

ANALISIS KETERKAITAN ANTARA RANGKAIAN SEMBURAN RADIO TIPE II DAN BADAI MAGNET

SURATNO

Pusat Sains Antariksa – LAPAN
e-mail : suratno@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Flare matahari (*solar flare*) memicu meningkatnya intensitas radiasi elektromagnet pada seluruh rentang panjang gelombang dan lontaran massa plasma dan fluks magnet berlangsung secara tiba-tiba. Semburan radio matahari tipe II yang dipicu oleh lewatnya gelombang kejut dapat terjadi secara berangkai. Setiap rangkaian kejadian selalu terkait dengan badai magnet yang diindikasikan adanya penurunan indeks Dst. Dengan menganalisis kejadian semburan tipe II dapat dilakukan prakiraan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet dengan didukung oleh data posisi daerah aktif, arah medan magnet antar planet dan besar flare sinar-X matahari. Pada penelitian ini keberhasilan prakiraan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet adalah 71,43%. Sebanyak 28 kejadian semburan tipe II yang digunakan sebagai data kasus terdapat 20 prakiraan yang berhasil, terdiri atas 11 prakiraan terjadi badai dan 9 prakiraan tidak akan terjadi badai.

Kata kunci: flare matahari, semburan radio matahari tipe II, badai magnet bumi

Abstract. The solar flare triggers the increasing of electromagnetic radiation intensity at the all wavelength, as well as coronal mass ejection (CME) and magnetic flux. The event of type II solar radio bursts can occur sequencely. They occur due to passing of the shock wave. Every sequence of occurence is always associated to the magnetic storm which indicated by the increasing of Dst indices. Tthe type II bursts can be used for the predicting the possibility of occurence or no occurence of magnetic storm. The prediction is supported by data of the position of solar active region, the direction of interplanetary magnetic field and the intensity of X-ray flares. In this research, the succesfully the prediction of the magnetic storm is 71, 43%. From 28 types II bursts data used in this analysis there are 20 successfull prediction, i.e. 11 prediction of storm event and 9 prediction of no storm event.

Keywords: solar flare, type II solar radio bursts geomagnetic storm

1. Pendahuluan

Flare matahari (*solar flare*) terjadi di kromosfer melalui proses rekoneksi medan magnet daerah aktif matahari. Segera setelah flare diikuti oleh meningkatnya intensitas radiasi pada seluruh rentang gelombang dan lontaran massa partikel berenergi tinggi. Pada rentang gelombang sinar-X ($\lambda = 1 - 8 \text{ \AA}$) merupakan flare sinar-X (*X-ray flare*) dapat diamati melalui satelit di luar angkasa dan pada panjang gelombang $H\alpha$ ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$) disebut flare $H\alpha$ (*H α flare*) dapat diamati dari landas bumi. Pada rentang gelombang radio disebut semburan radio matahari (*solar radio bursts*), diamati dengan radioteleskop di landas bumi atau di luar angkasa. Semburan radio matahari yang dideteksi dengan radiospektrograf berupa spektra dinamik yaitu spektra yang

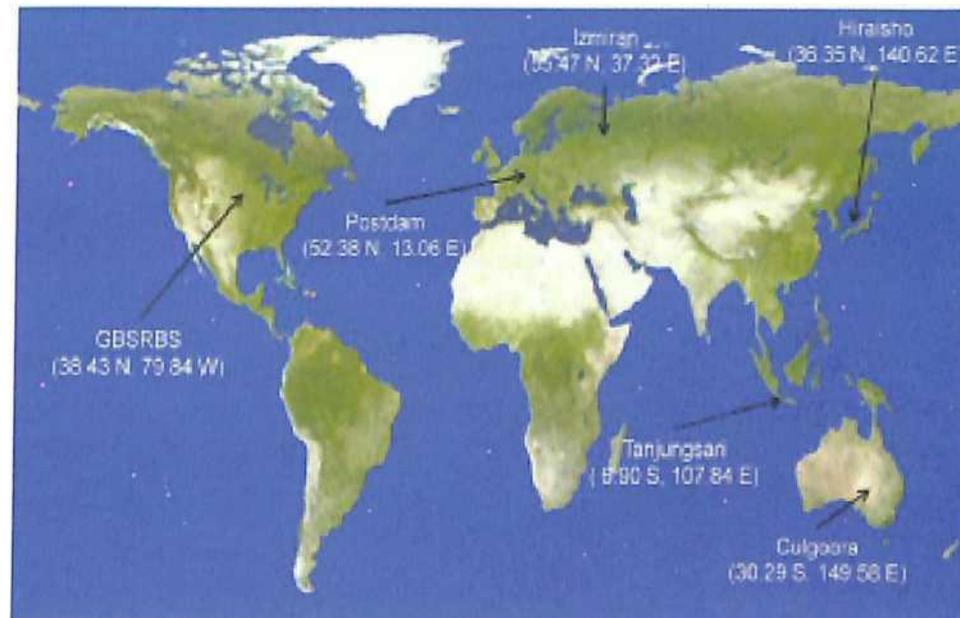
menampilkan pergeseran frekuensi versus waktu. Dengan radiospektrograf dihasilkan 5 (lima) tipe semburan yaitu tipe I, II, III, IV dan tipe V (Wild, et al., 1963). Khususnya untuk semburan tipe II, sangat terkait dengan kejadian lontaran massa korona (Cho et al., 2007; Gopalswamy et al., 2007). Lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection / CME*) adalah pelepasan massa gas dan medan magnet. Fenomena ini berupa lidah medan magnet dan gelombang kejut (*shock wave*) dengan muka gelombang kejut (*shock front*) menyeret partikel energi tinggi (Melrose, 1985; Nelson & Melrose, 1985; Svestka, 1976; Wang, et al., 2005). Gelombang kejut dan atau CME yang bersumber dari kromosfer matahari menjalar menuju ruang antar planet dan mencapai atmosfer atas bumi diperlukan waktu empat puluh sampai delapan puluh jam (bahkan lebih) tergantung pada kelajuannya (Magara, et al., 2000; Gopalswamy, 2008). Penelitian yang telah dilakukan oleh Suratno et al. (2009), menganalisis 38 kejadian semburan radio tipe II, diperoleh hasil bahwa besar laju gelombang kejut berada pada rentang 32 km/jam dan 1998 km/jam, sehingga gelombang kejut ini dapat mencapai atmosfer atas bumi pada rentang waktu antara 20 hingga 115 jam atau kira-kira dalam waktu 0.8 – 5 hari. Berbagai implikasi dapat terjadi di atmosfer atas bumi misalnya terjadinya badai magnet bumi (*geomagnetic storm*). Dampak ini sangat terkait dengan arah medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*). Bila komponen B_z cukup kuat dan mengarah ke selatan bumi maka dapat secara signifikan mengakibatkan badai magnet bumi. Iyer et al. (2006) dalam penelitiannya mengemukakan adanya hubungan erat antara komponen B_z dari medan magnet antar planet dan parameter badai magnet bumi Dst (*Disturbance storm time*). Disamping itu posisi sumber flare juga berpengaruh pada kemungkinan akan terjadinya badai magnet. Kemungkinan akan terjadinya badai magnet akan kecil bila sumber flare berada jauh dari meridian tengah (*Central Meridian*) matahari (McKenna-Lawlor et al., 2002; Seung-Mi et al., 2006). Perubahan kuat medan magnet yang besar dalam waktu yang mendadak adalah badai magnet bumi dan ditandai dengan peningkatan (negatif) indeks Dst . Suratno & Santi (2010) telah menganalisis keterkaitan antara semburan radio matahari tipe II yang terjadi secara tunggal dan terjadinya badai magnet bumi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kemunculan peristiwa semburan radio tipe II dapat dijadikan prekursor kemungkinan akan terjadi badai magnet bumi. Dengan 10 (sepuluh) contoh peristiwa semburan radio matahari tipe II menunjukkan peran informasi posisi daerah aktif, arah medan magnet antar planet sehingga menjadi informasi awal (prekursor) kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet bumi.

