

# KARAKTERISTIK CME HALO PENYEBAB GANGGUAN GEOMAGNET DAN PENJALARANNYA DI RUANG ANTARPLANET PADA FASE NAIK SIKLUS MATAHARI 23

JOHAN MUHAMAD

*Bidang Matahari dan Antariksa,  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN  
e-mail: johan\_m@bdg.lapan.go.id*

**Abstrak.** Peristiwa CME dapat diikuti oleh adanya penjalaran Interplanetary CME di ruang antarplanet, serta kemunculan Interplanetary Shock hingga mencapai bumi. Dengan melakukan analisis terhadap kemunculan CME serta dinamika penjalarannya hingga mencapai bumi, karakteristik CME yang berpotensi pada gangguan geomagnet dapat ditandai dan diperhitungkan pengaruh gangguannya. Melalui studi peristiwa CME tertentu pada fase naik siklus matahari 23, ditemukanlah beberapa hubungan penting antara kejadian CME dan penjalarannya di ruang antarplanet. Pengaruh gangguan geomagnet akibat peristiwa CME tertentu pun dapat diidentifikasi dari kemunculan semburan radio tipe II yang menyertainya. Hasil penyelidikan terhadap peristiwa-peristiwa tersebut diungkapkan dalam makalah ini agar dapat diterapkan pada model dan sistemantisipasi gangguan geomagnet pada fase naik siklus matahari 24.

*Abstract. CME event can be followed by Interplanetary CME and Interplanetary Shock which propagate to the earth through interplanetary medium. By analyzing the appearances of CMEs and their dynamics in the medium, characteristics of geoeffective CME can be recognized and estimated. Nine selected CMEs events in the rising phase of the solar cycle 23 are studied to find the relation between CMEs and their propagation through interplanetary medium. The geoeffective of the events then are identified from the occurrences of accompanied type-II solar radio bursts. The results obtained from this work can be applied for anticipating geomagnetic disturbances in the rising phase of the solar cycle 24.*

**Kata Kunci :** Lontaran Massa Korona (CME), *Interplanetary CME*, Semburan Radio Matahari Tipe II, Badai Geomagnet

## 1. Pendahuluan

Lontaran massa korona atau dikenal sebagai Coronal Mass Ejection (CME) adalah pelepasan massa dari struktur korona matahari yang disertai dengan pelepasan energi dan medan magnet. Kemunculan CME berdampak pada tingkat kerapatan *Solar Energetic Particle* (Gopalswamy et al., 2008a), kecepatan *Interplanetary shock* (Manoharan et al., 2004), terjadinya gangguan pada geomagnet (Gopalswamy et al., 2006) dan terjadinya gangguan pada beberapa sistem teknologi (Lara et al., 2004). Struktur dan penjalaran CME dari korona matahari dapat diamati pada citra hasil koronagraf dengan melihat penyebaran semburan cahaya putih (*white light*) yang terlontar dari matahari. Kecepatan dan energi suatu peristiwa CME dapat ditentukan dari laju dan evolusi muka struktur *white light* tersebut (Gopalswamy, 2008; Lara et al., 2004).

Salah satu terobosan besar dalam pengamatan CME pada satu dasawarsa terakhir adalah melalui instrumen *Large Angle Spectroscopic Coronagraph* (LASCO) yang ditempatkan pada wahana luar angkasa SOHO. LASCO mengamati kemunculan CME mulai dari radius 1.5 Rs hingga 30 Rs, dengan Rs adalah jari-jari matahari (Brueckner et al., 1995). Persebaran kecepatan CME yang diketahui dari pengamatan CME oleh LASCO ini berkisar antara 100 km/s hingga 3000 km/s, dengan kecepatan rata-rata sekitar 480 km/s (Gopalswamy et al., 2008c). Jika kecepatan CME di suatu medium melebihi kecepatan Alfvén di medium tersebut, CME akan menghasilkan gelombang kejut yang mempercepat elektron dan menghasilkan semburan radio tipe II. Penelitian yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat beberapa CME yang berasosiasi dengan semburan radio tipe II. Sheeley et al. menunjukkan terdapat 41 % (Sheeley et al., 1984), Classen dan Aurass menunjukkan 29 % (Classen and Aurass, 2002), sementara Suratno (Suratno, 2008) menunjukkan hanya 5.28 % CME yang berasosiasi dengan kemunculan semburan radio tipe II. CME yang berasosiasi dengan semburan radio tipe II inilah yang secara rata-rata memiliki energi tinggi dan berpotensi meningkatkan dinamika cuaca antariksa (Gopalswamy et al., 2008d).

