

# **CME HALO DAN DAMPAKNYA PADA INTENSITAS SINAR KOSMIK [HALO CME AND ITS IMPACT TO THE COSMIC RAY INTENSITY]**

Clara Y. Yatini

Peneliti Pusat Sains Antariksa, Lapan

email: c\_yyatini@yahoo.com

Diterima 16 April 2012; Disetujui 13 Juni 2012

## **ABSTRACT**

The solar activity closely related with the cosmic ray intensity. They have inverse correlation, the increase in the solar activity will lead to the decrease of cosmic ray intensity. The year 2011 is the increasing phase of the 24<sup>th</sup> cycle of solar activity. During this period the Sun has ejected many CMEs, some of them are halo CMEs. Halo CME ejected particles uniformly (almost uniformly) around the Sun, that have enough possibility to reach the Earth and lead to the decrease of the cosmic ray intensity observed on Earth. We analyzed the effect of halo CME to the cosmic ray intensity. The halo CME data comes from CACTUS, and cosmic ray intensity is observed by Moscow Neutron Monitor. The cosmic ray intensity shows the unsimilar patterns. Some of them show the clear and significant decrease in their intensity, while the other show the unclear and insignificant decrease. Regarding to this we analyzed the cosmic ray intensity during the occurrence of CME to see how the halo CME affect the cosmic ray intensity. It looks that the decrease of cosmic ray intensity does not affected only by the occurrence of the halo CME, but also by other interplanetary phenomena.

Keywords: *Coronal mass ejection, Cosmic ray*

## **ABSTRAK**

Aktivitas matahari terkait erat dengan intensitas sinar kosmik, dan keduanya mempunyai korelasi yang terbalik atau memiliki fase yang berlawanan, yang berarti bahwa aktivitas matahari yang meningkat mengakibatkan turunnya intensitas sinar kosmik. Tahun 2011 merupakan fasa naik dari aktivitas matahari siklus ke 24. Pada tahun ini mulai banyak terjadi lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*), diantaranya merupakan CME halo. CME halo mempunyai lontaran yang tersebar merata sehingga mempunyai kemungkinan cukup besar untuk sampai ke bumi, dan mengakibatkan turunnya intensitas sinar kosmik yang teramati di bumi. Dalam penelitian ini dilakukan analisis pengaruh CME halo ini terhadap intensitas sinar kosmik. Data CME halo diperoleh dari *Computer Aided CME Tracking* (CACTUS), sedangkan data sinar kosmik merupakan data dari Moscow Neutron Monitor. Dalam beberapa peristiwa terlihat bahwa pengaruh CME halo tidak mempunyai pola yang sama. Beberapa CME halo mengakibatkan turunnya intensitas sinar kosmik secara jelas, sementara lainnya tidak mempunyai pola penurunan intensitas yang jelas. Untuk itu dilakukan analisis terhadap intensitas sinar kosmik dalam selang waktu tertentu untuk mengetahui seberapa jauh CME halo berperan dalam penurunan intensitas sinar kosmik. Hasil yang diperoleh mengindikasikan bahwa perubahan intensitas sinar kosmik bukan hanya disebabkan oleh terjadinya CME halo, tetapi dipengaruhi juga oleh fenomena lain yang terjadi di ruang antarplanet.

Kata kunci: *Lontaran masa korona, Sinar kosmik*

## 1 PENDAHULUAN

Matahari adalah penggerak cuaca antariksa, sehingga aktivitas maupun perubahan yang terjadi di matahari akan berdampak juga pada kondisi yang ada di antariksa. Fenomena yang terjadi di matahari seperti flare dan CME terkait erat dengan penurunan intensitas sinar kosmik yang diterima di bumi (Cane, 2000). Sinar kosmik mempunyai rentang energi dari 100 MeV sampai 10 GeV. Sinar kosmik yang diterima di bumi ini juga dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Aktivitas matahari yang bervariasi akan mempengaruhi intensitas sinar kosmik. Variasi intensitas sinar kosmik berbanding terbalik dengan aktivitas matahari.

