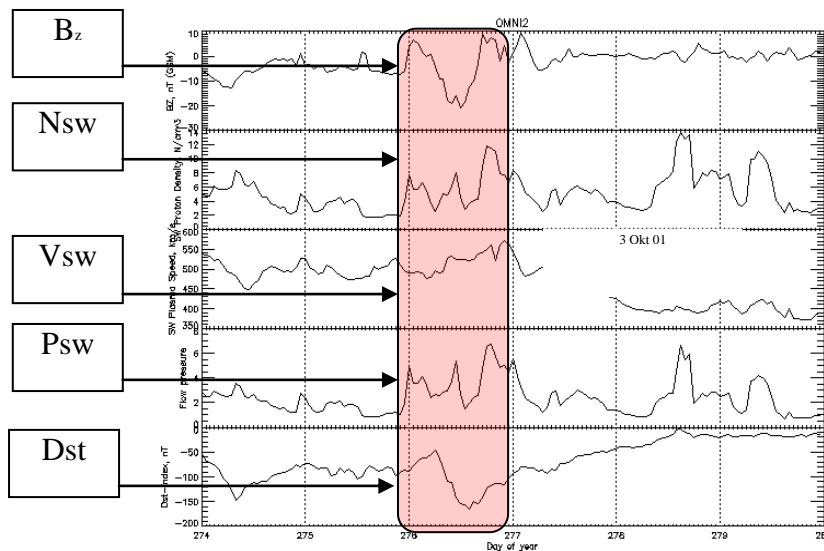
Dari pembahasan di atas dapat dikatakan bahwa ada kalanya badai geomagnet terjadi tidak hanya oleh dominasi komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) seperti yang selama ini kita pahami. Ketika komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) relatif lemah dan komponen kerapatan serta tekanan angin surya ( $N_{sw}$  dan  $P_{sw}$ ) relatif kuat bersamaan dengan arah selatan IMF yang tepat maka badai geomagnet kuat ( $Dst < -100$  nT) juga dapat terbentuk.

### 3.1 Pengaruh Perilaku Komponen Angin Surya dan IMF Bz Dalam Pembentukan Badai Geomagnet

Dalam makalah ini akan dianalisis pengaruh perilaku komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$  dan  $P_{sw}$ ) terhadap efektivitas pembentukan badai geomagnet dengan mengasumsikan IMF mengarah ke selatan

#### 3.1.1 Badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001

Badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 terjadi dengan kategori intensitas kuat ( $Dst = -166$  nT).



Gambar 3-1: *Ploting* tanggal 3 Oktober 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>).

Bersama Gambar 3-1, diberikan juga daftar nilai korelasi komponen-komponen angin surya dengan  $B_z$  dan  $Dst$ , seperti diberikan pada Tabel 3-2.

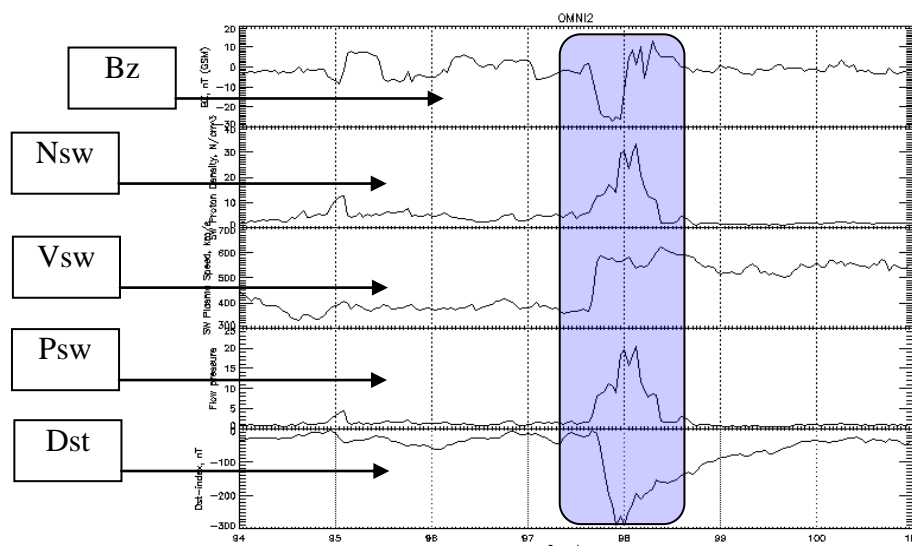
Tabel 3-2: NILAI KORELASI ANTARA KOMPONEN ANGIN SURYA DENGAN IMF  $B_z$  DAN  $Dst$  PADA KEJADIAN BADAI GEOMAGNET TANGGAL 3 OKTOBER 2001

<b>Tanggal</b>	3 Oktober 01
Dst	-166 nT
<b>Korelasi</b>	
Vsw-Bz	0.059
Vsw-Dst	0.792
<b>Nsw-Bz</b>	-0.669
<b>Nsw-Dst</b>	-0.586
<b>Psw-Bz</b>	-0.639
<b>Psw-Dst</b>	-0.339

Pada Gambar 3-1, daerah blok warna merah, tampak bahwa saat Dst mengalami depresi (penurunan), komponen kerapatan dan tekanan angin surya mengalami kenaikan secara signifikan bersamaan dengan arah ke selatan IMF. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan dan kerapatan angin surya meningkat ketika bertumbukan dengan magnetosfer bumi. Hal yang sama terjadi pada magnetosfer bumi. Kenaikan ini menyebabkan gangguan medan magnet dalam magnetosfer. Orientasi arah IMF ke selatan dan ke utara dinyatakan dengan tanda + dan -. Tanda + artinya IMF mengarah ke utara, sebaliknya tanda - adalah ke selatan. Penetapan tanda ini merupakan konvensi para ahli. Kondisi angin surya dan IMF Bz di atas merupakan kondisi ideal untuk terbentuknya badai geomagnet dan pola Dst yang menurun merupakan indikasi adanya badai geomagnet. Pada Gambar 3-1 juga tampak jelas bahwa komponen kecepatan angin surya pada saat itu tidak mengalami kenaikan, sehingga diduga kuat bahwa kejadian badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 dipengaruhi dominasi gabungan oleh komponen kerapatan dan tekanan angin surya (Nsw dan Psw) bersamaan dengan arah selatan IMF Bz. Hal ini diperkuat dengan harga korelasi antara Nsw-Bz, Psw-Bz, Nsw-Dst dan Psw-Dst yang relatif cukup besar dan negatif masing-masing adalah -0,669, -0,639, -0,586 dan -0,339. Sedangkan harga korelasi Vsw-Dst sebesar 0,792 artinya bahwa Vsw tidak dominan mempengaruhi indeks Dst (pembentukan badai geomagnet). Hal ini menunjukkan bahwa Vsw berpola sama dengan Dst. Seperti diketahui bahwa pola Dst bernilai negatif dan semakin besar negatif maka intensitas badai geomagnet semakin kuat. Sementara itu, Vsw bernilai positif karena komponen kecepatan angin surya. Kondisi yang ideal bila Vsw (positif) dikorelasikan dengan indeks Dst (negatif) hasil korelasinya semakin besar negatif. Jadi bila nilai korelasi antara Vsw-Dst positif maka hal ini menunjukkan bahwa Vsw pada saat itu mengarah turun searah dengan pola arah Dst menurun (ke selatan atau negatif).