CME yang terlontar hingga ke ruang antarplanet dinamakan sebagai *interplanetary CME* (ICME) dan diamati secara *in situ* oleh satelit pasca teramatinya CME oleh kamera LASCO (Rodriguez et al., 2006). ICME berasosiasi dengan kemunculan *Interplanetary* (IP) *shock* dan perubahan kerapatan serta energi dari *Solar Energetic Particle* (SEP) (Mulligan et al., 2008). Kemunculan ICME juga terkadang ditandai dengan hadirnya semburan radio tipe II, tetapi pada panjang gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan semburan radio tipe II pada CME yang jaraknya relatif dekat dengan matahari. Semburan radio tipe II pada ICME berada pada rentang panjang gelombang deka-hekto (DH) hingga kilo meter, sementara semburan radio tipe II pada CME berada pada rentang panjang gelombang meter (Schmidt and Gopalswamy, 2008).

Salah satu konsekuensi dari kemunculan CME adalah terjadinya gangguan geomagnet. Penemuan terbaru menunjukkan bahwa CME yang dapat menimbulkan gangguan yang besar terhadap bumi adalah CME yang sumbernya dekat dengan pusat piringan matahari (Gopalswamy, 2008) Hal ini berkaitan erat dengan penjalaran CME di ruang antarplanet dan geometri dari persebaran materi CME, serta jalur koneksi magnetik matahari – bumi. Tipe CME halo juga sangat berpengaruh akibatnya pada geomagnet bumi. Hal ini didasarkan pada statistika kecepatan CME halo yang besarnya rata-rata dua kali lebih besar dari rata-rata kecepatan CME secara keseluruhan (Gopalswamy et al., 2008b).

Untuk mengetahui karakteristik peristiwa CME yang berdampak pada geomagnet, diperlukan studi terhadap kemunculan CME, penjalarnya di ruang antarplanet, serta pengaruhnya terhadap magnetosfer bumi. Kemunculan CME pada matahari dapat dibedakan berdasarkan tipe dan lokasi sumbernya. Sementara penjalarnya di ruang antarplanet dilihat dari hubungan kecepatan antara ICME dan CME sumbernya. Perumusan hubungan antara peristiwa satu dan peristiwa lainnya akan dapat mengungkapkan karakteristik CME yang berpotensi menyebabkan terjadinya gangguan geomagnet. Identifikasi CME dengan karakteristik ini pada akhirnya diharapkan dapat membantu mengantisipasi timbulnya gangguan geomagnet sebelum gangguan tersebut terjadi.

## 2. Pemilihan Data dan Metode

Untuk menemukan hubungan antara peristiwa CME, penalaran CME, dan gangguan geomagnet yang ditimbulkannya, maka penyelidikan kali ini difokuskan pada peristiwa CME yang berdampak pada geomagnet bumi serta CME yang memiliki struktur penalaran yang dapat teridentifikasi jelas di ruang antarplanet. Penyelidikan kali ini memang tidak ditujukan untuk melihat hubungan statistik probabilitas kemunculan antarperistiwa yang sudah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Pada makalah ini hanya akan diungkapkan bagaimana hubungan antarperistiwa tersebut berlangsung, dan seperti apa proses terjadinya.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka data yang digunakan harus memenuhi syarat terjadinya peristiwa terpadu yang saling berhubungan antara CME, ICME dan IP *shock*, serta gangguan geomagnet. Data yang digunakan diambil dari siklus matahari 23 pada saat fase naik hingga puncak pertama (1997-2001). Hal ini dilakukan dengan tujuan sebagai masukan awal bagi model dalam mengantisipasi fase naik siklus 24. Alasan lainnya yaitu karena pertimbangan perbedaan karakteristik CME serta perbedaan sumber aktivitas matahari penyebab gangguan geomagnet saat aktivitas matahari maksimum dan minimum (Gopalswamy et al. 2007). Selain itu, hal ini juga ditujukan untuk mengantisipasi kemungkinan munculnya CME yang potensial mengganggu geomagnet meskipun pada saat aktivitas matahari minimum (Watari et al., 1998).

