

AWAN MAGNET PADA FASE MINIMUM AKTIVITAS MATAHARI DAN KAITANNYA DENGAN GANGGUAN GEOMAGNET

Clara Y. Yatini dan Mamat Ruhimat
Peneliti Pusat Sains Antariksa, LAPAN
e-mail: clara@bdg.lapan.go.id
Diterima 4 Maret 2011; Disetujui 12 Mei 2011

ABSTRACT

Interplanetary structures are important for the development of geomagnetic disturbance. The structures include intense north-southward Interplanetary Magnetic Field, the shock, solar wind density and velocity, and probably the magnetic cloud. We studied five events of magnetic clouds which occurred in the minimum phase of solar activity in order to understand solar wind-magnetosphere coupling. The correlations between storm intensity and the different solar wind parameters will also be presented as well. By analyzing five magnetic clouds occurred in 2006 and the associated geomagnetic enhancement, we found that not all magnetic clouds lead to geomagnetic disturbances.

Keywords: *Magnetic cloud, Interplanetary magnetic field, Geomagnetic disturbance*

ABSTRAK

Struktur ruang antarplanet memegang peranan penting dalam kaitannya dengan munculnya gangguan geomagnet. Struktur ruang antarplanet ini meliputi antara lain medan magnet antarplanet arah utara-selatan, gelombang kejut, kerapatan dan kecepatan angin surya, serta awan magnet. Untuk memahami koping antara Matahari dan magnetosfer, dalam tulisan ini dianalisis lima peristiwa awan magnet yang berlangsung dalam fase minimum aktivitas Matahari. Dipelajari juga korelasi antara intensitas badai dengan parameter angin surya yang berbeda. Dengan menganalisis lima peristiwa awan magnet yang terjadi pada tahun 2006 dan gangguan geomagnet yang ditimbulkannya, diperoleh bahwa tidak semua awan magnet akan menyebabkan gangguan geomagnet.

Kata kunci: Awan magnet, Medan magnet antarplanet, Gangguan geomagnet

1 PENDAHULUAN

Medan magnet antarplanet *Interplanetary Magnetic Field* (IMF) mempunyai peran yang sangat penting dalam mempengaruhi aktivitas geomagnet. Penyebab utama munculnya badai geomagnet adalah interaksi antara medan magnet antarplanet yang mengarah ke selatan dengan medan magnet Bumi. Koneksi ini akan mengakibatkan energi angin surya mengalir ke magnetosfer Bumi (Gonzalez et al., 1994). Energi dari angin surya yang ditransfer ke Magnetosfer ditentukan oleh variasi komponen utara-selatan dari IMF ini (Akasofu et al., 1985, Farrugia et al., 1993). Adapun gangguan geomagnet di lintang rendah direpresentasikan dengan indeks *Disturbance Storm Time* (Dst). Dst ini dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu (i) Dst < -100 nT yang menunjukkan badai kuat, (ii) -50 nT < Dst < -100 nT yang mengindikasikan badai sedang, (iii) Dst minimum antara -30 nT sampai -50 nT yang menunjukkan badai lemah (Gonzalez et al., 1994).

Pada saat aktivitas Matahari tinggi, gangguan geomagnet pada umumnya disebabkan oleh adanya lontaran masa korona *Coronal Mass Ejection* (CME) dari Matahari (Gonzalez et al., 1999). Sedangkan pada saat aktivitas Matahari rendah, aktivitas ruang antarplanet didominasi oleh aliran angin surya dengan kecepatan tinggi yang berasal dari lubang korona. Gonzalez et al. (1996) menunjukkan bahwa lubang korona yang terletak di lintang rendah berkaitan dengan fenomena di ruang antarplanet dan dapat menyebabkan gangguan geomagnet. Lontaran gas yang berasal dari Matahari dapat mengandung suatu struktur yang disebut sebagai awan magnet. Awan magnet didefinisikan sebagai suatu daerah dengan kuat medan magnet yang besar, temperatur proton yang rendah, dan medan magnet yang berotasi (Burlaga et al., 1981). Awan magnet seringkali didahului oleh plasma panas dengan kerapatan tinggi. Pada selubung ini kerapatan dan temperatur naik dengan tajam. Akan tetapi kenaikan kerapatan ini tidak hanya pada bagian depan, tetapi ternyata dapat juga terjadi di belakang awan magnet (Wu dan Lepping, 2002). Medan magnet antarplanet yang mengarah ke selatan juga terdapat pada awan magnet ini, baik terletak di dalam awan magnet itu sendiri maupun di depannya, sehingga bila terjadi awan magnet maka dapat diperkirakan bahwa akan terjadi dampak pada geomagnet.