### 3.1.2 Badai geomagnet tanggal 6 April 2000

Badai geomagnet tanggal 6 April 2000 merupakan badai geomagnet kategori kuat sebesar Dst = -288 nT.



Gambar 3-2: Ploting tanggal 6 April 2000 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>).

Bersama Gambar 3-2, diberikan juga daftar nilai korelasi komponen-komponen angin surya dengan Bz dan Dst, seperti diberikan pada Tabel 3-3.

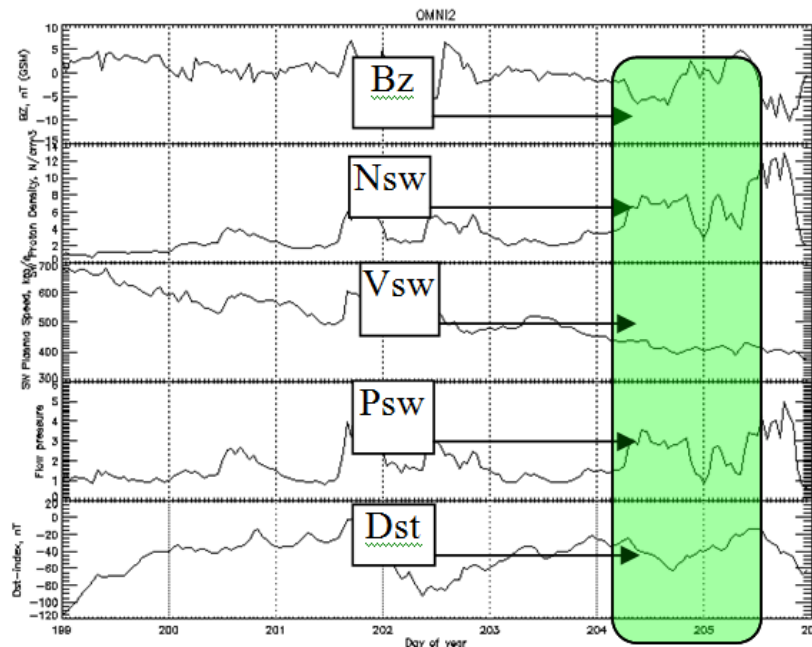
Tabel 3-3: NILAI KORELASI ANTARA KOMPONEN ANGIN SURYA DENGAN IMF Bz DAN Dst PADA KEJADIAN BADAI GEOMAGNET TANGGAL 6 APRIL 2000

<b>Tanggal</b>	6 April 2000
Dst	-288 nT
<b>Korelasi</b>	
Vsw-Bz	-0.962
Vsw-Dst	-0.757
<b>Nsw-Bz</b>	-0.863
<b>Nsw-Dst</b>	-0.825
<b>Psw-Bz</b>	-0.914
<b>Psw-Dst</b>	-0.843

Pada Gambar 3-2 daerah blok warna biru, tampak bahwa saat Dst mengalami depresi (penurunan), komponen kerapatan, kecepatan dan tekanan angin surya (Nsw, Vsw dan Psw) mengalami kenaikan secara signifikan bersamaan dengan arah ke selatan IMF Bz. Kenaikan komponen kerapatan, kecepatan dan tekanan angin surya dengan dominasi yang hampir sama waktu ini diduga kuat merupakan pemicu timbulnya kejadian badai geomagnet tanggal 6 April 2000. Hal ini diperkuat dengan harga korelasi antara Vsw-Bz, Vsw-Dst, Nsw-Bz, Psw-Bz, Nsw-Dst dan Psw-Dst yang besarnya rata-rata di atas -0.8.

### 3.1.3 Badai geomagnet tanggal 20 Juli 2000

Badai geomagnet tanggal 20 Juli 2000 merupakan badai geomagnet kategori kuat dengan intensitas Dst = -93 nT.

Gambar 3-3: Ploting tanggal 20 Juli 2000 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>).

Bersama Gambar 3-3, diberikan juga Tabel daftar harga korelasi komponen-komponen angin surya dengan Bz dan Dst, seperti diberikan pada Tabel 3-4.



Tabel 3-4: NILAI KORELASI ANTARA KOMPONEN ANGIN SURYA DENGAN IMF Bz DAN Dst PADA KEJADIAN BADAI GEOMAGNET TANGGAL 20 JULI 2000

<b>Tanggal</b>	20 Juli 2000
Dst	-93 nT
<b>Korelasi</b>	
Vsw-Bz	-0.636
Vsw-Dst	-0.358
<b>Nsw-Bz</b>	0.149
<b>Nsw-Dst</b>	-0.429
<b>Psw-Bz</b>	-0.104
<b>Psw-Dst</b>	-0.568