Klasifikasi data CME untuk peristiwa yang berkaitan dengan ICME diperoleh dari apa yang telah dilakukan oleh Manoharan et al (Manoharan et al., 2004). Klasifikasi ini diperoleh dari gangguan *shock wave* yang didapat dari wahana WIND antara tahun 1997-2002. Data ini dilengkapi oleh instrumen *Proton Monitor* yang terpasang pada wahana SOHO dan ACE. Dengan menguji data plasma angin surya dan data medan magnet antarplanet, didapatkanlah 163 IP *shock* yang berasosiasi dengan ICME. Dari data ini dipilih lagi 91 data yang sumber CME-nya dekat dengan pusat piringan matahari (Manoharan et al., 2004).

Sedangkan untuk pertimbangan parameter gangguan terhadap magnetosfer bumi, data disarikan lagi berdasarkan klasifikasi Schwenn terhadap CME yang berkorespondensi dengan sebuah IP *shock* dan berakibat pada munculnya badai geomagnet. Data plasma antarplanet didapatkan dari wahana ACE, proton dan alfa monitor (SWEPAM), dan investigasi medan magnet (MFI). Dari 92 peristiwa antarplanet yang didapatkan tersebut, diperoleh 11 data ICME yang mengandung awan magnet dan memiliki medan Bz negatif yang besar (Gonzalez et al., 2004). Dari penggabungan klasifikasi Manoharan et al. dan Gonzalez et al., didapatkan 9 data peristiwa CME pada fase naik siklus 23 yang memenuhi spesifikasi berikut: sumbernya dekat dengan pusat piringan matahari, berasosiasi dengan ICME dan IP *shock*, serta menimbulkan gangguan geomagnet yang besar ( $Dst < -75$ ). Kesembilan data tersebut ditampilkan pada Tabel 2. 1.

**Tabel 2. 1.**  
Data CME yang berasosiasi dengan ICME, IP Shock, dan gangguan geomagnet

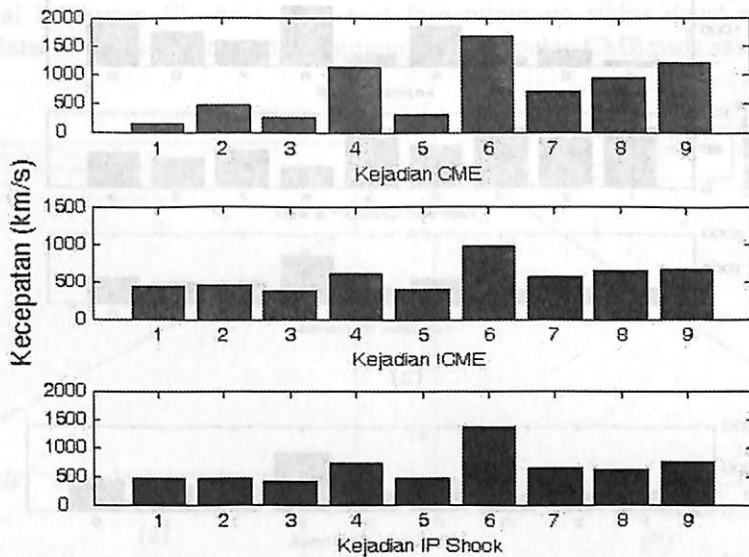
No	CME		ICME		IP Shock			Dst peak <sup>e</sup>
	Date	Vcme <sup>a</sup>	Date	Ve <sup>j</sup> <sup>b</sup>	Date	Vsh <sup>c</sup>	TT <sup>d</sup>	
1	06/01/1997	136	10/1/1997	436	10/01/1997	454	81.7	-78
2	12/05/1997	464	15/5/97	450	15/05/97	458	66.7	-115
3	15/10/1998	262	19/10/98	383	18/10/98	411	81.4	-112
4	05/11/1998	1118	9/11/1998	620	08/11/1998	721	56	-142
5	13/4/1999	291	16/4/1999	406	16/04/1999	470	79.7	-90
6	14/7/2000	1674	15/7/2000	990	15/07/2000	1350	27.4	-300
7	09/08/2000	702	12/8/2000	567	12/08/2000	640	50.4	-237
8	29/3/2001	942	31/3/2001	650	31/03/2001	617	38.8	-285
9	09/04/2001	1192	11/4/2001	670	11/04/2001	739	46.3	-251