Makalah ini akan membahas rangkaian semburan radio tipe II yang terjadi secara berurutan dikaitkan dengan kejadian badai magnet bumi. Karena pengamatan semburan radio landas bumi hanya dapat dilakukan pada siang hari maka untuk mendapatkan data selama 24 jam harus diperoleh dari beberapa observatorium di muka bumi. Dengan demikian dapat diyakinkan pula bahwa rangkaian kejadian semburan tipe II tersebut memang terjadi secara berturut-turut (serial).

2. Data observasi yang digunakan

Data semburan radio tipe II yang terjadi secara serial diperoleh dari beberapa observatorium (lihat gambar 2-1), yaitu Culgoora, Australia ($30^{\circ}17.4'S, 149^{\circ}34.8 E$) dari situs <http://www.ips.gov.au/Solar/>, Hiraisho-Jepang ($36^{\circ}21' N, 140^{\circ}37.2 E$) dari situs <http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/>, Tanjungsari-Indonesia ($6^{\circ}54'S, 107^{\circ}50.4'E$), Izmiran-Rusia ($55^{\circ}28.2'N, 37^{\circ}19.2'E$), dari situs <http://helios.izmiran.rssi.ru/lars/>, Potsdam-Jernian ($52^{\circ}23.9'N, 13^{\circ}03.9'E$) dari situs <http://www.aip.de/groups/osra/data/typellist/> dan Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer (GBSRBS)-Amerika Serikat ($38^{\circ}26', 79^{\circ}49.5'W$) dari situs <http://gbsrbs.nrao.edu/>. Data yang diperlukan untuk analisis adalah informasi tentang waktu (tanggal, bulan, tahun) kejadian, selang waktu pengamatan, waktu awal (*start time*) dan akhir (*end time*) kejadian semburan.

Data Dst yang akan digunakan sebagai indikator badai magnet bumi diperoleh dari *Data Center for Geomagnetism Kyoto*, diunduh dari situs <http://swdcwww.kugi.kyoto.u.ac.jp/>. Data kompoen B_z medan magnet antar planet diambil dari situs <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>, posisi daerah aktif diambil dari posisi flare Ha, dari situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR>.



Gambar 2-1. Nama dan lokasi observatorium di dunia yang diambil datanya sehingga terpenuhi perolehan data secara berurutan.

3. Metodologi

Lontaran massa korona dan atau muka gelombang kejut atau massa plasma dan magnet yang terjadi karena peristiwa flare matahari dapat mencapai atmosfer atas bumi dalam waktu 40 jam sampai 80 jam atau bahkan sampai lebih dari 5 (lima) hari. Maksud dari penelitian ini akan mengungkapkan bagaimana kemunculan semburan radio tipe II yang terjadi secara berurutan dalam beberapa hari dikaitkan dengan kemungkinan akan tejadinya badai magnet bumi. Maksud dari data yang berangkai adalah jika suatu semburan tipe II diikuti oleh semburan tipe II berikutnya yang terjadi dalam selang waktu kurang dari atau maksimum 5 (lima) hari.

Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah mencari dan mencatat data semburan tipe II yang terjadi secara berangkai. Mencatat informasi tentang kejadian flare sinar-X yang terkait dan posisi daerah aktif yang mengindikasikan sebagai sumber semburan radio. Kemudian mencatat waktu awal kejadian semburan radio tipe II. Data terkait badai magnet adalah data Dst yang digunakan sebagai indikator. Badai magnet bumi dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori berdasarkan nilai Dst yaitu lemah bila $Dst > -50$ nT, sedang bila $-50 > Dst > -100$ nT, kuat bila $Dst < -100$ nT (Lowe and Pross, 1977 dalam Gopalswamy, 2008). Pada penelitian ini tidak meninjau kekuatan dari badai tersebut, tetapi meninjau ketika Dst mengalami penurunan yang berarti bila dibandingkan dengan nilai Dst sebelumnya. Kejadian badai magnet bumi ditetapkan ketika data Dst mencapai puncak (minimum) nya. Hal ini dilakukan karena penetapannya lebih mudah dibandingkan dengan bila penetapan waktu awal badai. Disamping itu, dimensi waktu antara waktu awal penurunan Dst dan Dst minimum terhadap waktu penjalaran gelombang kejut relatif sangat kecil.

