

GELOMBANG KEJUT ANTARPLANET YANG MEMICU MUNCULNYA BADAI GEOMAGNET KUAT

Clara Y. Yatini
Pusat Sains Antariksa - LAPAN
e-mail : clara@bdg.lapan.go.id

Abstract

Three major geomagnetic storms (with Dst < -100 nT) were occurred in the period of August – October 2011, during the beginning of the solar cycle 24, These storms were triggered by the eruption of coronal mass ejections (CMEs) and associated with flares. The CMEs, erupted on 4 August, 24 September, 22 October 2011, led to the major geomagnetic storm subsequently on 5 August, 26 September, and 25 October 2011. The storms have minimum Dst -113 nT, -103 nT, and -135 nT. We analyzed the solar wind velocity and density observed by ACE (Advanced Composition Explorer). The steep increase of the velocity and the density show that the CMEs are associated with the interplanetary shock as well as the increase of total magnetic field.

Keywords: coronal mass ejection, solar wind, geomagnetic storm

Abstrak

Telah terjadi tiga kali badai geomagnet kuat dengan indeks gangguan geomagnet Dst < -100 nT pada bulan Agustus – Oktober 2011 yang merupakan awal siklus ke 24. Badai ini dipicu oleh munculnya lontaran masa korona (Coronal Mass Ejection/CME) yang berasosiasi dengan flare. Ketiga CME tersebut terjadi tanggal 4 Agustus, 24 September, dan 22 Oktober 2011, serta menimbulkan badai geomagnet kuat dengan puncaknya masing-masing terjadi tanggal 5 Agustus, 26 September, dan 25 Oktober 2011, dengan indeks Dst minimum masing-masing mencapai -113 nT, -103 nT, dan -135 nT. Dengan menganalisis kecepatan angin surya dan kerapatan yang terdeteksi di satelit ACE (Advanced Composition Explorer), naiknya kerapatan dan kecepatan dalam waktu yang singkat menunjukkan bahwa CME ini berasosiasi dengan gelombang kejut antarplanet. Hal ini diperkuat juga dengan naiknya kuat medan magnet total.

Kata Kunci : lontaran masa korona, angin surya, badai geomagnet

1. PENDAHULUAN

Cuaca antariksa meliputi kondisi di matahari, magnetosfer, dan ionosfer, termasuk juga di ruang antarplanet. Perubahan cuaca antariksa disebabkan oleh adanya aktivitas matahari, antara lain munculnya lontaran masa korona (Coronal Mass Ejection/CME). Lontaran masa korona (CME) merupakan peristiwa terlontarnya plasma dan medan magnet dari matahari dalam jumlah besar yang seringkali berasosiasi dengan *prominence* atau flare. Materi ini menuju medium antar planet, dan bila mengarah ke

bumi, akan mencapai bumi dalam 1 – 5 hari. CME ini dianggap sebagai penyebab terjadinya gangguan di ruang antar planet dan menyebabkan timbulnya badai geomagnet (misalnya Kahler, 1992; Webb *et al.*, 2000). Meskipun demikian geoeftivitas dari CME ini bergantung juga pada posisinya di matahari dan kekuatannya (Zhang *et al.*, 2003).

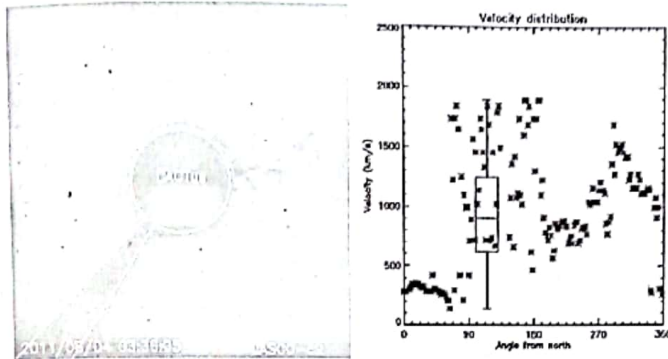
Aktivitas geomagnet yang diamati di bumi pada umumnya dikaitkan dengan kejadian CME di matahari dan gelombang kejut antar planet yang mengikutinya atau dengan aliran angin surya dengan kecepatan tinggi. Gelombang kejut antarplanet umumnya disertai oleh kenaikan intensitas partikel, ditandai dengan adanya lonjakan jumlah partikel (van Ness *et al.*, 1984; Slivka *et al.*, 1985). Kemunculan CME sering dikaitkan dengan munculnya gelombang kejut (Gosling, 1993).