Flare maupun CME yang terjadi di permukaan matahari merupakan peristiwa impulsif yang melepaskan sejumlah besar materi dan radiasi. Cane dkk. (1996) mempelajari efek dari flare maupun CME pada penurunan intensitas sinar kosmik. Medan magnet yang keluar dari matahari bersamaan dengan lontaran flare maupun CME dari matahari akan menyapu sinar kosmik yang berada di ruang antarplanet, sehingga jumlah sinar kosmik yang sampai di bumi akan berkurang. Akan tetapi Shrivastava dan Singh (2005) lebih menekankan CME sebagai penyebabnya. CME halo mempunyai sudut angular yang mendekati 360° sehingga partikel yang dilontarkan akan menyebar dari permukaan matahari ke segala arah. Oleh sebab itu partikel yang terlempar dalam peristiwa CME halo ini mempunyai kemungkinan yang besar untuk sampai ke bumi dan mengakibatkan dampak di bumi. Salah satu dampak CME halo ini adalah penurunan intensitas sinar kosmik (Lara dkk., 2005).

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh CME halo ini pada intensitas sinar kosmik, maka dilakukan analisis terhadap pola intensitas sinar kosmik yang diduga terkait dengan CME halo. Tahun 2011 dipilih karena pada tahun ini mulai terjadi cukup banyak CME halo, karena merupakan fasa naik dari siklus aktivitas matahari ke-24.

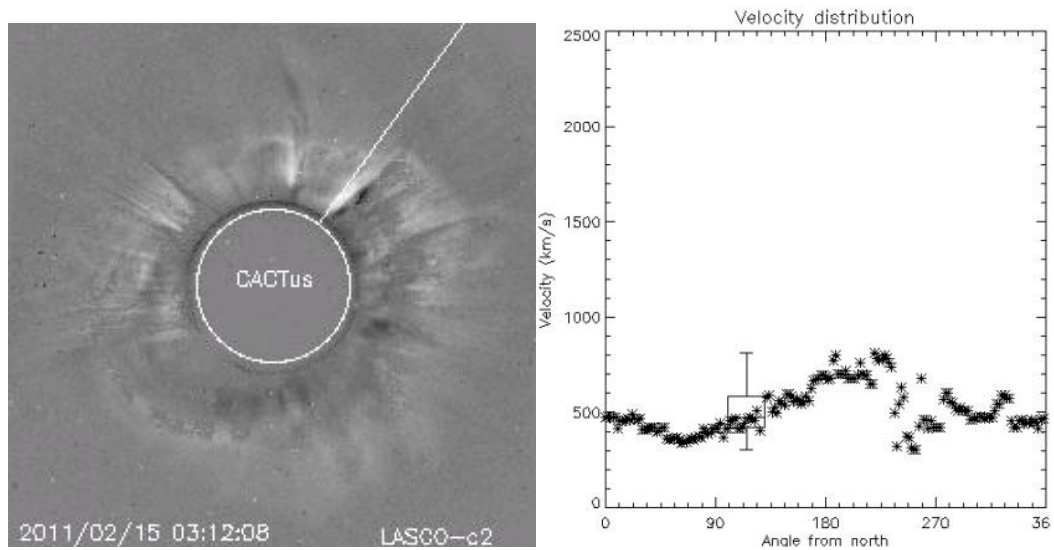
## 2 DATA DAN METODE

Untuk mengetahui pengaruh halo CME terhadap sinar kosmik dilakukan analisis terhadap intensitas sinar kosmik pada selang waktu beberapa hari sebelum dan sesudah terjadinya CME halo. CME halo yang diteliti adalah CME halo yang terjadi pada tahun 2011, yang terjadinya tidak bersamaan atau hampir bersamaan dengan CME yang lain. Dengan kriteria ini, dari 15 CME halo yang terjadi diperoleh sebanyak 10 CME yang dianalisis. Data CME diperoleh dari CACTUS di <http://sidc.oma.be/cactus/>. CACTUS merupakan perangkat lunak yang dapat secara otomatis mendeteksi CME dari citra yang diperoleh *Large Angle and Spectrometric Coronagraph* (LASCO) (Robbrecht dkk., 2009; Robbrecht dan Berghmans, 2004). Definisi CME halo adalah CME yang mempunyai sudut angular lebih dari 270°. CME halo yang dianalisis terdapat di Tabel 2-1. Gambar 2-1 merupakan contoh citra CME dari LASCO dan distribusi kecepatannya.

