

DISTRIBUSI KEJADIAN CME ANTARA TAHUN 1998-2006 DALAM KAITANNYA DENGAN ATMOSFER ATAS

RASDEWITA KESUMANINGRUM dan E. SUNGGING MUMPUNI

*Bidang Matahari dan Antariksa,
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN
kesumaningrum@bdg.lapan.go.id*

Abstrak. Aktivitas matahari dapat menyebabkan perubahan pada medan magnet dan ionosfer bumi. Pengaruh di ionosfer terlihat dengan perubahan kerapatan di ionosfer yang berdampak pada perubahan frekuensi yang biasa digunakan dalam komunikasi radio. Dalam penelitian ini diteliti karakteristik fenomena di matahari yang berpengaruh pada bumi dengan mengidentifikasi CME yang merupakan sumber gangguan geomagnet dan ionosfer. Diperoleh bahwa CME yang berdampak pada medan magnetik bumi pada badai menengah dengan deviasi ionosfer ≤ -2 MHz mempunyai laju antara 300-399 km/dt, terjadi jauh di dalam kromosfer, dan biasanya berasosiasi dengan filamen dan flare. CME ini terbentuk dari tepi, atau sekitar tepi matahari dengan distribusi terbanyak lebar sudut CME sebesar 60 derajat.

Abstract. Solar activities can cause the variation in geomagnetic field and ionosphere. The effects in ionosphere were observed in ionospheric density variations. Therefore, the variation of ionospheric density can affect the communication radio frequency. The characteristics of solar activity that affect the earth were studied by identifying CMEs as the source of geomagnetic and ionospheric disturbances. It was found that CMEs affecting geomagnetic field with moderate storms and ionospheric foF2 deviations ≤ -2 MHz had linear speed within 300-399 km/s, emerged from chromosphere, and associated with filaments and flares. These CMEs were formed in the solar limb or near limb, most of them were 60 degrees in angular width.

Kata kunci: siklus matahari, CME, foF2, badai geomagnet.

1. Pendahuluan

Matahari adalah sumber gangguan magnetosfer yang kuat antara lain mengakibatkan badai geomagnet dan peristiwa presipitasi partikel energi tinggi, badai radiasi dan semburan radiasi elektromagnet (Gburek dan Sylwester, 2003). Zhang et al. (2003), Srivastava (2001), Srivastava dan Venkatakrisnan (2004) menyatakan bahwa penyebab utama munculnya badai geomagnet adalah lontaran massa korona. Efek lontaran massa korona dan badai magnet terkait pada sistem antariksa disebut sebagai cuaca antariksa. Lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejections* atau CME) adalah semburan besar medan magnet korona matahari dan biasanya berupa 10^9 hingga 10^{10} ton plasma ke ruang antarplanet pada laju bervariasi dari 250 hingga 1000 km/det (Gosling, 1997). CME melontarkan partikel-partikel bermuatan, membawa serta medan magnet matahari, dan akan berinteraksi dengan medan magnet bumi (Michalek dan Mazur, 2002). Materi CME ini menuju medium antar planet, dan bila mengarah ke bumi, akan mencapai bumi dalam waktu 1 hingga 5 hari. Penelitian lain menunjukkan bahwa aktivitas geomagnet yang diamati di bumi dikaitkan dengan kejadian CME di matahari dan gelombang kejut antar planet yang mengikutinya

atau dengan aliran angin surya dengan laju tinggi (Ridley *et al.*, 2006, Manchester *et al.*, 2006).

Pengamatan terhadap CME dan flare menunjukkan bahwa keduanya berkaitan dengan kejadian badai geomagnet dan badai ionosfer. Tsagourri *et al.*, (2000) menyatakan bahwa ionosfer dapat mengalami pengaruh positif dan negatif sebagai respons terhadap badai geomagnet. Pengaruh ionosfer ini dapat ditelusuri dengan menggunakan pengamatan foF2. Lebih lanjut pada tulisan ini akan difokuskan pada pengaruh negatif ionosfer selama terjadi badai geomagnet. Secara umum telah dipahami bahwa penyebab badai ionosfer negatif (penurunan kerapatan elektron pada ketinggian lapisan F) pada lintang tinggi dan menengah adalah karena penurunan perbandingan konsentrasi $[O]/[N_2]$ dalam daerah yang mengalami gangguan selama badai geomagnet. (Namgaladze, 2000)

