

Analisis Variasi Komponen H Geomagnet Pada Saat Badai Magnet

Habirun

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
Jl. Dr. Junjuran No 133 Bandung 40173

Abstrak

Analisis karakteristik variasi komponen medan magnet bumi (geomagnet) akibat pengaruh badai magnet, terutama variasi komponen H pada saat terjadi badai magnet. Pengaruh badai magnet terjadi akibat proses-proses fisis transfer energi dari partikel-partikel solar wind menuju ke magnetosfer bumi yang tersebar dalam sistem kopling magnetosfer-ionosfer dalam bentuk arus listrik. Secara umum badai magnet terdiri dari dua kategori yakni (1) badai berulang (*recurrent storms*) dan (2) badai tidak berulang (*non recurrent storms*) berkaitan dengan badai magnet kuat yang diakibatkan CME (*Coronal Massa Ejection*). Dengan ungkapan di atas pada uraian ini dibahas analisis variasi komponen H pada saat badai magnet kuat terdepresi paling kecil $-100 \text{ nT} < \text{Dst}$. Hasil analisis perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet kuat medan magnet bumi terdepresi hingga mencapai -362.9 nT . Demikian pula hasil analisis pola perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet kuat umumnya mengikuti model ARMA(2,2) dengan orde 2 Auto Regresive dan 2 orde Moving Average.

Kata kunci : Badai magnet, variasi geomagnet, CME, analisis komponen H, model ARMA

PENDAHULUAN

Bumi memiliki medan magnet internal yang dibangkitkan oleh efek-efek dynamo arus listrik dari fluida dalam lapisan luar intinya. Kopling antara medan magnet internal ini dipengaruhi gangguan-gangguan eksternal terutama dari gangguan partikel-partikel *solar wind* (angin matahari) akibat aktivitas fenomena CME (*Coronal Massa Ejection*) dan *coronal hole* membangkitkan tenaga pengendali bagi bermacam-macam gangguan medan magnet bumi (geomagnet). Gangguan geomagnet terbesar dalam sistem kopling solar wind-magnetosfer- ionosfer dinamakan badai magnet yang ditunjukkan dengan periode memanjang dari setengah jam sampai dengan beberapa hari. Oleh karena itu variasi komponen H geomagnet mengalami terdepresi dari lintang menengah sampai dengan lintang rendah pada skala global (Nagatsuma, 2002). Sebagai contoh medan magnet bumi terdepresi akibat dampak badai magnet disebabkan peristiwa CME yang dinyatakan data variasi geomagnet dari lintang tinggi hingga lintang rendah dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.1.

Selanjutnya, badai magnet merupakan suatu fenomena gangguan mempengaruhi variasi geomagnet akibat dari aktivitas matahari dan dampak dari gangguan tersebut menunjukkan pola ganda pada variasi komponen H geomagnet. Kondisi ini memperlihatkan suatu proses-proses transfer energi dari partikel-partikel *solar wind* menuju ke magnetosfer bumi yang tersebar dalam sistem kopling magnetosfer-ionosfer dalam bentuk arus listrik. Perlu diketahui bahwa secara umum badai magnet dapat digolongkan dalam dua katagori yakni (1) badai magnet berulang (*recurrent storms*) dan badai ini berkaitan dengan rotasi matahari yang berperiode 27 harian dan (2) badai magnet tidak berulang (*non recurrent storms*). Badai magnet berulang pada umumnya berkaitan dengan badai sedang dan kondisi badai yang demikian secara umum tidak berkorelasi dengan bintik matahari (*sunspot numbers*). Sedangkan badai magnet tidak berulang berkaitan dengan badai kuat dan menurut hasil penelitian (Meloni, 2005) badai yang demikian umumnya terjadi pada saat matahari maksimum. Karena peristiwa ini terjadi ketika muncul CME di atas permukaan matahari maka partikel-partikel *solar wind* berenergi dari CME dilontarkan dengan kecepatan tinggi menuju permukaan bumi. Pada saat partikel-partikel *solar wind* bertemu dengan magnetosfer bumi akan terjadi interaksi/kontak berupa "*interlanetary shock*" yang selanjutnya akan menyebabkan kompresi pada magnetosfer bumi. Dan hal itu akan menyebabkan kenaikan secara mendadak dari