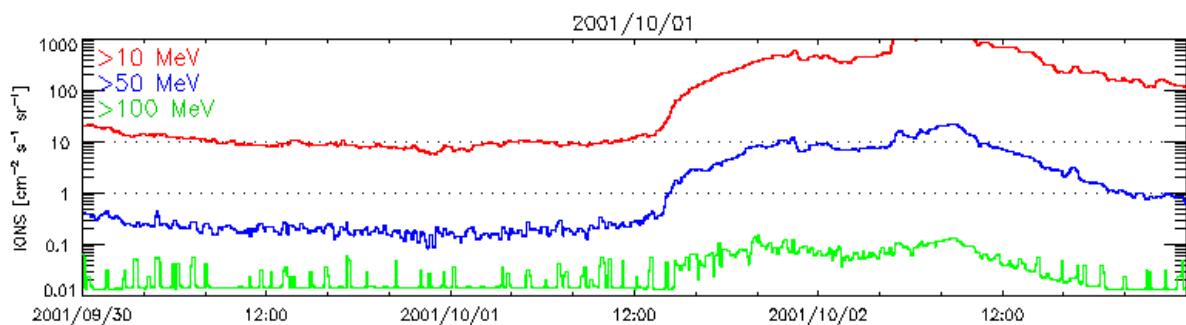
Pada Gambar 3-3 daerah blok warna hijau, secara visual tampak bahwa saat Dst mengalami depresi (penurunan), komponen tekanan angin surya (Psw) mengalami kenaikan paling besar dibandingkan komponen angin surya lainnya. Berdasarkan hasil analisis korelasi diperoleh harga korelasi  $Vsw-Bz(-) = -0,636$ ;  $Nsw-Bz(-) = 0.149$ ;  $Psw-Bz(-) = -0.104$ . Melihat harga korelasi di atas dapat dikatakan bahwa Vsw seharusnya paling dominan pengaruhnya dalam membentuk badai geomagnet. Namun, ketika melihat harga korelasi antara  $Vsw-Dst = -0,358$  dan  $Psw-Dst = -0,568$  maka hal ini berarti tekanan angin surya (Psw) lebih efektif perannya dalam pembentukan badai geomagnet tanggal 20 Juli 2000.

### 3.2 Pengaruh CME dan IMF Bz Dalam Pembentukan Badai Geomagnet

Pada bagian ini akan dianalisis pengaruh orientasi IMF Bz mengarah ke selatan (IMF Bz(-)) terhadap efektivitas pembentukan badai geomagnet ketika terjadi CME.

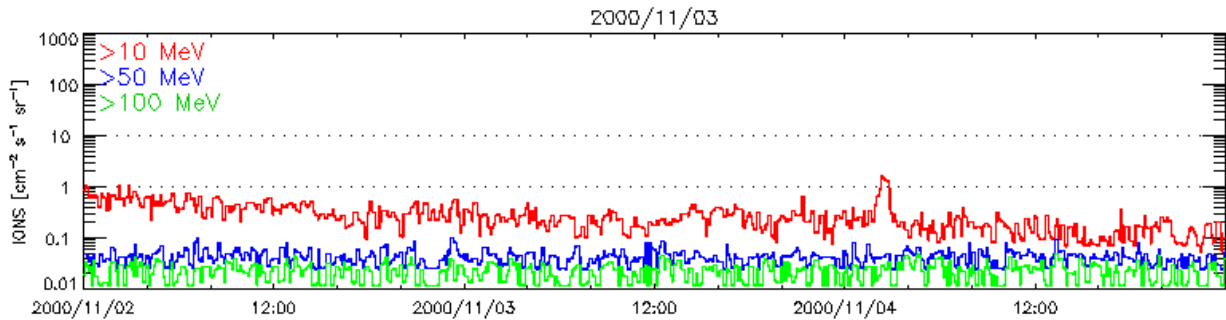
#### 3.2.1 Kasus badai geomagnet 3 Oktober 2001, 6 Nopember 2000 dan 24 Nopember 2001

Badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 terjadi dengan kategori intensitas kuat (Dst = -166 nT). Dipicu oleh halo CME (OA) tanggal 1 Oktober 2001 pukul 05.30 UT yang diikuti kenaikan energi proton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-4.



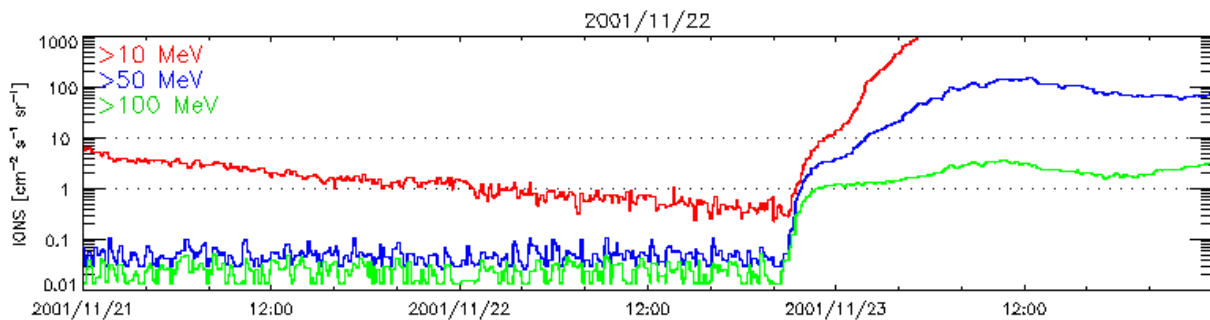
Gambar 3-4: Energi fluks proton tanggal 1-2 Oktober 2001 yang dipicu adanya peristiwa halo CME (tanggal 1 Oktober 2001) yaitu 2 hari sebelum kejadian badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/))

Badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 terjadi dengan kategori intensitas kuat ( $Dst = -159$  nT). Dipicu oleh *halo* CME (S) tanggal 3 Nopember 2000 pukul 18.26 UT yang menaikkan energi proton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5.



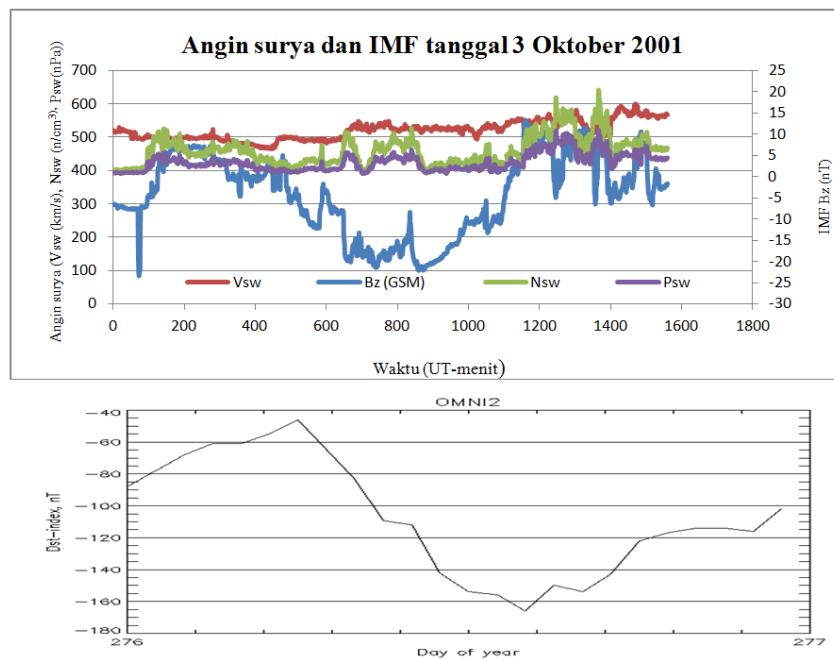
Gambar 3-5: Energi fluks proton tanggal 2-4 Nopember 2000 yang dipicu adanya peristiwa *halo* CME (tanggal 3 Nopember 2000) yaitu 3 hari sebelum kejadian badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/))

Badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001 terjadi dengan kategori intensitas kuat ( $Dst = -221$  nT). Dipicu oleh 2 *halo* CME yaitu (OA) dan (AB) tanggal 22 Nopember 2001 berturut-turut pukul 20.30 UT dan 23.30 UT yang diikuti kenaikan energi proton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-6.



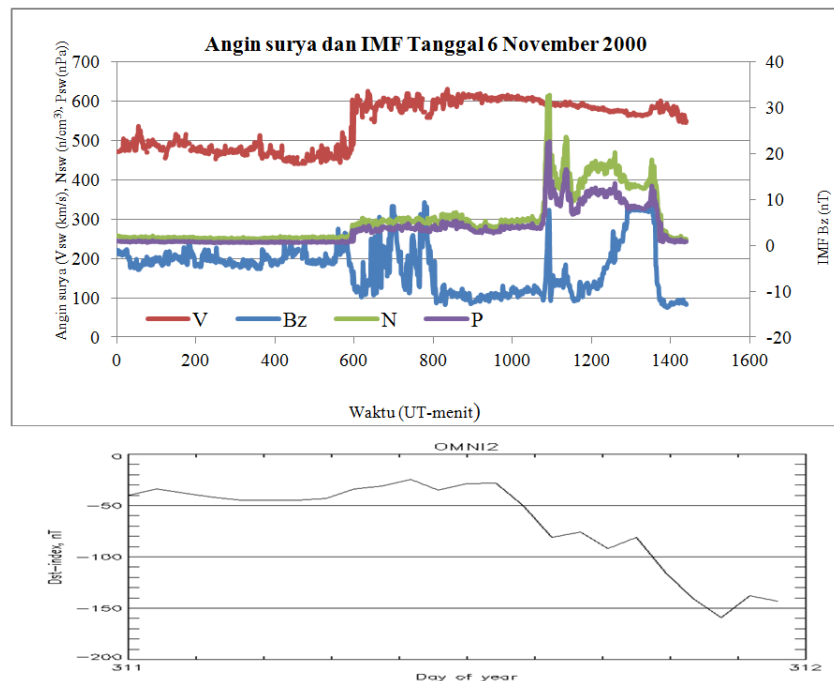
Gambar 3-6: Energi fluks proton tanggal 21-23 Nopember 2001 yang dipicu adanya peristiwa *halo* CME (tanggal 22 Nopember 2001) yaitu 1 hari sebelum kejadian badai geomagnet tanggal 23 Nopember 2001 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/))

Pada badai geomagnet 3 Oktober 2001, *Interplanetary Shock* (IPS) terjadi pukul 23.35 UT tanggal 2 Oktober 2001. IMF  $B_z$  sebelum terjadi IPS cenderung mengarah ke selatan dengan intensitas  $-5$  nT cukup lama yaitu sekitar 7 jam 35 menit. Namun dari mulai saat IPS, IMF  $B_z$  cenderung mengarah ke utara dan pada sekitar 7 jam kemudian IMF  $B_z$  mulai dominan mengarah ke selatan dengan intensitas maksimum  $-20$  nT pada pukul 10.24 UT tanggal 3 Oktober 2001, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-7 (atas). Dampaknya adalah sebuah badai geomagnet yang ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC). Badai geomagnet ini teridentifikasi dari indeks  $Dst$  sampai harga minimum  $-166$  nT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-7 (bawah).



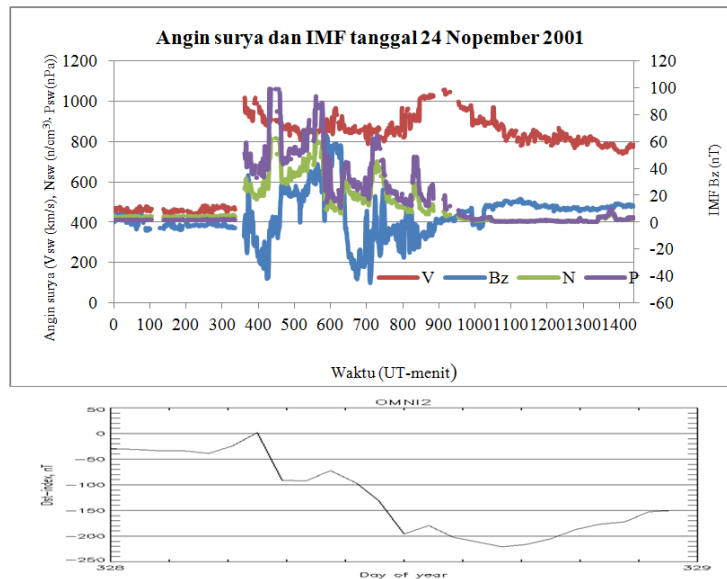
Gambar 3-7: (atas) Perilaku IMF Bz dan SW tanggal 3 Oktober 2001, (bawah) Variasi indeks Dst tanggal 3 Oktober 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Pada badai geomagnet 6 Nopember 2000, *Interplanetary Shock* (IPS) terjadi pukul 09.54 UT tanggal 6 Nopember 2000. IMF Bz sebelum IPS cenderung mengarah ke selatan dengan intensitas di sekitar - 4 nT namun tidak terlalu lama hanya selama 10 menit. Saat IPS, IMF Bz tetap mengarah ke selatan dan 24 menit kemudian mencapai minimum -12 nT. Setelah mencapai minimum pada pukul 10.18 UT kemudian berbalik arah ke utara seperti ditunjukkan pada Gambar 3-8 (atas). Dampak dari CME ini adalah sebuah badai geomagnet yang ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC). Badai geomagnet ini teridentifikasi dari indeks Dst sampai harga minimum -159 nT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-8 (bawah).