Farrugia et al. (1998) dalam makalahnya mengemukakan bahwa respon magnetosferik terhadap awan magnet tergantung pada amplitudo, durasi, dan kecepatan perubahan awan terkait dengan parameter antarplanet. Cane et al. (2000) mempelajari hubungan antara intensitas badai dengan medan magnet antarplanet arah utara-selatan (Bz). Badai geomagnet akan terjadi bila Bz ini mempunyai nilai negatif

atau mengarah ke selatan. Diperoleh bahwa B_z dengan nilai negatif yang terkecil (maksimum negatif) berkorelasi baik dengan Dst, akan tetapi tidak dengan waktu transit (kecepatan transit rata-rata). Karena awan magnet mengandung struktur medan magnet arah selatan yang kuat dan berlangsung lama, maka awan magnet sering dapat memperkuat badai geomagnet.

Untuk memahami kopling angin surya dan Magnetosfer, maka dalam makalah ini diteliti lima awan magnet yang teramati oleh satelit Wind melalui instrumen *Magnetic Field Investigation* (MFI) pada tahun 2006. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat korelasi antara intensitas badai dengan parameter angin surya. Data tahun 2006 ini diambil karena merupakan fasa minimum dari aktivitas Matahari, sehingga korelasi antar peristiwa dapat lebih jelas terlihat.

2 DATA DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis beberapa jenis data. Data awan magnet merupakan data yang diturunkan oleh Lepping et al. (1995) dari data yang diamati oleh Satelit Wind menggunakan instrumen MFI. Untuk melihat respon geomagnet yang terkait dengan awan magnet, maka dipergunakan data indeks gangguan geomagnet Dst dengan resolusi waktu satu jam. Data ini tersedia di *World Data Center for Geomagnetism Kyoto University*.

Sedangkan parameter antarplanet yang akan dianalisis merupakan hasil pengamatan satelit *Advanced Composition Explorer* (ACE) dari beberapa instrumen yang terpasang pada satelit tersebut. Data yang dipilih mempunyai resolusi waktu 1 jam. Parameter tersebut adalah:

- Kuat medan magnet total dan medan magnet arah selatan (dari instrumen MAG)
- Kerapatan dan kecepatan termal angin surya yang diperoleh dari instrumen *Solar Wind Ion Composition Spectrometer* (SWICS) dan *Solar Wind Ions Mass Spectrometer* (SWIM)
- Kecepatan angin surya yang diperoleh dari instrumen *Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor* (SWEPAM)

Tabel 2-1 menunjukkan data awan magnet yang dianalisis dalam makalah ini. Dengan menggunakan data ini akan dilihat perbedaan waktu antara parameter-parameter tersebut dengan waktu terdeteksinya awan magnet. Dengan mengetahui perbedaan waktu dapat diketahui perbedaan karakteristik awan magnet dan parameter medan magnet antar planet yang menyebabkan terjadinya badai

geomagnet. Data yang dianalisis dimulai kira-kira dua hari sebelum dan sesudah terjadinya awan magnet.

Tabel 2-1: AWAN MAGNET YANG TERJADI PADA TAHUN 2006 DAN INTENSITAS BADAI GEOMAGNET YANG TERKAIT

No.	Waktu Mulai		Waktu Akhir		Dst (nT)	Bz (nT)
	Tanggal	Jam (UT)	Tanggal	Jam (UT)		
1.	5 Februari	19.1	6 Februari	13.1	-25	-8.8
2.	13 April	20.6	14 April	9.9	-111	-14.3
3.	30 Agustus	21.1	31 Agustus	14.9	-34	-7.2
4.	30 September	8.6	30 September	21.6	-48	-7.9
5.	14 Desember	22.8	15 Desember	19.8	-146	-15.2

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data Dst, kuat medan total, kuat medan magnet arah selatan, kerapatan dan kecepatan termal angin surya, maka diperoleh plot seperti yang tercantum pada Gambar 3-1.