Tabel 2-1: CME HALO DARI CACTUS PADA TAHUN 2011 YANG DIANALISIS

No.	Tanggal	Waktu (UT)	Sudut Angular (°)	Kecepatan (km/s)
1	13 Januari 2011	09:48	280	905
2	15 Februari 2011	02:12	360	471
3	21 Maret 2011	02:36	360	1041
4	7 April 2011	13:36	346	1498
5	4 Juni 2011	22:05	346	941
6	14 Juni 2011	09:24	360	694

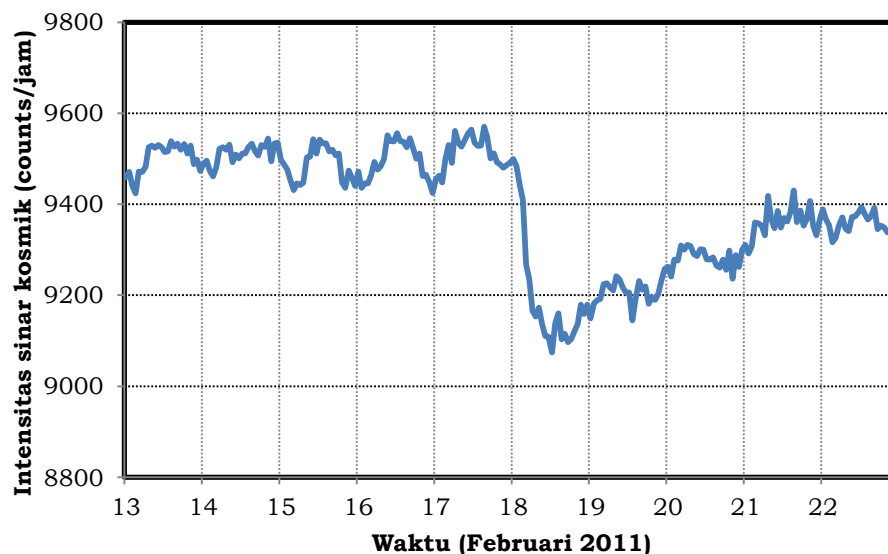
7	4 Agustus 2011	01:36	348	905
8	4 Oktober 2011	13:25	360	694
9	3 November 2011	23:12	318	625
10	17 November 2011	21:48	360	778



Gambar 2-1: Citra LASCO untuk CME halo tanggal 15 Februari 2011 (kiri) dan distribusi kecepataannya di permukaan matahari (kanan)

Intensitas sinar kosmik merupakan hasil pengamatan Moscow Neutron Monitor (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>), dan merupakan data rata-rata per jam. Data yang digunakan adalah data pada waktu di sekitar terjadinya CME halo. Karena pengaruh CME ke bumi dapat terjadi 1–5 hari setelah terjadinya lontaran dari matahari, maka data sinar kosmik mempunyai rentang waktu 2 hari sebelum sampai 7 hari setelah terjadinya CME halo. Data ini kemudian diplot untuk mengetahui profil intensitasnya terhadap waktu. Salah satu profil intensitas sinar kosmik diperlihatkan pada Gambar 2-2. Gambar ini menunjukkan intensitas sinar kosmik yang diperkirakan terkait dengan CME halo tanggal 15 Februari 2011. Intensitas sinar kosmik berasal dari tanggal 13 sampai 22 Februari 2011.