Pada bulan Agustus – Oktober 2011, yang merupakan awal siklus ke 24, terjadi tiga kali badai geomagnet kuat. Ketiga badai ini terkait dengan ledakan CME tanggal 4 Agustus, 24 September, dan 22 Oktober 2011. Dalam makalah ini akan dilihat bagaimana kondisi angin surya di ruang antarplanet yang memicu munculnya badai geomagnet kuat ini. Analisis dilakukan pada parameter angin surya, yaitu kecepatan, kerapatan, serta kuat medan magnet total. Dengan cara ini akan diidentifikasi adanya gelombang kejut yang terkait dengan CME dan badai geomagnet.

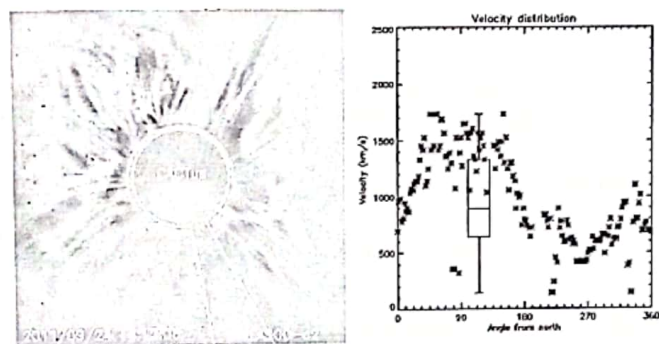
2. DATA DAN METODE

Data CME yang digunakan adalah data dari CACTUS. CACTUS merupakan perangkat lunak untuk mendeteksi CME dari citra matahari yang diperoleh instrumen LASCO atau SECCHI. Dengan menggunakan perangkat lunak ini maka posisi dan lebar sudut CME dapat diketahui. Kecepatan CME juga dapat segera diketahui.

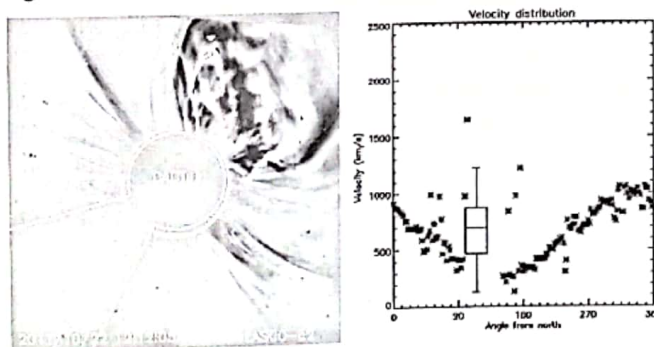
CME yang terjadi pada tanggal 4 Agustus, 24 September, dan 22 Oktober diperlihatkan pada Gambar 2-1 sampai 2-3 beserta distribusi kecepatannya di seluruh piringan matahari. Informasi lainnya disampaikan pada Tabel 2-1.



Gambar 2-1 : CME yang terjadi pada tanggal 4 Agustus 2011 (kiri) dan distribusi kecepatannya pada setiap posisi di piringan matahari (kanan).



Gambar 2-2. CME yang terjadi pada tanggal 24 September 2011 (kiri) dan distribusi kecepatannya pada setiap posisi di piringan matahari (kanan).



Gambar 2-3. CME yang terjadi pada tanggal 22 Oktober 2011 (kiri) dan distribusi kecepatannya pada setiap posisi di piringan matahari (kanan).