Gambar 3-8: (atas) Perilaku IMF Bz dan SW tanggal 6 Nopember 2000, (bawah) Variasi indeks Dst tanggal 6 Nopember 2000 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Sedangkan pada badai geomagnet 24 Nopember 2001, *Interplanetary Shock* (IPS) terjadi pukul 05.33 UT tanggal 24 Nopember 2001. Kurang lebih 62 menit sebelum terjadi IPS, IMF cenderung mengarah ke selatan dan sedikit berfluktuasi pada harga  $\pm 2$  nT. Sesaat setelah IPS, IMF Bz mengarah ke selatan dengan intensitas -41 nT pukul 07.07 UT dan kemudian mengarah lagi ke utara. Walaupun mengarah ke selatannya tidak terlalu lama namun karena cukup kuat maka dampaknya menyebabkan badai geomagnet kuat dan ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC), seperti ditunjukkan pada Gambar 3-9 (atas). Badai geomagnet ini teridentifikasi dari indeks Dst sampai harga minimum -221 nT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-9 (bawah).



Gambar 3-9: (atas) Perilaku IMF Bz dan SW tanggal 24 Nopember 2001, (bawah) Variasi indeks Dst tanggal 24 Nopember 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Dari contoh di atas dapat dikatakan bahwa kejadian badai geomagnet (termasuk intensitasnya) ditentukan oleh perpaduan antara ada atau tidaknya kejadian ekstrim di matahari (CME dan *Coronal Holes*), kondisi komponen angin surya dan kondisi IMF Bz (-) sebelum dan sesudah IPS. Badai geomagnet sempurna akan terjadi, jika ada CME kuat, komponen angin surya (Vsw, Nsw, Psw) kuat dan IMF Bz (-) sudah cenderung mengarah ke selatan beberapa jam sebelum IPS dan lebih intens lagi setelah IPS dalam durasi lama.

Dari ketiga contoh badai geomagnet di atas, badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001 merupakan paling kuat dengan Dst -221 nT. Hal ini karena pengaruh kombinasi antara komponen angin surya (Vsw, Nsw, Psw) dan IMF Bz(-) terjadi lebih intens baik sebelum maupun setelah IPS. Bahkan setelah IPS, IMF Bz(-) cenderung mengarah ke selatan dengan kuat dan cukup lama (IMF Bz(-) = - 41 nT dalam beberapa jam). Sedangkan badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 dan 3 Oktober 2001 intensitasnya relatif tidak berbeda jauh yaitu dengan Dst = -159 nT dan Dst = -167 nT. Padahal sumbernya lebih besar badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 (M3) dibandingkan badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 (C6). Hal ini diduga disebabkan oleh perbedaan kondisi IMF Bz sesaat setelah IPS. Pada badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 sesaat setelah IPS cenderung bergerak ke utara dan mengarah ke selatan setelah 7 jam berikutnya. Sedangkan pada badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 sesaat setelah IPS langsung mengarah ke selatan walau dalam beberapa menit dan kemudian mengarah ke utara. Andai IMF Bz sesaat setelah IPS

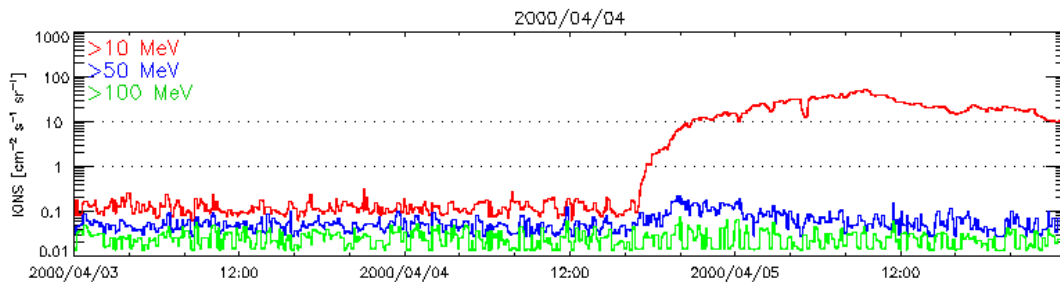
pada badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 langsung cenderung mengarah ke selatan maka diperkirakan dampak badai geomagnetnya akan lebih besar dari  $Dst = -167$  nT.

Mengapa badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001 lebih kuat dibandingkan dengan badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2000 dan 3 Oktober 2001? Hasil analisis didapatkan gambaran yaitu kombinasi angin surya dan IMF Bz(-) setelah IPS pada badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001 lebih efektif dan intens (IMF Bz(-) = -40 nT) dibandingkan dengan badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 (IMF Bz(-) = -20 nT beberapa jam setelah IPS) dan 6 Nopember 2000 (IMF Bz(-) = -12 nT). Walaupun IMF Bz(-) sebelum IPS pada badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 dan 6 Nopember 2000 ini relatif lebih besar yaitu IMF Bz(-)  $\pm 5$  nT dibandingkan dengan IMF Bz(-) sebelum IPS pada badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001.

Pada badai geomagnet tanggal 3 Oktober 2001 dan 6 Nopember 2000, setelah IPS, kombinasi angin surya dengan IMF Bz(-) didominasi hanya oleh komponen densitas dan tekanan angin surya ( $N_{sw}$  dan  $P_{sw}$ ) dengan IMF Bz(-) walaupun tidak terlalu besar. Sedangkan pada badai geomagnet tanggal 24 Nopember 2001, setelah IPS, kombinasi angin surya dengan IMF Bz(-) didominasi oleh semua komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ) dengan IMF Bz(-) dengan intensitas yang signifikan.