#### Intensitas Sinar Kosmik tanggal 13 - 22 Februari 2011

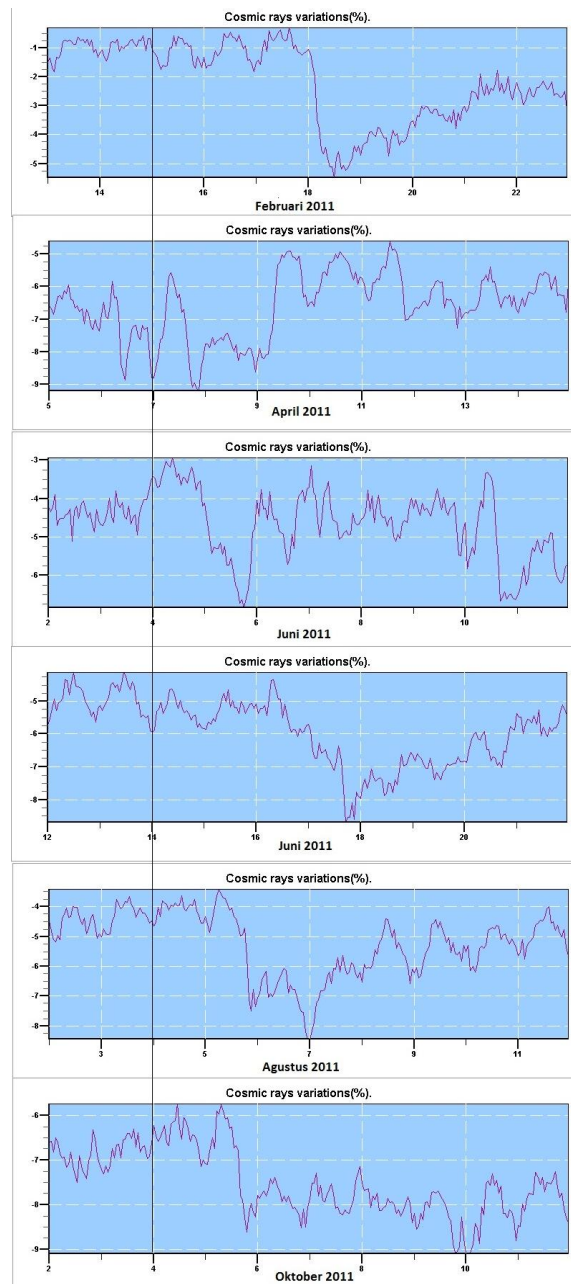


Gambar 2-2: Intensitas sinar kosmik tanggal 13 – 22 Februari 2011

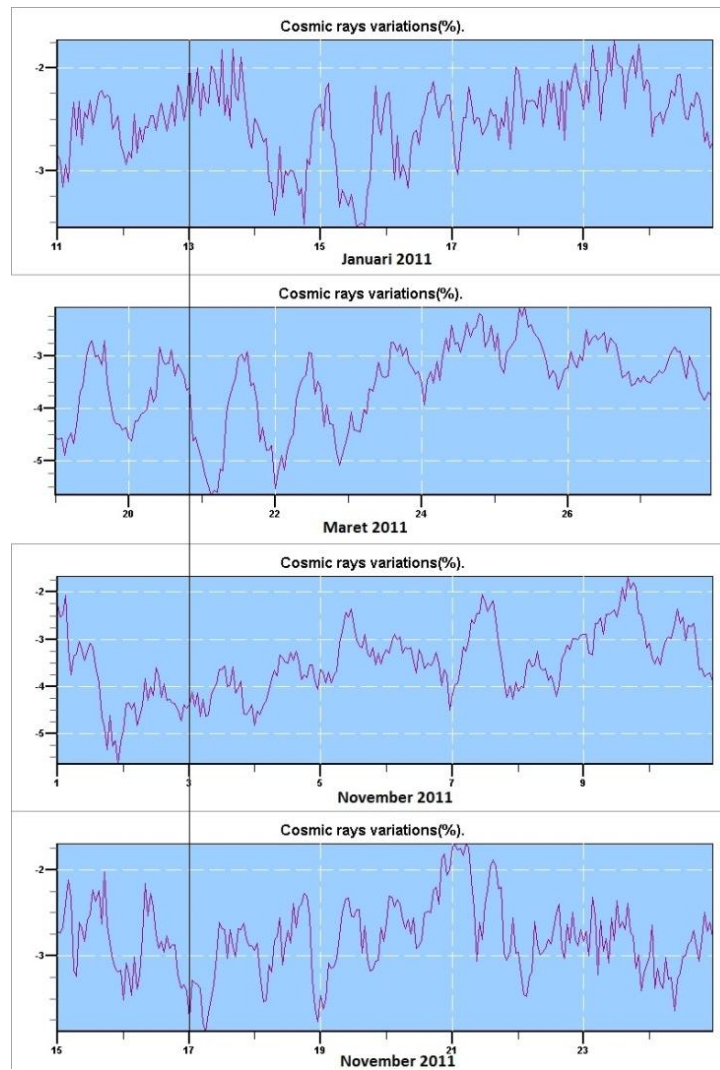
### 3 HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan data variasi intensitas sinar kosmik yang diperoleh dari Moscow Neutron Monitor, diketahui bahwa variasi intensitas ini cukup bervariasi, dari 1 sampai 5%. Variasi ini dapat dilihat pada plot intensitas seperti pada Gambar 3-1 maupun 3-2. Sumbu vertikal menunjukkan besarnya perubahan intensitas terhadap rata-rata intensitas sinar kosmik pada bulan Februari 1989 (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/baseinfo.htm>). Besarnya variasi intensitas yang diperhitungkan disini dihitung dari nilai tertinggi dikurangi dengan nilai terendah.