Tabel 2-1. CME yang mengakibatkan badai geomagnet kuat ($Dst < -100nT$) pada rentang waktu Agustus - Oktober 2011

No	Tanggal	Jam (UT)	Lebar sudut ($^{\circ}$)	Tipe	Kecepatan rata-rata (km/det)	Kec. Min (km/det)	Kec. Max (km/det)	Kelas flare	Dst (nT)
1	04-Agust-11	1:36	348	halo	905	137	1890	M 9.3	-113
2	24-Sep-11	13:25	342	halo	893	140	1736	X 1.9	-103
3	22-Okt-11	11:00	312	halo	694	128	1223	M 1.3	-135

Untuk parameter angin surya, yaitu kecepatan, kerapatan, dan kuat medan magnet total, digunakan data yang diperoleh satelit ACE (Advanced Composition Explorer). Lokasi ACE yang terletak di titik Lagrangian yang berjarak kira-kira 1.5 juta kilometer dari bumi memungkinkan para pengamat untuk memberikan peringatan dini akan terjadinya badai geomagnet. Data yang digunakan adalah data jam-an. Data besarnya intensitas gangguan geomagnet (Dst) juga merupakan data jam-an yang diperoleh dari World Data Center of Geomagnetism Kyoto University.

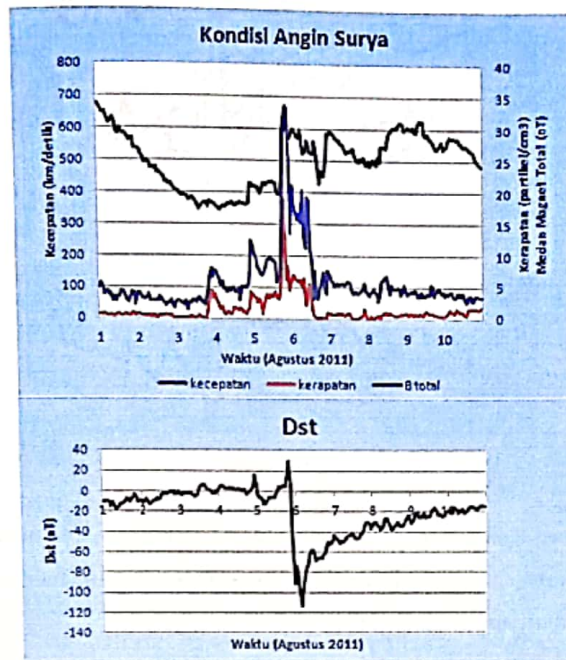
Untuk mengetahui bagaimana kondisi ruang antarplanet yang terjadi akibat ketiga CME tersebut, maka dilihat profil angin surya yang meliputi kecepatan, kerapatan, dan kuat medan magnet yang diperoleh satelit ACE. Dari profil tersebut diharapkan dapat diperoleh fenomena yang serupa yang terjadi akibat adanya CME.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. CME tanggal 4 Agustus 2011

Gambar 3-1 memperlihatkan plot parameter antarplanet, yaitu kecepatan dan kerapatan angin surya serta kuat medan magnet total. Pada gambar ini terlihat bahwa kecepatan dan kerapatan naik dengan tajam. Kecepatan naik dengan cepat dari 400 km/detik menjadi lebih dari 600 km/detik dalam selang waktu 1 jam, yaitu pada 5 Agustus. Angin surya mengalami percepatan dalam 1 detik sebesar 15m/detik.

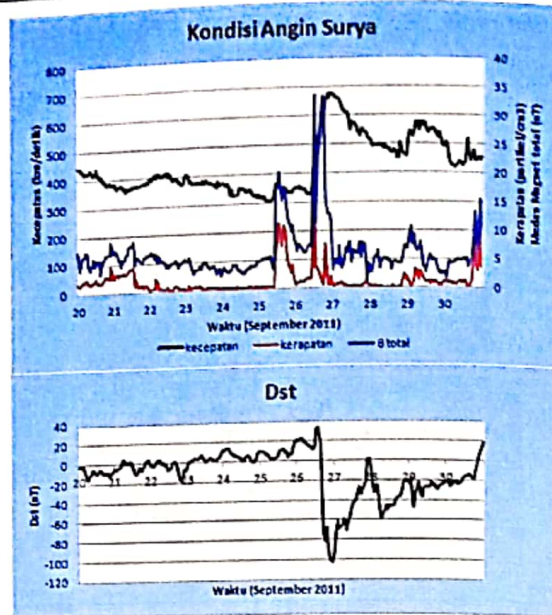
Demikian juga kerapatan dan medan magnet total, naik dengan cepat pada waktu yang bersamaan.