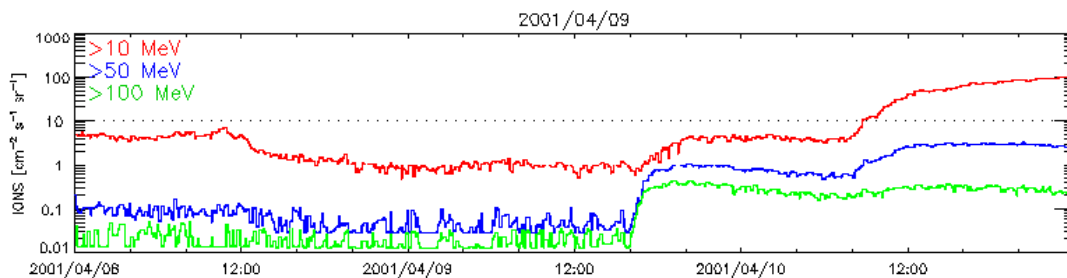
### 3.2.2 Kasus badai geomagnet 6 April 2000 dan 11 April 2001

Badai geomagnet tanggal 6 April 2000 terjadi dengan kategori intensitas kuat ( $Dst = -288$  nT). Dipicu oleh *halo* CME (OA) tanggal 4 April 2001 pukul 17.30 UT yang diikuti kenaikan energi proton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-10.



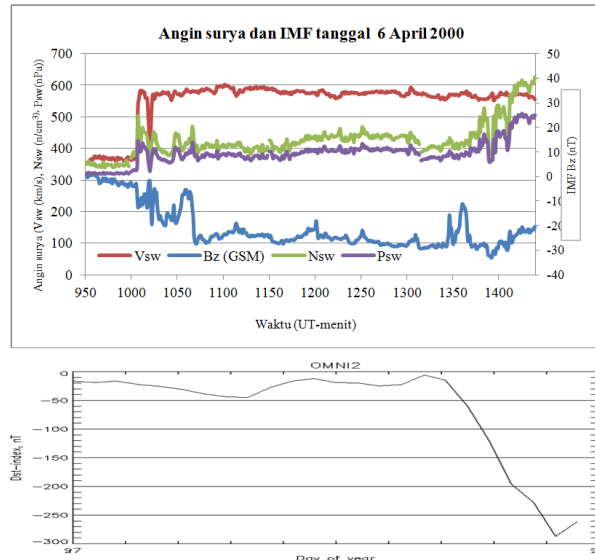
Gambar 3-10: Energi fluks proton tanggal 3-5 April 2000 yang dipicu adanya peristiwa *halo* CME (tanggal 4 April 2000) yaitu 2 hari sebelum kejadian badai geomagnet tanggal 6 April 2000 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/))

Sedangkan badai geomagnet tanggal 11 April 2001 terjadi dengan kategori intensitas kuat ( $Dst = -271$  nT). Diduga dipicu oleh 2 CME yaitu pertama, *halo* CME (S) tanggal 9 April 2001 pukul 15.54 UT dan kedua, oleh *halo* CME (OA) tanggal 10 April 2001 pukul 05.30 UT yang diikuti kenaikan energi proton, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-11.



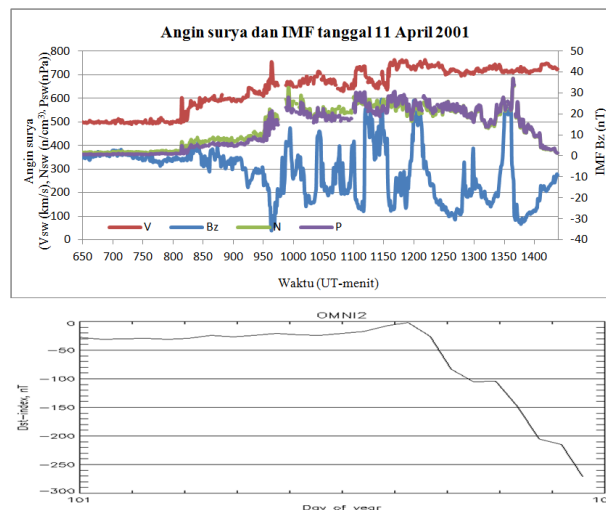
Gambar 3-11: Energi fluks proton dan fluks X-ray tanggal 8-10 April 2001 yang dipicu adanya peristiwa *halo* CME (tanggal 9 April 2001) yaitu 2 hari sebelum kejadian badai geomagnet tanggal 11 April 2001 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/))

Pada badai geomagnet 6 April 2000, *Interplanetary Shock* (IPS) terjadi pukul 16.45 UT. IMF Bz sebelum IPS cenderung mengarah ke selatan dengan intensitas -2 nT. Mulai saat IPS, IMF Bz langsung cenderung mengarah ke selatan dan intensitas minimum -33 nT terjadi pada pukul 23.12 UT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-12 (atas). Dampak dari CME tersebut adalah sebuah badai geomagnet yang ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC). Badai geomagnet ini teridentifikasi dari indeks Dst sampai harga minimum -288 nT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-12 (bawah).



Gambar 3-12:(atas) Perilaku IMF Bz dan SW tanggal 6 April 2000, (bawah) Variasi indeks Dst tanggal 6 April 2000 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Sedangkan pada badai geomagnet 11 April 2001, *Interplanetary Shock* (IPS) terjadi pukul 13.36 UT tanggal 11 April 2001. IMF Bz sebelum terjadi IPS sudah mengarah ke selatan dengan intensitas di sekitar -4 nT selama 47 menit. Ketika saat IPS terjadi, IMF Bz mulai mengarah ke utara dengan intensitas 6.5 nT selama 32 menit dan setelah itu mulai cenderung mengarah ke selatan dengan intensitas minimum -35 nT terjadi pada pukul 16.04 UT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-13 (atas). Dampak dari CME tersebut adalah sebuah badai geomagnet yang ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC). Badai geomagnet ini teridentifikasi dari indeks Dst sampai harga minimum -271 nT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-13 (bawah).



Gambar 3-13:(atas) Perilaku IMF Bz dan SW tanggal 11 April 2001, (bawah) Variasi indeks Dst tanggal 11 April 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Dari dua contoh badai geomagnet tersebut, badai geomagnet tanggal 6 April 2000 merupakan badai geomagnet paling kuat dengan Dst -288 nT. Hal ini karena pengaruh kombinasi antara komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ) dan IMF Bz(-) terjadi lebih intens baik setelah IPS. Bahkan setelah IPS, IMF Bz(-) langsung cenderung mengarah ke selatan sampai - 40 nT. Sedangkan badai geomagnet tanggal 11 April 2001 (Dst = -271 nT), walaupun dipicu oleh 2 kejadian halo CME yang besar namun karena IMF Bz setelah IPS tidak langsung mengarah ke selatan tetapi ke utara dahulu selama 32 menit dan baru setelah itu cenderung mengarah ke selatan maka intensitas badai geomagnetnya tidak lebih besar dari badai geomagnet tanggal 6 April 2000 (Dst = -288 nT). Selain itu, kombinasi antara angin surya dan IMF Bz sesudah IPS menyebabkan intensitas badai geomagnet yang dihasilkannya juga berbeda.