Dari beberapa plot ini terlihat bahwa pola variasinya juga tidak sama, ada yang penurunannya terlihat dengan jelas sementara yang lain tidak menunjukkan pola penurunan intensitas yang kurang tegas. Berdasarkan profil intensitas sinar kosmik ini penulis mengelompokkan pola-pola ini menjadi dua bagian, yaitu yang mempunyai pola penurunan intensitas yang signifikan, dan kelompok yang lain mempunyai pola intensitas sinar kosmik yang kurang signifikan, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-1 dan 3-2.



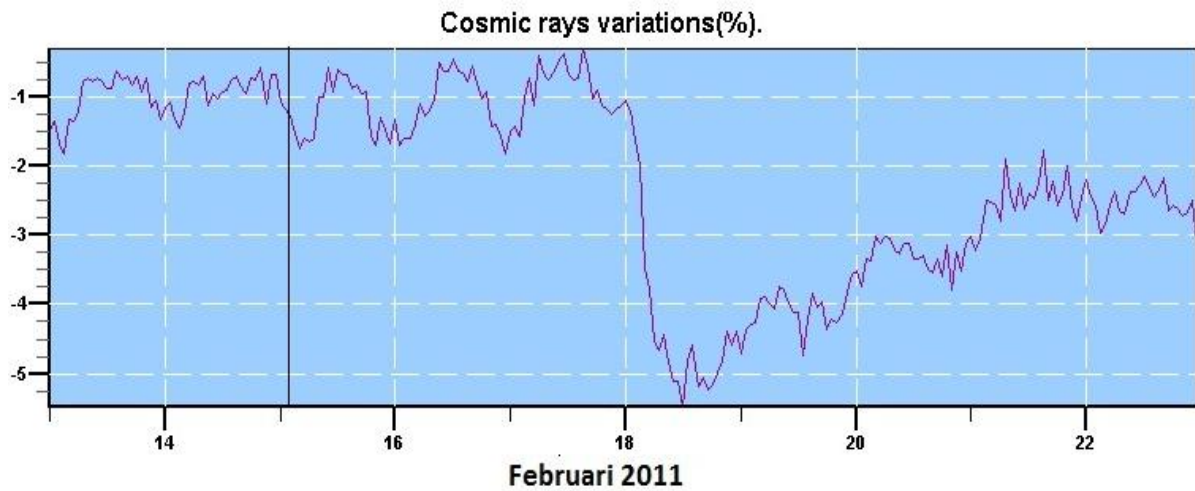
Gambar 3-1: Variasi intensitas sinar kosmik yang menunjukkan penurunan yang signifikan. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya CME halo (Sumber: Moscow Neutron Monitor)



