

GEOEFEKTIVITAS AWAN MAGNET

CLARA Y. YATINI DAN MAMAT RUHIMAT

Pusat Sains Antariksa - LAPAN

e-mail: clara@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Awan magnet merupakan salah satu emisi energi dari matahari ke ruang antarplanet. Awan magnet ini seringkali terkait dengan adanya lontaran massa korona (CME). Tidak semua awan magnet mempunyai dampak ke bumi (geoeftif), yang dapat memicu badai geomagnet dan turunnya intensitas sinar kosmik di bumi. Awan magnet yang terjadi selama tahun 2000 dipelajari di sini, termasuk parameter antarplanet selama terjadinya awan magnet tersebut. Hal ini terkait dengan geoeftifitasnya, yaitu dampak yang diterima di bumi. Berdasarkan dampaknya, awan magnet dibedakan menjadi yang berdampak kuat dan kurang kuat. Awan magnet yang berdampak kuat ditunjukkan oleh penurunan indeks gangguan geomagnet Dst yang lebih kuat dan penurunan sinar kosmik yang lebih besar dibandingkan dengan yang berdampak kurang kuat. Disamping itu geoeftifitas awan magnet juga dipengaruhi oleh parameter antarplanet, yaitu kuat medan magnet arah selatan (Bz), kerapatan, dan kecepatan angin surya

Kata kunci: awan magnet, geoeftifitas.

Abstract. Magnetic cloud events represent one type of solar energy emission into interplanetary space and are often associated with coronal mass ejection (CME). Not all magnetic cloud events are geoeffective, i.e. capable of causing geomagnetic disturbances and decreasing the cosmic ray intensity. We study the magnetic cloud events during 2000. Interplanetary physical parameters during magnetic cloud events are also examined. These are related to their geoeffectiveness, in terms of their impact to the Earth. The highly geoeffective magnetic clouds are indicated by the remarkable changes in the Dst indices and cosmic ray count on Earth than the less geoeffective

1. Pendahuluan

Awan magnet merupakan suatu struktur di ruang antarplanet yang mempunyai medan magnet sangat kuat (Burlaga et al., 1981; Klein and Burlaga, 1982), berasal dari matahari yang diikuti oleh gelombang antarplanet dan menunjukkan rotasi medan magnet secara perlahan-lahan. Awan magnet dapat mempercepat angin surya dan menambah kerapatannya, akan tetapi mempunyai temperatur plasma yang rendah. Pada umumnya awan magnet berasosiasi dengan ledakan masif dari matahari yang dikenal dengan lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) (Gosling, 1990). Awan magnet juga mempengaruhi banyaknya sinar kosmik yang diterima di bumi. Awan magnet dapat menyebabkan penurunan intensitas sinar kosmik, karena medan magnet yang kuat dapat menyapu sinar kosmik yang menuju ke Bumi (Sanderson et al., 1990; Mishra, 2005)

Bila awan magnet berinteraksi dengan magnetosfer bumi, akan terjadi beberapa kemungkinan, yaitu tidak ada badai geomagnet, badai lemah, badai sedang, atau badai kuat (Wu dan Lepping, 2002). Badai geomagnet ini umumnya dipengaruhi oleh parameter medan magnet antarplanet, antara lain kuat medan magnet antarplanet, serta kecepatan dan kerapatan angin surya.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh awan magnet pada medan geomagnet dan modulasi sinar kosmik (Zhang dan Burlaga, 1988). Dalam makalah ini akan dilihat tingkat geoeftektivitas dari awan magnet. Geoeftektivitas diartikan sebagai efektivitas awan magnet tersebut untuk mempengaruhi bumi (Rajaram et al., 2006). Pengaruh pada bumi dilihat dari intensitas gangguan geomagnet yang terjadi di bumi, khususnya di lintang rendah. Gangguan di lintang rendah diwakili oleh indeks gangguan *Disturbance Storm Time* (Dst). Geoeftektivitas awan magnet dibedakan menjadi (i) efektif, bila $Dst < -100$ nT, dan (ii) kurang efektif bila $Dst > -100$ nT.

Awan magnet yang dianalisis efektivitasnya adalah awan magnet yang terjadi pada tahun 2000, yaitu puncak siklus matahari ke-23. Efektivitas awan magnet terhadap gangguan yang terjadi di bumi juga tidak lepas dari parameter antarplanet lainnya, yaitu kuat medan magnet antarplanet terutama arah utara-selatan (Bz), sinar kosmik, serta kerapatan dan kecepatan angin surya,

2. Data and Metodologi

Awan magnet yang dianalisis merupakan awan magnet yang terjadi pada tahun 2000, yaitu puncak siklus matahari ke-23. Data awan magnet ini diperoleh dari *Magnetic Field Investigation* (MFI) yang ada di satelit WIND. Ada 13 awan magnet yang terjadi, seperti diperlihatkan pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1.

Awan magnet pada tahun 2000

No	Mulai		Akhir	
	Tanggal	Jam (UT)	Tanggal	Jam (UT)
1	12 Februari	17.1	13 Februari	0.6
2	21 Februari	9.8	22 Februari	13.3
3	24 Juni	8.3	25 Juni	20.3
4	1 Juli	8.8	2 Juli	3.3
5	15 Juli	21.1	16 Juli	9.9
6	28 Juli	21.1	29 Juli	10.1
7	1 Agustus	0.1	1 Agustus	15.9
8	12 Agustus	6.1	13 Agustus	5.1
9	18 September	1.9	18 September	15.1
10	3 Oktober	17.1	4 Oktober	14.1
11	13 Oktober	18.4	14 Oktober	16.9
12	28 Oktober	23.3	30 Oktober	0.3
13	6 November	23.1	7 November	18.1

Sumber awan magnet ini ditelusuri sumbernya di matahari sehingga dapat diketahui penyebab terjadinya awan magnet ini. Penelusuran ini dilakukan berdasarkan kecepatan angin surya yang teramati di satelit pada waktu terdeteksinya awan magnet, serta mempertimbangkan jarak antara matahari dan bumi (Yatini, 2008; Yatini et al., 2008). Data matahari berupa CM E dan flare serta daerah aktifnya. Data CME diperoleh dari SOHO-LASCO CME catalog, sedangkan flare dan daerah aktifnya dapat diperoleh dari *National Geophysical Data Center*.

