

VARIASI AWAN MAGNET, CME, DAN INDEKS GEOMAGNET DALAM SIKLUS AKTIVITAS MATAHARI KE 23

CLARA Y. YATINI

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

Abstrak. Sebanyak 98 peristiwa awan magnet teramati oleh satelit Wind pada siklus aktivitas matahari ke 23 tahun 1996 sampai dengan 2007. Dilihat dari distribusinya, kejadian awan magnet tidak terkait dengan aktivitas matahari, baik dengan bilangan sunspot maupun lontaran masa korona (CME). Awan magnet dan CME justru banyak terjadi saat tingkat aktivitas minimum. Demikian juga dengan intensitas gangguan geomagnet (Dst). Rata-rata tahunan intensitas Dst menjadi tinggi justru pada saat aktivitas matahari dalam fasa turun. Hal ini menunjukkan bahwa dalam tingkat aktivitas sedang turun atau minimumpun, gangguan terhadap lingkungan bumi dapat terjadi bergantung pada kondisi daerah aktif di matahari dan kondisi medium antar planet saat itu.

Abstract. Sixty eight magnetic clouds were observed by Wind satellite during cycle 23 solar activity from 1996 until 2007. Their distribution appears to be related neither to the sunspot number nor to the occurrence of coronal mass ejection (CME). Magnetic clouds and CMEs occurred more in the minimum level of solar activity. Geomagnetic disturbance index Dst also showed the same behavior. The yearly average of Dst is more intense in the decreasing phase. It is suggested, that even in the decreasing phase or in the minimum level of solar activity, the earth's environment can be disturbed, depend on the condition of active region on the solar disk and the interplanetary medium.

Kata kunci: awan magnet, bilangan sunspot, lontaran masa korona (CME)

1. Pendahuluan

Korona matahari dapat melontarkan masa dan medan magnet dalam bentuk lontaran masa korona (*coronal mass ejection/CME*) ke media antar planet. Sebagian medan magnet yang terlontar ini teramati sebagai awan magnet. Awan magnet merupakan fenomena yang menarik dalam studi mengenai antariksa. Beberapa studi berusaha menjelaskannya melalui model plasma dan medan magnet. Burlaga *et al.* (1981) mendefinisikan awan magnet sebagai struktur antar planet yang memenuhi tiga kriteria berikut, yaitu (i) medan magnetnya berotasi, (ii) kuat medan magnetnya lebih tinggi dari pada sekitarnya, dan (iii) temperaturnya lebih rendah dari rata-rata. Propagasi partikel-energetik dari matahari sangat ditentukan oleh geometri medan magnet antar planet. CME dapat merubah struktur medan magnet ini dalam skala yang besar dengan lontaran masanya ke ruang antar planet, termasuk melontarkan awan magnet (Torsti *et al.*, 2004).

Pengaruh CME terhadap magnetosfer bumi sudah banyak dianalisis (misalnya dalam Farrugia *et al.*, 2002). Sedangkan CME itu sendiri dianggap sebagai penyebab dari munculnya awan magnet (Cid *et al.*, 1999). Dalam tulisan ini akan dibahas secara kuantitatif kemunculan awan magnet terkait dengan CME dan dengan aktivitas matahari (yang diwakili oleh bilangan sunspot) dan geomagnet (yang diwakili oleh indeks Dst) untuk

mengetahui apakah frekuensi awan magnet ini sejalan dengan aktivitas matahari dan geomagnet serta CME.

2. Data dan Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data awan magnet, data aktivitas matahari, dan aktivitas geomagnet. Data awan magnet diambil dari Wind Magnetic Field Investigation di alamat http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_publ.html. Data aktivitas matahari berupa data bilangan sunspot dan CME. Data bilangan sunspot diperoleh dari National Geophysical Data Center, <http://www.ngdc.noaa.gov/>, sedangkan data CME merupakan hasil pengamatan satelit SOHO, dan diperoleh dari SOHO/LASCO *website*, <http://cdaw.gsfc.nasa.gov/>. Data indeks aktivitas geomagnet (Dst) diperoleh dari World Data Center for Geomagnetism, <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>. Selang waktu yang digunakan adalah dari tahun 1996 sampai tahun 2007 (siklus aktivitas matahari ke 23). Akan tetapi ada beberapa data CME yang tidak dapat diperoleh karena tidak beroperasinya satelit SOHO, yaitu bulan Juli, Agustus, dan September tahun 1998 dan bulan Januari 1999. Kekurangan data ini diatasi dengan menyesuaikan jumlah CME yang diperoleh, dari 709 dan 1011 menjadi 924 dan 1036, berturut-turut untuk tahun 1998 dan 1999 (Wu *et al.*, 2003).

