



## Prosiding Seminar Sains Antariksa



Homepage: <http://www.lapan.go.id>

# APLIKASI METODE KHABAROVA UNTUK MEMPREDIKSI GANGGUAN GEOMAGNET

(Application of Khabarova Method to Predict the Geomagnetic Disturbance)

Mamat Ruhimat, Clara Yono Yatini, Anwar Santoso  
Pusat Sains Antariksa  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa  
e-mail: [mamat.ruhimat@lapan.go.id](mailto:mamat.ruhimat@lapan.go.id)

### ABSTRAK

#### Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015  
Direvisi: 16-10-2016  
Disetujui: 19-10-2016  
Diterbitkan: 24-10-2016

#### Kata kunci:

Gangguan geomagnet,  
angin surya, medan  
magnet antarplanet,  
magnetosfer.

Gangguan geomagnet di lintang rendah dipantau dengan menggunakan indeks Dst. Indeks ini menggambarkan gangguan geomagnet yang ditimbulkan oleh arus cincin yang berkaitan dengan proses yang terjadi di magnetosfer. Angin surya yang mengalir membawa partikel bermuatan. Medan magnet antarplanet di magnetosfer akan berinteraksi dengan medan geomagnet dan energi dari angin surya akan di transfer ke magnetosfer bagian dalam dan kemudian sampai di permukaan bumi. Prediksi gangguan geomagnet agak sulit dilakukan karena sangat dipengaruhi oleh kondisi angin surya dan medan magnet antarplanet. Khabarova telah mengembangkan metode untuk menghitung nilai dari gangguan geomagnet dengan menggunakan parameter kerapatan partikel angin surya dan medan magnet antarplanet. Untuk menguji seberapa efektif metode yang dikembangkan oleh Khabarova dalam prakiraan gangguan geomagnet yang akan terjadi dilakukan analisis statistik terhadap data indeks Dst. Indeks Dst ini diperoleh dari OMNI data, Goddard Space Flight Center, NASA dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2012 untuk 28 kejadian badai geomagnet. Hasil analisis menunjukkan rata-rata simpangannya adalah 16 % dan dapat memprakirakan gangguan geomagnet 14 jam kedepan.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Geomagnetic  
disturbance, solar  
wind, interplanetary  
magnetic field,  
magnetosphere.

The geomagnetic disturbance at low latitudes is indicated by Dst index. This index illustrates the geomagnetic disturbance caused by the ring current which associated with the processes occurring in the magnetosphere. The solar wind flow carries charged particles. The interplanetary magnetic field in the magnetosphere will interact with the geomagnetic field and energy from the solar wind will be transferred into the inner magnetosphere and then to the surface of the earth. The geomagnetic disturbance is rather difficult to be predicted because it is influenced by the solar wind and interplanetary magnetic field. Khabarova has developed a method for calculating the value of geomagnetic disturbance by using the parameters of the particle density of the solar wind and the interplanetary magnetic field. To evaluate effectiveness of the method in forecasting geomagnetic disturbances are conducted a

statistical analysis of the Dst index data. Dst index is obtained from the data OMNI, Goddard Space Flight Center, NASA from 2008 year to 2012 for 28 geomagnetic storm events. We found that average deviation is 16% and the prediction of the geomagnetic disturbance is valid for the next 14 hours.