a: Kecepatan CME dalam km/det, didapat dari katalog CME LASCO ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/index.html](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/index.html)); b: kecepatan ICME dalam km/det (Manoharan et al, 2004); c: kecepatan IP shock dalam km/det (Manoharan et al, 2004); d: waktu tempuh dalam jam didapat dari selisih waktu kemunculan IP shock dan waktu kemunculan CME (Manoharan et al, 2004); e: Puncak indeks Dst dalam nT (Gonzalez at al., 2004).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2. 1. menunjukkan peristiwa CME yang berasosiasi dengan kejadian ICME dan IP shock yang terjadi beberapa saat kemudian. Pada kolom IP shock, terdapat keterangan *travel time* yang menunjukkan selisih waktu kemunculan CME hingga terjadinya IP shock. Tabel ini juga menunjukkan kemunculan badai geomagnet yang berasosiasi dengan kejadian CME. Kemunculan badai geomagnet ditandai dengan nilai puncak Dst (*Dst peak*) yang lebih kecil dari -75 nT.

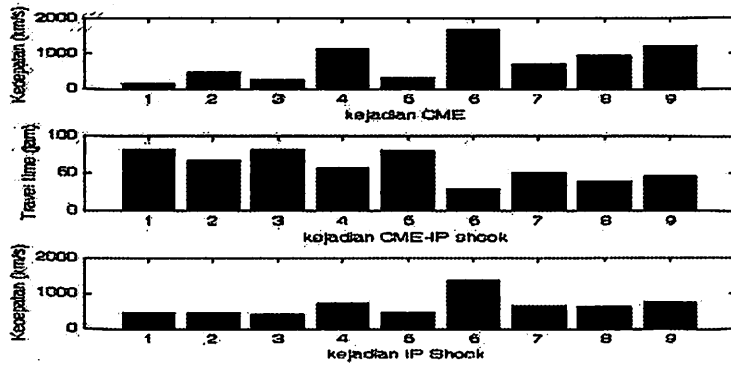
Untuk melihat keterkaitan antara peristiwa satu dengan peristiwa lainnya dari Tabel 2. 1., dibuatlah beberapa grafik yang menunjukkan adanya hubungan besaran-besaran dari peristiwa CME, ICME, IP shock, dan badai geomagnet. Gambar 3.1. menunjukkan kecepatan CME, ICME, dan IP shock untuk sembilan kejadian yang ditunjukkan oleh Tabel 2. 1. Gambar 3.1. ini memperlihatkan hubungan kecepatan antara kejadian-kejadian tersebut secara kualitatif. Gambar 3.2a. menunjukkan kecepatan CME, waktu tempuh CME hingga menjadi IP shock, dan kecepatan IP shock. Gambar 3.2a. ini menunjukkan hubungan kualitatif antara kemunculan CME dengan kejadian IP shock, khususnya dikaitkan dengan waktu tempuhnya. Sementara itu, Gambar 3.2b. menunjukkan hubungan kualitatif antara peristiwa IP shock dengan badai geomagnet. Dari Gambar 3.2b. ini juga dapat kita lihat hubungan antara peristiwa badai geomagnet dengan CME yang disampaikan secara tidak langsung oleh data waktu tempuh.



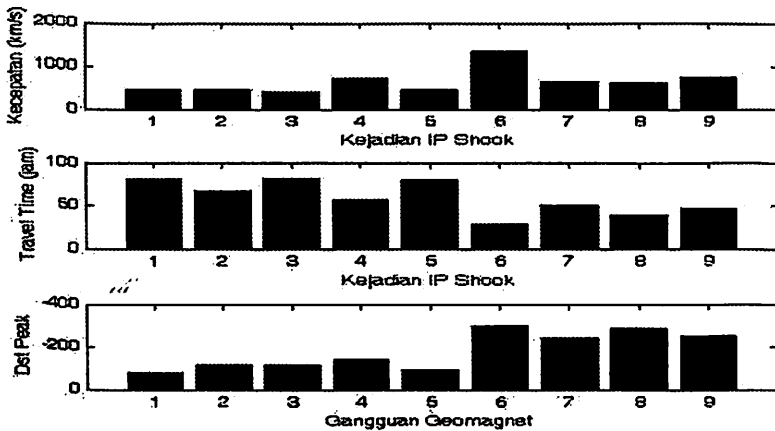
Gambar 3. 1. Perbandingan kecepatan antara peristiwa CME (atas), ICME (tengah), dan IP shock (bawah). Ketiga kecepatan menunjukkan asosiasi yang positif untuk sembilan peristiwa yang dipilih.