Analisis dilakukan dengan membandingkan frekuensi tahunan awan magnet dan bilangan sunspot serta rata-rata tahunan dari bilangan sunspot dan indeks geomagnet Dst. Frekuensi tahunan awan magnet dan CME merupakan jumlah peristiwa yang terdeteksi pada tahun yang bersangkutan. Rata-rata tahunan bilangan sunspot merupakan hasil perataan dari rata-rata bulanan bilangan sunspot dalam setahun sedangkan rata-rata tahunan Dst merupakan hasil perataan dari intensitas Dst selama satu tahun. Masing-masing parameter tersebut kemudian dibandingkan untuk melihat kecenderungannya dalam siklus aktivitas matahari, sehingga dapat diketahui keterkaitannya.

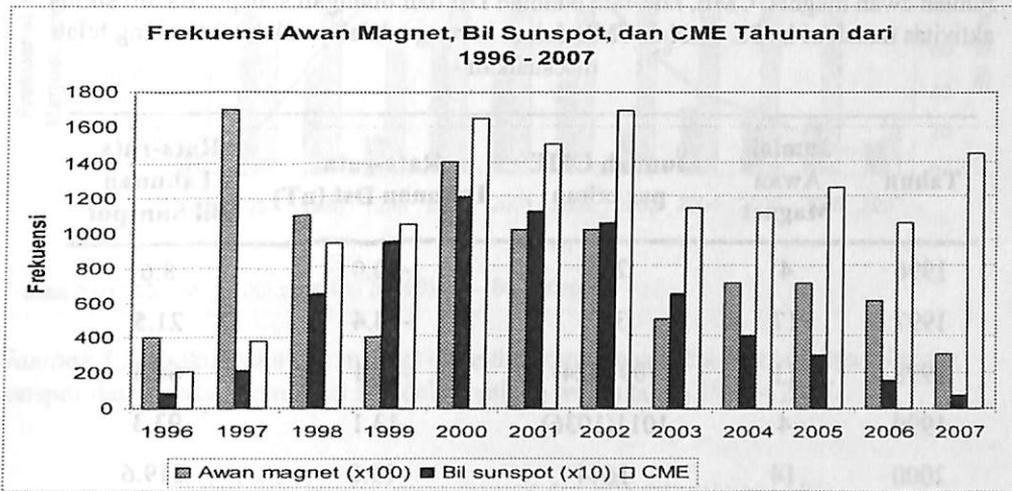
3. Hasil dan Pembahasan

Dengan melakukan penghitungan jumlah awan magnet dan CME pertahun serta melakukan perataan pertahun untuk bilangan sunspot dan Dst, maka diperoleh nilai-nilai seperti pada Tabel 3.1. Tabel ini menunjukkan jumlah tahunan awan magnet, jumlah tahunan CME, rata-rata tahunan Dst, dan rata-rata tahunan bilangan sunspot. Semuanya dalam rentang waktu tahun 1996 – 2007 atau dalam rentang siklus aktivitas matahari ke 23.

3.1. Keterkaitan Awan Magnet dengan Aktivitas Matahari

Jumlah peristiwa awan magnet yang terekam selama periode tahun 1996 – 2007 sebanyak 98 awan magnet, atau rata-rata terjadi 8 awan magnet per tahun. Akan tetapi, bila dilihat peristiwa yang terjadi setiap tahunnya, tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola tingkat aktivitas matahari. Saat masih dalam tahap awal siklus ke 23 (tahun 1997), jumlah awan magnet cukup besar, bahkan paling tinggi dalam siklus (gambar 3.1), sedangkan pada tahun 1999 (saat mendekati maksimum) hanya ada 4 peristiwa awan magnet. Demikian juga keterkaitannya dengan CME. Tidak terlihat pola yang sama antara frekuensi awan magnet

dengan jumlah CME, bahkan tampak bertolak belakang. Salah satu penyebabnya adalah karena awan magnet tidak semuanya dapat teramati oleh satelit. Ketidaksesuaian ini juga menunjukkan bahwa awan magnet tidak bergantung pada tingkat aktivitas matahari secara umum, melainkan sangat tergantung pada kondisi daerah aktif yang terkait dengan munculnya awan magnet, misalnya besar dan kuat flare dan CME yang terkait. Bothmer dan Schwenn (1994) juga memperoleh adanya awan magnet yang dihasilkan oleh ledakan prominensa.