Untuk mengetahui geoeftektivitas dari awan magnet tersebut, maka dilihat intensitas gangguan geomagnet (Dst) yang ditimbulkannya. Untuk dampaknya (tingkat geoeftektivitasnya) dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Kuat (*Highly Geoeffective*), dengan Dst < -100 nT
2. Kurang Kuat (*Less Geoeffective*), dengan Dst > - 100 nT

Berikutnya akan dilihat juga parameter yang terkait dengan gangguan yang tejadi pada medan magnet bumi, yaitu kuat medan magnet arah utara-selatan (Bz), sinar kosmik, kerapatan dan kecepatan angin surya.

Adapun data yang digunakan dalam makalah ini adalah sebagai berikut:

- Data sinar kosmik diperoleh dari stasiun pengamatan Calgary (*Calgary Neutron Monitor*), berupa intensitas sinar kosmik setiap jam. Intensitas sinar kosmik dinyatakan dalam persen (%). Intensitas 100% menunjukkan jumlah sinar kosmik yang sudah terkoreksi sebesar 1212160 counts/jam.

Data kerapatan dan kecepatan angin surya diperoleh dari SWEPAM yang ada di satelit ACE (*Advanced Composition Explorer*).

Data kuat medan magnet antarplanet dari komponen MAG yang ada di satelit ACE (*Advanced Composition Explorer*).

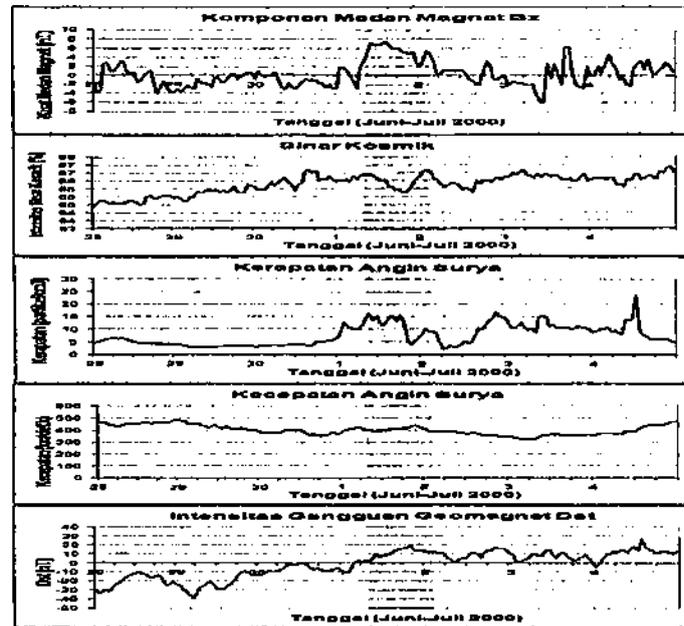
Data intensitas gangguan geomagnet Dst diperoleh dari *World Data Center for Geomagnetism Kyoto University*.

Parameter-parameter antarplanet ini kemudian diplot dan kemudian dibandingkan dengan waktu terjadinya awan magnet, kira-kira empat hari sebelum dan empat hari sesudah terjadinya awan magnet, untuk mengetahui perubahan kondisi karena awan magnet ini. Perubahan kondisi inilah yang akan dilihat untuk mengetahui geoeftektivitas dari awan magnet tersebut.

3. Hasil dan Analisis

Awan magnet yang terjadi pada tahun 2000 ini ternyata ada yang tidak mengakibatkan munculnya badai geomagnet, yaitu awan magnet tanggal 1 Juli 2000 (lihat Gambar 3-1). Pada saat tersebut, kecepatan angin surya sekitar 400 km/detik, dan kerapatannya juga menunjukkan adanya kenaikan partikel. Meskipun terjadi sedikit penurunan intensitas sinar kosmik, akan tetapi indeks gangguan geomagnet Dst menunjukkan nilai positif, yang biasanya tidak ada gangguan pada geomagnet. Medan magnet antarplanet Bz juga

menunjukkan nilai positif, sedangkan badai geomagnet umumnya disebabkan oleh medan magnet antarplanet yang mengarah ke selatan (Burton et al., 1975)



^ ambar 3~J, Kejadian awan magnet (daerah gelap) tanggal 1 Juli 2000 yang tidak amPak pada geomagnet. Setiap gambar menunjukkan (dari atas ke bawah): Kuat e an magnet arah utara selatan (Bz), intensitas sinar kosmik, kerapatan angin surya, kecepatan angin surya, intensitas gangguan geomagnet (Dst).

Untuk awan magnet yang berdampak pada geomagnet dibedakan menjadi dua, yaitu yang berdampak kuat dan kurang kuat. Gambar 3-2a dan b memperlihatkan plot sinar kosmik dan parameter antarplanet terkait dengan awan magnet yang berdampak kuat, sedangkan Gambar 3-3 terkait dengan awan magnet yang berdampak kurang kuat. Tabel 3-1 memperlihatkan awan magnet pada tahun 2000 dan aktivitas matahari serta antarplanet terkait.