Pengamatan secara sekilas pada kecepatan untuk kejadian-kejadian yang ditunjukkan oleh Gambar 3. 1. dapat memberikan gambaran mengenai hubungan antara peristiwa CME, ICME, dan IP shock. Baik grafik kecepatan pada CME, ICME, dan IP shock, ketiganya menunjukkan pola yang tidak jauh berbeda. Ketika kecepatan CME rendah, maka kedua kecepatan lainnya juga menunjukkan nilai yang relatif rendah. Begitu pula ketika kecepatan CME tinggi, maka kecepatan ICME dan IP shock juga relatif tinggi. Hal ini menjadi indikasi adanya keterkaitan yang erat antara CME, ICME, dan IP shock. Berkorelasinya ketiga grafik tersebut menunjukkan kemungkinan bahwa ketiga peristiwa tersebut secara fisis bersumber dari sumber yang sama.

Gambar 3.2a. dan Gambar 3.2b. secara berturut-turut memberikan gambaran mengenai hubungan sejak kemunculan CME hingga terjadinya badai geomagnet di bumi. Gambar 3.2a. secara spesifik memperlihatkan bahwa kecepatan CME yang rendah akan membuat waktu tempuh yang lebih panjang bagi CME untuk memicu timbulnya IP shock. Sedangkan Gambar 3.2b. memperlihatkan bahwa waktu tempuh yang panjang dari perjalanan CME menuju kemunculan IP shock berarti kejadian badai geomagnet yang kecil. Dari sini dapat diambil kesimpulan sementara bahwa CME yang terlontar dari matahari menjalar melalui ruang antarplanet sebagai ICME dan menghasilkan IP shock yang kecepatannya bergantung pada besar kecepatan CME. IP shock ini kemudian akan mempengaruhi magnetosfer bumi sesuai dengan kecepatan awal CME sebelum akhirnya menyebabkan terjadinya badai geomagnet.



(a)

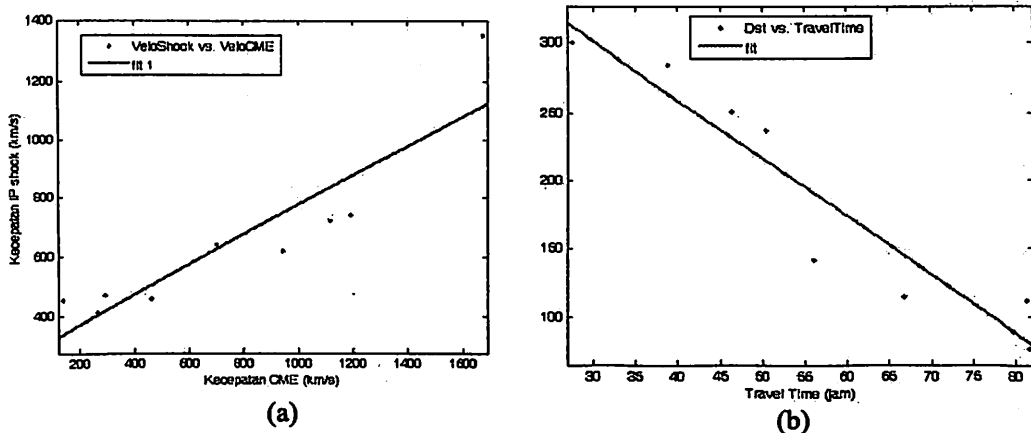


(b)

**Gambar 3. 2.** (a) Hubungan antara kecepatan CME, waktu tempuh, dan kecepatan IP *shock*. Perbandingan grafik menunjukkan secara sederhana bagaimana kecepatan pada CME dan IP *shock* berbanding terbalik dengan waktu tempuh. (b) Hubungan antara kecepatan IP *shock*, waktu tempuh dan indeks Dst. Perbandingan grafik menunjukkan secara sederhana bagaimana kecepatan CME dan indeks Dst berbanding terbalik dengan waktu tempuh.