Gambar 3.1. Plot antara rata-rata tahunan bilangan sunspot, jumlah tahunan CME, dan jumlah peristiwa awan magnet per tahun, dari tahun 1996 – 2007.

Dalam gambar ini terlihat juga keterkaitan yang tidak erat antara jumlah CME dan tingkat aktivitas matahari. Menjelang akhir siklus, jumlah CME masih sangat tinggi dibandingkan dengan rata-rata tahunan bilangan sunspot yang sudah menurun mendekati minimum. Ini berlawanan dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan yang mengatakan bahwa jumlah CME bersesuaian dengan tingkat aktivitas matahari (misalnya dalam Gopalswamy *et al.*, 2003). Akan tetapi bisa terjadi bahwa pada saat aktivitas minimum struktur medan magnet yang ada di matahari cukup kompleks untuk menghasilkan flare dan CME, seperti flare dan CME yang terjadi pada saat tingkat aktivitas matahari pada tingkat yang rendah (Yatini *et al.*, 2006; Tsurutani *et al.*, 2006).

3.2. Keterkaitan Awan Magnet dengan Aktivitas Geomagnet

Pada gambar 3.2 diperlihatkan jumlah tahunan awan magnet, rata-rata tahunan bilangan sunspot, dan rata-rata tahunan indeks geomagnet (Dst) dari tahun 1996 sampai dengan 2007. Dari plot ini terlihat bahwa tidak ada kecenderungan yang sama antara aktivitas matahari, yang diwakili oleh bilangan sunspot, dengan kuat gangguan geomagnet. Terlihat bahwa pada saat menjelang akhir siklus ke 23, walaupun siklus aktivitas matahari rendah, indeks geomagnet tetap tinggi, kecuali pada tahun 2007, indeks Dst cukup rendah.

Disini juga terlihat tidak ada keterkaitan antara jumlah awan magnet dengan rata-rata tahunan intensitas geomagnet Dst. Hal ini juga disinggung dalam Yatini (2007) yang memperoleh bahwa tidak semua peristiwa awan magnet menyebabkan badai geomagnet dengan intensitas yang kuat (*major geomagnetic storm*), ditambah lagi hanya medan magnet antar planet yang mengarah ke selatan saja yang dapat mengakibatkan gangguan di geomagnet (Burton *et al.*, 1975)

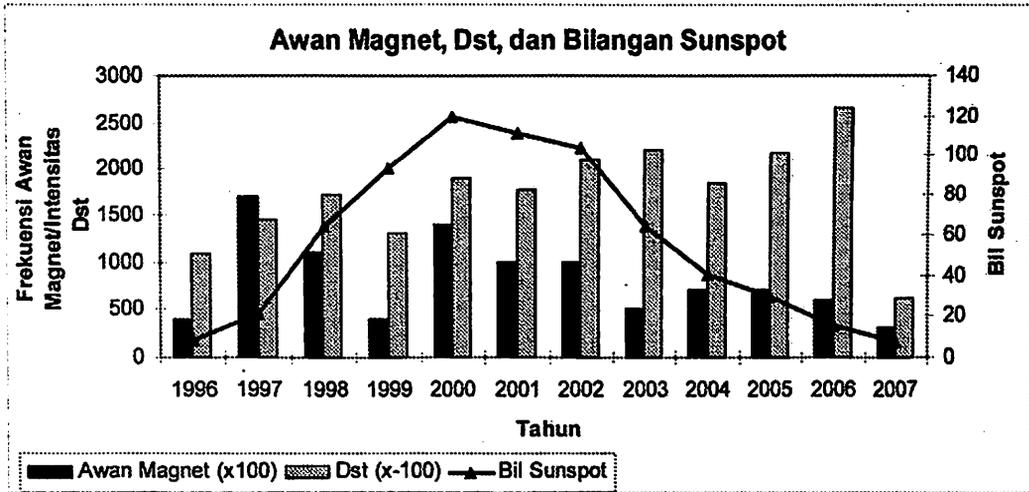
Tabel 3.1.