3.1 Peristiwa Awan Magnet Pada Fase Minimum Aktivitas Matahari

a. Awan Magnet tanggal 5 Februari 2006

Pada Gambar 3-1 diperlihatkan variasi Dst dan parameter angin surya yang terkait dengan awan magnet yang terjadi tanggal 5 Februari 2006. Walaupun tidak dikategorikan dalam badai (intensitas Dst minimum hanya -25 nT) penurunan intensitas Dst tampak terkait dengan nilai Bz negatif yang berlangsung cukup lama. Indeks Dst tampak turun cukup besar segera setelah awan magnet terdeteksi (dari 20 nT menjadi -25 nT). Untuk kuat medan di antarplanet, datangnya awan magnet tampak menyebabkan naiknya kuat medan magnet, dan berbaliknya arah medan magnet utara-selatan (Bz) menjadi negatif atau mengarah ke selatan. Berbeda dengan kerapatan angin surya dan kecepatan termalnya, kedua parameter ini tampak naik setelah awan magnet berakhir. Akan tetapi kecepatan angin surya itu sendiri tampak menurun dan naik setelah awan magnet berakhir dengan kecepatan yang rendah. Pada peristiwa awan magnet ini naiknya kerapatan tampaknya disebabkan oleh bagian belakang (*trailing region*) awan magnet, walaupun tidak sampai mengakibatkan gangguan yang signifikan.

b. Awan Magnet tanggal 13 April 2006

Awan magnet yang terjadi pada tanggal 13 April 2006 menyebabkan turunnya Dst pada saat awan magnet tersebut

berlangsung (Gambar 3-1 yang kedua), meskipun kuat medan magnet naik sebelum awan magnet terdeteksi. Medan magnet antarplanet utara-selatan (B_z) berubah dari positif menjadi negatif atau berubah mengarah ke selatan bersamaan dengan naiknya intensitas gangguan geomagnet (turunnya Dst). Kerapatan angin surya naik sebelum terdeteksinya awan magnet, sehingga tampaknya sebelum awan magnet terdeteksi, telah didahului oleh struktur yang merupakan selubung dari awan magnet tersebut yang membawa partikel yang cukup rapat (Wu dan Lepping, 2002). Akan tetapi kerapatan ini kembali turun selama berlangsungnya awan magnet. Kecepatan termal tampak naik pada selang waktu terjadinya awan magnet. Dari profil angin suryanya, tidak terlihat adanya gelombang kejut, tetapi kecepatannya cukup tinggi, lebih dari 500 km/s. Naiknya kecepatan termal mengindikasikan naiknya temperatur di plasma angin surya. Tampaknya badai geomagnet yang kuat ini (Dst min = -111 nT) disebabkan adanya plasma yang rapat dan panas, dan juga kecepatan angin surya yang tinggi sehingga tekanan dinamik meningkat. Steed et al. (2008) meneliti adanya lubang korona yang muncul di permukaan Matahari pada tanggal 11 April 2006 dan memperoleh bahwa lubang korona ini terkait dengan gangguan geomagnet pada tanggal 13 April 2006.

c. Awan Magnet tanggal 30 Agustus 2006

Gambar yang ketiga menunjukkan parameter-parameter yang terkait dengan awan magnet tanggal 30 Agustus 2006. Turunnya indeks Dst (Dst min = -34 nT) terjadi pada selang waktu terjadinya awan magnet. Kuat medan magnet antarplanet total (B_t) naik dan medan magnet antarplanet arah utara-selatan (B_z) berubah negatif secara perlahan, walaupun intensitasnya tidak besar. Kerapatan angin surya naik justru setelah awan magnet berakhir. Adapun kecepatan termal dan kecepatan angin surya tidak menunjukkan kenaikan sama sekali selama berlangsungnya awan magnet. Awan magnet ini juga tidak menyebabkan turunnya Dst secara signifikan, dan gangguan yang ditimbulkannya dikategorikan dalam badai lemah.