variasi komponen medan magnet yang teramati diseluruh permukaan bumi pada bujur yang tegak lurus dengan aktivitas badai. Peristiwa *interlanetary shock* ini menimbulkan perubahan mendadak naik pada medan magnet, peristiwa ini disebut pula sebagai SC (*Saddent Commencement*).

Badai magnet bumi terjadi setelah SC dirujuk sebagai " badai geomagnet dengan *saddent commencement*" atau disebut pula badai geomagnet tipe SC. Kondisi itu biasanya dibangkitkan oleh peristiwa fenomena CME dan merupakan bentuk badai yang tidak berulang. Sedangkan badai yang terjadi tanpa diawali SC dirujuk sebagai " badai geomagnet dengan *gradually commencement*" atau disebut badai geomagnet tipe SG. Peristiwa badai yang demikian biasanya dibangkitkan oleh akibat lubang koronal (*coronal hole*) dan merupakan bentuk badai berulang.

Tipe badai geomagnet SC ditunjukkan dengan perubahan mendadak naik variasi komponen H medan magnet bumi setelah onset gangguan badai, selanjutnya diikuti oleh kajadian badai (penurunan indeks Dst). Kejadian seperti demikian disebut SSC (*Storms Saddent Commencement*), apabila perubahan medan magnet tersebut tidak diikuti dengan kejadian badai (penurunan indeks Dst) maka badai itu disebut SI (*Storms Impulse*). Oleh karena itu karakteristik SSC merupakan subyek yang tepat untuk menguji respon medan magnet bumi terhadap kenaikan mendadak dari gangguan *solar wind* yang kuat dari CME. Kejadian yang demikian sering merusak sensitifitas peralatan cuaca antariksa, seperti satelit-satelit dan peralatan frekuensi tinggi (Satoru, 1998). Selain itu beliau menyatakan pula bahwa amplitudo SSC(H) pada lintang menengah lebih besar dari pada lintang lebih rendah.