## 1. Pendahuluan

Bila medan magnet antarplanet yang terbawa angin surya berinteraksi dengan medan geomagnet, maka akan terjadi transfer energi ke magnetosfer bumi. Jika kondisi ini berlanjut selama beberapa jam, maka seluruh magnetosfer menjadi terganggu. Situasi ini disebut sebagai badai geomagnet. Ion panas yang diinjeksikan ke magnetosfer bagian dalam akan melayang di sekitar bumi membentuk arus cincin ke arah barat. Medan magnet dari arus cincin ini akan mengurangi medan geomagnet dipermukaan bumi dan depresi ini diukur sebagai indeks Dst (Gonzalez et al., 1994). Gangguan geomagnet di permukaan bumi merupakan akibat peningkatan proses kopling angin surya dengan magnetosfer. *Solar flare*, lontaran massa korona (*coronal mass ejection/CME*) dan aliran angin cepat dari lubang korona (*coronal hole*) diketahui menjadi penyebab utama gangguan geomagnet. Beberapa studi (Tsurutani et al. 1992; Koskinen dan Tanskanen, 2002; Echer et al., 2008) telah menunjukkan bahwa terlepas dari sumber asalnya, faktor utama untuk membuat ledakan matahari geoeftif adalah durasi dan kuat medan magnet antarplanet (IMF) komponen Bz mengarah ke selatan. Peran penting dari Bz arah selatan dapat menyebabkan terjadinya transfer energi, massa dan momentum dari angin surya menuju magnetosfer bumi melalui proses rekoneksi magnet (Rawat et al, 2010).

Saat ini Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), khususnya Pusat Sains Antariksa sedang giat melakukan pemantauan dan prediksi cuaca antariksa dengan menggunakan data parameter matahari, geomagnet dan ionosfer untuk memberikan pelayanan kepada pengguna mengenai cuaca antariksa melalui website. Dalam upaya memberikan peringatan dini cuaca antariksa, maka terus dikembangkan metode-metode prediksi yang sesuai kebutuhan. Dalam peringatan dini cuaca antariksa, salah satunya yang berkaitan dengan geomagnet adalah melakukan prediksi badai geomagnet. Metode prediksi dapat diklasifikasikan ke dalam jangka pendek (sekitar 1 jam ke depan, menggunakan data satelit), jangka menengah (sekitar 1-4 hari),

dan jangka panjang (lebih dari 7 hari). Prakiraan jangka pendek didasarkan pada informasi data dari satelit dan pendekatan model statistik yang menghubungkan kondisi plasma dekat bumi dengan tingkat gangguan medan geomagnet. Prediksi seperti ini agak tepat, tetapi peringatannya hanya sekitar satu jam saja sehingga tidak cukup waktu untuk mitigasi badai. Prakiraan jangka panjang mencoba untuk memprediksi cuaca antariksa dan kondisi geomagnet di masa depan, menggunakan pengamatan matahari dan pendekatan model statistik. Prakiraan jangka menengah yang paling berguna untuk tujuan praktis. Dalam metode ini didasarkan pada pendekatan struktur geoeftifitasnya terhadap bumi. Sebagian besar metode prakiraan jangka menengah bersesuaian dengan probabilitas kejadian badai besar dengan  $Dst < -80$  nT (Khabarova, 2007). Estimasi geoeftifitas (kemampuan untuk menghasilkan badai magnet di bumi) dari kejadian di matahari dan antarplanet adalah salah satu masalah yang paling penting dalam fisika matahari dan lingkungan antariksa, khususnya bagian praktis yaitu prediksi cuaca antariksa (Akasofu, 1981; Gonzalez et al, 1999; Crooker, 2000; Valtonen et al, 2005; Yermolaev dan Yermolaev, 2006).

Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan data parameter angin surya kerapatan partikel dan medan magnet antarplanet menggunakan metode yang dikembangkan oleh Khabarova (2007). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter kerapatan partikel, medan magnet antarplanet Bz dan indeks Dst dari *Goddard Space Flight Center, NASA*. Harapannya, setelah diketahui efektivitas atau kesesuaian metode Khabarova ini, maka selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu metode prakiraan gangguan geomagnet dalam rangka peringatan dini cuaca antariksa.

## 2. Data dan Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa kerapatan partikel, medan magnet antarplanet Bz dan indeks Dst. Data ini diperoleh dari Goddard Space Flight Center NASA, (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>) dari tahun 2008 sampai dengan tahun