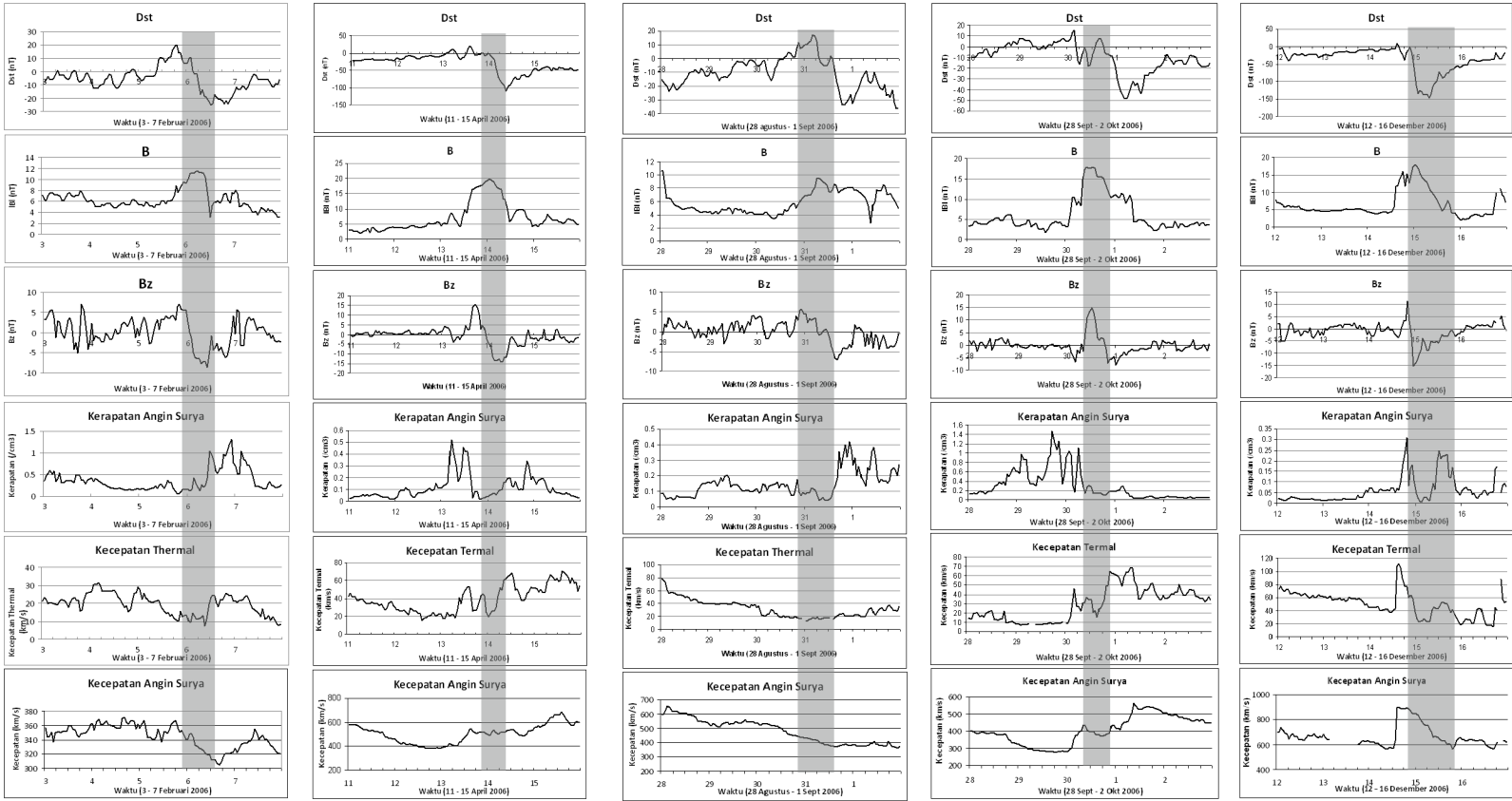
d. Awan Magnet tanggal 30 September 2006