2. Data Dan Metodolgi

Data ionosfer yang digunakan adalah data foF2 di atas Vanimo yang berada pada lintang rendah ($2^{\circ}39'55''\text{LS}$, $141^{\circ}16'26''\text{BT}$), diperoleh dari IPS Radio and Space Service (www.ips.gov.au), data geomagnet berupa indeks Dst dari <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp> sedangkan data aktivitas matahari yaitu CME hasil pengamatan SOHO/LASCO diperoleh dari http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/. Data foF2 ini dipilih untuk mengetahui pengaruh pada atmosfer atas yang merupakan frekuensi kritis untuk komunikasi radio. Data yang digunakan adalah untuk tahun 1998 hingga 2006.

Untuk mengetahui keterkaitan terjadinya CME dan badai ionosfer negatif dengan deviasi $\leq -2\text{MHz}$, ditelusuri aktivitas CME dengan memperkirakan waktu terjadinya gangguan deviasi foF2 pada ionosfer. Deviasi negatif ionosfer ini terkait dengan adanya badai geomagnet menengah $-50\text{ nT} \leq \text{Dst} \leq -99$ dan badai geomagnet kuat $\leq -100\text{ nT}$. Pada tulisan ini hanya akan dilihat pengaruh CME yang menyebabkan badai geomagnet menengah untuk menyederhanakan analisis. Dengan melihat pengaruh terhadap lapisan ionosfer, data foF2 diseleksi dengan melihat perubahan frekuensi terhadap mediannya sebesar $\leq -2\text{ MHz}$. Perubahan frekuensi sebesar -2 MHz ini sebagai batas indikasi gangguan terhadap komunikasi radio. Tahap selanjutnya adalah memilih data foF2 dengan besar deviasi $\leq -2\text{ MHz}$ tersebut yang terkait dengan indeks Dst dengan besar antara -50 nT hingga -99 nT . Kemudian akan diperoleh adanya gangguan ionosfer dengan badai geomagnet menengah pada tanggal tertentu dan kemudian dengan mengukur laju dan percepatan CME serta memperkirakan waktu tiba pada saat terjadi gangguan tersebut, diperoleh distribusi karakteristik lebar sudut dan laju CME yang mengakibatkan badai geomagnet menengah dan gangguan pada ionosfer.