Selanjutnya, menghitung atau menurunkan besar laju gelombang kejut (V_{shock} , selanjutnya ditulis V_s) dari pergeseran frekuensi spektra dinamik semburan tipe II. Metoda penghitungannya adalah dengan cara mengkonversikan pergeseran frekuensi versus waktu menjadi pergeseran posisi versus waktu (Lyman Spitzer Jr., 1956; Newkirk, 1961; Cho et al. 2007; Sulistiani & Suratno, 2008). Penurunan besar laju tersebut didasarkan atas fungsi-fungsi yang terkait dengan frekuensi osilasi plasma ($f = 8.98 \sqrt{N_0} / R$), kerapatan plasma sebagai fungsi ketinggian korona (model kerapatan korona) $N(R) = N_0 \times 10^{4.32/R}$ (Newkirk, 1961), sedemikian sehingga besar laju muka gelombang kejut (V_s) dapat dinyatakan sebagai

$$V_s = -0.201 \times R^2 (j\%) \quad 3.1.$$

Dengan diketahui besar laju ini maka dapat dihitung waktu penjalaran (*travel time*) muka gelombang kejut dari sumbernya sampai atmosfer atas bumi, yaitu dengan hitungan pendekatan jarak matahari-bumi dibagi besar laju tersebut. Kemudian waktu penjalaran ini dibandingkan dengan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan radio

matahari tipe II dengan waktu minimum dari Dst. Perbandingan ini dilakukan karena semburan radio matahari tipe II dipicu oleh lewatnya muka gelombang kejut. Gelombang kejut ini juga menyatakan adanya lontaran massa korona yang bergerak menuju ke media antar planet dan dapat mengakibatkan terjadinya badai magnet di atmosfer atas bumi. Oleh karena itu waktu penjalaran muka gelombang kejut akan identik dengan beda waktu (Δt) tersebut. Namun analisis perbandingan antara kedua waktu tersebut masih perlu didukung dengan informasi tentang posisi daerah aktif matahari yang menjadi sumber terjadinya semburan radio dan arah medan magnet antar planet yang dinyatakan dengan data komponen B_z .

4. Hasil dan Analisis

Berikut, dianalisis 4 rangkaian peristiwa semburan tipe II, yaitu (i) rangkaian kejadian tanggal 12 sampai dengan 25 Juli 2000, (ii) rangkaian kejadian tanggal 23 Oktober sampai dengan 04 Nopember 2003, (iii) rangkaian tanggal 01 sampai dengan 10 Nopember 2004, dan (iv) rangkaian kejadian tanggal 18 sampai dengan 31 Agustus 2004. Gambar 4-1, 4-2, 4-3 dan gambar 4-4 berturut-turut adalah data rekaman gambar rangkaian kejadian semburan tipe II. Dibawah rangkaian kejadian ini ditampilkan juga rangkaian data indeks Dst yang terjadi selang waktu rangkaian semburan tipe II tersebut. Garis hubung (dengan tanda anak panah) adalah dugaan awal keterkaitan peristiwa semburan dengan penurunan indeks Dst. Dugaan ini kemudian akan dianalisis dan diuji dengan melibatkan laju gelombang kejut, arah medan magnet antar planet, posisi daerah aktif di matahari dan besar flare sinar-X.

Analisis diawali dengan olah data semburan radio tipe II untuk memperoleh besar laju muka gelombang kejut (V_s) dan waktu penjarannya dari sumber semburan (kromosfer atau korona bawah) sampai di atmosfer atas bumi. Dalam kaitannya dengan daerah aktif yang menjadi sumber semburan radio, diperlukan juga data kejadian flare sinar-X dan posisi daerah aktifnya. Disamping itu ditinjau juga besaran arah medan magnet antar planet (B_z) ketika terjadinya awal kejadian semburan tipe II. Besar B_z pada awal kejadian ini digunakan sebagai pemandu kemungkinan akan atau tidak akan terjadi badai magnet bumi.

Hasil olah data untuk penentuan kemungkinan akan atau tidak akan terjadi badai magnet bumi dan rangkaian kejadian badai magnet bumi sebagai data uji untuk setiap rangkaian kejadian semburan tipe II ditunjukkan berturut-turut pada pada tabel 4-1, tabel 4-2, tabel 4-3, dan tabel 4-4. Masing-masing tabel terdiri dari dua bagian dengan diberi tanda huruf (a) dan (b). Tabel yang ditandai dengan huruf (a) adalah tabel yang terkait dengan kejadian semburan tipe II dan data pendukungnya yaitu intensitas flare sinar-X, posisi daerah aktif dan arah komponen Z medan magnet antar planet dan

prakiraan apakah akan berpotensi terjadi badai. Tabel yang ditandai dengan huruf (b) adalah tabel data uji yaitu data Dst yang menggambarkan badai magnet.

Pada bagian tabel huruf (a), adalah rangkaian kejadian semburan radio tipe II terdiri dari tanggal, waktu awal dan waktu akhir, besar laju muka gelombang kejut dan waktu penjarannya sampai atmosfer atas bumi (kolom 2 sampai 6). Disusul dengan informasi tentang kejadian flare (waktu awal dan kelas flare) dan informasi posisi daerah aktif (kolom 7,8,9), serta besaran medan magnet antar planet (Bz) pada awal kejadian semburan radio tipe II terjadi (kolom 10). Dengan terlebih dahulu meninjau posisi daerah aktif, kelas flare dan besaran Bz (positif atau negatif), kemudian diprakirakan apakah akan atau tidak akan terjadi kemungkinan badai magnet bumi. Hasil penetapan kemungkinan ini ditampilkan pada kolom 11. Tanda V menyatakan kemungkinan akan terjadi dan tanda X menyatakan tidak akan terjadi badai magnet bumi. Didasarkan atas hasil perhitungan waktu penjaran muka gelombang kejut, maka apabila terjadi badai diprakirakan akan berlangsung pada tanggal dan waktu tertentu yang ditampilkan pada kolom 12 dan kolom 13.