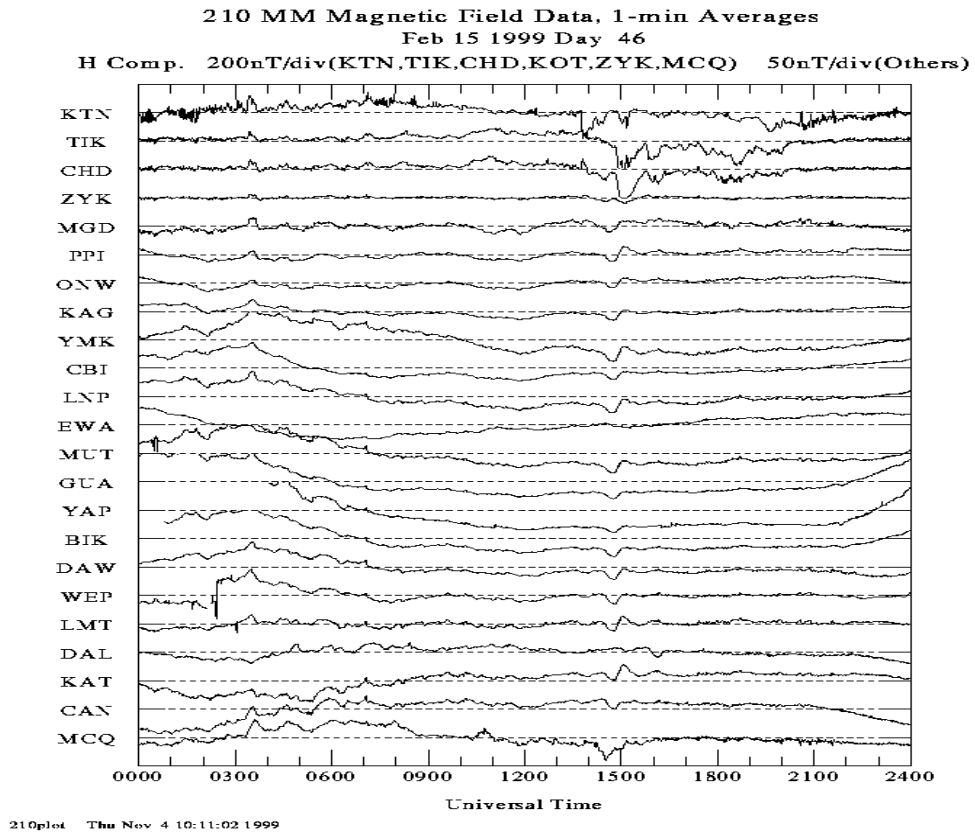
Sehubungan uraian yang diungkapkan di atas maka pada makalah ini dibahas analisis variasi komponen H geomagnet, terutama pada kondisi variasi komponen H saat badai magnet yang disebabkan oleh dampak CME. Karena dampak CME ini mempengaruhi medan magnet bumi yang cukup kuat maka sampai sejauh mana variasi komponen H terdepresi oleh dampak badai magnet. Demikian pula model perubahan variasi komponen H diidentifikasi melalui metode statistik dengan menggunakan model yang sesuai. Model perubahan variasi komponen H yang diperoleh itu bila akurat maka dapat digunakan untuk memprediksi variasi geomagnet pada saat badai magnet yang akan terjadi pada waktu tertentu. Khususnya badai magnet kuat yang ditimbulkan oleh dampak dari CME, dengan berdasarkan data variasi komponen H dari stasiun pengamat geomagnet Biak pada tahun 2001, karena kondisi aktivitas matahari pada saat itu masih berada disekitar maksimum. Model perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet digunakan data dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang pada tahun 2000.

1. Identifikasi Karakteristik SSC (H)

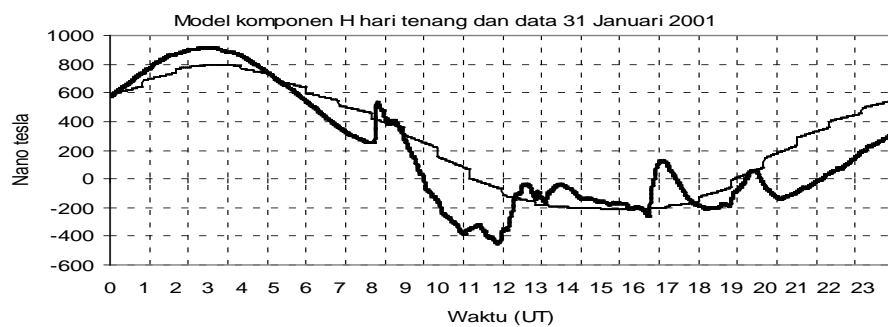
Berdasarkan pola variasi komponen H geomagnet dari data pengamatan 23 stasiun pengamat geomagnet pada saat kejadian badai magnet akibat gangguan fenomena CME tahun 1999 diambil sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2-1. Sedangkan pola variasi komponen H geomagnet dipengaruhi badai-badai kuat akibat gangguan CME yang sama ditunjukkan data dari stasiun pengamat geomagnet Biak, yang terjadi pada tahun 2001 dan ditunjukkan pada gambar 2-2. Dengan kondisi variasi komponen H pada gambar 2-2 akan dilakukan identifikasi karakteristik SSC (H) melalui interpretasi data menggunakan analisis statistik sehingga diperoleh data onset badai, amplitudo, periode dan seterusnya. Kemudian data-data yang diperoleh tersebut dilakukan analisis dan perubahan pola variasi komponen H juga dilakukan analisis identifikasi model empirisnya. Apabila model empiris perubahan variasi komponen H telah diperoleh maka langkah selanjutnya pola perubahan variasi komponen H pada beberapa waktu kedepan akan terjadi badai magnet dapat diprediksi.