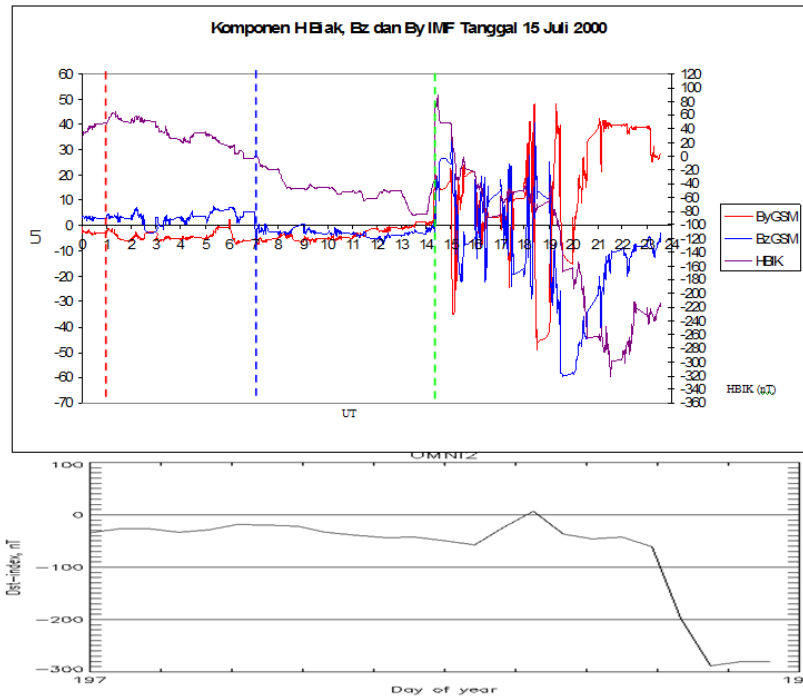
Pada badai geomagnet tanggal 6 April 2000, setelah IPS, ketiga komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ) naik signifikan secara tiba-tiba dan ketiganya juga berperan. Sedangkan pada badai geomagnet tanggal 11 April 2001, setelah IPS, ketiga komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ) naik secara *gradual*.

Selain kedua contoh kasus di atas yang merepresentasikan kejadian badai geomagnet dipicu oleh dominasi komponen tekanan dan densitas angin surya dengan kondisi IMF Bz(-) serta oleh dominasi ketiga komponen angin surya ( $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ,  $V_{sw}$ ) dengan kondisi IMF Bz(-), berikut ini juga diberikan contoh kasus kejadian badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 yang merepresentasikan kejadian badai geomagnet dipicu oleh dominasi hanya komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) dengan kondisi IMF Bz(-).

### 3.2.3 Kasus badai geomagnet 15 Juli 2000

Badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 bertipe *Sudden Storm Commencement* (SSC) yang dipicu oleh kejadian CME (*full halo*, kecepatan 1674km/s). Pada badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 ini IPS terjadi pada pukul 14.37 UT. Beberapa jam sebelum IPS terjadi (tepatnya 337 menit), IMF Bz mulai mengarah ke selatan dengan intensitas -8 nT. Saat IPS, IMF Bz cenderung mengarah ke utara sekitar 45 menit dan setelah itu berbalik cenderung mengarah ke selatan. Intensitas minimum IMF Bz (-) adalah -60 nT pada pukul 19.25 UT tanggal 15 Juli 2000, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-14 (atas). Dampaknya adalah sebuah badai geomagnet yang ditandai dengan *Sudden Commencement* (SC). Badai geomagnet ini menyebabkan terdepresinya indeks Dst sampai harga -301 nT pukul 21.52 UT, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-14 (bawah).

Pada badai geomagnet tanggal 15 Juli 2000 terlihat bahwa pengaruh ketiga komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$  dengan  $V_{sw}$  lebih dominan) yang naik tajam secara tiba-tiba walaupun tidak dibarengi dengan IMF Bz yang mengarah ke selatan sesaat setelah IPS masih tetap membangkitkan badai geomagnet sangat kuat (Dst = -301 nT). Hal ini diduga diakibatkan oleh orientasi IMF Bz yang cenderung mulai mengarah ke selatan dengan intensitas besar yaitu -60 nT dan durasi yang juga cukup lama (lebih dari 3 jam) walaupun terjadi setelah 32 menit dari IPS. Diperkirakan intensitas badai geomagnet yang terjadi akan lebih dari Dst = -300 nT apabila orientasi IMF Bz saat dan setelah IPS langsung mengarah ke selatan dengan kekuatan yang besar.



Gambar 3-14:(atas) Pola IMF By(GSM), IMF Bz(GSM) dan komponen H Biak tanggal 15 Juli 2000. Keterangan: garis vertikal; (merah) adalah tengah hari waktu lokal, (biru) onset orientasi IMF arah ke selatan sebelum IPS dan (hijau) IPS atau onset SC komponen H stasiun Biak dan (bawah). Variasi indeks Dst tanggal 15 Juli 2000 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi>)

Dari contoh pada poin 3.1 dan 3.2 di atas dapat dikatakan bahwa pembentukan badai geomagnet kuat ( $Dst < -100$  nT) akan menjadi efektif dengan probabilitas keberhasilannya sangat besar ketika kondisi-kondisi ideal berikut ini terpenuhi bersamaan pada saat *Interplanetary Shock* (IPS):

- peristiwa *full halo* CME di sebelah barat matahari dan mengarah tepat ke bumi. Hal ini bersesuaian atau sejalan dengan hasil yang telah diperoleh oleh Gopalswamy, (2009),
- seluruh komponen angin surya ( $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$ ) naik signifikan secara tiba-tiba,
- IMF Bz (-) sudah berorientasi ke arah selatan beberapa menit sebelum IPS dan lebih intens mengarah ke selatan setelah IPS dalam durasi yang lama.