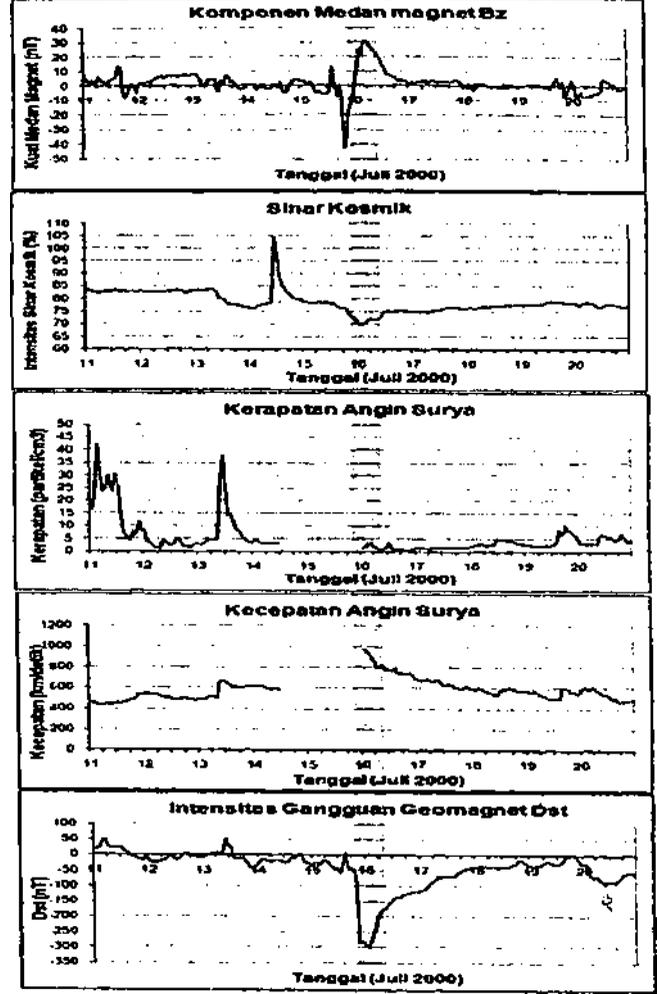
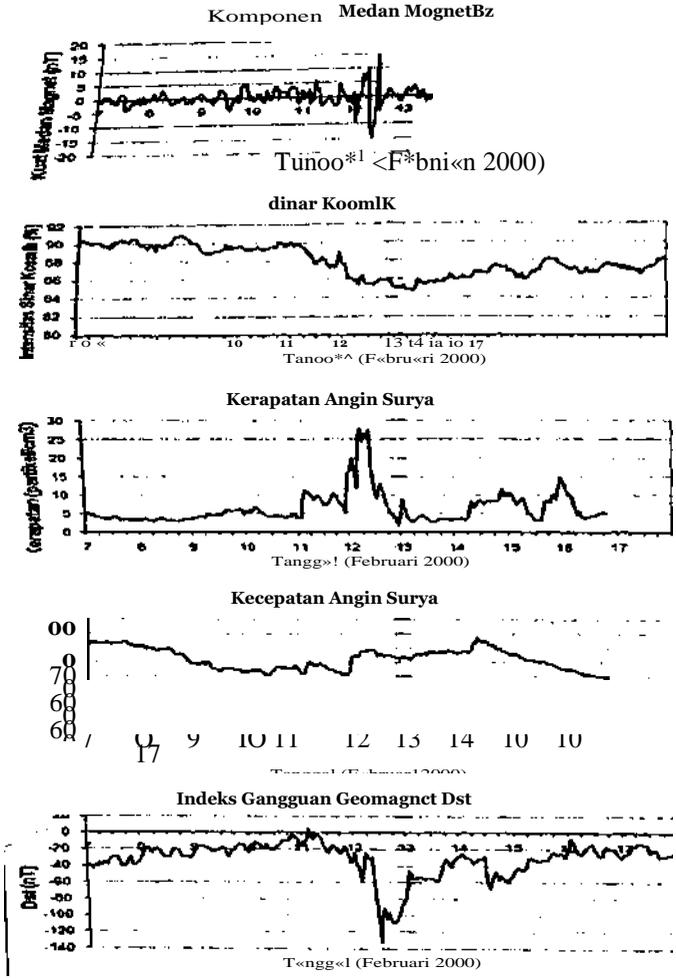
Secara umum terlihat bahwa awan magnet yang terjadi berkaitan erat dengan munculnya CME. Medan magnet antarplanet arah utara selatan Bz mengarah ke selatan pada sekitar waktu terjadinya awan magnet mengakibatkan terjadinya badai geomagnet, yang ditunjukkan dengan nilai Dst yang negatif. Demikian juga terjadi penurunan intensitas sinar kosmik dan kenaikan kerapatan yang tajam serta angin surya kecepatan tinggi, meskipun terjadinya tidak dalam rentang waktu yang sama dengan terdeteksinya awan magnet.

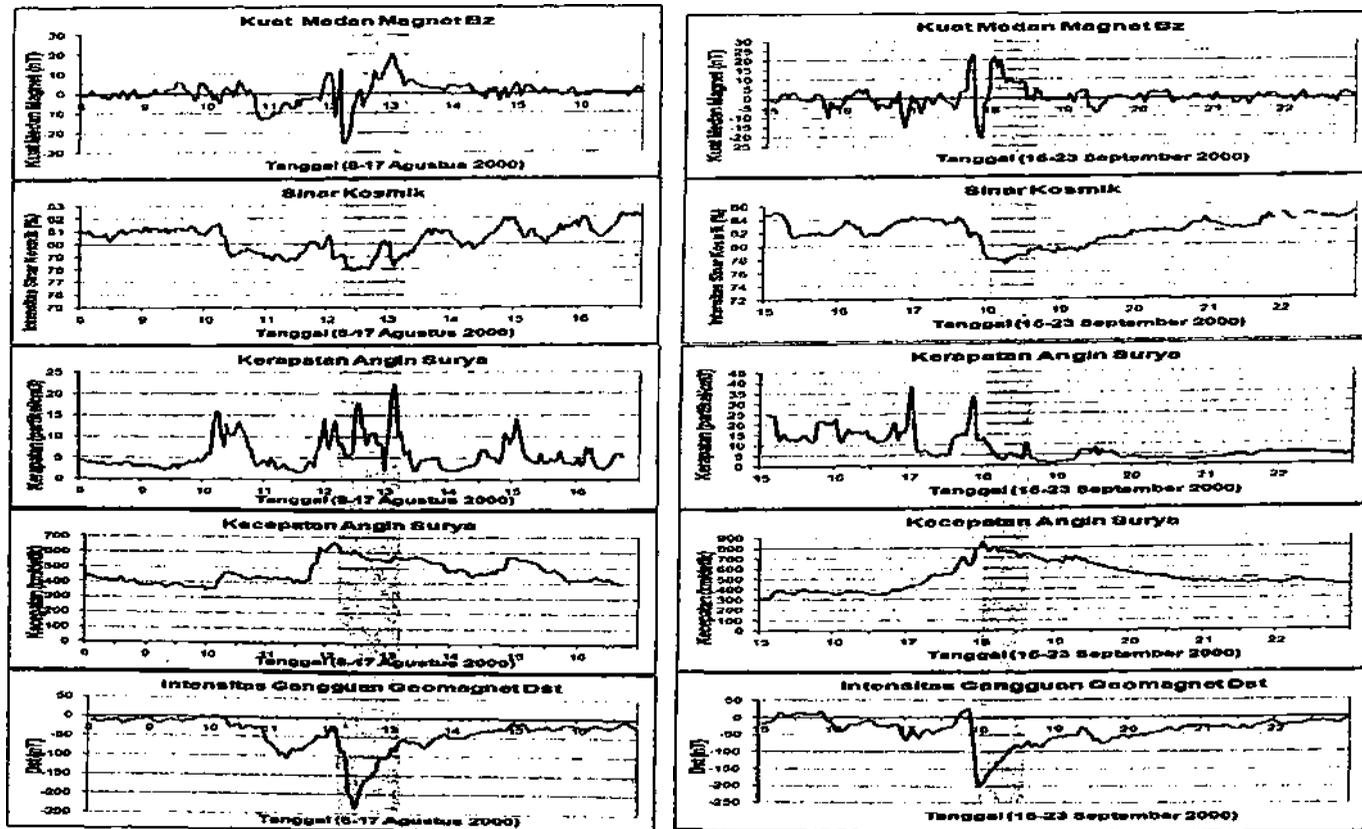
Walaupun demikian masing-masing kategori mempunyai beberapa sifat (karakteristik) yang berbeda. Pada Tabel 3-1 Gambar 3-2 dan 3-3 terlihat beberapa perbedaan, seperti yang diuraikan berikut ini.