Gambar 3-1. Gambar atas: Kondisi angin surya (kecepatan, kerapatan, dan medan magnet total) pada rentang waktu 1 – 10 Agustus 2011. Gambar bawah: Indeks gangguan geomagnet (Dst) pada rentang waktu yang sama

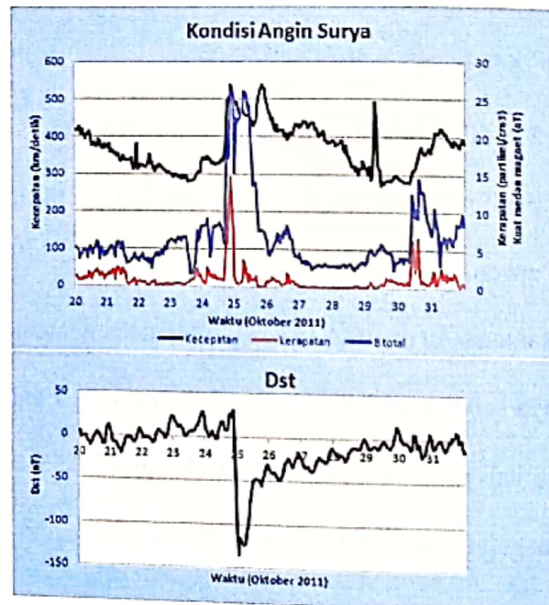
3.2. CME tanggal 24 September 2011

Pada Gambar 5 terlihat ada dua kali kenaikan intensitas kerapatan dan medan magnet total. Yang pertama, tanggal 25 September 2011 jam 13 UT, tidak disertai dengan naiknya kecepatan, sedangkan yang kedua kenaikan kerapatan dan medan magnet terjadi bersamaan dengan naiknya kecepatan dengan tajam, mengalami percepatan perdetiknya sebesar 7 m/detik. Kenaikan intensitas untuk ketiga parameter yang bersamaan ini terjadi pada 26 September 2011 jam 9 UT. Yang kedua inilah yang menunjukkan adanya gelombang kejut. Adapun badai geomagnet mencapai intensitas yang paling kuat tanggal 26 September jam 23 UT.



Gambar 3-2. Gambar atas: Kondisi angin surya (kecepatan, kerapatan, dan medan magnet total) pada rentang waktu 20 – 30 September 2011. Gambar bawah: Indeks gangguan geomagnet (Dst) pada rentang waktu yang sama

3.3. CME tanggal 22 Oktober 2011



Gambar 3-3. Gambar atas: Kondisi angin surya (kecepatan, kerapatan, dan medan magnet total) pada rentang waktu 20 – 31 Oktober 2011. Gambar bawah: Indeks gangguan geomagnet (Dst) pada rentang waktu yang sama

Gambar 3-3 menunjukkan pola yang sama dengan gambar 3-1 dan 3-2 Kenaikan yang tajam pada kecepatan (percepatannya dalam satu detik mencapai 8 m/detik) dan kerapatan angin surya, serta pada kuat medan magnet total mengindikasikan adanya gelombang kejut. Kenaikan ini mencapai maksimum pada 24 Oktober 2011, dan intensitas badai mencapai yang terkuat pada pukul 01 UT 25 Oktober 2011.

Ketiga profil angin surya dan Dst pada gambar 3-1 sampai 3-3 di atas menunjukkan kenaikan kecepatan dan kerapatan yang sangat tajam, demikian juga dengan kuat medan totalnya. Fenomena ini dapat diartikan sebagai munculnya gelombang kejut antarplanet (van Ness et al., 1984; Slivka et al., 1985). Hal ini juga dikuatkan oleh hasil pengamatan yang dilaporkan oleh satelit ACE. Gosling et al. (1991) mengemukakan bahwa lebih dari 90% badai magnet kuat ternyata berasosiasi dengan gelombang kejut antar planet dan CME. CME yang demikian umumnya adalah CME halo (Webb et al., 2000; St. Cyr et al., 2000)