Jumlah awan magnet, CME, rata-rata tahunan Dst dan bilangan sunspot dalam siklus aktivitas matahari ke 23. Jumlah CME dalam kurung adalah jumlah CME yang telah disesuaikan

Tahun	Jumlah Awan Magnet	Jumlah CME per tahun	Rata-rata Tahunan Dst (nT)	Rata-rata Tahunan Bil Sunspot
1996	4	206	-10.9	8.6
1997	17	382	-14.4	21.5
1998	11	709 (924)	-17.1	64.3
1999	4	1011(1036)	-13.1	93.3
2000	14	1644	-19.0	119.6
2001	10	1498	-17.7	111
2002	10	1691	-21.0	104
2003	5	1127	-22.1	63.7
2004	7	1101	-18.4	40.4
2005	7	1247	-21.7	29.8
2006	6	1043	-26.5	15.2
2007	3	1441	-6.2	7.5

Selanjutnya didefinisikan Dst_{min} , yaitu yang menunjukkan intensitas Dst yang terkait dengan peristiwa awan magnet. Dalam tabel 3.2 ditunjukkan nilai rata-rata tahunan Dst_{min} selama siklus ke 23, dan plotnya pada gambar 3.3. Dari tabel dan gambar ini terlihat bahwa intensitas rata-rata Dst (Dst_{min}) yang terkait dengan peristiwa awan magnet sangat bervariasi, dari -27.3 sampai -196 nT. Wu *et al* (2003, 2006), berdasarkan penelitiannya terhadap awan magnet yang terkait badai geomagnet dari tahun 1995 – 1998, juga menyatakan bahwa 90% awan magnet mengakibatkan badai geomagnet dengan $Dst_{min} \leq -30$ nT. Oleh sebab itu keberadaan awan magnet tidak selalu mengakibatkan badai geomagnet yang kuat, walaupun secara rata-rata badai magnet yang disertai awan magnet

akan mempunyai intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan badai geomagnet tanpa awan magnet (Yatini, 2007).



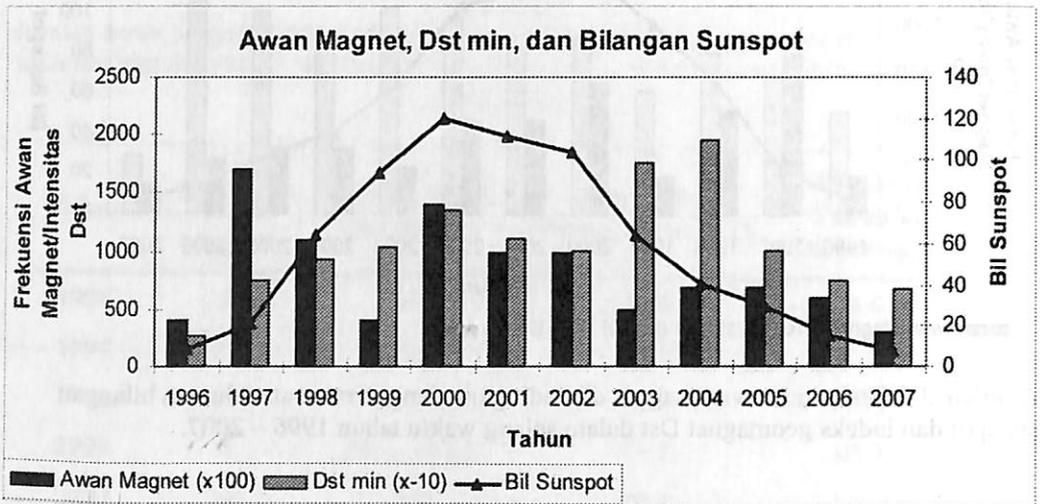
Gambar 3.2. Frekuensi awan magnet dibandingkan dengan rata-rata tahunan bilangan sunspot dan indeks geomagnet Dst dalam selang waktu tahun 1996 – 2007.