Gambar 3.3a. memperlihatkan kecepatan IP *shock* berkorelasi erat dengan kecepatan CME. Hal ini senada dengan yang didapatkan oleh Manoharan et al. bahwa kecepatan IP *shock* dan waktu tempuhnya untuk mencapai jarak 1 SA (1 Satuan Astronomi = jarak Matahari-Bumi) ditentukan oleh kecepatan awal (*initial speed*) dari CME dan efek yang dialaminya selama perjalanan (Manoharan et al., 2004). Dari persamaan kurva tersebut, dapat dilihat bahwa pada saat tidak terdapat CME (perpotongan kurva dengan sumbu-y), kecepatan IP *shock* berada pada besar 269 km/s. Nilai tersebut bisa jadi mengindikasikan adanya nilai kecepatan latar dari IP *shock* saat tidak terjadi CME. Hal ini dapat didukung oleh kecepatan rata-rata IP *shock* pada saat fase minimum siklus 23 (1995-1996) yang

besarnya berkisar antara 300-500 km/s dengan rata-rata kecepatan 394 km/s (Echer et al., 2003). Nilai kecepatan IP *shock* pada saat fase minimum siklus dapat menjadi acuan kecepatan latar IP *shock* karena sangat minimnya kemunculan CME pada saat itu.



**Gambar 3.3** (a) Korelasi antara kecepatan CME dan kecepatan IP *shock*. Kurva menunjukkan nilai korelasi  $R^2 = 0.82$ . (b) Korelasi antara waktu tempuh (*travel time*) dan puncak indeks Dst. Kurva menunjukkan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0.91$ .

Sementara itu, hubungan antara waktu tempuh dan puncak Dst dari badai geomagnet dapat dilihat dari tampilan Gambar 3. 3b., di mana badai geomagnet yang besar dihasilkan oleh waktu kemunculan IP *shock* yang singkat. Kurva hubungan waktu tempuh dan puncak Dst ini semakin menguatkan pernyataan sebelumnya bahwa parameter kecepatan CME dan waktu tempuh perjalanannya dapat dijadikan acuan untuk memprediksi pengaruhnya pada besarnya badai geomagnet di bumi. Hal ini mendukung apa yang disampaikan oleh peneliti lainnya dengan menggunakan data CME untuk seleksi data yang lebih luas (Kumar and Yadav, 2008).

Dari 9 peristiwa yang terdapat dalam Tabel 2. 1., hanya terdapat 3 kejadian yang berasosiasi dengan munculnya semburan radio matahari yang terdeteksi dari bumi. Kejadian tersebut adalah kejadian pada tanggal 11 Mei 1998 (peristiwa no. 4), 14 Juli 2000 (peristiwa no. 6), dan 29 Maret 2001 (peristiwa no. 8). Dari ketiga kejadian tersebut, dua di antaranya terjadi pada saat puncak siklus (2000-2001). Kedua peristiwa yang disertai semburan radio matahari di saat puncak siklus ditandai dengan kemunculan semburan radio tipe-II yang diamati dari stasiun Izmiran, Rusia (<http://helios.izmiran.rssi.ru/lars/MoreSp.html>). Sementara untuk peristiwa tanggal 11 Mei 1998, dari data dari stasiun Culgoora, Australia, ([http://www.ips.gov.au/World\\_Data\\_Centre/2/5](http://www.ips.gov.au/World_Data_Centre/2/5)) semburan radio yang menyertainya tidak menunjukkan pola tipe II yang terlalu jelas.

Apabila diperhatikan kaitan antara ketiga peristiwa CME yang disertai semburan radio matahari dalam rentang panjang gelombang meter, dapat dilihat bahwa tiga peristiwa tersebut memiliki kecepatan CME yang tinggi dan menyebabkan gangguan geomagnet yang besar. Ketiga peristiwa tersebut memiliki kecepatan CME di atas 900 km/s dan

mengakibatkan gangguan geomagnet dengan puncak Dst kurang dari -140 nT. Hasil tersebut menunjukkan bahwa CME yang disertai dengan semburan radio tipe II memiliki potensi besar dalam menghasilkan gangguan geomagnet.