Selanjutnya, setelah data hasil analisis karakterisasi badai magnet diperoleh maka akan dibangun sistem deteksi otomatis badai medan magnet bumi untuk menghimpun data near-real-time dalam interval 10 menit. Dengan maksud mengembangkan sisten jaringangan operasional melalui software yang aplikatif dan otomatis untuk mendeteksi peristiwa-peristiwa fenomena SSC. Seperti yang dilakukan Shinohara (2005) membangun sistem deteksi badai magnet, melalui group *space weather* dari Institut Teknologi Informasi dan Telekomunikasi (NICT). Kegiatan tersebut mereka membangun sistem jaringan magnetometer untuk mengoleksi data variasi komponen H near-real-time setiap interval 12 menit. Juga dengan maksud mengembangkan sistem jaringangan operasi software yang aplikatif dan otomatis dalam mendeteksi SSC. Berdasarkan data peristiwa badai di atas maka mereka melakukan analisis data melalui analisis statistik untuk mengidentifikasi

setiap SSC. Identifikasi terhadap SSC difokuskan pada telaah terhadap perubahan amplitudo, perubahan periode kenaikan dan laju pertumbuhan masing-masing SSC.



Gambar 2-1 : Indikasi badai magnet pada medan magnet bumi akibat gangguan aktivitas CME terlihat data 23 stasiun geomagnet sehingga dampak badai magnet terlihat dari lintang menengah hingga lintang rendah termasuk stasiun Biak (BIK), ditunjukkan data variasi komponen H geomagnet 4 Nopember 1999.



Gambar 2-2: Model variasi komponen H geomagnet pada saat badai magnet (garis halus) dibandingkan terhadap data pengamatan 31 Januari 2001 dari stasiun pengamat geomagnet Biak akibat dampak gangguan CME (garis tebal)

Berdasarkan indikasi gangguan badai magnet variasi komponen H 4 Nopember 1999 yang dinyatakan gambar 2-1 maka skeling data SSC (*Storms Saddent Commencement*) dapat ditentukan yang berhubungan dengan onset gangguan pada titik mulai naik, sedangkan amplitudo ditentukan dari waktu onset hingga waktu maksimum. Jarak mulai adanya kenaikan hingga maksimum dan

disebut amplitudo, lamanya badai dihitung dari waktu mulai onset sampai dengan waktu maksimum. Setelah itu dari maksimum sampai dengan titik terendah disebut daerah depresi badai magnet. Dari gambar 2-1 di atas terlihat dampak gangguan badai magnet pada variasi komponen H, secara keseluruhan dari lintang menengah hingga lintang rendah terjadi perubahan kenaikan variasi komponen H sekitar jam 15.00 UT.

Pada gambar 2-2 menunjukkan model pola hari tenang dibandingkan terhadap data variasi komponen H pada saat badai magnet 31 Januari 2001 akibat pengaruh gangguan CME, dengan onset badai dimulai sekitar jam 8 UT. Sedangkan variasi komponen H terdepresi oleh badai magnet hingga -410 nT dibawah kondisi normal. Dari gambar 2-2 karakteristik SSC(H) diidentifikasi secara statistic dan hasil analisis yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 3-1, hubungan antara intensitas dan depresi badai magnet ditunjukkan korelasi persamaan (3-1).