Tabel 3 -1

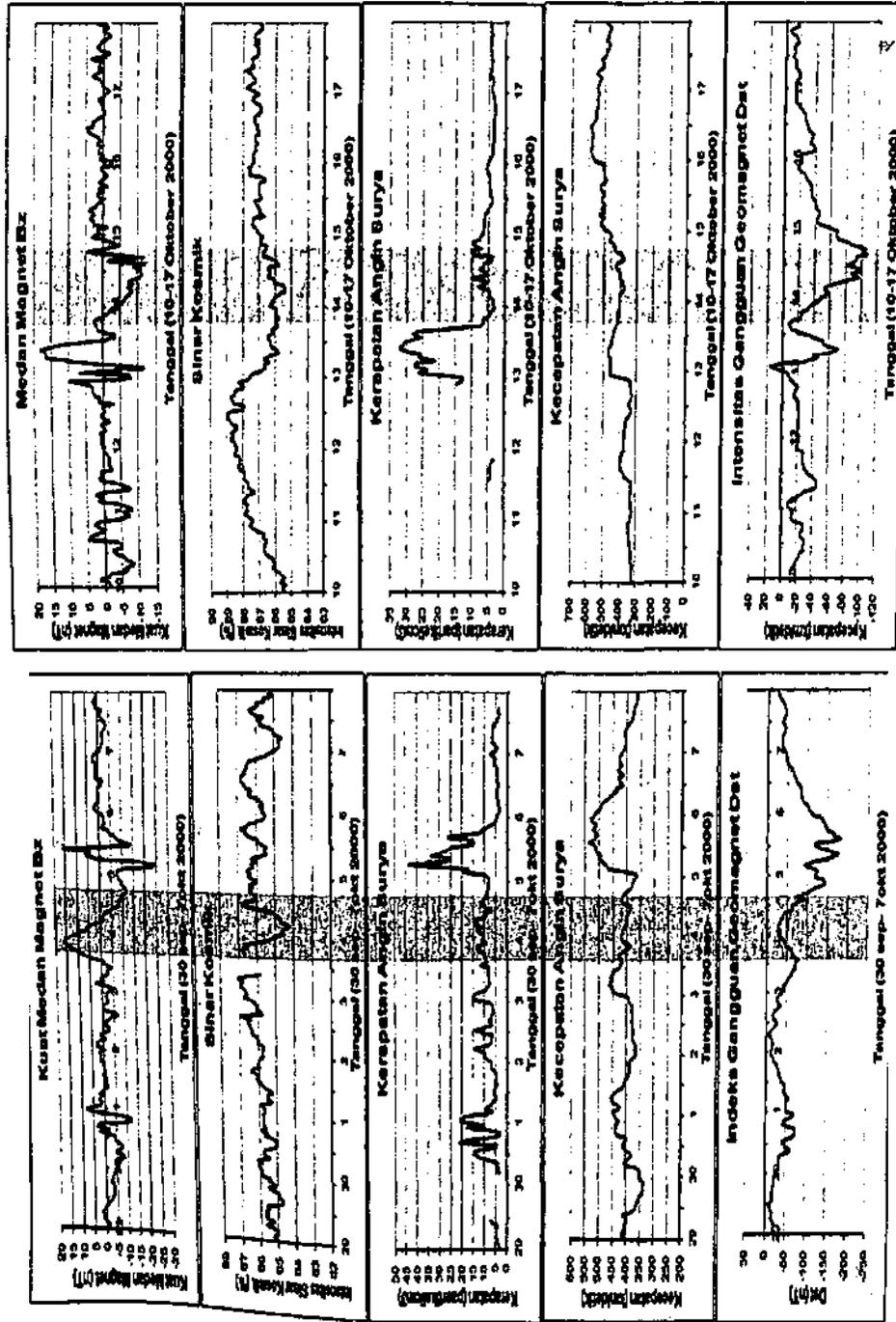
Awan magnet tahun 2000 dan sumbernya di matahari serta kategori dampak yang ditimbulkannya