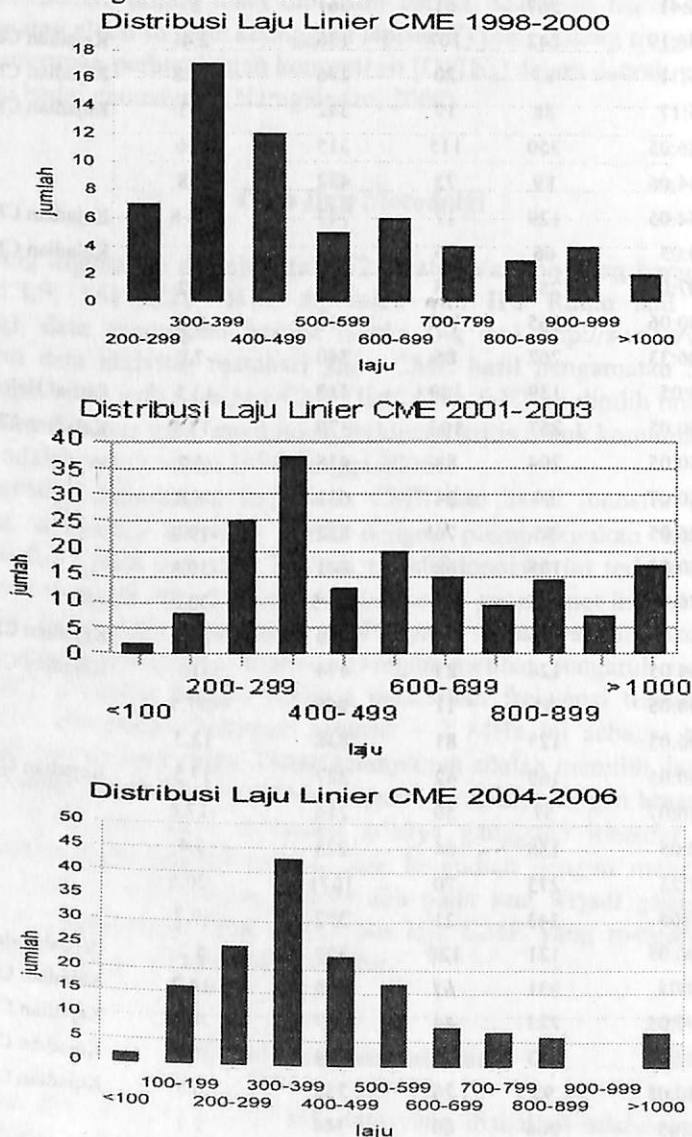
3. Hasil Dan Pembahasan

Pada katalog CME dari SOHO/LASCO ini, data yang dianalisis adalah data laju linier, percepatan dan lebar sudut CME. Sebagian hasil penelusuran peristiwa CME yang berkaitan dengan terjadinya deviasi $\leq -2\text{MHz}$ dengan $-50\text{ nT} \leq \text{Dst} \leq -99\text{ nT}$ pada saat fase naik siklus matahari yaitu tahun 1998–2000 ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Peristiwa CME yang berkaitan dengan terjadinya deviasi $\leq -2\text{MH}$ dengan $-50 \text{ nT} \leq \text{Dst} \leq -99 \text{ nT}$ pada tahun 1998-2000

Tanggal kejadian CME	UT	Central Angle Position	Lebar Sudut	Laju Linier (km/s)	Percepatan m/s^2	Keterangan
1/24/1998	16:43:23	281	55	308	-35.4	Kejadian CME lemah
1/26/1998	15:27:05	80	63	444	-1.6	
3/7/1998	3:46:41	267	81	361	3	
2/6/1999	21:36:19	242	107	136	2.4	Kejadian CME lemah
2/14/1999	0:56:31	87	20	296	-11.8	Kejadian CME sangat lemah
2/14/1999	3:55:17	88	19	342	-3.3	Kejadian CME sangat lemah
2/24/1999	18:26:05	350	115	315	12.6	
2/25/1999	17:54:06	89	73	432	-0.8	
3/1/1999	12:54:05	129	17	747	368.8	Kejadian CME lemah
8/12/1999	0:30:05	66	96	202	11	Kejadian CME lemah
8/12/1999	21:07:09	258	78	240	-2.2	
8/14/1999	14:30:06	265	100	316	-2.8	
8/15/1999	14:06:33	262	86	340	-7.8	
8/16/1999	0:30:05	139	189	410	13.3	Partial Halo
8/18/1999	11:30:05	267	106	370	-13.5	Kejadian CME lemah
8/19/1999	12:50:05	204	88	415	-3.2	
8/20/1999	18:50:07	84	94	631	-6.8	
8/20/1999	23:26:05	95	76	812	-19.2	
8/21/1999	16:50:05	108	68	841	-39.8	
8/21/1999	22:26:05	115	66	1295	-33.2	
9/17/1999	17:30:05	296	33	180	2.9	Kejadian CME lemah
9/23/1999	12:54:05	126	23	494	-13	Kejadian CME lemah
1/21/2000	11:30:05	81	11	966	-67.5	
1/21/2000	12:06:05	125	81	838	12.3	
1/22/2000	18:30:05	169	42	327	57.5	Kejadian CME lemah
2/4/2000	20:16:07	57	50	216	-17.8	
8/10/2000	3:30:05	158	64	223	5.4	
8/11/2000	7:31:25	273	70	1071	-20.5	
9/26/2000	1:50:05	343	21	372	-9.7	
9/28/2000	23:06:05	121	128	329	5.2	Partial Halo
11/5/2000	9:50:05	331	61	375	14.2	Kejadian CME lemah
11/6/2000	17:06:05	223	44	467	4.8	Kejadian CME lemah
11/7/2000	2:50:05	263	65	514	-5.1	Kejadian CME lemah
11/21/2000	11:30:05	95	26	256	6.5	Kejadian CME lemah
11/23/2000	6:06:05	266	60	344	9.1	
11/25/2000	19:31:57	Halo	360	671	-10.8	
11/26/2000	6:30:05	286	227	984	54.4	Partial Halo