2012. Dalam kurun waktu tersebut terdapat 28 kejadian badai geomagnet yang dianalisis dalam penelitian ini.

Metodologi yang dikembangkan oleh Khabarov dalam memprediksi nilai Dst minimum (minBz) menggunakan kondisi angin surya geoeftif dan dalam pengolahannya tidak memasukkan kecepatan angin surya melainkan memantau aktivitas kerapatan partikel sebelum kejadian badai magnet. Langkah yang dilakukan dalam pengolahan data adalah mencatat nilai maksimum kerapatan partikel (Nmax) angin surya dan waktunya sebelum terjadi onset gangguan geomagnet. Kemudian mencari Bz minimum dan waktunya. Kemudian menghitung dT yaitu beda waktu antara Nmax dan minBz, dan selanjutnya menghitung nilai parameter fitting P seperti yang tercantum dalam persamaan (2-1).

$$P = \min Bz - \sqrt{N_{max} dT} \quad (2-1)$$

dengan P meyakinkan parameter fitting, minBz adalah medan magnet antarplanet arah selatan minimum dan Nmax merupakan kerapatan partikel maksimum angin surya sebelum onset badai magnet serta dT beda waktu antara Nmax dan minBz.

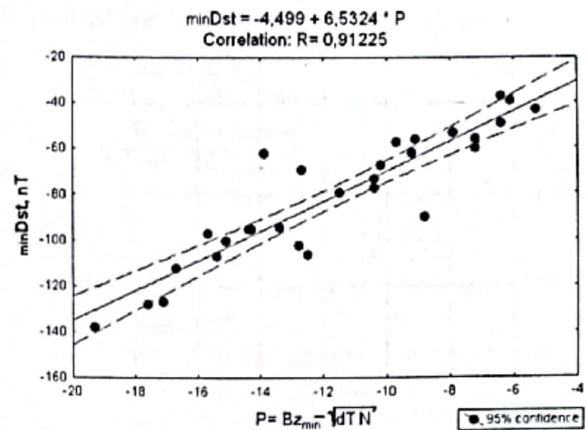
Penentuan nilai minDst menggunakan persamaan empirik (2-2).

$$\min Dst = -4,5 + 6,5P \quad (2-2)$$

dengan minDst adalah nilai minimum Dst yang diperkirakan akan terjadi pada waktu kedepan. Persamaan ini diperoleh dari hasil penelitian Khabarova (2007) terhadap 30 kejadian badai magnet sebelumnya seperti yang tertera dalam Gambar 2-1.

Penyimpangan gangguan geomagnet (dDst) dihitung dengan membandingkan selisih Dst minimum (hasil pengamatan) dan minDst (prediksi) dibagi dengan Dst minimum hasil pengamatan, secara matematik ditulis dalam persamaan (2-3).

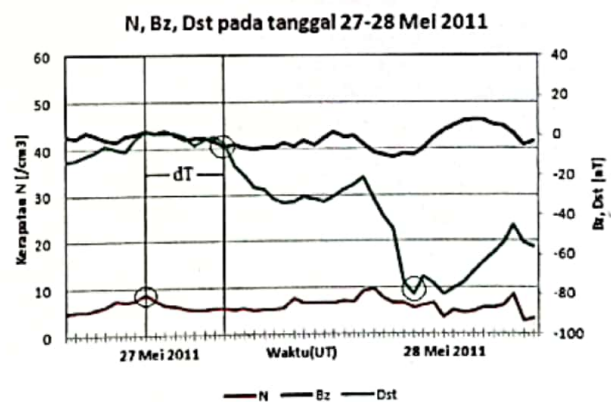
$$dDst = \frac{\text{abs}(\min Dst - Dst)}{Dst} \times 100\% \quad (2-3)$$



Gambar 2-1. Kebergantungan secara statistik Dst minimum selama 30 kejadian badai, yang dipicu oleh peningkatan kerapatan dan penurunan medan magnet antarplanet (Khabarova, 2007).

Gambar 2-2 merupakan contoh langkah yang harus ditentukan dalam pengolahan prediksi gangguan geomagnet. Pertama menetapkan nilai kerapatan maksimum disini pukul 08:00 UT Nmax = 8,7 partikel/cm<sup>3</sup>, kemudian menetapkan Bz minimum (min Bz) waktunya diperoleh pukul 16:00 UT dengan minBz = -5,6 nT. Diperoleh beda waktu diperoleh dT = 8 jam. Dengan menggunakan persamaan (2-1) dan (2-2) diperoleh hasil minDst = -95,1 nT. Dengan cara yang sama nilai prediksi minDst dari 28 kejadian diperoleh seperti yang tertera dalam Tabel 3-1.