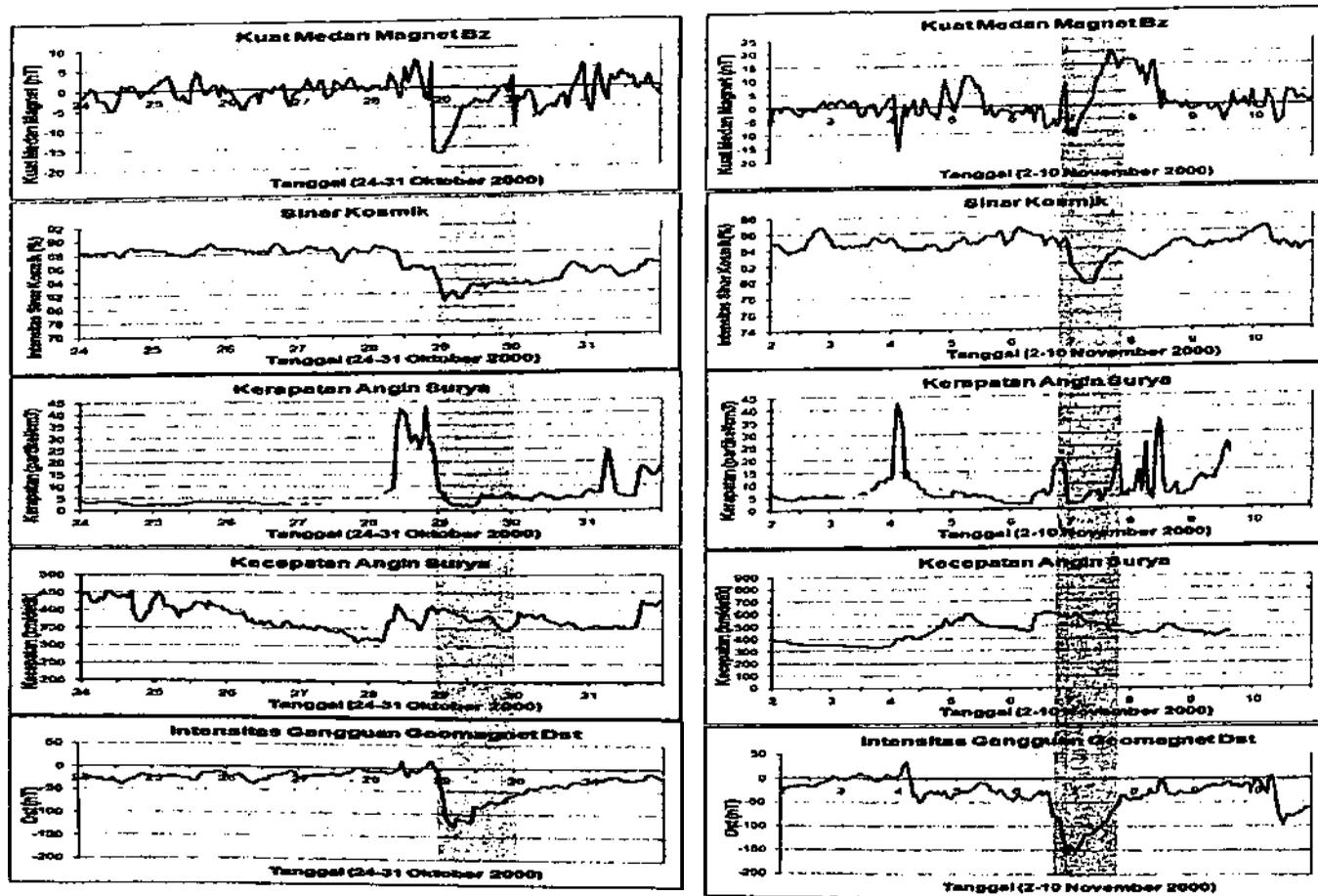
NO	Awam Magnet		Sumber Matahari							Dampak	
	Tanggal	Jam (UT)	CME		Flare						
			Tanggal	Jam	Kelas	Mulai	Maks	Akhir	Daerah Aktif		Posisi
1	12 Februari	17,1	10 Februari	2:30 UT	C7.3	10:40	2:28	2:39	NOAA 8858	N31 E04	Kuat
2	21 Februari	9,8	17 Februari	21:30 UT	-	-	-	-	-	-	Kurang kuat
3	24 Juni	8,3	20 Juni	9:10 UT	-	-	-	-	-	-	Kurang kuat
4	1 Juli	8,8	27 Juni	10:54 UT	-	-	-	-	-	-	Kurang kuat
5	15 Juli	21,1	14 Juli	10:54 UT	X5.7	-	-	-	NOAA 9071	' N22W07	Kuat
6	28 Juli	21,1	25 Juli	3:30 UT	-	-	-	-	-	-	Kurang kuat
7	1 Agustus	0,1	28 Juli	19:54 UT	-	-	-	-	-	-	Kurang kuat
8	12 Agustus	6,1	9 Agustus	16:30 UT	C2.3	10:03	10:24	10:43	NOAA 9114	N11 W11	Kuat
9	18 September	1,9	16 September	5:18 UT	M5.9	15:19	16:22	17:00	NOAA9165	N14 W07	Kuat
10	3 Oktober	17,1	2 Oktober	3:50 UT	C4.	4:06	4:06	4:48	NOAA 9176	S09 E07	Kuat
11	13 Oktober	18,4	9 Oktober	23:50 UT	C6. 1	23:19	23:19	0:26	NOAA9182	N01 W14	Kuat
12	28 Oktober	23,3	25 Oktober	8:26 UT	7						Kuat
13	6 Nopember	23,1	3 Nopember	18:26 UT	C3. 2	18:35	19:02	20:06	NOAA9213	N02 W02	Kuat