2. Analisis Karakteristik SSC(H)

Hasil analisis identifikasi badai magnet dari data variasi komponen H geomagnet stasiun pengamat geomagnet Biak tahun 2001 dan diperoleh 27 kejadian badai yang diikuti oleh SSC dan 12 kejadian badai diikuti oleh SSG. Amplitudo badai terbesar pada tahun itu adalah 133.9 nT dan dimulai onset badai sekitar jam 0.51 UT dengan periode sebesar 0.09 UT. Pada badai magnet tersebut variasi komponen H geomagnet terdepresi kekuatan tekanan partikel-partikel *solar wind* sebesar -362.9 nT hingga variasi komponen H turun mencapai intensitas sebesar 577.3 nT. Untuk lebih jelasnya hasil analisis badai magnet tahun 2001 ditunjukkan pada tabel 3-1 yang menyatakan kuantitas badai berupa depresi, waktu kejadian badai, lama (durasi) badai dan intensitas atau kekuatan badai.

Tabel 3-1: Karakteristik Komponen-Komponen SSC(H) dalam nT Badai Magnet Pada Stasiun Pengamat Geomagnet Biak Tahun 2001

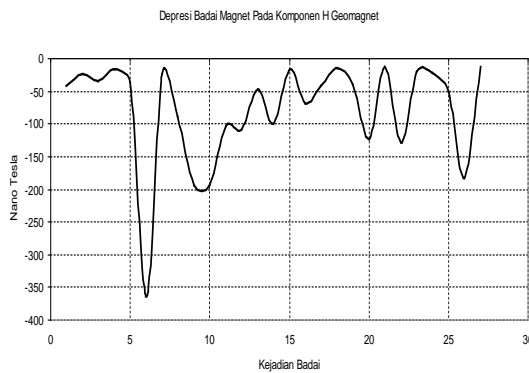
No	SSC(H)						
	Onset	Ampli	Period	Depresi	Waktu	Duras i	Intensitas i
1	8.05	23.3	0.08	-41.3	3.44	7.39	93.1
2	11.21	11.3	0.38	-22.8	1.48	2.27	29.4
3	11.13	16.3	0.25	-34.6	2.19	3.03	50.0
4	13.41	17.1	0.06	-15.8	4.17	2.36	22.3
5	17.47	23.6	2.23	-35.5	3.17	4.11	78.8
6	0.51	133.9	0.09	-362.9	6.28	5.37	577.3
7	14.54	39.6	0.03	-23.3	4.27	13.33	62.6
8	11.01	42.6	0.24	-89.3	3.08	4.07	121.8
9	13.44	66.6	2.25	-192.9	5.18	15.34	255.4
10	15.43	69.8	0.26	-192.9	5.18	13.35	255.4
11	07.33	40.9	2.25	-103.7	1.13	5.40	121.0
12	0.46	45.2	0.05	-108.8	6.02	5.18	187.8
13	05.00	49.5	0.01	-46.4	9.56	4.56	159.3
14	02.59	29.9	0.46	-99.8	6.09	3.10	212.5
15	07.15	25.5	0.05	-17.1	1.37	6.22	47.7
16	11.03	3.0	0.51	-68.9	9.30	9.27	125.0
17	02.34	54.4	0.11	-41.6	8.34	6.00	148.6
18	20.00	11.8	2.16	-15.0	0.27	4.27	21.5
19	17.00	53.6	0.11	-39.1	2.10	9.10	88.7
20	16.47	46.7	0.04	-123.0	4.42	11.55	167.2
21	08.50	46.5	0.09	-12.9	2.00	5.10	46.5
22	03.19	27.3	0.04	-128.3	9.03	5.43	244.7
23	13.49	38.6	1.08	-20.3	8.48	18.59	41.2
24	01.15	20.9	2.06	-22.0	7.24	6.09	29.8
25	15.08	19.6	0.07	-51.0	5.42	14.34	40.4
26	05.55	18.9	0.19	-182.4	6.36	0.41	285.4

27	20.08	90.7	0.24	-11.8	2.13	6.05	42.3
----	-------	------	------	-------	------	------	------

