

INTENSITAS SINAR KOSMIK DAN KETERKAITANNYA DENGAN BADAI GEOMAGNET KUAT

Clara Y. Yatini dan Mamat Ruhimat
Peneliti Pusat Sains Antariksa-LAPAN
e-mail : c_yyatini@yahoo.com.

Abstrak. Variasi intensitas sinar kosmik pada saat terjadinya gangguan geomagnet yang kuat dianalisis untuk mengetahui keterkaitan keduanya. Gangguan geomagnet kuat ditunjukkan dengan munculnya badai geomagnet yang mempunyai indeks Dst < -100 nT, dan terjadi pada 6 Agustus, 26 September, dan 25 Oktober 2011. Perubahan intensitas sinar kosmik terhadap waktu dibandingkan dengan indeks Dst disekitar waktu terjadinya badai geomagnetik kuat. Profil yang ditunjukkan oleh intensitas sinar kosmik dan indeks Dst pada selang waktu di sekitar terjadinya badai geomagnet ternyata menunjukkan pola yang mirip. Hasil analisis terhadap pola intensitas keduanya menunjukkan bahwa kedua fenomena ini dipengaruhi oleh parameter antarplanet yang sama. Intensitas sinar kosmik mengalami penurunan beberapa saat sebelum turunnya indeks Dst dan mencapai tingkat penurunan yang terbesar setelah indeks Dst mencapai minimum. Hal ini menunjukkan bahwa angin surya dan medan magnet bumi berpengaruh terhadap variasi intensitas sinar kosmik

Kata kunci: sinar kosmik, badai geomagnet

***Abstract.** We analyzed the variation of cosmic ray intensity during major geomagnetic disturbances for understanding the relationship among them. The major geomagnetic disturbance is indicated by the occurrence of the geomagnetic storm with Dst index < -100 nT. During year 2011 there were three major storms, in August 6, September 25 and October 25. We compare the time profiles of the cosmic ray intensity data and the Dst index around the occurrence of the storms. Both parameters show the similar profile. The analysis shows that those two phenomena are influenced by the same interplanetary parameters. The cosmic ray intensity is decreased a few hours before the decrease of the geomagnetic field. In the other side the minimum of the intensity reached after the minimum of the geomagnetic disturbance index Dst. It shows that both the solar wind and the geomagnetic field play a role in the variation of cosmic ray intensity.*

Keywords: cosmic ray, geomagnetic storm

1. Pendahuluan

Sinar kosmik sebagian besar terdiri dari partikel-partikel proton dan elektron yang berenergi tinggi, berkisar antara 100 MeV sampai 10 GeV (Crosby, 2007). Sinar kosmik mempunyai peran yang penting di lingkungan bumi, karena dapat mengakibatkan ionisasi pada lapisan D ionosfer, yaitu pada rentang ketinggian 50 – 90 km di atas permukaan bumi. Disamping itu sinar kosmik juga berpengaruh pada

variabilitas iklim karena dapat berinteraksi dengan atmosfer bumi dan membentuk aerosol yang membantu pembentukan awan.

Fluks sinar kosmik yang sampai di bumi bervariasi dan salah satu penyebabnya adalah karena adanya pengaruh dari angin surya. Angin surya yang membawa plasma akan menghalangi partikel sinar kosmik yang akan memasuki bumi. Angin surya itu sendiri bervariasi karena adanya aktivitas matahari. Makin kuat medan magnet yang terbawa oleh angin surya, maka partikel sinar kosmik yang terhalang akan makin besar, demikian juga sebaliknya. Banyak penelitian (misalnya Svensmark, 1998; Mishra, 2005) yang memperoleh adanya korelasi terbalik antara sinar kosmik dan aktivitas matahari, yaitu apabila aktivitas matahari meningkat, maka intensitas sinar kosmik yang mencapai bumi akan makin sedikit, demikian pula sebaliknya. Selain dipengaruhi oleh angin surya, intensitas sinar kosmik juga dipengaruhi oleh medan magnet bumi. Medan magnet bumi dapat mengurangi jumlah sinar kosmik yang sampai ke bumi.