Bila salah satu diantara kondisi-kondisi di atas tidak terpenuhi maka badai geomagnet juga tidak akan terbentuk. Bila salah satu diantara kondisi-kondisi di atas terpenuhi tidak optimal maka badai geomagnet yang terbentuk kurang maksimal.

#### 4 KESIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa faktor *geoeffectiveness* yang meliputi sumber ekstrim di matahari, kondisi komponen angin surya dan orientasi IMF Bz sesaat dan setelah IPS menentukan pembentukan badai geomagnet dan intensitasnya. Sedangkan kondisi angin surya dan IMF Bz sebelum IPS juga signifikan pengaruhnya dalam menentukan pembentukan dan intensitas badai geomagnet yang ditimbulkannya. Namun demikian, lebih dominan lagi pada kondisi angin surya dan IMF terutama komponen Bz arah selatan sesaat dan setelah IPS. Dengan kata lain bahwa pembentukan badai geomagnet kuat ( $Dst < -100$  nT) akan menjadi efektif dengan probabilitas keberhasilannya sangat besar dan efektif ketika kondisi-kondisi ideal terpenuhi secara bersamaan pada saat *interplanetary shock* (IPS). Bila salah satu



diantara kondisi-kondisi tersebut tidak terpenuhi maka badai geomagnet juga tidak akan terbentuk. Bila salah satu diantara kondisi-kondisi tersebut terpenuhi tidak optimal maka badai geomagnet yang terbentuk juga kurang maksimal. Dari pembahasan tersebut juga disimpulkan bahwa ada kalanya badai geomagnet terjadi tidak hanya oleh dominasi komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) seperti yang selama ini kita pahami. Ketika komponen kecepatan angin surya ( $V_{sw}$ ) relatif lemah dan komponen kerapatan serta tekanan angin surya ( $N_{sw}$  dan  $P_{sw}$ ) relatif kuat bersamaan dengan arah selatan IMF yang tepat maka badai geomagnet kuat ( $Dst < -100$  nT) juga dapat terbentuk. Dari 44 kejadian badai geomagnet sepanjang 1996-2001, 26 kejadian diantaranya dipengaruhi dominan oleh  $V_{sw}$  (59,09%), 9 kejadian dipengaruhi dominan oleh  $N_{sw}$  dan  $P_{sw}$  (20,45%), 8 kejadian dipengaruhi dominan serempak oleh  $V_{sw}$ ,  $N_{sw}$ ,  $P_{sw}$  (18,18%) dan sisanya yaitu 1 kejadian dipengaruhi dominan hanya oleh  $P_{sw}$  (2,27%). Hasil analisis ini menguatkan bukti bahwa *geoeffectiveness* tidak dapat diabaikan (wajib dipertimbangkan) dalam kegiatan pemodelan maupun prediksi badai geomagnet. Hal ini menentukan akurasi model maupun prediksinya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya disampaikan kepada Prof. K. Yumoto dan ICSWSE Kyoto University serta Kepala Pusat Sains Antariksa, Lapan dan seluruh peneliti bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa, yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penyediaan data dan pengolahan datanya sampai makalah ini selesai.

### DAFTAR RUJUKAN

- Ajaysinh K. Jadeja, K.N. Iyer, Hari Om Vats and P. K. Manoharan, 2008. *Geo-effectiveness of CMEs*, (J. Astrophys. Astr., 29, pp 287-291).
- Ballatore, P., and Gonzales W.D., 2003. *On the Estimates of the Ring Current Injection and Decay*, Earth planets space, 55, pp. 427-435.
- Burton, R. K., R.L. McPherron, and C.T. Russel, 1975. *An Empirical Relationship Between Interplanetary Conditions and Dst*, Journal of Geophysical Research, 80, pp. 4204-4214.
- Crooker N. U, 2000. *Solar and Heliospheric Geoeffective Disturbances*, J. Atm. Sol. Terr., 62, pp. 1071-1085.
- Futaana, Y., S. Barabash, M. Yamauchi, R. Lundin, and S. McKenna-Lawlor, 2007. *Geo-Effective Solar Flare Events in December 2006: Space Weather Effect on Mars and Venus Oxygen Loss to Space*, EosTrans. AGU.88, Fall Meet. Suppl., Abstract P23A-1087.
- Gonzales, W.D., J.A. Joselyn, Y. Kamide, H.W. Kroehl, G. Rostoker, B.T. Tsurutani, and V.M. Vasyliunas, 1994. *What is a Geomagnetic Storm?*, Journal of Geophysical Research, 99, pp. 5771-5792.
- Gopalswamy N., 2009, *Halo Coronal Mass Ejections and Geomagnetic Storm*, Earth Planet Space, 61, 1-3.
- Hari Om Vats, 2006. *Geo-Effectiveness of Solar Wind Extremes*, Journal of Astrophysics and Astronomy, June & September, Volume 27, Issue 2-3, pp 227-235.
- [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/), pusat data geomagnet dunia.
- <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>.
- <http://umtof.umd.edu/pm/FIGS.HTML>, pusat data aktivitas matahari, kejadian X-ray, flare dll.

- [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_final/200110/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/200110/index.html), pusat\_data magnet WDC2 Jepang.
- Khabarova O. V., 2007. *Current Problems of Magnetic Storm Prediction and Possible Ways of Their Solving, Sun and Geosphere*, 2 (1), 32-27, ISSN 1819-0839.
- Kivelson M. G., and Russell C. T., 1995. *Introduce of Plasma Physics*, Prentice-Hall, 1995.
- Maltsev, Y.P., 2003, *The Points of Controversy in Magnetic Storm Study (Review)*, Physics of Auroral Phenomena, Proc. XXVI Annual Seminar, Apatity, pp33-40.
- Nagatsuma T., 2002, *Geomagnetic Storm*, Journal of the communications research laboratory, 49, No. 3.
- Russell C.T., 2006. *The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: Tutorial*, Department of Earth and space sciences and Institute of Geophysics and Space Physics of University of California, Los Angeles.
- Santoso A., 2010b. *Keterkaitan Antara Angin Surya Dengan Kejadian Badai Geomagnet*, Prosiding Seminar Nasional Fisika II 2010, Surabaya 17 Juli 2010, Hal. F14-F18, ISBN : 978-979-17494-1-1.
- Santoso A., 2010a. *Identifikasi Kondisi Angin Surya (Solar Wind) untuk Prediksi Badai Geomagnet*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY, Semarang 10 April 2010, Hal. 275-283, ISSN : 0853-0823.