Pada bagian tabel huruf (b) yang merupakan data uji dan dengan melihat kenyataan tentang sesatan (*travel time* - At) yang bervariasi cukup besar. Terlebih dahulu perlu dikemukakan batasan persentase sesatan tersebut. Mengingat kejadian alam ini banyak kemungkinan yang menjadi penyebab sesatan tersebut maka dalam kasus ini dicoba untuk menetapkan sesatan maksimal $\pm 20\%$. Sesatan antara rentang -20% sampai $+20\%$ dari batasan ini akan digunakan sebagai sesatan kemungkinan akan terjadinya badai magnet bumi. Kegagalan prakiraan diartikan bahwa prakiraan diprakirakan tidak akan terjadi badai namun dari hasil uji/dicocokkan dengan data A menunjukkan sesatan berada didalam rentang sesatan $\pm 20\%$, sebaliknya apabila diprakirakan akan terjadi badai magnet tetapi setelah diuji menunjukkan sesatan berada diluar rentang $\pm 20\%$.

Hasil prakiraan kemungkinan akan atau tidak akan terjadi badai magnet bumi tersebut kemudian diuji dengan rangkaian nilai Dst (sebagai indikator kejadian badai magnet bumi). Apabila prakiraan waktu kejadian badai magnet bumi benar maka antara At (beda waktu antara waktu awal semburan tipe II dan waktu puncak Dst) dan waktu penjaran muka gelombang kejut akan memiliki waktu yang tidak jauh berbeda. Hasil uji ini dicantumkan pada tabel (b) kolom terakhir.

Keterangan lengkap urutan (kolom) tabel dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel (a):

Kolom 1	Nomor urut kejadian semburan tipe II dalam satu rangkaian
Kolom 2	Hari(tanggal), bulan dan tahun kejadian semburan tipe II
Kolom 3	Waktu awal kejadian semburan tipe II
Kolom 4	Waktu akhir kejadian semburan tipe II

Kolom 5	Besar laju gelombang kejut hasil perhitungan dari spektra dinamik semburan tipe II
Kolom 6	Waktu penjaralan (<i>travel time</i>) gelombang kejut dari sumber sampai atmosfer atas bumi
Kolom 7	Waktu puncak flare sinar-X
Kolom 8	Kelas flare sinar-X
Kolom 9	Posisi daerah aktif dimana flare terjadi
Kolom 10	Besar komponen Bz medan magnet antar planet pada awal kejadian semburan tipe II
Kolom 11	Prakiraan apakah akan berpotensi terjadi badai, bila ya diberi tanda " V ", bila tidak diberi tanda " x "
Kolom 12	Tanggal, bulan dan tahun bila terjadi badai magnet
Kolom 13	Waktu (jam) bila terjadi badai

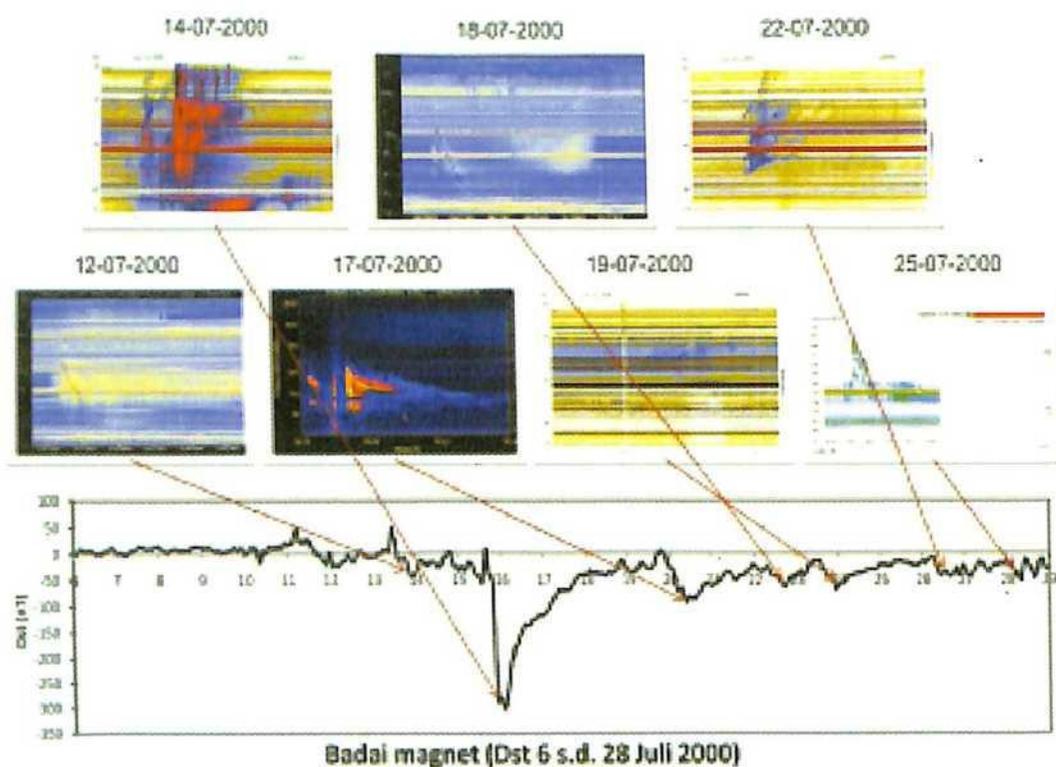
Tabel (b):

Kolom 1	Nomor urut kejadian badai magnet atau kejadian Dst.
Kolom 2	Tanggal, bulan dan tahun kejadian Dst.
Kolom 3	Waktu minimum Dst.
Kolom 4	Besar Dst dalam satuan nT.
Kolom 5	At (Jam): beda waktu antara waktu awal semburan tipe II dengan waktu minimum Dst yang merupakan data observasi.
Kolom 6	Sesatan yaitu perbedaan waktu penjaralan gelombang kejut dengan At.
Kolom 7	Besar komponen Bz medan magnet antar planet pada waktu kejadian Dst.
Kolom 8	Sesatan (%) terhadap At sebagai data observasi
Kolom 9	Keberhasilan prakiraan dengan sesatan waktu $\pm 20\%$, bila prakiraan ya (V) ternyata sesatan berada diluar rentang $\pm 20\%$ atau prakiraan tidak (x) ternyata berada pada rentang $\pm 20\%$ maka prakiraan dikatakan gagal, dan sebaliknya dikatakan berhasil.