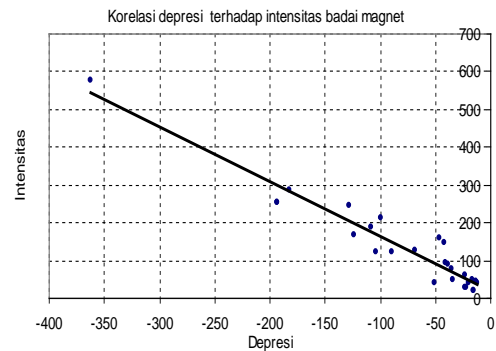
Selanjutnya, fluktuasi variasi komponen H geomagnet terdepresi pada saat kejadian badai magnet selama satu tahun dapat dilihat pada gambar 3-1. Demikian pula korelasi antara depresi komponen H akibat pengaruh gangguan *solar wind* terhadap intensitas badai magnet pada tahun 2001 ditunjukkan pada gambar 3-2. Pada gambar 3-2 menunjukkan nilai korelasi yang cukup tinggi, berarti bila variasi komponen H terdepresi semakin kuat maka intensitas badai magnet yang ditimbulkan semakin besar. Dari nilai korelasi negatif dinyatakan gambar 3-2, bila diketahui depresi variasi komponen H maka intensitas badai magnet dengan mudah ditentukan melalui model empiris yang dinyatakan persamaan (3-1) sebagai berikut :

$$\text{Intensitas} = [-1.4462 \pm 0.0734]\text{Depresi.} + [19.008 \pm 1.1756] \quad \dots (3-1)$$

Jika diambil harga depresi sama dengan satu maka nilai intensitas badai magnet yang disebabkan penurunan variasi komponen H sebesar -1.4462 nT sehingga diperoleh harga intensitas pada saat itu sebesar 17.5618 nT.



Gambar 3-1: Karakteristik SSC(H) variasi komponen H geomagnet pada saat terjadi badai magnet dari data geomagnet stasiun pengamat geomagnet Biak tahun 2001



Gambar 3-2 : Korelasi variasi komponen H antara depresi terhadap intensitas badai pada saat terjadi SSC(H), dengan interval waktu tahun 2001 dari stasiun geomagnet Biak

Hasil analisis amplitudo, depresi dan intensitas badai magnet selama tahun 2001 dinyatakan pada gambar 3-1 di atas. Dengan masing-masing hasil analisis yang menunjukkan bahwa depresi dihubungkan terhadap amplitudo mempunyai nilai korelasi negatif sebesar -0.8573. Artinya semakin besar amplitudo badai yang terjadi, akan menyebabkan depresi atau tekanan yang semakin kuat sehingga terjadi penurunan variasi komponen H semakin rendah. Demikian pula untuk intensitas badai magnet dikaitkan terhadap depresi terendah, juga menunjukkan nilai korelasi yang negatif sebesar -0.9616. Sedangkan hasil analisis korelasi antara amplitudo yang dikaitkan terhadap intensitas badai magnet mempunyai nilai korelasi yang positif dan nilai korelasinya sebesar 0.8358. Berarti bahwa apabila amplitudo yang meningkat naik maka intensitas badai magnetpun ikut naik.

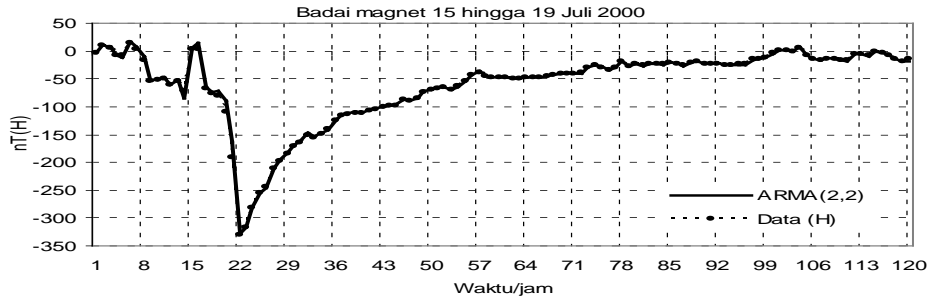
Lain halnya dengan model perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet diidentifikasi berdasarkan waktu sebelumnya, secara umum dinyatakan sebagai berikut ;