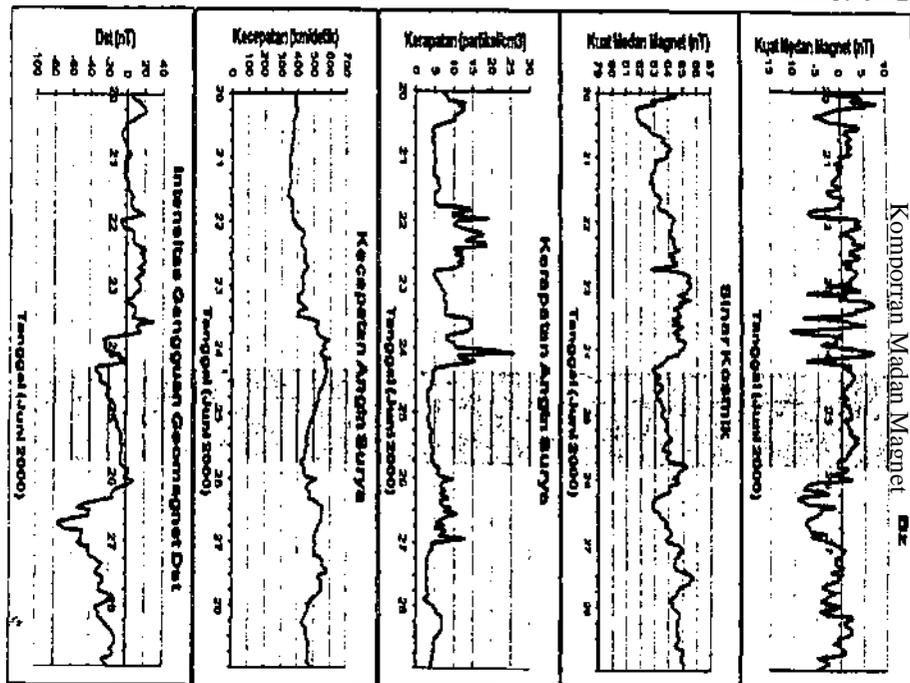
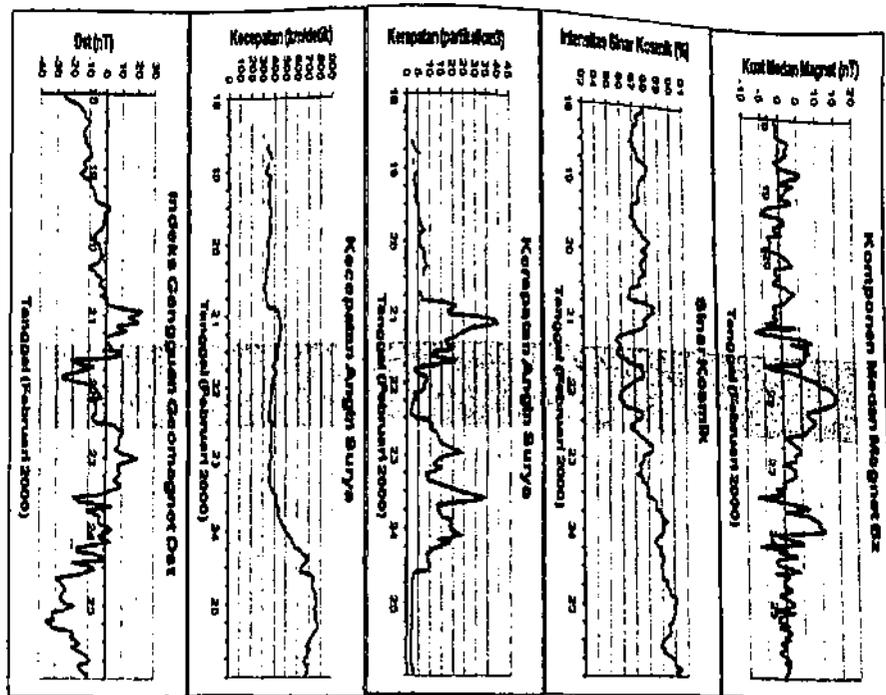


Gambar 3-2a. Kejadian awan magnet (daerah gelap) tanggal 12 Februari, 15 Juli, 12 Agustus, dan 18 September 2000 yang berdampak kuat pada geomagnet (*Highly Geoeffective*). Setiap gambar menunjukkan (dari atas ke bawah): Kuat medan magnet arah utara selatan (Bz), intensitas sinar kosmik, kerapatan angin surya, kecepatan angin surya, intensitas gangguan geomagnet (Dst).