(i) Rangkaian kejadian semburan tipe II tanggal 12 sampai dengan 25 Juli 2000

Pada rangkaian kejadian semburan radio pada tanggal 12 sampai dengan 25 Juli 2000, ada 3 (tiga) kegagalan prakiraan yaitu kejadian untuk nomor urut 1, 3 dan 4 (lihat tabel 4-1 b). Kejadian nomor 1 dan 3, (lihat tabel 4-1a kolom 11) pada awalnya diperkirakan tidak akan terjadi badai magnet bumi, namun hasil uji data Dst menunjukkan hanya memiliki sesatan -19,26% dan +8,62%, sementara kejadian nomor 4 yang diperkirakan akan terjadi badai, namun hasil uji menunjukkan sesatan +22,38% (sesatan ini sedikit diatas $\pm 20\%$ yang digunakan).

Pada contoh kejadian nomor 3 ini, daerah aktif berada pada posisi S11E36 dan besar Bz awal adalah +3,74 nT. Kondisi ini dapat menjadi bahan diskusi bahwa posisi daerah aktif sampai 36° dibelahan timur matahari masih dapat mengakibatkan badai, sementara data awal Bz hanya merupakan pemandu. Arah medan magnet antar planet nampak berperan dalam kemungkinan terjadinya badai yang pada awalnya Bz positif, tetapi kemudian berubah menjadi Bz negatif pada waktu-waktu mendekati kejadian badai (+3,74 nT pada tanggal 17 Juli 2000, menjadi -7,60 nT pada tanggal 20 Juli 2000). Oleh karena itu informasi awal besaran Bz pada waktu sekitar waktu prakiraan perlu ditinjau kembali, dan prakiraan awal bisa menjadi berubah dari sebelumnya.



Gambar 4-1. Rangkaian kejadian semburan tipe II dari tanggal 12 sampai dengan 25 Juli 2000 (atas), dan dikaitkan dengan rangkaian kejadian badai magnet bumi (bawah).

Tabel 4-1.

Rangkaian kejadian semburan radio tipe II, kemungkinan akan atau tidak akan terjadinya badai magnet bumi (a), dan rangkaian kejadian badai magnet yang terkait (b)

(a)

No.	Semburan Tipe II			Vs (km/S)	Waktu Flare Sinar-X . .			Bz(nT)	Terjadi Badai Ya : V , Tidak :	? Awal TII + Waktu j alar	
	hh-bb-tt	awal	akhir		Jaiar (jam)	Waktu puncak	Kelas Daerah Aktif			: X hh-bb-tt	Waktu puncak
i	2	3	4	5	6 7	8 9	10	u	12	13	
1	12/07/2000	:21:15	21:25	797	52,28	21:37	M1.9 N17E27	7,83	X	16/07/2000	2:00
2	14/07/2000	10:28	10:34	1356	30,73	10:03	X5.7 N22W07	-2,22	V	16/07/2000	12:00
3	17/07/2000	:20:25	20:45	678	61,46	20:14	M2.4 S11E36	3,74	X	20/07/2000	10:00
4	18/07/2000	5:06	5:13	656	63,52	5:15	M1.9 N17W58	-4,9	V	20/07/2000	22:00
5	19/07/2000	8:02	8:08	563	74,01	7:26	M6.4 S21E12	-4,9	V	22/07/2000	10:00
6	22/07/2000	11:25	11:44	1192	34,96	11:17	M3.7 N14W56	-1,09	V	23/07/2000	22:00
7	25/07/2000	2:47	3:01	601	69,33	2:43	M8.0 N06W08	-2,67	V	28/07/2000	0:00

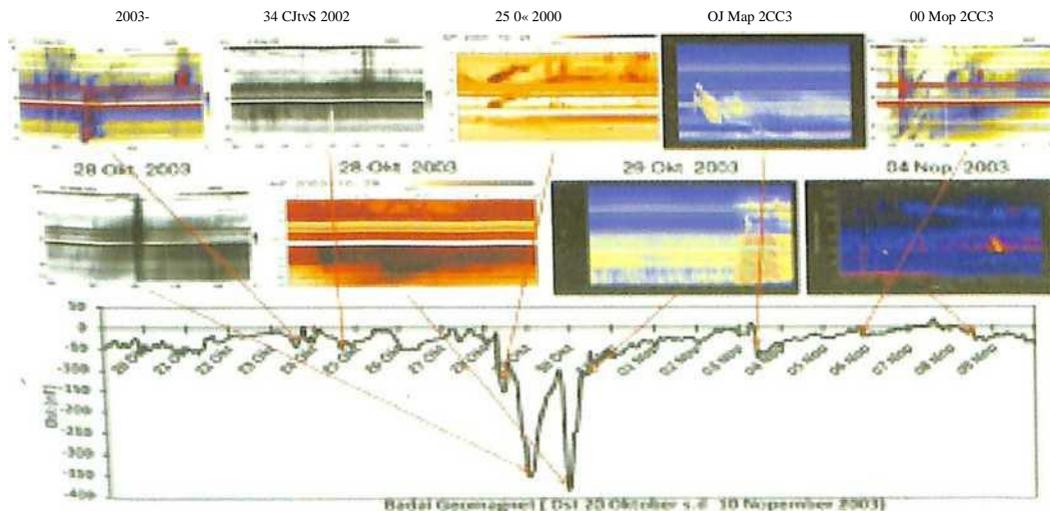
(b)

No.	hh-bb-tt	Dst		At (j am)	Sesatan		Rerhasil =1. Gagal=0
		Waktu minimum	Besar (nT)		(waktu j alar- 1X1)	Sesatan (%)	
1	2	3	4	5	6	8	9
1	12/07/2000	14:00	-57	64,75	-12,47	-19,26	0
2	14/07/2000	0:00	-301	37,53	-6,8	-18,13	1
3	17/07/2000	5:00	-72	56,58	4,88	8,62 .	0
4	18/07/2000	9:00	-93	51,9	11,62	22,38	0
5	19/07/2000	18:00	-63	81,97	-7,96	-9,71	1
6	22/07/2000	22:00	-68	34,58	0,38	1,09	1
7	25/07/2000	9:00	-51	78,22	-8,89	-11,37	1