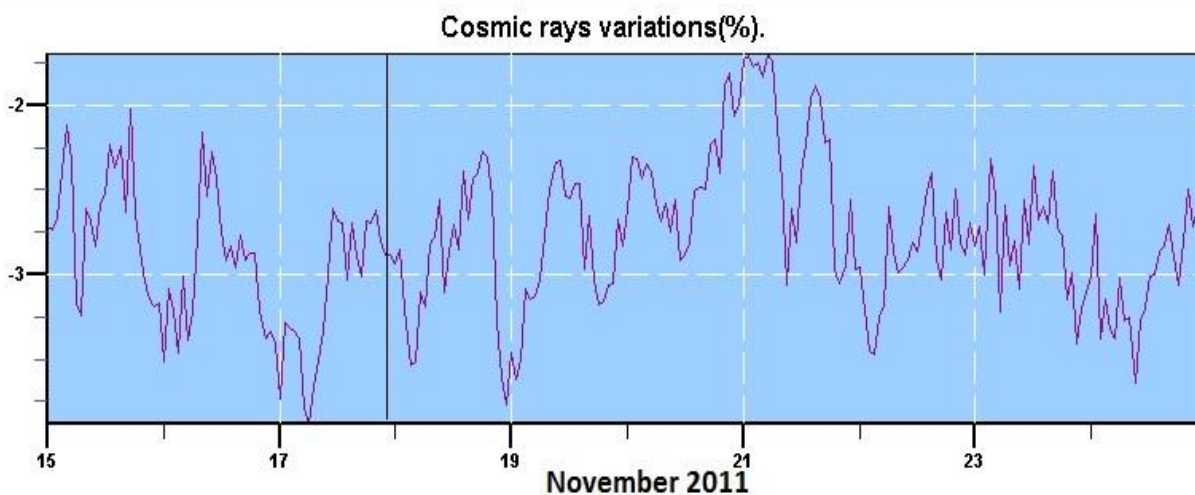
Gambar 3-2: Pola perubahan intensitas sinar kosmik yang kurang signifikan. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya CME halo (Sumber: Moscow Neutron Monitor)

Perubahan intensitas sinar kosmik yang terjadi pada bulan Februari, April, Juni, Agustus, dan Oktober (Gambar 3-1) mempunyai nilai yang lebih besar dari pada penurunan sinar kosmik yang terjadi pada bulan Januari, Maret, dan November (Gambar 3-2). Kelompok yang pertama (selanjutnya disebut Kelompok A) mempunyai variasi antara lebih besar dari 3%, sedangkan kelompok yang kedua (Kelompok B) variasinya lebih kecil dari 3%. Pola penurunannya secara umum juga mempunyai pola yang berbeda. Kelompok pertama mempunyai pola penurunan intensitas yang lebih jelas dari pada kelompok kedua dalam waktu satu sampai beberapa hari setelah terjadinya CME halo.

Sebagai contoh adalah Gambar 3-3. Gambar ini menunjukkan pola variasi intensitas sinar kosmik yang diterima di bumi terkait dengan CME halo pada tanggal 15 Februari 2011 jam 02:12 UT dengan kecepatan liniernya 471 km/detik. Sinar kosmik mengalami penurunan pada awal 18 Februari. Hal ini juga sesuai dengan perhitungan waktu antara awal munculnya CME dengan kecepatannya, yang menghasilkan selang waktu (waktu tunda) sebesar 88 jam atau 3.6 hari. Sebaliknya, profil intensitas sinar kosmik pada sekitar terjadinya CME halo tanggal 17 November 2011 (Gambar 3-4) tidak menunjukkan pola penurunan intensitas yang jelas. CME halo yang terjadi pada jam 21:47UT dengan kecepatan linier 748 km/detik seharusnya dapat mencapai bumi pada sekitar awal tanggal 20 November 2011. Akan tetapi dalam profil tidak terlihat dengan jelas adanya penurunan intensitas pada sekitar waktu tersebut.