Ketiga peristiwa tersebut juga memiliki keterkaitan dengan kemunculan semburan radio tipe-II dalam panjang gelombang DH (deka-hekto meter) yang terdeteksi oleh WIND/WAVES ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/radio/waves\\_type2.html](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/radio/waves_type2.html)). Hal ini menunjukkan bahwa gangguan geomagnet yang besar lebih berpeluang muncul pada CME yang disertai dengan semburan radio tipe II dalam rentang panjang gelombang meter dan DH secara bersamaan. Ini juga sesuai dengan hasil penelitian Gopalswamy sebelumnya bahwa semburan radio DH tipe-II membawa informasi unik bagi munculnya gangguan geomagnet (Gopalswamy et al., 2008a). Penyelidikan lebih lanjut menunjukkan bahwa semua kejadian CME pada Tabel 2. 1. yang berasosiasi dengan kemunculan semburan radio DH tipe-II juga disertai oleh kemunculan flare. Sedangkan kejadian CME yang tidak berasosiasi dengan semburan radio DH tipe-II juga tidak disertai oleh flare.

#### 4. Kesimpulan

Beberapa kasus CME ekstrem yang berasosiasi dengan Interplanetary CME, IP *shock*, dan badai geomagnet secara khusus dibandingkan satu sama lain. Secara umum, kecepatan CME, ICME, dan IP *shock* menunjukkan adanya keterkaitan yang jelas bahwa ketiganya berasal dari sumber yang sama dan saling mempengaruhi. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, diketahui bahwa kecepatan CME berbanding lurus dengan kecepatan ICME dan kecepatan IP *shock*. Di sisi lain, hasil yang didapatkan menunjukkan kemungkinan adanya hubungan yang berbanding terbalik antara kecepatan CME dan waktu tempuh terbentuknya IP *shock*. Sementara itu, kecepatan IP *shock* juga memperlihatkan kesesuaian dengan tingkat badai geomagnet. Semakin tinggi kecepatan IP *shock*, semakin besar pula tingkat gangguan geomagnet.

Adanya keterkaitan peristiwa CME hingga terjadinya badai geomagnet menunjukkan bahwa kemunculan CME dan penjarannya hingga mencapai bumi merupakan suatu fenomena fisis yang mengikuti hukum-hukum mekanika. Secara gamblang, telah dibuktikan bahwa kemunculan CME yang perlu diwaspadai dapat menimbulkan gangguan geomagnet yang tinggi adalah CME yang: 1) bersumber dari daerah aktif yang letaknya dekat dengan pusat piringan matahari, 2) memiliki tipe CME halo, 3) menghasilkan semburan radio tipe 2 baik dari panjang gelombang meter hingga DH, 4) disertai dengan munculnya flare. Penemuan CME dengan karakteristik seperti itu pada fase naik siklus 24 ini hendaknya diwaspadai akan menyebabkan terjadinya gangguan geomagnet yang besar.

Penyelidikan terhadap hubungan antarperistiwa seperti yang dibahas dalam makalah ini hendaknya juga diperdalam pada pendekatan numerik untuk pembuatan model. Adanya penemuan terbaru mengenai hubungan antarperistiwa tersebut menjadi masukan penting bagi perbaikan model penjaran CME di ruang antarplanet dan bagi model prediksi gangguan geomagnet yang telah ada saat ini (Michalek et al., 2007; Manoharan et al., 2004; Smith, 2008). Dengan menggunakan pendekatan yang lebih spesifik pada beberapa parameter CME, prediksi terjadinya badai geomagnet di fase naik siklus 24 dapat dibuat lebih akurat.