Gangguan geomagnet yang terkait dengan awan magnet yang terjadi pada tanggal 30 September 2006 mempunyai nilai minimum Dst -48 nT. Nilai ini tercapai setelah awan magnet berlangsung. Akan tetapi kenaikan intensitas medan magnet antarplanet B mulai terjadi sebelum terdeteksinya awan magnet, dan tetap kuat selama berlangsungnya

awan magnet. Adapun kuat medan magnet antarplanet arah utara-selatan B_z pada awalnya bernilai positif (mengarah ke utara), dan berbalik menjadi negatif (ke selatan) hampir pada akhir awan magnet. Kerapatan angin surya naik sebelum awan magnet tiba, tetapi menjadi sangat rendah pada saat awan magnet berlangsung. Hal ini serupa dengan peristiwa awan magnet tanggal 13 April, yang menunjukkan adanya selubung dari awan magnet itu sendiri (Wu dan Lepping, 2002). Tidak demikian halnya dengan kecepatan termal dan kecepatan angin suryanya. Kecepatan termal dan kecepatan proton pada awalnya rendah, tetapi sebelum awan magnet tiba kecepatan ini naik dan terus naik sampai awan magnet berakhir. Akan tetapi gangguan yang ditimbulkannya pada geomagnet tidak besar karena arah medan magnet antarplanet B_z mengarah ke utara dan berbalik arah ke selatan setelah beberapa waktu.

e. Awan Magnet tanggal 14 Desember 2006

Kuat medan magnet total naik sebelum terjadinya awan magnet pada tanggal 14 Desember 2006. Parameter yang lain, yaitu indeks Dst dan B_z mengalami penurunan. Indeks Dst-nya mencapai -146 nT. Ini menunjukkan terjadinya badai geomagnet yang kuat. Pembalikan medan magnet arah utara-selatan terjadi dengan cepat dan bersamaan dengan fasa utama badai geomagnet. Setelah maksimum negatif tercapai, medan magnet berubah secara perlahan menjadi positif. Kerapatan dan kecepatan angin surya, serta kecepatan termal mengalami kenaikan tiba-tiba sebelum sampainya awan magnet, tetapi kemudian turun sejak datangnya awan magnet. Kenaikan yang tiba-tiba ini menunjukkan adanya gelombang kejut (*shock*), dan menunjukkan adanya selubung dengan plasma yang panas dan rapat (Wu dan Lepping, 2002). Kecepatan sebelum *shock* sekitar 600 km/s dan naik menjadi hampir 900 km/s setelah *shock*. Pada peristiwa ini terlihat bahwa badai geomagnet kuat ini diakibatkan oleh peristiwa semburan Matahari dengan kecepatan tinggi dan disertai adanya *shock* serta didukung oleh medan magnet antarplanet B_z mengarah ke selatan. Berdasarkan data SOHO/LASCO peristiwa ini berkaitan dengan munculnya halo CME pada tanggal 14 Desember 2006 jam 22:30 UT dengan kecepatan linier 1024 km/detik yang disertai oleh semburan radio tipe II yang diamati oleh *Green Bank Solar Radio Spectrometer*.



Gambar 3-1: Plot Dst dengan parameter medan magnet antar planet dan angin surya terkait awan magnet berturut-turut dari kiri ke kanan: tanggal 5 Februari, 13 April, 30 Agustus, 30 September, dan 14 Desember 2006. Dari atas: Dst, kuat medan magnet antar planet total, kuat medan magnet arah utara-selatan, kerapatan, kecepatan termal dan kecepatan angin surya. Bagian gelap adalah selang waktu terjadinya awan magnet

3.2 Awan Magnet dan Gangguan Geomagnet

Dari lima peristiwa awan magnet yang dibahas di atas, tampaknya tidak semua awan magnet dapat mengakibatkan adanya gangguan yang cukup besar di geomagnet. Hal ini juga dikemukakan oleh Yatini (2007) yang mendapatkan bahwa hanya kira-kira separuh dari awan magnet yang terjadi pada siklus Matahari ke 23 mengakibatkan badai kuat. Besarnya gangguan yang ditimbulkan tidak hanya tergantung pada kemunculan awan magnet, tetapi juga ditentukan oleh parameter antarplanet yang menyertainya (Farrugia et al., 1998).