Gambar 3-3: Variasi intensitas sinar kosmik tanggal 13–22 Februari 2011. Garis vertikal pada gambar menunjukkan waktu terjadinya CME halo pada tanggal 15 Februari 2011 pukul 02:12 UT. (Sumber: Moscow Neutron Monitor)



Gambar 3-4: Variasi intensitas sinar kosmik tanggal 15–24 November 2011. Garis vertikal menunjukkan waktu terjadinya CME halo pada tanggal 17 November 2011 pukul 21:48 UT. (Sumber: Moscow Neutron Monitor)

Sama halnya dengan fenomena lain di permukaan bumi yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari, maka sinar kosmik juga dipengaruhi oleh parameter yang terkait dengan antarplanet (Gupta dan Badruddin, 2005). Oleh sebab itu dilihat juga parameter angin surya, antara lain kecepatan ( $V$ ) dan medan magnet antarplanet arah utara-selatan ( $B_z$ ). Kecepatan angin surya diperoleh dari instrumen *Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor* (SWEPAM), sementara kuat medan magnet antarplanet utara-selatan didapat dari instrumen MAG, yaitu magnetometer yang mengukur kuat medan magnet antar planet. Kedua instrumen ini berada pada satelit ACE. Dari kesepuluh CME halo dan intensitas sinar kosmik yang terkait, maka dari data SWEPAM dan MAG diperoleh  $V$  proton dan  $B_z$  (diperoleh dari data jam-an) seperti yang tertera pada Tabel 3-1. Dalam tabel ini dipisahkan peristiwa peristiwa yang merupakan kelompok A dan kelompok B. Terlihat bahwa untuk  $V$  dan  $B_z$  tidak menunjukkan perbedaan yang jelas diantara kedua kelompok ini, walaupun secara umum nilai negatif  $B_z$  pada kelompok A (dengan nilai rata-rata = 10.1) dan kecepatan angin surya (rata-rata 867 km/detik) lebih besar dari pada kelompok B (dengan nilai rata-rata  $B_z$  = 5.1 dan kecepatan = 837 km/detik).



Tabel 3-1: CME HALO DAN VARIASI INTENSITAS SINAR KOSMIK SERTA PARAMETER ANTAR-PLANET YANG TERKAIT

No.	Tanggal CME	Variasi sinar kosmik (%)	Kecepatan CME (km/detik)	Kec. Angin Surya (km/detik)	Bz (nT)
Kelompok A					
1	15 Februari	4.5	471	592	-12.5
2	7 April	3.5	1498	545	-8.8
3	4 Juni	3.8	941	540	-10.8
4	14 Juni	4.5	694	539	-4.1
5	4 Agustus	5.0	905	611	-18.9
6	4 Oktober	3.0	694	450	-5.5
	<b>Rata-rata</b>	<b>4.1</b>	<b>867</b>	<b>546</b>	<b>-10.1</b>
Kelompok B					
7	13 Januari	1.5	905	566	-3.9
8	21 Maret	2.5	1041	507	-4.9
9	3 November	1.0	625	355	-3.7
10	17 November	1.0	778	417	-7.7
	<b>Rata-rata</b>	<b>1.5</b>	<b>837</b>	<b>461</b>	<b>-5.1</b>