Tabel 3.2. Jumlah awan magnet dan rata-rata tahunan Dst_{min}

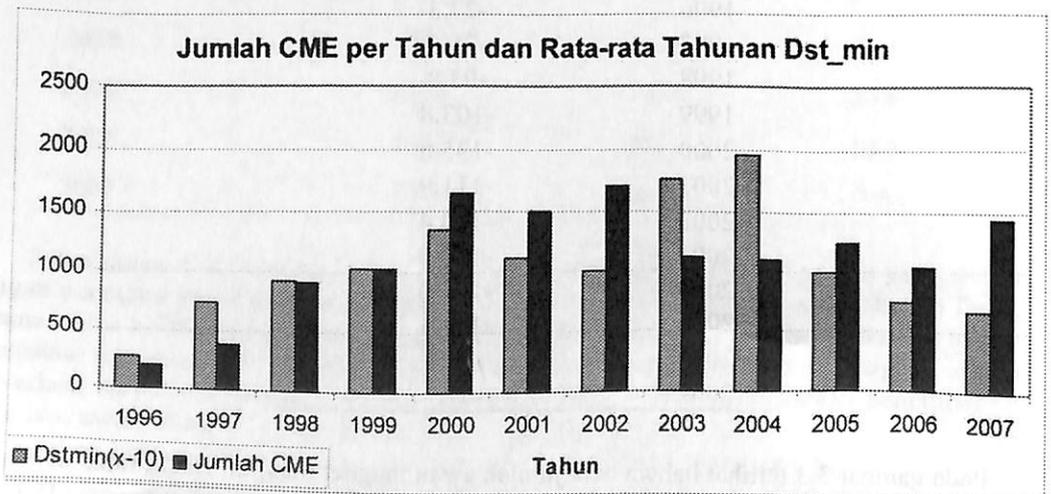
Tahun	Intensitas Dst_{min} yg terkait awan magnet (nT)
1996	-27.3
1997	-75.4
1998	-93.8
1999	-103.8
2000	-135.6
2001	-111.9
2002	-100.4
2003	-176.0
2004	-196.0
2005	-101.1
2006	-75.0
2007	-67.7

Pada gambar 3.3 terlihat bahwa baik jumlah awan magnet maupun Dst_{min} tidak sejalan dengan aktivitas matahari. Kesesuaian antara jumlah awan magnet dengan intensitas Dst_{min} hanya terjadi pada tahun 1996, 1998, 2000, 2001, 2002, dan 2006, sementara pada tahun-

tahun di luar itu jumlah awan magnet tidak sesuai dengan perubahan Dst_{min} . Akan tetapi dari gambar 3.2 dan 3.3, terlihat kecenderungan yang sama untuk Dst dan Dst_{min} , yaitu keduanya mempunyai intensitas yang kuat pada saat aktivitas matahari pada fasa turun, bukan pada saat aktivitas mencapai maksimum. Pada gambar 3.4 juga dapat dilihat bahwa intensitas Dst_{min} juga tidak terkait dengan jumlah CME. Hal ini dapat terjadi karena flare-flare yang kuat dan besar dapat terjadi pada saat fasa turun aktivitas matahari (misalnya dalam Yatini *et al.* (2006) dan Tsurutani *et al.* (2006)).



Gambar 3.3. Frekuensi awan magnet dan CME dibandingkan dengan rata-rata tahunan bilangan sunspot dan indeks geomagnet yang terkait awan magnet (Dst_{min}) dalam selang waktu tahun 1996 – 2007.



Gambar 3.4. Jumlah CME per tahun dan rata-rata tahunan Dst_{min} .

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis, diperoleh bahwa rata-rata kejadian awan magnet selama periode tahun 1996 – 2007 adalah 8 awan magnet per tahun. Akan tetapi, bila dilihat peristiwa yang terjadi setiap tahunnya, tidak menunjukkan kesesuaian dengan pola tingkat aktivitas matahari. Demikian juga tidak terlihat pola yang sama antara frekuensi awan magnet dengan jumlah CME.