Badai geomagnet yang kuat terkait dengan tekanan dinamik yang diterima oleh magnetosfer. 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 (3-1) (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

$$\rho_{sw} = \text{rapat massa angin surya} = m_p n_p$$

$$m_p = \text{massa proton}$$

$$n_p = \text{kerapatan proton}$$

$$\mu_0 = \text{permeabilitas di ruang hampa}$$

Sehingga medan magnet total di magnetopause dapat dinyatakan sebanding dengan kerapatan dan kecepatan angin surya dengan persamaan (3-2):

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

Dari persamaan (3-1) dan (3-2) 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. Dari ketiga peristiwa CME dan gelombang kejut yang dianalisis, flare yang terkait ternyata mempunyai intensitas yang cukup berbeda. Dapat diketahui bahwa gelombang kejut dan badai geomagnet yang dianalisis disini tidak dipengaruhi oleh intensitas flare.

4. KESIMPULAN

Badai geomagnet kuat yang terjadi pada awal siklus ke-24 ini disebabkan oleh adanya ledakan CME di matahari. Akibat dari CME ini angin surya mengalami peningkatan kecepatan, kerapatan, dan kuat medan magnet total yang cukup tinggi. Profil kecepatan dan kerapatan ini menunjukkan adanya shock atau gelombang kejut di ruang antarplanet.

Keterkaitan yang diperoleh antara aktivitas di matahari dan kondisi di ruang antarplanet yang mengakibatkan munculnya badai geomagnet dapat memberikan petunjuk atau gambaran mengenai hubungan matahari bumi secara kualitatif. Hal ini sangat penting untuk memberikan prakiraan dan juga peringatan dini cuaca antariksa. Akan tetapi untuk dapat memprakirakan intensitas gangguan geomagnet yang ditimbulkan masih diperlukan gambaran yang lebih lengkap secara kuantitatif tentang

respons geomagnet dan juga parameter angin surya yang mengakibatkan badai geomagnet.

DAFTAR RUJUKAN

Hughes, W.J., 1995, The Magnetopause, Magnetotail, and Magnetic Reconnection, in *Introduction to Space Physics*, Kivelson, M.C. and Russel, C.T. (eds), Cambridge University Press, p.228

Gosling, J. T., McComas, D. J., Phillips, J. L., Bame, S. J., 1991, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.* **96**, 7831

Gosling, J.T., 1993, The Solar flare myth, *J. Geophys. Res.* **98**, 18937

Kahler, S.W., 1992, Solar flares and coronal mass ejections, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **30**, 113

Slivka, M., Kudela, K., Borodkova, M., Zastenker, G., 1985, Study of Interplanetary Shock Waves and Particle Acceleration in Two Events Using Prognoz-8 Data, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* **36**, 253

St.Cyr, O. C., Plunkett, S. P., Michels, D. J., Paswaters, S. E., Koomen, M. J., Simnett, G. M., Thompson, B. J., Gurman, J. B., Schwenn, R., Webb, D. F., Hildner, E., Lamy, P.L., 2000, Properties of coronal mass ejections: SOHO LASCO observations from January 1996 to June 1998, *J. Geophys. Res.* **105**, 18169

Van Ness, P., Reinhard, R., Sanderson, T.R., Wenzel, K.P., Zwickl, R.D., 1984, The Energy Spectrum of 35- to 1600-keV Protons Associated with Interplanetary Shocks, *J. Geophys. Res.* **84**, 2122

Webb, D.F., Cliver, E.W., Crooker, N.U., St.Cyr, O.C., Thompson, B.J., 2000,
Relationship of halo coronal mass ejections, magnetic clouds, and magnetic
storms, *J. Geophys. Res.* **105**, 7491

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

Advanced Composition Explorer Real Time Solar Wind, [http://www.swpc.noaa.gov/
ftpmenu/lists/acc2.html](http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/lists/acc2.html)

CACTUS CME list, <http://sidc.oma.be/cactus/catalog.php>

World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University, <http://wdc.kyoto-u.ac.jp/>