Gangguan pada medan magnet bumi merupakan petunjuk adanya gangguan pada magnetosfer bumi yang merupakan akibat dari emisi matahari. Gangguan ini terjadi karena energi angin surya yang cukup besar ditransfer ke dalam magnetosfer bumi melalui proses rekoneksi di magnetopause (Gonzalez et al., 1999). Proses rekoneksi ini dimungkinkan apabila medan magnet arah utara-selatan (B_z) mempunyai orientasi ke selatan, sehingga membantu proses transfer energi angin surya ke dalam magnetosfer.

Badai geomagnet merupakan gangguan besar di geomagnetosfer, dan seringkali bertahan sampai beberapa hari. Selama badai geomagnet, medan magnet yang diukur di permukaan bumi akan terganggu oleh arus listrik kuat dan aliran muatan partikel energi tinggi. Arus listrik yang kuat ini mengalir dalam magnetosfer dan ionosfer sampai lintang rendah, sedangkan aliran muatan partikel energi tinggi dihasilkan dalam magnetosfer. Umumnya diyakini bahwa mayoritas dari badai geomagnet kuat terjadi selama fase siklus matahari maksimum karena banyak daerah aktif matahari muncul, sementara beberapa badai geomagnet yang diamati selama fase minimum umumnya disebabkan oleh kehadiran lubang korona (Singh et al., 2005)

Medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) mempunyai peran yang sangat penting dalam mempengaruhi aktivitas geomagnet. Penyebab utama munculnya badai geomagnet berasosiasi dengan medan magnet antar planet yang mengarah ke selatan yang berkoneksi dengan medan magnet bumi. Koneksi ini akan mengakibatkan energi angin surya mengalir ke magnetosfer bumi (Gonzalez et al., 1994). Adapun gangguan geomagnet di lintang rendah direpresentasikan sebagai indeks Dst. Untuk badai geomagnet kuat, maka nilai Dst < -100 nT.

Selama tahun 2011, yang merupakan fasa naik siklus ke-24 dari aktivitas matahari, terjadi tiga kali badai geomagnet kuat, masing-masing pada tanggal 6 Agustus, 26 September, dan 25 Oktober. Di sekitar waktu ini pula terjadi penurunan intensitas sinar kosmik yang cukup besar yang diterima di bumi. Dalam tulisan ini dilakukan studi untuk melihat perubahan intensitas sinar kosmik dan aktivitas geomagnet selama periode terjadinya badai geomagnet kuat dan keterkaitannya.

2. Data dan Metode

Data yang dianalisis adalah data sinar kosmik yang diamati oleh *Moscow Neutron Monitor*. Datanya berupa data jam-an. Waktu yang diambil berdasarkan waktu terjadinya maksimum gangguan geomagnet, yaitu 2 hari sebelum dan 8 hari sesudah waktu puncak gangguan geomagnet. Demikian juga dengan data indeks Dst yang diplot terhadap waktu dengan rentang waktu yang sama. Data indeks Dst diperoleh dari *World Data Center for Geomagnetism Kyoto*. Tabel 2-1 memuat badai geomagnet kuat yang terjadi selama tahun 2011. Pada tahun tersebut hanya terjadi 3 badai geomagnet kuat, yang terjadi tanggal 6 Agustus, 26 September, dan 25 Oktober 2011 dengan indeks Dst minimum mencapai berturut-turut -107 nT, -101 nT, dan -132 nT.

Kedua jenis data ini kemudian dibandingkan untuk mengetahui bagaimana pola dari kedua parameter ini di sekitar waktu terjadinya badai geomagnet, khususnya badai geomagnet kuat. Dari hasil perbandingan ini diharapkan dapat diketahui respon kedua parameter ini terhadap aktivitas yang terjadi di ruang antarplanet

Tabel 2-1
Badai geomagnet kuat yang terjadi pada tahun 2011.
 T_{\min} adalah waktu Dst mencapai nilai minimum

| No | Tanggal | T_{\min} (UT) | Dst (nT) |
|----|-------------------|-----------------|----------|
| 1 | 6 Agustus 2011 | 04 | -107 |
| 2 | 26 September 2011 | 24 | -101 |
| 3 | 25 Oktober 2011 | 02 | -132 |