Dalam Tabel 3-1 medan magnet antarplanet arah utara selatan (Bz) menunjukkan nilai negatif, yang mengindikasikan terjadinya rekoneksi medan magnet di magnetopause dan memungkinkan terjadinya transfer energi ke dalam magnetosfer bumi (Gonzales dkk., 1999), sehingga intensitas sinar kosmik mengalami penurunan. Akan tetapi tingkat atau besarnya penurunan tersebut ternyata tidak sama. Dari hasil yang diperoleh, penurunan intensitas sinar kosmik tampaknya tidak hanya disebabkan oleh adanya CME halo, walaupun CME halo mempunyai peran yang lebih besar dari pada CME yang bukan halo (Badruddin dan Singh, 2003). Ananth dan Venkatesan (1993) menyatakan bahwa ada beberapa penurunan intensitas sinar kosmik dapat juga disebabkan oleh adanya gelombang kejut antarplanet (*interplanetary shock*), awan magnet, gabungan antara awan magnet dan *interplanetary shock*, serta karena adanya fenomena yang disebut sebagai *Corotating Interaction Region* (CIR). Sayangnya, tidak semua CME halo dapat mengakibatkan munculnya gelombang kejut antarplanet maupun awan magnet yang efektif untuk menurunkan intensitas sinar kosmik. Sehingga dapat terlihat bahwa CME halo saja tidak selalu menyebabkan modulasi sinar kosmik yang signifikan.

#### 4 KESIMPULAN

Modulasi intensitas sinar kosmik mempunyai kaitan yang erat dengan aktivitas matahari. Naiknya aktivitas matahari berakibat pada turunnya jumlah sinar kosmik yang diterima di bumi. CME halo merupakan salah satu aktivitas matahari yang dianggap dapat mempengaruhi intensitas sinar kosmik.

Sepuluh CME halo yang terjadi pada tahun 2011 menunjukkan bahwa ternyata tidak semua CME halo menyebabkan penurunan intensitas sinar kosmik yang signifikan. Sedangkan parameter angin surya, yaitu kecepatan (V) dan medan magnet antarplanet arah utara-selatan (Bz), belum cukup untuk menjadi faktor yang menentukan penurunan intensitas sinar kosmik.

Pengamatan CME menunjukkan bahwa fenomena antarplanet dapat mempunyai peran yang sangat penting dalam modulasi sinar kosmik yang diamati di bumi, sehingga perlu dipertimbangkan juga fenomena antarplanet yang mengikuti CME halo

ini. Beberapa penelitian lain menyatakan bahwa modulasi sinar kosmik juga disebabkan oleh adanya awan magnet dan *shock* (gelombang kejut).

#### 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 Decrease*, Solar Phys. 143, 373.
- Badruddin, Singh, Y.P., 2003. *CME types, their interplanetary manifestation (ICMEs) and effect on cosmic ray intensity*, 28<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, 3631.
- CACTUS, <http://sidc.oma.be/cactus/>.
- Cane, H.V., 2000. *Coronal Mass Ejection and Forbush Decreases*, Space Sci. Rev. 93, 55.
- Cane, V., Ricardson, I.G., von Roseninge, T.T., 1996. *Cosmic ray decreases: 1964 – 1994*, J. Geophys. Res. 101, 2156.
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., Clúa de Gonzalez, A.L., 1999. *Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms*, Space Sci. Rev. 88, 529.
- Gupta, V., Badruddin, 2005. *Cosmic Ray Intensity Variation During Carrington Rotation Periods in Low Solar Activity Conditions*, 29<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference Pune 2, 61.
- Lara, A., Gopalswamy, N., Caballero-López, R.A., Yashiro, S., Xie, H., Valdés-Galicia, J.F., 2005. *Coronal Mass Ejections and Galactic Cosmic Ray Modulation*, Astrophys. J. 625, 441.
- Moscow Neutron Monitor, <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>.
- Robbrecht, E., Berghmans, D., 2004. *Automated Recognition of Coronal Mass Ejections (CMEs) in Near Real Time Data*, Astron. & Astrophys, 452, 1097.
- Robbrecht, E., Berghmans, D., Van der Linden, R.A.M., 2009. *Automated LASCO CME Catalog for Solar Cycle 23: Are CMEs scale invariant?*, Astrophys. J. 691, 1222.
- Shrivastava, P.K., Singh, N., 2005. *Latitudinal Distribution of Solar Flares and Their Association with Coronal Mass Ejections*, Chinese J. Astron. Astrophys. 5, 198.