(ii) Rangkaian kejadian semburan tipe II tanggal 23 Oktober sampai dengan 04 Nopember 2003

Tabel 4-2. adalah hasil analisis data rangkaian peristiwa semburan tipe II tanggal 23 Oktober 2003 sampai dengan 4 Nopember 2003. Pada rangkaian kejadian ini, hanya satu terjadi kegagalan prakiraan yaitu kejadian semburan tipe II tanggal 01 Nopember 2003. Prakiraan awal akan terjadi badai magnet bumi pada tanggal 4 Nopember 2003 pukul 18:00 UT, namun peristiwa badai terjadi pada pukul 11:00 UT, 14 jam lebih cepat sehingga terdapat sesatan > 24 %. Namun demikian perbedaan sesatan yang relatif tidak besar (4%) dari kriteria yang ditetapkan (20%) masih menjadi pertimbangan dalam prakiraan kejadian alam.

Posisi dan arah Bz tetap menjadi peran penting dalam prakiraan awal ini. Sebagai contoh kejadian nomor urut 1 (23 Oktober 2003), dengan posisi yang jauh di belahan timur (E88) dan arah Bz (+4,96 nT) yang bernilai positif, meskipun bersamaan kejadian flare Sinar-X yang besar (X5,4) namun tidak terjadi kejadian badai magnet bumi. Didukung pula arah Bz yang hanya berubah menjadi negatif kecil (+4,96 nT pada tanggal 23 Oktober 2003, menjadi -1,28 nT pada tanggal 25 Oktober 2003). Demikian pula intensitas flare sinar-X yang menggambarkan energi yang lepas dari sumber kejadian juga berperan dalam prakiraan ini. Contoh kejadian nomor urut 2 (tanggal 24 Oktober 2003) dengan flare sinar-X pada kelas C9,1 menjadi pertimbangan untuk menetapkan prakiraan kemungkinan tidak akan terjadi badai meskipun posisi dan arah Bz awal memenuhi syarat. Tetapi Bz berubah signifikan pada tanggal 25 Oktober 2003 menjadi +7,72 nT.



Gambar 4-2. Rangkaian kejadian semburan tipe II dari tanggal 23 Oktober sampai dengan 4 Nopember 2003 (atas), dan rangkaian kejadian badai magnet bumi (bawah).

Tabel 4-2.

Rangkaian kejadian semburan radio tipe II, kemungkinan akan atau tidak akan terjadinya badai magnet bumi (a), dan rangkaian kejadian badai magnet vang terkait (b)

(a)

No.	Semburan Tipe II		Vs Jalar (km/S)	Waktu Jalar (iam)	Flare Sinar-X Pnsisi		Bz(nT) awal	Terjadi Badai Ya : V , Tidak :	? Awal TIII + Waktu jalar	
	hh-bb-tt awal	akhir			Waktu Dunca	Kelas Daerah Aktif			: X hh-bb-tt	Waktu Dunca
]	2 3 4	5	6	7	8 9	10	li	12	13	
1	23/10/2003 8:26	8:30	1664	25,04	8:19	X5.4 S21E88	4,96	x	24/10/2003	9:00
2	24/10/2003 10:47	10:48	181	230,2	8:19	C9.1 N03W07	-7,61	x		
3	26/10/2003 6:16	6:24	1112	37,47	5:57	XI.2 S15E44	-8,22	x	27/10/2003	19:00
4	28/10/2003 10:47	10:50	1028	40,53	9:51	XI 7.2 S16E08	7,5	V	30/10/2003	3:00
5	28/10/2003 11:02	11:11	768	54,253	9:51	XI 7.2 S16E08	7,5	V	30/10/2003	17:00
6	29/10/2003 20:42	20:50	850	49,019	20:37	XI 0.0 S15W02	-20,3	V	31/10/2003	21:00
7	01/11/2003 22:28	23:27	962	45,687	22:26	M3.2 S12W60	-3,09	V	03/11/2003	18:00
8	03/11/2003 9:50	10:13	670	62,189	9:43	X3.9 N08W77	0,88	V	06/11/2003	0:00
9	04/11/2003 20:00	20:59	1195	34,867	19:29	X28 S19W83	1,12	x	06/11/2003	7:00

(b)

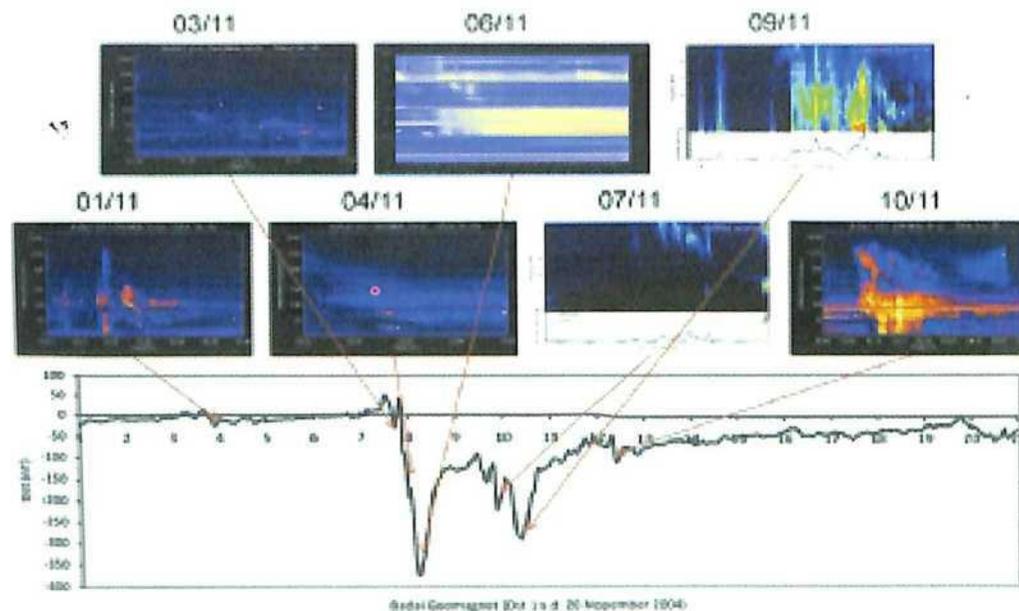
Na	Dst		At (jam)	Sesatan (waktu Bz (nT) jalar-At) Akhir		g 4 ro/ Sesatan (%)	Berhasil =1, Gagal=0
	hh-bb-tt Waktu	minimum		Besar (nT)			
1	2 3	4	5	6	7	8	9
1	25/10/2003 16:00	-49	55,57	-30,53	-1,28	-54,94	1
2	25/10/2003 16:00	-49	29,22	200,983	7,72	687,83	1
3	27/10/2003 4:00	-52	21,73	15,74	-7,95	72,43	1
4	30/10/2003 0:00	-353	37,22	3,31	-11,7	8,9	1
5	30/10/2003 23:00	-383	59,97	-5,717	-11,7	-9,53	1
6	01/11/2003 14:00	-46V-	65,3	-16,281	-5,96	-15,04	1
7	04/11/2003 11:00	-69	60,53	-14,843	-1,18	-24,52	0
8	06/11/2003 6:00	-25	68,17	-5,981	1,36	-8,77	i
9	07/11/2003 2:00	-20	54	-19,133	-0,72	-35,43	1