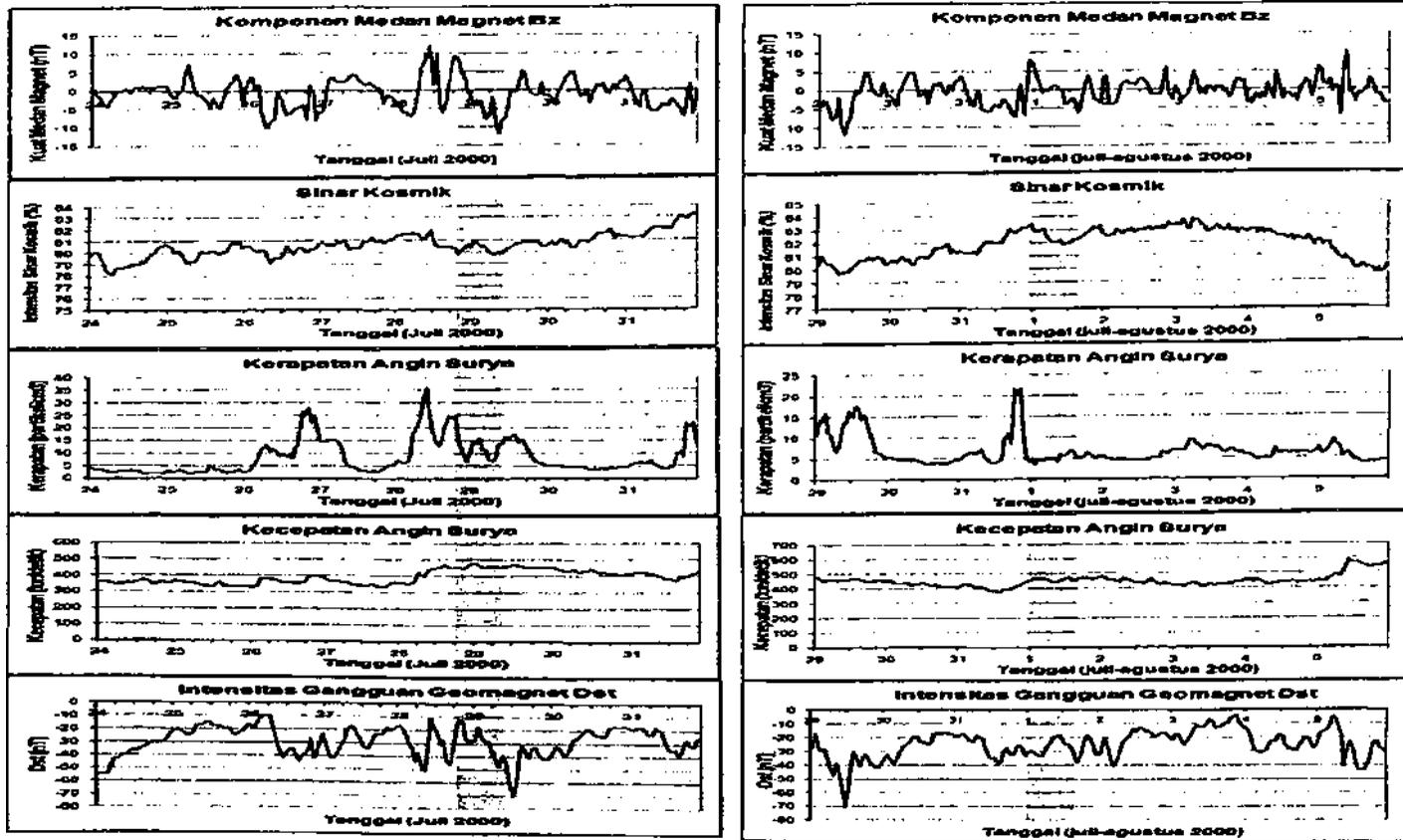




Gambar 3-2b. Kejadian awan magnet (daerah gelap) tanggal 3 Oktober, 13 Oktober, 28 Oktober, dan 6 November 2000 yang berdampak kuat pada geomagnet (*Highly Geoeffective*). Setiap gambar menunjukkan (dari atas ke bawah): Kuat medan magnet arah utara selatan (Bz), intensitas sinar kosmik, kerapatan angin surya, kecepatan angin surya, intensitas gangguan geomagnet (Dst).



1VWIH1TH1VWVW NVQ INUVA A VHV1D



Gambar 3-3. Kejadian awan magnet (daerah gelap) tanggal 21 Februari, 24 Juni, 28 Juli, dan 1 Agustus 2000 yang berdampak kurang kuat pada geomagnet (*Less Geoeffective*). Setiap gambar menunjukkan (dari atas ke bawah): Kuat medan magnet arah utara ^ selatan (Bz), intensitas sinar kosmik, kerapatan angin surya, kecepatan angin surya, intensitas gangguan geomagnet (Dst).

1.1. Awan magnet yang berdampak kuat (*Highly Geoeffective*)

Dampak yang terjadi di geomagnet terkait dengan awan magnet ini adalah badai geomagnet kuat dengan $Dst < -100$ nT. Dari plot awan magnet terhadap sinar kosmik, parameter antarplanet, dan intensitas gangguan geomagnet Dst yang diperlihatkan pada Gambar 3-2, serta keterkaitannya dengan aktivitas matahari pada Tabel 3-1, maka dapat diketahui beberapa fenomena sebagai berikut:

- Awan magnet umumnya berasal dari CME yang berasosiasi dengan flare, dan berasal dari daerah aktif yang dapat dikenali dengan baik, kecuali untuk awan magnet tanggal 28 Oktober yang tidak berasosiasi dengan flare. Walaupun demikian geoeftivitas ini tidak bergantung pada kelas flare, karena flare yang terjadi ternyata mempunyai rentang yang sangat lebar, dari kelas C sampai X.
- Medan magnet antarplanet B_z semuanya menunjukkan B_z yang negatif cukup besar, yaitu < -11 nT. Nilai B_z juga menunjukkan perubahan tajam dari negatif (minimum -40 nT) ke positif (maksimum $+30$ nT)
- Intensitas sinar kosmik mengalami penurunan yang dapat terlihat dengan jelas, dan besarnya penurunannya $> 2.5\%$. Akan tetapi penurunan sinar kosmik tidak hanya terjadi saat datangnya awan magnet, tetapi bisa juga terjadi sebelum awan magnet terdeteksi. Menurut Badruddin *et al.* (1991) turunnya sinar kosmik yang terjadi sebelum datangnya awan magnet disebabkan oleh adanya gelombang kejut (*shock*) yang mendahului awan magnet. *Shock* ini dapat disebabkan oleh adanya CME.
- Pada saat intensitas gangguan geomagnet Dst mencapai minimum, kecepatan angin surya umumnya cukup tinggi, lebih dari 400 km/detik, bahkan dapat mencapai 1000 km/detik. Kerapatannya juga cukup tinggi, lebih dari 20 partikel/cm³. Kondisi angin surya ini akan mempengaruhi kondisi magnetosfer. Tekanan magnet yang dialami oleh magnetosfer ditentukan oleh tekanan dinamik angin surya seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (Hughes, 1995):

$$P = \rho_{sw} u_{sw}^2 = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (3-1)$$

dengan P = tekanan magnet

B = medan magnet total di magnetopause

u_{sw} = kecepatan angin surya

ρ_{sw} = rapat massa angin surya = $m_p n_p$

m_p = massa proton

n_p = kerapatan proton

μ_0 = permeabilitas di ruang hampa

Sehingga medan magnet total di magnetopause dapat dinyatakan sebanding dengan kerapatan dan kecepatan angin surya dengan persamaan:

$$B \approx 2\mu_0(\rho_{sw} u_{sw}^2)^{1/2} \quad (3-2)$$

Dari persamaan (3-1) dan (3-2) di atas dapat diketahui bahwa medan magnet total di magnetopause yang makin besar akan mengakibatkan tekanan dinamik di magnetopause yang makin besar, sehingga intensitas gangguan geomagnet menjadi kuat

1.2. Awan magnet yang berdampak kurang kuat (*Less Geoeffective*)

Dari Gambar 3-2, 3-3, dan Tabel 3-1 dapat dilihat bahwa awan magnet yang dampaknya kurang kuat ($Dst > -100$ nT) terkait dengan fenomena sebagai berikut:

- a. Awan magnet yang terjadi, walaupun berkaitan dengan CME, tetapi tidak berasosiasi dengan flare. Demikian juga daerah aktif tempat munculnya CME tidak bisa diketahui dengan jelas.
- b. Intensitas medan magnet antarplanet utara selatan B_z tidak terlalu kuat. Dari keempat peristiwa yang terdapat pada Gambar 3-3, nilai $B_z > -11$ nT. Perubahan B_z juga tidak menunjukkan nilai yang besar seperti pada B_z yang terkait dengan awan magnet berdampak kuat, dari minimum -11 nT sampai $+15$ nT. Ini juga menunjukkan bahwa besarnya nilai B_z yang mengarah ke selatan (negatif) juga mempengaruhi intensitas gangguan geomagnet Dst yang terjadi (Burton et al., 1975; Yatini et al., 2008)
- c. Penurunan intensitas sinar kosmik tidak tampak dengan jelas, dan turunnya $< 2.5\%$. Bahkan pada dua peristiwa, yaitu untuk awan magnet tanggal 21 Februari dan 28 Juli 2000, penurunan intensitas sinar kosmik tampaknya tidak terkait dengan awan magnet. Menurut Ananth dan Venkatesan (1993), pola penurunan sinar kosmik seperti ini tidak terkait dengan awan magnet maupun interplanetary shock, melainkan oleh penyebab yang lain, misalnya *Corotating Interaction Region* (lihat juga Yatini, 2010).
- d. Pada saat Dst mencapai minimum, kecepatan angin surya secara umum lebih rendah dibandingkan dengan kategori yang berdampak kuat, walaupun ada satu peristiwa awan magnet yang kecepatan angin surya yang ditimbulkannya mencapai 550 km/detik. Akan tetapi kerapatan partikelnya rendah. Dengan persamaan tekanan dinamik seperti persamaan (3-1) dan (3-2), maka dapat dimengerti bahwa tekanan dinamik yang diterima magnetosfer tidak terlalu besar, dan gangguan yang ditimbulkan pada geomagnet juga tidak terlalu besar.