Dalam penelitian ini hanya dua awan magnet yang terkait dengan badai geomagnet kuat, dan keduanya didukung oleh medan magnet antarplanet arah utara-selatan (B_z) yang mengarah ke selatan. Sedangkan selebihnya hanya menyebabkan gangguan yang lemah. Awan magnet yang terjadi membawa medan magnet yang kuat, yang dapat dilihat dari naiknya medan magnet total, demikian juga mengakibatkan medan magnet arah selatan (B_z) mengalami kenaikan intensitas. Waktu puncak gangguan geomagnet tampak bersesuaian dengan saat B_z mencapai nilai tertinggi, dan kemudian berubah dari negatif ke positif. Dari lima peristiwa ini intensitas gangguan geomagnet (Dst minimum) mempunyai korelasi dengan kuat medan magnet antarplanet arah selatan (B_z). Hal ini hampir dapat dipastikan karena Dst merupakan pengukuran arus cincin yang diperkuat oleh komponen medan magnet antarplanet B_z yang mengarah ke selatan (Cane et al., 2000). Komponen Dst yang negatif inilah yang disebut sebagai gangguan atau badai geomagnet, dengan intensitas badai yang tergantung pada intensitas B_z negatif.

Awan magnet seringkali didahului oleh selubung (*sheath*) dengan plasma yang panas dan rapat dengan medan magnet yang berputar. Bagian luar selubung ini bisa berupa 'shock' atau struktur yang mirip dengan kenaikan kerapatan, temperatur, dan kecepatan yang tajam (Burlaga et al., 1998). Peristiwa yang menampilkan karakteristik seperti ini terlihat pada awan magnet tanggal 14 Desember 2006, yang memperlihatkan *shock*, selubung, dan awan magnet itu sendiri. Kenaikan kerapatan di bagian belakang awan magnet dan beberapa diantaranya mempunyai kuat medan yang tinggi. Wu dan Lepping (2002) mengatakan bahwa kenaikan ini disebabkan oleh tekanan awan magnet yang memperkuat medan magnet di bagian belakang. Beberapa studi (misalnya Lepping et al., 2001) menunjukkan bahwa medan magnet yang terkompresi lebih besar berada di bagian depan awan magnet dari pada di bagian belakangnya.

4 KESIMPULAN

Interaksi awan magnet dengan magnetosfer Bumi dapat mengakibatkan beberapa hal, yaitu: tidak ada badai, badai lemah, badai sedang, dan badai kuat. Dari lima peristiwa awan magnet yang diamati oleh satelit WINDS untuk tahun 2006, diperoleh bahwa gangguan geomagnet dipengaruhi oleh medan magnet antarplanet arah selatan (B_z negatif) dan disebabkan oleh daerah awan magnet yang berbeda, yaitu bagian selubung (*sheath*), daerah bagian depan, dan bagian belakang awan magnet. Datangnya awan magnet ini ditandai dengan naiknya intensitas medan magnet, baik medan magnet total maupun medan magnet arah selatan. Akan tetapi ternyata tidak semua awan magnet akan menyebabkan gangguan yang besar terhadap medan magnet Bumi. Kejadian badai magnet kuat disebabkan oleh naiknya kuat medan magnet antarplanet B_z ke arah selatan, kerapatan, dan kecepatan angin surya.

Dalam studi ini tidak semua peristiwa menunjukkan adanya *shock*, tetapi semua menunjukkan kenaikan kerapatan walaupun naiknya kerapatan ini terjadi sebelum atau sesudah lewatnya awan magnet. Kenaikan kerapatan yang tajam ini menurut Wu dan Lepping (2002) dianggap sebagai batas depan dari selubung apabila tidak terjadi *shock*.