(iii) Rangkaian kejadian semburan tipe II tanggal 01 sampai dengan 10 Nopember 2004

Pada rangkaian kejadian semburan tipe II ini, meskipun data awal telah memenuhi

syarat baik posisi daerah aktif, arah Bz pada awal kejadian maupun kelas flare sinar-X, namun dari 7 (tujuh) kejadian terdapat 3 (tiga) prakiraan mengalami kegagalan yaitu kejadian nomor urut 3, 4 dan 7 (lihat tabel 4-3). Kegagalan yang cukup menonjol pada rangkaian kejadian ini adalah peristiwa nomor urut 4 (tanggal 6 Nopember 2004) yang diperkirakan akan terjadi badai magnet bumi pada tanggal 7 Nopember 2004, ternyata meleset dan badai magnet bumi terjadi pada tanggal 8 Nopember 2004 sehingga memiliki sesatan mencapai 53,62%. Sedangkan kejadian nomor urut 3 dan 7 yang masing-masing dengan sesatan 51,60% dan 32,94%, ternyata terjadi pembalikan arah medan magnet antar planet (berturut-turut -1,95 nT pada tanggal 4 Nopember 2004, menjadi +11,3 nT pada tanggal 8 Nopember 2004 dan -10,8 nT pada tanggal 4 Nopember 2004, menjadi +1,02 nT pada tanggal 12 Nopember 2004).

Khusus rangkaian kejadian ini mengalami kesulitan dalam menganalisis secara mikro dari satu kejadian semburan tipe II terhadap kejadian badai magnet bumi yang diperkirakan terkait. Namun secara makro, menunjukkan bahwa suatu rangkaian peristiwa semburan tipe II dipercaya akan erat terkait dengan kejadian badai magnet



Gambar 4-3. Rangkaian kejadian semburan tipe II dari tanggal 7 sampai dengan 10 Nopember 2004 (atas), dan dikaitkan dengan rangkaian kejadian badai magnet bumi (bawah).

Tabel 4-3.

Rangkaian kejadian semburan radio tipe II, kemungkinan akan atau tidak akan terjadinya badai magnet bumi (a), dan rangkaian kejadian badai magnet yang terkait (b)

(a)

No.	Semburan Tipe II			Vs (km/S)	Waktu Jalar (jam)	Flare Sinar-X		Daerah Aktif	Bz(nT) awal	Terjadi Badai ? Ya : V , Tidak : X	Awal TII + Waktu jalar	
	hh-bb-tt	awal	akhir			Waktu puncak	Kelas				hh-bb-tt	Waktu puncak
i	2	3	4	5	6	7	8	9	10	u	12	13
1	01/11/2004	3:22	3:31	1309	31,831	3:04	M1.1	N12W49	0,68	X	03/11/2004	10:00
2	03/11/2004	1:35	1:48	646	64,499	1:23	M2.8	N12W75	-1,07	X	06/11/2004	18:00
3	04/11/2004	22:23	22:28	1168	35,272	22:29	M2.5	N11E19	-1,95	V	06/11/2004	9:00
4	06/11/2004	0:31	1:30	1780	23,408	0:34	M9.3	N10E08	-7,81	V	07/11/2004	0:00
5	07/11/2004	15:59	16:16	920	45,289	15:42	X2.0	N09W17	2,56	V	10/11/2004	13:00
6	09/11/2004	17:18	17:21	1213	34,35	16:59	M8.9	N08W51	-1,69	X	11/11/2004	3:00
7	10/11/2004	2:08	2:15	561	74,272	1:59	X2.5	N09W49	-10,8	V	14/11/2004	2:00

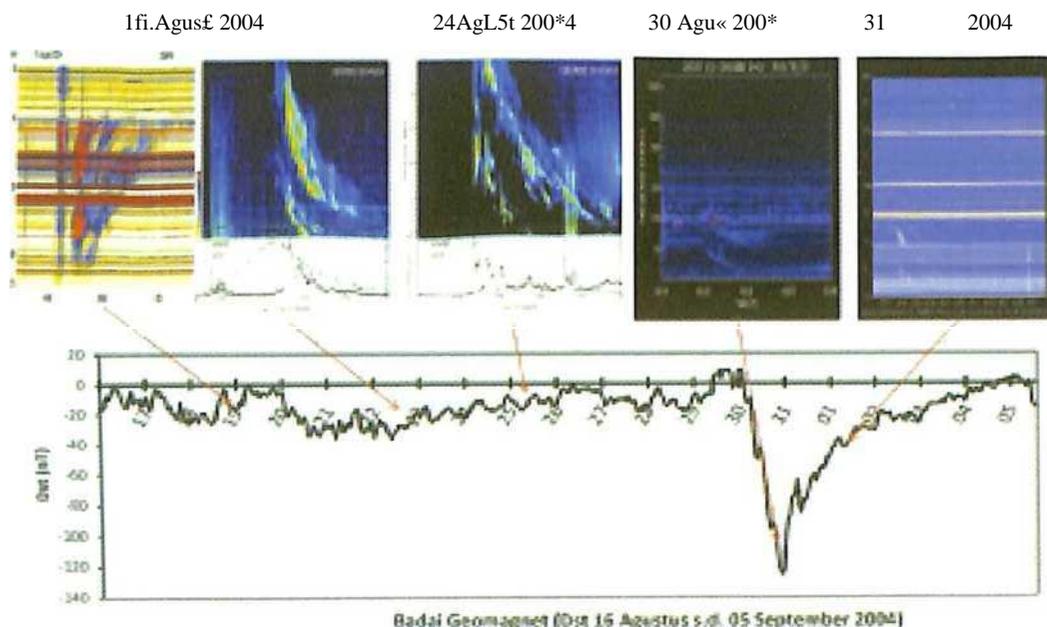
(b)