Dari plot jumlah tahunan awan magnet, rata-rata tahunan bilangan sunspot, dan rata-rata tahunan indeks geomagnet menunjukkan tidak ada kecenderungan yang sama antara aktivitas matahari, yang diwakili oleh bilangan sunspot, dengan kuat gangguan geomagnet. Terlihat bahwa pada saat menjelang akhir siklus ke 23, walaupun siklus aktivitas matahari rendah, indeks geomagnet tetap tinggi, kecuali pada tahun 2007, indeks Dst cukup rendah. Terlihat juga tidak adanya keterkaitan antara jumlah awan magnet dengan rata-rata tahunan intensitas geomagnet Dst. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua peristiwa awan magnet menyebabkan badai geomagnet dengan intensitas yang kuat (*major geomagnetic storm*). Ini dibuktikan dari intensitas rata-rata Dst yang terkait dengan peristiwa awan magnet (Dst_{min}) sangat bervariasi, dari -27.3 sampai -196 nT. Oleh sebab itu keberadaan awan magnet tidak selalu mengakibatkan badai geomagnet yang kuat, walaupun secara rata-rata badai magnet yang disertai awan magnet akan mempunyai intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan badai geomagnet tanpa awan magnet. Akan tetapi terlihat kecenderungan yang sama untuk Dst dan Dst_{min} , yaitu keduanya mempunyai intensitas yang kuat pada saat aktivitas matahari pada fasa turun. Hal ini mungkin terjadi karena flare-flare yang kuat dan besar dapat terjadi pada saat fasa turun aktivitas matahari.

Daftar Pustaka :

- Bothmer, V., Schwenn, R., 1994, *Eruptive Prominences as Sources of Magnetic Clouds in the Solar Wind*, Space Sci. Rev. 70, 215
- Burlaga, L.F., Sittler, E., Mariani, F., Schwenn, R., *Magnetic Loop Behind an Interplanetary Shock - Voyager, Helios, and IMP 8 Observations*, J. Geophys. Res. 86, 6673
- Burton, R.K., McPherron, R.L., Russel, C.T., 1975, *An Empirical Relationship Between Interplanetary Conditions and Dst*, J. Geophys. Res. 80, 4204
- Cid, C., Hidalgo, M.A., Rodrigues-Pacheco, J., Medina, J., Sequeiros, J., 1999, *A Search for Magnetic Clouds Associated with Coronal Mass Ejections*, International Cosmic Ray Conference 6, 464
- Farrugia, C.J., Popecki, M., Mobius, E., Jordanov, V.K., Desai, M.I., Fitzenreiter, R.J., Ogilvie, K.W., Matsui, H., Lepri, S., Zurbuchen, T., Mason, G.M., Lawrence, G.R., Burlaga, L.F., Lepping, R.P., Dwyer, J.R., McComas, D., 2002, *Wind And ACE Observations During the Great Flow of 1-4 May 1998: Relation to Solar Activity and Implications for the Magnetosphere*, J. Geophys. Res. 107, 1240
- Gopalswamy, N., Alejandro, L., Seiji, Y., Steven, N., Russell, A.H., 2003, *Coronal Mass Ejection Activity During Solar Cycle 23*, Proc. ISCS Symp. ESA SP 535, 403

- National Geophysical Data Center, <http://www.ngdc.noaa.gov/>
SOHO/LASCO CME catalog, <http://cdaw.gsfc.nasa.gov/>
- Torsti, J., Riihonen, E., Kocharov, L., 2004, *The 1998 May 2-3 Magnetic Cloud: An Interplanetary "Highway" for Solar Energetic Particles Observed with SOHO/ERNE*, *Astrophys. J.* **200**, L.83
- Tsurutani, B.T., Mannucci, A.J., Iijima, B., Guarnieri, F.L., Gonzales, W.D., Judge, D.L., Gangopadhyay, P., Pap, J., 2006, *The Extreme Halloween 2003 Solar Flares (aAnd Bastille Day, 2000 Flare), ICMEs, and Resultant Extreme Ionospheric Effects: A Review*, *Adv. Space Res.* **37**, 1583
- Wind Magnetic Field Investigation, http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html
- World Data Center for Geomagnetism, <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>
- Wu, C.C., Lepping, R.P., Gopalswamy, N., 2003, *Variations of Magnetic Clouds and CMEs with Solar Activity Cycle*, *Proc. ISCS Symp. Slovakia ESA SP 535*, 429
- Wu, C.C., Lepping, R.P., Gopalswamy, N., 2006, *Relationships Among Magnetic Clouds, CMEs, and Geomagnetic Storms*, *Solar Phys.* **239**, 449
- 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., Jiyo, Ruhimat, M., 2006, *Observation of the Influence of the January 15-17 Solar Storms to the Magnetic Field and Ionosphere of Indonesia*, in *Advances in Geosciences Vol.2* (eds. M. Duldig, P.K. Manoharan, Andrew W. Y., Q.G. Zong), p73, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.