Untuk penyederhanaan telaah distribusi kejadian CME, data diklasifikasikan kedalam tiga selang waktu per-tiga tahun yaitu 1998-2000, 2001-2003 dan 2004-2006. Tiga pengelompokan tahun tersebut untuk pendekatan fase-fase siklus matahari dari fase naik siklus 23 (1998-2000), fase puncak (2001-2003), dan fase turun (2004-2006). Distribusi laju linier kejadian CME ditampilkan pada Gambar 3.1. Karakteristik CME yang dianalisis adalah distribusi laju linier dan lebar sudut kejadian CME yang dapat mengakibatkan badai geomagnet menengah dengan indeks Dst antara -50 nT hingga -99 nT dan menimbulkan pengaruh pada foF2 dengan deviasi ≤ -2 MHz.



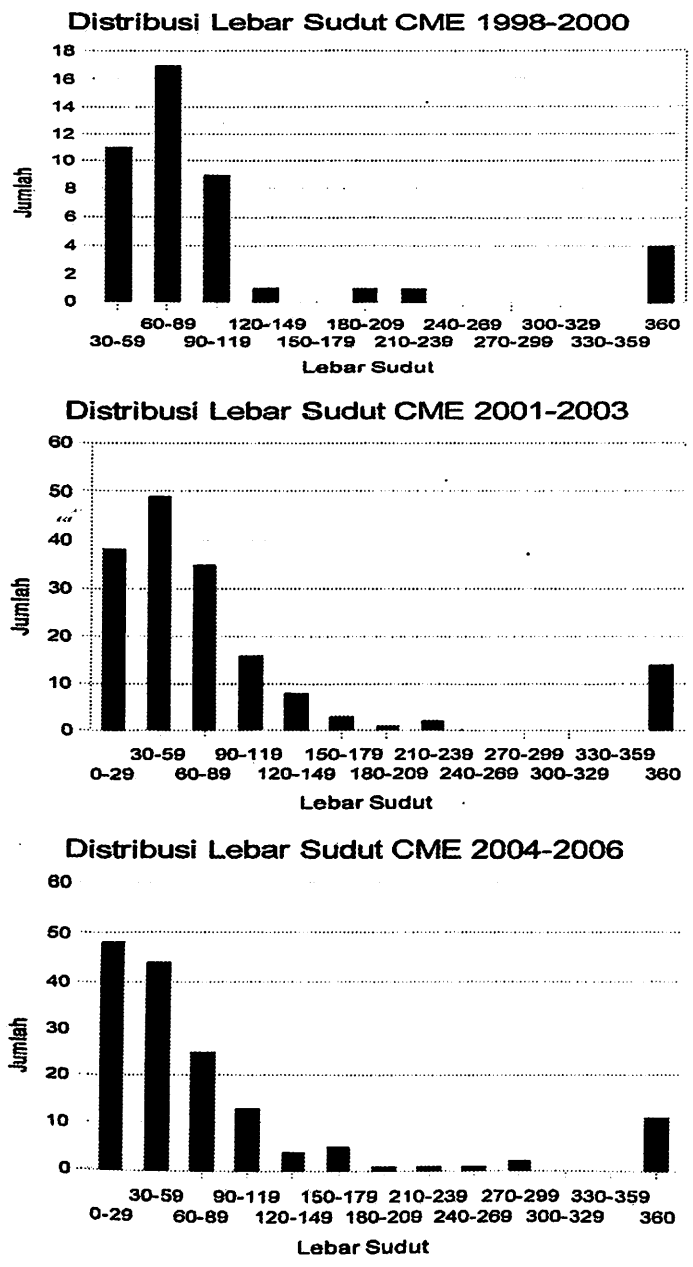
Gambar 3.1. Grafik distribusi laju linier CME selama periode 1998-2006 berkaitan dengan munculnya badai geomagnet menengah dengan deviasi negatif ionosfer foF2 ≤ -2 MHz.