DAFTAR RUJUKAN

- Akasofu, S.I., Olmsted, C., Smith, E.J., Tsurutani, B., Okida, R., Baker, D.N., 1985. *Solar Wind Variations and Geomagnetic Storm: A Study of Individual Storms Based on High Time Resolution ISEE-3 Data*, J. Geophys. Res. 90, 325.
- Burlaga, L., Sittler, E., Mariani, F., Schwenn, R., 1981. *Magnetic Loop Behind an Interplanetary Shock: Voyager, Helios, and IMP 8 Observations*, J. Geophys. Res. 86, 6673-6684.
- Burlaga, L., Fitzenreiter, R., Lepping, R., Ogilvie, K., Szabo, A., Lazarus, A., Steinberg, J., Gloeckler, G., Howard, R., Michels, D., Farrugia, C., Lin, R.P., Larson, D.E., 1998. *Magnetic Cloud Containing Prominence Material: January 1997*, J. Geophys. Res. 103, 277-286.
- Cane, H.V., Richardson, I.G., St. Cyr, S.T., 2000. *Coronal Mass Ejection, Interplanetary Ejecta And Geomagnetic Storm*, Geophys. Res. Lett. 27, 3591 – 3594.
- Farrugia, C.J., Burlaga, L.F., Osherovich, V.A., Richardson, I.G., Freeman, M.P., Lepping, R.P., Lazarus, A., 1993. *A Study of an Expanding Interplanetary Magnetic Cloud and Its Interaction with*

- the Earth's Magnetosphere: The Interplanetary Aspect*, J. Geophys. Res. 98, 7621-7632.
- Farrugia, C.J., Scudder, J.D., Freeman, M.P., Janoo, L., Lu, G., Quinn, J.M., Arnoldy, R.L., Torbert, R.B., Burlaga, L.F., Ogilvie, K.P., Lepping, R.P., Lazarus, A.J., Steinberg, J.T., Gratton, F.T., Rostoker, G., 1998. *Geoeffectiveness of three Wind Magnetic Clouds: A Comparative Study*, J. Geophys. Res. 103, 17261 – 17278.
- Gonzalez, W.D., Joselyn, J.A., Kamide, Y., Kroehl, H.W., Rostoker, G., Tsurutani, B.T., Vasyliunas, V.M., 1994. *What is Geomagnetic Storm?*, J. Geophys. Res. 99, 5771-5792.
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., McIntosh, P., Clúa de Gonzalez, A.L., 1996. *Coronal Holes-Active Regions-Current Sheet Association with Intense Interplanetary and Geomagnetic Phenomena*, Geophys. Res. Lett. 23, 2577.
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., Clúa de Gonzalez, A.L., 1999. *Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms*, Space Science Reviews 88, 529-562.
- Lepping, R. P.; Acuña, M. H.; Burlaga, L. F.; Farrell, W. M.; Slavin, J. A.; Schatten, K. H.; Mariani, F.; Ness, N. F.; Neubauer, F. M.; Whang, Y. C.; Byrnes, J. B.; Kennon, R. S.; Panetta, P. V.; Scheifele, J.; Worley, E. M., 1995. *The Wind Magnetic Field Investigation*, Space Sci. Rev. 71, 207.
- Lepping, R. P., Berdichevsky, D. B.; Burlaga, L. F.; Lazarus, A. J.; Kasper, J.; Desch, M. D.; Wu, C.-C.; Reames, D. V.; Singer, H. J.; Smith, C. W.; Ackerson, K. L., 2001. *The Bastille Day Magnetic Clouds and Upstream Shocks: Near-Earth Interplanetary Observation*, Solar Phys. 204, 287-305.
- Steed, K., Owen, C.J., Harra, L.K., Green, L.M., Dasso, S., Walsh, A.P., D'emoulin, P., van Driel-Gesztelyi, L., 2008. *Locating the Solar Source of 13 April 2006 Magnetic Cloud*, Ann. Geophys. 26, 3159.
- Wu, C., Lepping, R.P., 2002. *Effects of Magnetic Clouds on the Occurrence of Geomagnetic Storms: 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.
- Advanced Composition Explorer, <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>.
- Green Bank Solar Radio Spectrometer, <http://gbsrbs.nrao.edu/>.
- Magnetic Field Investigation, http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html.
- SOHO/LASCO CME catalog, http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/.
- World Data Center for Geomagnetism Kyoto, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>.