Untuk mengetahui waktu kedepan dalam prediksi (Δt) ditentukan dari waktu minBz sampai waktu Dst minimum terjadi. Untuk kejadian tanggal 27 sampai 28 Mei 2011 diperoleh Δt = (24+11)-16= 19 jam.



Gambar 2-2. Masing-masing kurva menggambar kan fluktuasi kerapatan (merah),

Bz (hitam) dan Dst (hijau) pada tanggal 27 sampai dengan 28 Mei 2011.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Gangguan geomagnet yang dievaluasi dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2012, indeks Dst minimumnya bervariasi dari nilai -40 nT sampai dengan -147 nT. Tidak ada pengelompokan kejadian siang dan malam, semua kejadian mendapat perlakuan sama.

Hasil perhitungan  $\min Dst$  berdasarkan persamaan (2-2) ditunjukkan dalam Tabel 3-1. Nilai  $\min Dst$  yang diperoleh sangat bervariasi mulai dari -44,0 nT sampai dengan -147,0 nT. Bila dibandingkan dengan nilai Dst minimum yang sesungguhnya, ada nilai yang lebih besar dan ada pula yang lebih kecil. Selisih waktu kejadian  $\Delta t$  juga bervariasi mulai dari 3 jam sampai 26 jam kedepan.

Penyimpangan  $dDst$  dari masing masing nilai prediksi yang dihitung berdasarkan persamaan (2-3), hasilnya tercantum dalam Tabel 3-1. Dari Tabel 3-1. hasil  $dDst$  yang diperoleh simpangannya masih cukup lebar rentangnya. Rata-rata simpangan dari ke 28 kejadian ini diperoleh 16%. Waktu kejadian  $\Delta t$  masih bervariasi cukup lebar, rata-ratanya diperoleh 14 jam. Dengan penyimpangan sebesar 16 %, artinya keberhasilan mencapai 84 % dan cukup efektif digunakan untuk prediksi.

### 4. Kesimpulan

Metoda yang digunakan Khabarova dalam prakiraan waktu akan terjadinya gangguan geomagnet cukup efektif dengan menggunakan parameter kerapatan partikel angin surya dan medan magnet antarplanet Bz arah selatan. Dari hasil pengujian terhadap 28 kejadian gangguan geomagnet dalam kurun waktu tahun 2008 sampai dengan tahun 2012. Diperoleh rata-rata simpangan antara  $\min Dst$  hasil prediksi dengan Dst pengamatan adalah sebesar 16 % dan dapat memprediksi akan terjadinya gangguan sekitar 14 jam ke depan.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Goddard Space Flight Center NASA, atas dukungan data angin surya dan indeks Dst

### Daftar Rujukan

- Akasofu S I. (1981), Energy Coupling Between The Solar Wind and The Magnetosphere, *Space Science Reviews*, 28, 121-190.
- Crooker, N.U.,(2000), Solar and Heliospheric Geoeffective Disturbances, *J. Atmos. Sol-Terr. Phys.*, 62, 1071-.
- Echer E., Gonzales W D., Tsurutani BT., (2008), Interplanetary conditions leading to superintense geomagnetic storms ( $Dst \leq -250$  nT) during solar cycle 23, *Geophysical Research Letters*, V 35, L06S03:1-5
- Gonzales W D., Joselyn A, Kamide Y., Kroehl H W., Rostoker G., Tsurutani B. T., Vasyliunas V. M., (1994), What is Geomagnetic Storm?, *J. Geophys. Res.*, 1994, vol. 99, NA4, pp.5771-5792.
- Gonzalez W D., Tsurutani B T., Clua de Gonzalez A L., (1999) Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms, *Space Science Reviews*, 88, 529-562.
- Khabarova O V.,(2007), Current Problems of Magnetic Storm Prediction and Possible Ways of Their Solving, *Sun and Geosphere*, 2(1),32-37.
- Koskinen HEJ and Tanskanen EI.,(2002), Magnetospheric energy budget and the epsilon parameter, *Journal Geophysical Research*, V 107,(A11) 1415, SMP 42:1-8.
- Rawat R., Alex S., Lakhina GS., (2010), Storm-time characteristics of intense geomagnetic storms ( $Dst \leq -200$  nT) at low latitudes and associated energetics, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72, 1364-1371.
- Tsurutani BT., Gonzales WD., Tang F., Lee YT., (1992), Great magnetic storms, *Geophysical Research Letters*, 19, 73.
- Valtonen E., Laitinen T., Huttunen-Heikinmaa K., (2005), Energetic Particle Signatures of Geoeffective Coronal Mass Ejections, *Advance in Space Research*, 36, 2295-2302.
- Yermolaev Y I. and Yermolaev M Y.(2006), Statistic Study on The Geomagnetic Storm Effectiveness of Solar and Interplanetary Events, *Advances in Space Research*, 37, 1175-1181.