Pada fase naik untuk data CME tahun 1998-2000, laju linier CME terdistribusi dari 200 km/s hingga mencapai 1000 km/det dengan jumlah kejadian CME terbanyak berada pada distribusi 300-399 km/det. Jumlah kejadian CME menurun untuk laju yang lebih tinggi. Pada fase puncak siklus matahari yaitu tahun 2001-2003, jumlah kejadian CME terbanyak pada distribusi laju 300-399 km/det namun kejadian CME dengan laju yang lebih tinggi jumlahnya meningkat dibandingkan dengan pada fase naik. Karena distribusi kejadian CME pada fase puncak terjadi lebih banyak, tercatat cukup banyak kejadian CME dengan laju yang melebihi 750 km/det mencapai 35 kejadian. Sedangkan pada fase menurun untuk tahun 2004-2006, jumlah kejadian yang paling banyak adalah pada distribusi laju 300-399 km/s dengan pola serupa pada fase naik siklus dimana jumlah kejadian menurun untuk laju yang lebih tinggi. Kejadian CME dengan laju linier diatas 750 km/det jumlahnya lebih sedikit daripada kejadian pada fase puncak dengan jumlah mencapai 20 kejadian.

Dari tinjauan pada ketiga kasus tersebut, secara umum laju linier CME yang berdampak pada lapisan ionosfer Bumi untuk badai menengah mempunyai laju antara 300-399 km/det. Ini tidak terlalu jauh dengan pekerjaan Zhang et al. (2003), yang menunjukkan rata-rata laju CME adalah 350 km/det, sebagai batas terendah laju angin matahari teramati. Laju linier rata-rata yang berada pada sekitar 350 km/dt memberikan indikasi bahwa CME terjadi jauh di dalam korona (dan biasanya berasosiasi dengan filamen dan flare) (Gopalswamy, 2006, Yurchyshyn et al., 2005 dan Gosling et al., 1976). Meskipun laju liniernya rendah, CME ini dapat mengalami percepatan (MacQueen dan Fisher, 1983) dan mengakibatkan gangguan pada ionosfer dan geomagnet pada skala menengah.

Hasil telaah distribusi lebar sudut CME ditampilkan pada Gambar 3.2. Pada fase naik, terlihat bahwa distribusi lebar sudut CME umumnya berada pada 30-119 derajat. Terdapat empat kejadian dengan lebar sudut mencapai 360 derajat yaitu CME halo. Jumlah kejadian terbanyak berada pada distribusi lebar sudut 60-89 derajat. Pada siklus naik ini, adanya kejadian CME halo adalah pada tahun 2000 dimana aktivitas matahari sudah cukup tinggi menjelang puncak siklus aktivitasnya. Pada fase puncak, distribusi lebar sudut CME berada pada rentang 0 hingga 239 derajat dengan jumlah kejadian terbanyak berada antara 30-59 derajat. Jumlah kejadian CME ini menurun dengan lebar sudut yang lebih besar. Pada fase puncak ini juga terjadi kejadian CME dengan lebar sudut 360 derajat mencapai 14 kejadian. Pada fase puncak frekuensi terjadinya CME halo jauh lebih banyak daripada fase naik dan fase menurun siklus matahari. Pada fase menurun, distribusi lebar sudut CME serupa dengan sebaran distribusi pada fase naik dengan jumlah terbanyak antara 0-59 derajat dan masih terdapat kejadian CME dengan lebar sudut mencapai 360 derajat sebanyak 11 kejadian. Adanya kejadian CME halo yang cukup banyak pada fase ini dapat disebabkan karena pada tahun 2004 aktivitas matahari masih cukup tinggi.

Telaah statistik kejadian CME yang mengakibatkan badai geomagnet menengah dan badai ionosfer dengan deviasi $foF2 \leq -2\text{MHz}$ tersebut menunjukkan bahwa distribusi terbanyak lebar sudut CME mencapai 60 derajat. Cremandes et al. (2004) menunjukkan bahwa besarnya sudut yang hanya 60 derajat ini mengindikasikan bahwa CME tersebut terbentuk dari tepi atau sekitar tepi matahari. Dengan besar sudut hanya mencapai 60 derajat, CME yang berasal dari area spasial yang sangat tipis ini kekuatannya terkonsentrasi dan kemudian dibawa oleh angin matahari sehingga menimbulkan gangguan pada ionosfer dan geomagnet pada badai menengah.



Gambar 3.2. Grafik distribusi lebar sudut CME selama periode 1996-2006 yang berkaitan dengan munculnya badai geomagnet menengah dengan deviasi ionosfer ≤ -2 MHz.