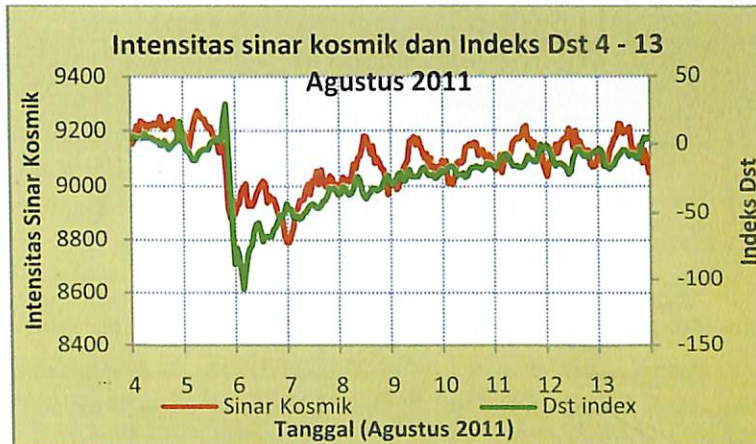
3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan intensitas sinar kosmik dengan indeks gangguan geomagnet Dst yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 3-1 sampai Gambar 3-3. Secara umum, kedua parameter ini mempunyai pola yang mirip, terutama saat mulai mengalami penurunan. Akan tetapi, terdapat perbedaan dalam segi waktunya. Gambar 3-1 menunjukkan pola intensitas sinar kosmik dan indeks Dst di sekitar waktu terjadinya badai geomagnet tanggal 6 Agustus 2011. Badai geomagnet mulai terjadi pada 5 Agustus, yang ditunjukkan dengan mulai turunnya indeks Dst secara tajam pada jam 19 UT dan mencapai nilai terendah pada 6 Agustus jam 04 UT. Sinar kosmik mengalami penurunan juga mulai tanggal 5 Agustus, tetapi pada waktu yang sedikit lebih awal, yaitu jam 07 UT dan mencapai nilai terendah lebih lambat dibandingkan indeks Dst, yaitu jam 23 UT.

Demikian juga yang terjadi untuk badai geomagnet 26 September 2011 (Gambar 3-2), indeks Dst mulai mengalami penurunan pada 26 September jam 13 UT dan mencapai minimum pada jam 24 UT. Intensitas sinar kosmik mulai turun sejak 26 September jam 10 UT dan minimumnya dicapai pada 27 September jam 13 UT. Tampak bahwa sinar kosmik mengalami penurunan lebih dahulu, akan tetapi mencapai

minimum lebih lambat dibandingkan dengan indeks Dst. Gambar 3-3 memperkuat hal tersebut. Badai geomagnet kuat yang mencapai puncak tanggal 25 Oktober jam 02 UT dimulai pada 24 Oktober jam 19 UT. Penurunan intensitas sinar kosmik terjadi sedikit lebih awal, yaitu tanggal 24 Oktober jam 13 UT dengan minimumnya terjadi tanggal 25 Oktober jam 06 UT.