## Daftar Pustaka :

- Brueckner, G. E., Howard, R. A., Koomen, M. J., Korendyke, C. M., Michels., D. J., Moses, J. D., Socker, D. G., Dere, K. P., Lamy, P. L., Llebaria, A., Bout, M. V., Schwenn, R., Simnett, G. M., Bedford, D. K., Eyles, C. J., 1995. *The Large Angle Spectroscopic Coronagraph (LASCO)*, *Solar Physics*, **162**, 357-402.
- Classen, H. T., Aurass, H., 2002. *On The Association Between Type II Radio Bursts And CMEs*, *Astronomy & Astrophysics*, **384**, 1098-1106.
- Echer, E., Gonzalez, W. D., Vieira, L. E. A., Dal Lago, A., Guarnieri, F. L., Prestes, A., Gonzalez, A. L. C., Schuch, N. J., 2003. *Interplanetary Shock Parameters during Solar Activity Maximum (2000) and Minimum (1995-1996)*, *Brazilian Journal of Physics*, **33**, no. 1.
- Gonzalez, W. D., Dal Lago, A., Clua de Gonzalez, A. L., Vieira, L. E. A., Tsurutani, B. T., 2004. *Prediction of peak-Dst from Halo CME/Magnetic Cloud-Speed Observations*, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **66**, 161-165.
- Gopalswamy, N., 2008b. *Solar Connections of Geoeffective Magnetic Structures*, *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, doi:10.1016/j.jastp.2008.06.010.
- Gopalswamy, N., Akiyama, S., Yashiro, S., Michalek, G., Lepping, R. P., 2007. *Solar Sources and Geospace Consequences of Interplanetary Magnetic Clouds Observed During Solar Cycle 23*, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **70**, 245-253.
- Gopalswamy, N., Makela, P., Xie, H., Akiyama, S., and Yashiro, S., 2008d. *CME Interaction With Coronal Holes and Their Interplanetary Consequences*, *Journal of Geophysical Research in Press*.
- Gopalswamy, N., Yashiro, S., Akiyama, S., Makela, P., Xie, H., Kaiser, M. L., Howard, R. A., and Bougeret, J. L., 2008a. *Coronal Mass Ejections, Type II Radio Bursts, and Solar Energetic Particle Events in the SOHO Era*, *Annales Geophysics*, **26**, 1-15.
- Gopalswamy, N., Yashiro, S., dan Howard, R. A., 2006. *Observational Properties of CMEs From Decade Long Observations by SOHO*, *Proc. SOHO 17-10 Years of SOHO and Beyond, Sicily, Italy*.
- Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michalek, G., Stenborg, G., Vourlidas, A., Freeland, S., and Howard, R., 2008c. *The SOHO/LASCO CME Catalog*.
- Kumar, S., and Yadav, M. P., 2003. *Geoeffectiveness of Solar Features*, *Proc. 28<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference*, 3665-3669.
- Lara, A., Gonzalez-Esparza, J. A., Gopalswamy, N., 2004. *Characteristics of Coronal Mass Ejections in the Near Sun Interplanetary Space*, *Geofisica Internacional*, **43**, 1, 75-82.
- Manoharan, P. K., Gopalswamy, N., Yashiro, S., Lara, A., Michalek, G., and Howard, R. A., 2004. *Influence of CME Interaction on Propagation of Interplanetary Shocks*, *Journal of Geophysical Research*, **109**, A06109, doi:10.1029/2003JA010300.
- Michalek, G., Gopalswamy, N., Yashiro, S., 2007. *Prediction Space Weather Using an Asymmetric Cone Model for Halo CMEs*, *Solar Physics*, **246**, Number 2, 399-408.
- Mulligan, T., Blake J. B., Mewaldt, R. A., 2008. *Unusual Solar Energetic Proton Fluxes at 1 AU within an Interplanetary Space*, *Proc. Of the 30<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference*, **1**, 179-182.

- Rodriguez, E. A., Blanco-Cano, X., 2006. *Composition and Magnetic Structure of Interplanetary Coronal Mass Ejections at 1 AU*, Gopalswamy, N., *Advances in Space Research*, **38**, 522-527.
- Schmidt, J. M., Gopalswamy, N., 2008. *Synthetic Radio Maps of CME-driven Shocks Below 4 Solar Radii Heliocentric Distance*, *Journal of Geophysical Research*, *Journal of Geophysical Research*, **113**, A08104, doi:10.1029/2007JA013002.
- Sheeley Jr., N. R., Stewart, R. T., Robinson, R. D., Howard, R. A., Koomen, M. J., dan Michels, D. J., 1984. *Association between coronal mass ejection and metric type II bursts*, *Astrophysical Journal*, **279**: 839-847.
- Smith, Z., 2002. *Demonstration of Method to Evaluate in the Operational Environment Space Weather Models That Predict Shock Arrivals and Geomagnetic Disturbances Using Solar and Interplanetary Data for Input*, Proc. 10<sup>th</sup> European Solar Physics Meeting, Prague, Czech Republik.
- Suratno, 2008. *Probabilitas Keterkaitan Semburan Radio Matahari Tipe II Dengan Lontaran Massa Korona*, *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, **3**, No. 2, 83-89.
- Watari, S., Watanabe, T., 1998. *The Solar Drivers of Geomagnetic Disturbances During Solar Minimum*, *Geophysical Research Letters*, **25**, No. 14, 2489-2492.