4. Kesimpulan

Hasil penelusuran aktivitas CME untuk rentang waktu pengamatan 1998 hingga 2006 yang diduga mengakibatkan gangguan pada ionosfer dengan besar gangguan geomagnet $-50 \text{ nT} \leq \text{Dst} \leq -99 \text{ nT}$, dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik lebar sudut dan laju linier untuk masing-masing selang waktu fase naik (1998-2000), fase puncak (2001-2003) dan fase menurun (2004-2006). Dengan meninjau percepatan CME dapat diperkirakan waktu tiba pada saat terjadi badai dapat diperoleh bahwa CME yang berpengaruh pada foF2 dengan deviasi $\leq -2 \text{ MHz}$ dan berdampak pada medan magnet Bumi pada badai menengah mempunyai laju antara 300-399 km/dt, terjadi jauh di dalam korona dan biasanya berasosiasi dengan filamen dan flare. Distribusi terbanyak lebar sudut CME ini adalah pada 60 derajat.

Daftar Pustaka

- Cremades, H.; Bothmer, V., 2004, *On the Three-Dimensional Configuration of Coronal Mass Ejections*, *A&A* .422, 307-322.
- Gburek dan Sylwester, 2003, *Origin of Strong Solar Geo-Effective Events As Seen By SXT Telescope*, Proc. ISCS 2003 Symposium, Tatranská Lomnica, Slovakia, 235-238.
- Gopalswamy N., Lara, A., Yashiro, S., Nunes, S., Howard, R. A., 2006, *Coronal Mass Ejections Activity During Solar Cycle 23*, *Journal Astrophysics and Astronomy*, 27, 243-254
- Gosling, J. T., 1997, N. Crooker, J. A. Joselyn, dan J. Feyman (editor), *Coronal Mass Ejections*, AGU Geophysical Monograph, 90, 9
- Gosling, J. T.; Hildner, E.; MacQueen, R. M.; Munro, R. H.; Poland, A. I.; Ross, C. L., 1976, *The Speeds of Coronal Mass Ejection Events*, *Solar Phys*, 48, 389.
- MacQueen, R. M.; Fisher, R. R., 1983, *The Kinematics of Solar Inner Coronal Transients*, *Solar Phys*, 89, 89
- Manchester IV, W.B, Ridley, A.J., Gombosi, T.I., DeZeeuw, D.L., 2006, *Modeling the Sun Earth Propagation of a Very Fast CME*, *Advances in Space Research*, 38, Issue 2, 253-262.
- Michalek dan Mazur, 2002, *Properties of Coronal Mass Ejections*, Proc. 10th Europ. Sol. Phys. Meeting Prague Czech Republic, 181-184.
- Namgaladze, A. A., Forster M., Yurik, R. Y., 2000, *Analysis of the Positive Ionospheric Response to a Moderate Geomagnetic Storm Using a Global Numerical Model*, *Ann. Geophysicae*, 18, 461-477.
- Ridley, A.J., De Zeeuw, D. L., Manchester, W. B., Hansen, K. C., 2006, *The Magnetospheric and Ionospheric Response to a Very Strong Interplanetary and Coronal Mass Ejection*, *Advances in Space Research*, 38, 263-272.
- SOHO LASCO CME CATALOG, http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/.
- Srivastava dan Venkatakrisnan, 2004, *Solar and Interplanetary Sources of Major Geomagnetic Storms During 1996-2002*, *Journal of Geophys. Research*, 109.
- Srivastava, 2001, *Solar and Interplanetary Signatures of Intense Geomagnetic Storms During 1997-2000*, *Bull. Astr. Soc. India* 29, 249.

- Tsagouri, I., Belchaki, A., Moraitis, G., dan Mavromichalaki, H., 2000, *Positive and Negative Ionospheric Disturbances at Middle Latitudes During Geomagnetic Storms*, *Geophysical Research Letters*, **27**, No. 21, 3579-3582.
- World Data Center, www.ips.gov.au.
- Yurchyshyn, V., Yashiro, S., Abramenko, V., Wang, H., Gopaswamy, N., 2005, *Astrophysical Journal*, **619**, Issue 1, 599-603.
- Zhang, J., Dere, K.P., Howard, R.A., Bothmer, V., 2003, *Identification of Solar Sources of Major Geomagnetic Storms Between 1996 and 2000*, *Astrophys. J.*, **582**, 520.