$$X(t) = \phi_1 X(t-1) + \phi_2 X(t-2) + \theta_1 U(t-1) + \theta_2 U(t-2) + U(t) \quad \dots (3-2)$$

dengan ϕ dan θ konstanta-konstanta model serta $U(t)$ galat model pada waktu ke-t. Perhitungan konstanta-konstanta model persamaan (3-2) menggunakan matriks korelasi dari metode analisis time series (Habirun, 2007). Hasil analisis model perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet terhadap waktu dan dibandingkan dengan data pengamatan, sebagai contoh diambil variasi komponen H pada saat badai magnet 15 hingga 19 Juli 2000 dari stasiun pengamat geomagnet Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Tangerang dinyatakan pada gambar 3-3.

Pada gambar 3-3 yang menyatakan bahwa bagaimana dasarnya badai melemparkan partikel-partikel yang berenergi tinggi menuju ke permukaan bumi, sehingga variasi medan magnet bumi

mengalami perubahan dan terdepresi hingga sekitar 340 nT. Pola perubahan variasi komponen H tersebut diidentifikasi menggunakan *time series analysis* sehingga diperoleh model perubahan variasi komponen H mengikuti *Auto Regressive Moving Average-ARMA(2,2)* yang cukup akurat. Karena pola data pengamatan pada saat badai magnet menunjukkan hampir segaris dengan model maka dari itu dapat digunakan untuk memprediksi pola badai magnet.



Gambar 3-3 : Perbandingan antara data variasi harian komponen H geomagnet pada saat badai magnet 15 hingga 19 Juli 2000 (titik-titik halus) dibandingkan terhadap model ARMA(2,2) (garis hitam tebal) berdasarkan data variasi harian komponen H dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang diuraikan pada makalah ini, sehingga diperoleh variasi komponen H geomagnet terdepresi oleh kekuatan tekanan partikel-partikel *solar wind* pada saat badai magnet akibat CME sehingga mengalami penurunan variasi komponen H sebesar -362.9 nT, kekuatan itu hingga membentuk intensitas badai magnet sebesar 577.3 nT. Intensitas dari aktivitas badai magnet tersebut dikorelasikan terhadap depresi akibat kekuatan tekanan partikel-partikel *solar wind* selama tahun 2001 mempunyai korelasi negatif sebesar -0.962. Demikian pula model perubahan variasi komponen H pada saat badai magnet yang diakibatkan oleh pengaruh CME 15 hingga 19 Juli 2000 mempengaruhi medan magnet bumi regional Indonesia mengikuti model ARMA(2,2) orde 2 dan 2 yang cukup akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Habirun, Titiek Setiawati, Yaya Karyanto., (2007). "Pengembangan Model Prediksi Indeks K Geomagnet". *Journal of Aerospace Sciences*, Vol. 4 No. 2 Juni, Hal. 74 – 90 LAPAN Jakarta.
- Meloni A., De Michelis P., and Tozzi R., (2005). "Geomagnetic storms, dependence on solar and interplanetary phenomena": *a review*, *Men., S.A., Lt.*, Vol. 76. 882 @ Salt 2005.
- Nagatsuma T., (2002). "3-5 Geomagnetic storms": *Journal of the Communication Research Laboratory*, Vol. 49 No.3
- Shinohara M., Kikuchi T., and Nozaki K.,(2005). "Automatic Real Time detection of sudden Commencement of geomagnetic storms": *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, Vol. 52 Nos 3/4.
- Tsunomura S., (1998). "Characteristics of geomagnetic sudden commencement observed in middle and low latitudes": *Earth Planets Space*, 50, 755-772, 1998.