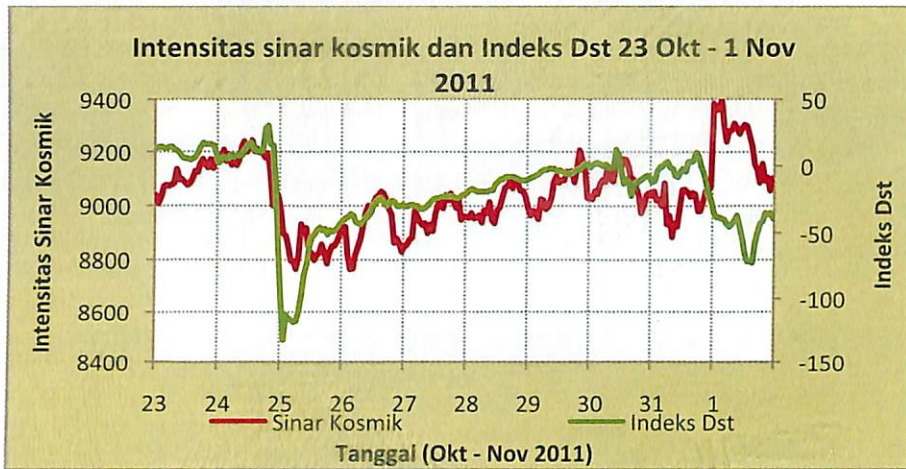
Dengan demikian dapat diketahui bahwa sinar kosmik akan mengalami penurunan sebelum penurunan indeks gangguan geomagnet, akan tetapi akan mencapai minimum setelah minimum Dst tercapai. Secara ringkas perbedaan waktu ini disampaikan pada Tabel 3-1.



Gambar 3-1. Plot intensitas sinar kosmik dan indeks gangguan geomagnet Dst tanggal 4 – 13 Agustus 2011. Puncak gangguan geomagnet terjadi tanggal 6 Agustus 2011.



Gambar 3-2. Plot intensitas sinar kosmik dan indeks gangguan geomagnet dari tanggal 24 Oktober sampai dengan 3 November 2011. Puncak gangguan terjadi pada akhir tanggal 26 September.



Gambar 3-3. Plot intensitas sinar kosmik dan gangguan geomagnet Dst untuk tanggal 23 Oktober sampai dengan 1 November 2011. Puncak gangguan terjadi tanggal 25 Oktober 2011.

Tabel 3-1.

Perbedaan waktu antara sinar kosmik dan indeks Dst. Tanda” -“ berarti lebih lambat.

| No | Waktu Awal Penurunan | | Selisih waktu (jam) | Waktu Mencapai Minimum | | Selisih waktu (jam) |
|----|----------------------|---------------|---------------------|------------------------|---------------|---------------------|
| | Sinar Kosmik | Indeks Dst | | Sinar Kosmik | Indeks Dst | |
| 1 | 5 Agst, 7 UT | 5 Agst, 19 UT | 12 | 6 Agst, 23 UT | 6 Agst, 04 UT | -19 |
| 2 | 26 Sep, 10 UT | 26 Sep, 13 UT | 3 | 27 Sept, 13 UT | 26 Sep, 24 UT | -13 |
| 3 | 24 Okt, 13 UT | 24 Okt, 19 UT | 6 | 25 Okt, 06 UT | 25 Okt, 02 UT | -4 |

Kadokura dan Nishida (1986) menyatakan bahwa penurunan intensitas sinar kosmik disebabkan karena adanya gangguan di ruang antarplanet. Gangguan ini dapat berupa gelombang kejut, CME (*Coronal Mass Ejection*), maupun angin surya berkecepatan tinggi. Awan magnet juga dapat mengakibatkan penurunan intensitas sinar kosmik dengan tajam (Sanderson et al., 1990, Mishra, 2005) karena medan magnet yang kuat yang dibawa oleh awan magnet akan menyapu sinar kosmik yang menuju ke permukaan bumi. Gelombang kejut yang berkaitan dengan CME dan fenomena antarplanet yang lain berperan dalam memicu terjadinya badai geomagnet yang kuat (Kaushik et al., 2005).

Sinar kosmik juga akan berinteraksi dengan kondisi matahari dan antarplanet yang terganggu ini. Interaksi terjadi sebelum angin surya dan medan magnet antarplanet berinteraksi dengan medan magnet bumi. Dilain pihak, medan magnet bumi juga akan mengurangi intensitas sinar kosmik. Makin kuat medan geomagnet, maka penurunan intensitas sinar kosmik juga makin besar. Oleh sebab itu, sinar kosmik akan terus turun meskipun gangguan geomagnet sudah mencapai nilai minimum, dan akan mencapai minimum beberapa jam sesudahnya.