2. Kesimpulan

Awan magnet yang terjadi di ruang antarplanet tidak selalu mengakibatkan munculnya badai geomagnet (Wu dan Lepping, 2002 ; Yatini, 2007). Pengaruh awan magnet dapat mengakibatkan badai lemah, kuat, atau bahkan tidak menimbulkan munculnya badai geomagnet. Pada tahun 2000, dari 13 awan magnet yang diteliti, satu diantaranya tidak menimbulkan dampak badai pada bumi, empat menimbulkan badai lemah, dan delapan diantaranya menimbulkan badai kuat.

Perbedaan dampak yang ditimbulkan pada bumi (geoeftktivitasnya) dapat terlihat pada penurunan intensitas sinar kosmik dan pada intensitas gangguan geomagnet (yang ditunjukkan dengan indeks Dst). Pada awan magnet yang berdampak kuat penurunan intensitas sinar kosmik lebih besar dibandingkan dengan yang kurang kuat. Demikian juga kekuatan badai (indeks Dst) akan lebih besar pada awan magnet yang berdampak kuat. Hal ini terkait dengan kuat lemahnya tekanan dinamik yang diakibatkan oleh munculnya awan magnet, yang dipengaruhi oleh kecepatan dan kerapatan angin surya. Selain tergantung pada sumber awan magnet tersebut dari matahari, perubahan P^a medan magnet antarplanet, kondisi parameter antarplanet juga sangat berpengaruh pada geoeftktivitas awan magnet tersebut, yaitu kuat medan magnet antarplanet arah selatan (B_z), kerapatan, dan kecepatan angin surya.

Daftar Rujukan

- Advanced Composition Explorer, <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>
- Ananth, A.G., Venkatesan, D., 1993, Effect of Interplanetary Shocks and Magnetic Clouds on Onset of Cosmic Ray Decreases. *Solar Phys.* **143**, 373
- Badruddin, Venkatesan, D., Zhu, B.Y., 1991, Study and Effect of Magnetic Clouds on Cosmic Ray Intensity Variation, *Solar Phys.* **105**, 413
- Burlaga, L.F., Sittler, E., Mariani, F., Schwenn, R., 1981, Magnetic Loop behind an Interplanetary Shock – Voyager, Helios and IMP 8 Observation, *J. Geophys. Res.* **86**, 6673
- Burton, R.K., McPherron, R.L., Russell, C.T., 1975, An Empirical Relationship between Interplanetary Conditions and Dst, *J. Geophys. Res.* **80**, 4204
- Calgary Neutron Monitor, ftp://ftp.pjl.ucalgary.ca/calgary_neutron_monitor/
- Gosling, J.T., 1990, Physics of Magnetic Flux Rope, *AGU Monograph* **58**, 343.
- Klein, L.W., Burlaga, L.F., 1982, Interplanetary Magnetic Clouds at 1 AU, *J. Geophys. Res.* **87**, 613
- Hughes, W.J., 1995, The Magnetopause, Magnetotail, and Magnetic Reconnection, in Introduction to Space Physics, Kivelson, M.C. and Russell, C.T. (eds), Cambridge University Press, p.228
- Magnetic Field Investigation MF1, <http://lep.mfi.gsfc.nasa.gov/mfi/>
- National Geophysical Data Center (NGDC), <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/>
- Rajaram, G., Reddy, A.C., Alyana, R., Rathod, J., Misra, D.S., Patil, C.G., Prasad, M.Y.S., Ananth, A.G., 2006, Magnetic Cloud Events during 2005 and Their Geoeffectiveness, *ILWS Workshop 2006 Goa*
- Sanderson, T.R., Beeck, J., Marsden, G.R., Tranquille, C., Wenzel, K.P., McKibben, B.R., Smith, J.E., Cosmic Ray Energetic Ion and Magnetic Field Characteristics of Magnetic Cloud, *21st Int. Cosmic Ray Conf. Adelaide* **6**, 225
- SOHO/LASCO CME catalog, http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/
- World Data Center for Geomagnetism, <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

- Wu, C.C., Lcpping, R.P.. 2006, Effects of Magnetic Clouds on the Occurrence of Gcomagnetic Storm: The First 4 Years of Wind, *J. Geophys. Res.* 107, 1314
- Yatini, C.Y., 2007, Keterkaitan Awan Magnetik dengan Aktivitas Matahari dan Geomagnet, Publikasi Ilmiah LAPAN: Sains Atmosfer dan Iklim, Sains Antariksa serta Pemanfaatannya, hal. 103
- Yatini, C.Y., 2008, Identifikasi Sumber Badai Geomagnet dari Matahari, Buku Ilmiah Matahari dan Lingkungan Antariksa, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, hal 39
- Yatini, C.Y., Suratno, Admiranto, A.G., Suryana, N., 2008, Karakteristik Lontaran Massa Korona (CME) yang Menyebabkan Badai Geomagnet, *Jurnal Sains Dirgantara* Vol.6 No.1, 47
- Yatim, C.Y., 2010, Analisis Penurunan Intensitas Sinar Kosmik, *Berita Dirgantara* Vol 11, No 2, 36
- Zhang, G., Burlaga, L.F., 1988, Magnetic Clouds, Geomagnetic Disturbances, and Cosmic Ray Decreases, *J. Geophys. Res.* 93, 2511