Tabel 3-1

Kerapatan partikel, medan magnet antarplanet Bz dan indeks Dst serta hasil pengolahannya.

No	Awal	Akhir	UT	Nma k	UT	Bzmin	UT	Dst	dT	minDst	T	dDst
1	8032008	9032008	12	31,2	13	-8	5	-86	1	-92,8	16	8%
2	14062008	15062008	13	38,1	14	0,1	5	-41	1	-44,0	15	7%
3	5092008	6092008	6	25,7	8	-1,4	4	-51	2	-60,2	20	18%
4	2052010	3052010	10	38,9	12	-7,9	18	-71	2	-113,2	6	59%
5	28052010	29052010	17	26,2	22	-5,2	12	-80	5	-112,7	14	41%
6	2082010	4082010	2	5	4	-3,2	1	-74	2	-45,9	21	38%
7	11102010	11102010	5	37,6	7	-3,7	19	-75	2	-84,9	12	13%
8	6012011	6012011	6	5,7	16	-0,9	0	-40	10	-59,4	8	49%
9	4022011	5022011	3	6,6	4	-6,5	21	-63	1	-63,4	17	1%
10	28022011	2032011	23	39,8	24	-4	14	-88	1	-71,5	14	19%
11	27052011	28052011	8	8,7	16	-5,6	11	-80	8	-95,1	19	19%
12	16092011	18092011	11	2,4	2	-1,3	11	-47	15	-52,0	9	11%
13	16092011	18092011	0	3,3	10	-7,2	15	-72	10	-88,6	5	23%
14	26092011	20082011	3	13,8	10	-1,8	18	-90	7	-80,1	8	11%
15	26092011	27092011	13	30,7	16	-12,1	23	-118	3	-145,5	7	23%
16	23102011	25102011	22	19,1	19	-1,9	1	-147	21	-147,0	6	0%
17	21012012	23012012	10	11,5	18	-2,8	21	-73	8	-85,0	3	17%
18	18022012	19022012	9	10,3	17	2	4	-54	8	-50,5	11	6%
19	6032012	7032012	16	8,6	20	-5,1	9	-78	4	-75,8	13	3%
20	8032012	9032012	7	22,9	14	-8,6	8	-143	7	-142,7	18	0%
21	20042012	24042012	4	41,8	5	-8,3	4	-104	1	-100,5	23	3%
22	16062012	17062012	10	8,7	15	-3,8	13	-86	5	-72,1	22	16%
23	15072012	16072012	11	5,6	19	-7,4	9	-128	8	-96,1	14	25%
24	7102012	8102012	9	10,3	19	-6,3	12	-106	10	-111,4	17	5%
25	8102012	9102012	6	16,6	8	-14,4	34	-111	2	-135,6	26	22%
26	12112012	14112012	17	19	22	-7,1	8	-105	5	-114,0	10	9%
27	17012013	18012013	2	39,1	6	4	22	-53	4	-59,8	16	13%
28	17032013	18032013	7	14	9	-14,4	20	-132	2	-132,5	11	0%