Untuk memastikan bahwa aktivitas matahari dan kondisi ruang antarplanet merupakan penyebab variasi sinar kosmik dan gangguan geomagnet, maka diperlihatkan CME yang terjadi beserta kecepatan angin surya dan kuat medan magnet antarplanet arah utara selatan yang diduga sebagai penyebabnya (Tabel 3-2). Data CME diperoleh dari SOHO/LASCO CME catalog.

Tabel 3-2.
CME dan parameter angin surya yang diduga menjadi penyebab gangguan geomagnet dan sinar kosmik. T_{\min} adalah waktu Dst mencapai minimum.

| No | Tanggal badai geomagnet | T_{\min} (UT) | Dst (nT) | V (km/det) | Bz (nT) | Tanggal terjadinya CME | Jam (UT) |
|----|-------------------------|-----------------|----------|------------|---------|------------------------|----------|
| 1 | 6 Agustus | 04 | -107 | 611 | -19 | 3 Agustus | 14:00 |
| 2 | 26 September | 24 | -101 | 657 | -10 | 24 September | 19:36 |
| 3 | 25 Oktober | 02 | -132 | 520 | -11 | 22 Oktober | 01:25 |

4. Kesimpulan

Dalam tulisan ini dianalisis intensitas sinar kosmik yang bervariasi terkait dengan makin kuatnya gangguan yang terjadi di medan magnet bumi. Dari tiga badai geomagnet kuat yang terjadi pada tahun 2011 terlihat adanya penurunan intensitas sinar kosmik yang signifikan yang juga terjadi pada indeks Dst. Hal ini menunjukkan bahwa baik sinar kosmik maupun gangguan geomagnet dipengaruhi oleh angin surya dan medan magnet antarplanet. Akan tetapi, sinar kosmik mengalami penurunan intensitas beberapa jam sebelum terjadinya penurunan indeks Dst, yang menunjukkan bahwa sinar kosmik mengalami penurunan karena angin surya dan medan magnet antarplanet yang menyapu partikel-partikel sinar kosmik sebelum mencapai bumi. Di lain pihak, minimum sinar kosmik terjadi setelah minimum Dst, yang menunjukkan bahwa medan magnet bumi juga berperan dalam mengurangi jumlah sinar kosmik yang sampai di bumi. Penurunan intensitas sinar kosmik juga merupakan akibat dari naiknya medan magnet antar planet yang dialami oleh bumi selama terjadinya gangguan geomagnet.

Daftar Rujukan

- Crosby, N.B., 2007, Major radiation environments in the heliosphere and their implications for interplanetary travel, in *Space Weather Physics and Effects* (V. Bothmer and I.A. Daglis), Springer and Praxis Publishing, UK
- 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., Clua de Gonzalez, A.L., 1999, Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms, *Space Sci. Rev.* **88**, 529

- Kadokura, A., Nishida, A., 1986, Two-dimensional numerical modeling of the cosmic ray storm, *J. Geophys. Res.* **91**, 13
- Kaushik, S.C., Shrivastava, A.K., Rajput, H.M., 2005, Study of intense geomagnetic storms and associated cosmic ray intensity variation, *29th Int. Cosmic Ray Conf. Pune 2*, 151
- Mishra, M.P., 2005, Solar activity and cosmic ray intensity variation, *29th Int. Cosmic Ray Conf. Pune 2*, 159
- Sanderson, T.R., Beeck, J., Marsen, R.G., Tranquille, C., Wenzel, K.P., McKibben, R.B., Smith, E.J., 1990, Cosmic ray, energetic ion and magnetic field characteristics of a magnetic cloud, *21st Int. Cosmic Ray Conf. Adelaide 6*, 225
- Singh, B., Dubey, S.C., Tiwari, D.P., Tripathi, A.K., 2005, The Study of Large Geomagnetic Storms Observed During Of Period 1986 – 2002, *29th International Cosmic Ray Conference Pune 2*, 229
- Svensmark, H, 1998, *Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate*, *Physical Review Letter* **81**, 5027
- Advanced Composition Explorer, <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>
- Moscow Neutron Monitor, <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>
- SOHO/LASCO CME catalog, http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list
- World Data Center for Geomagnetism Kyoto, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>