No.	Dst			At (jam)	Sesatan (waktu jalar-At)	Bz (nT) Akhir	Sesatan (%)	Berhasil =1, Gagal=0
	hh-bb-tt	Waktu minimum	Besar (nT)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	04/11/2004	19:00	-19	87,63	-55,799	2,18	-63,68	1
2	07/11/2004	13:00	-19	107,42	-42,921	11,3	-39,96	1
3	08/11/2004	1:00	-192	80,61	-41,596	11,3	-51,6	0
4	08/11/2004	6:00	-373	53,48	-28,678 *	-14,4	-53,62	0
5	09/11/2004	22:00	-223	54,02	-8,73	3,31	-16,16	1
6	10/11/2004	9:00	-289	17,7	14,034	-12,1	79,29	1
7	12/11/2004	10:00	-109	55,87	18,402	1,02	32,94	0

(iv) Rangkaian kejadian semburan tipe II tanggal 18 sampai dengan 31 Agustus 2004

Pada rangkaian kejadian semburan radio tipe II tanggal 18 s.d. 31 Agustus 2004 ini, secara mikro ada satu prakiraan yang gagal (tidak sesuai dengan data uji), yaitu kejadian tanggal 30 Agustus 2004 (tabel 4-4). Prakiraan awal adalah tidak akan terjadi badai dilakukan dengan pertimbangan posisi jauh di belahan barat (W66), Bz bernilai positif (+3,12 nT) dan kelas flare sinar-X yang hanya C2.4. Namun dari hasil uji, yang semula diprakirakan pada tanggal 31 Agustus 2004 tidak akan terjadi badai magnet ternyata perbedaan waktu penjalaran gelombang kejut dengan beda waktu antara waktu awal semburan tipe II dengan waktu minimum Dst hanya memiliki sesatan 14,32%. Hal ini juga terlihat adanya pembalikan arah Bz dari semula positif (+3,12 nT) menjadi negatif (-6,43 nT).

Hal sebaliknya adalah terdapatnya peristiwa badai magnet bumi yang terjadi pada tanggal 30 Agustus 2004 pukul 23:00 dengan minimum Dst : -126 nT. Secara mikro peristiwa ini tidak terkait dengan salah satu kejadian semburan tipe II karena semburan tipe II sebelum waktu badai ini terjadi pada tanggal 24 Agustus 2004. Demikian pula kejadian semburan tipe II pada tanggal 30 Agustus 2004 pukul 02:30 UT.



Gambar 4-4. Rangkaian kejadian semburan tipe II dari tanggal 18 sampai dengan 31 Agustus 2004 (atas), dan dikaitkan dengan rangkaian kejadian badai magnet bumi (bawah).

Tabel 4-4.

Rangkaian kejadian semburan radio tipe II, kemungkinan akan atau tidak akan terjadinya badai magnet bumi (a), dan rangkaian kejadian badai magnet yang terkait (b)

(a)

No.	Semburan Tipe II			Vs (km/S)	Waktu Jalar (jam)	Flare Sinar-X'		Posisi Daerah Aktif	Bz(nT) awal	Terjadi Badai ? Ya : v , Tidak : X	Awal TII + Waktu jalar	
	hh-bb-tt	awal	akhir			Waktu puncak	Kelas				hh-bb-tt	Waktu puncak
i	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	18/08/2004	10:45	11:02	703	59,27	10:44	C3.2	N03E14	-0,82	v	20/08/2004	22:00
2	18/08/2004	17:46	18:20	691	60,299	17:40	XI.2	S14W90	2,87	X	21/08/2004	6:00
3	24/08/2004	21:11	21:22	949	43,906	20:54	B5.4	S07E81	1,36	X	26/08/2004	17:00
4	30/08/2004	2:30	3:21	1195	34,868	3:04	C2.4	N06W66	3,12	X	31/08/2004	13:00
5	4I/U8/ZW4	5:44	5:47	881	47,294	5:24	M1.4	N06W82	-6,01	v	02/09/2004	4:00

(b)

No.	hh-bb-tt	Dst		At (jam)	Sesatan (waktu jalar-At)	Bz (nT) Akhir	Sesatan (%)	Berhasil =1, Gagal=(0)
		Waktu minimum	Besar (nT)					
i	2	3	4	5	6	7	8	9
1	21/08/2004	5:00	-36	66,25	-6,98	0,92	-10,54	1
2	22/08/2004	10:00	-37	88,23	-27,931	-2,04	-31,66	1
4	31/08/2004	9:00	-85	30,5	4,368	-6,43	14,32	0
5	02/09/2004	10:00	-26	52,4	5,105	-0,46	-9,74	1

Jumlah peristiwa semburan tipe II dalam 4 (empat) grup rangkaian tersebut adalah 28 (dua puluh delapan) yaitu 7+9+7+5 kejadian. Bila ditinjau sebagai grup-grup rangkaian kejadian, terlihat bahwa setiap grup selalu terjadi atau terkait dengan serangkaian kejadian badai magnet. Tetapi bila ditinjau kejadian tunggal setiap semburan tipe II ternyata tidak selalu terkait dengan badai magnet dan tidak berkorelasi satu-satu dengan penurunan Dst. Kondisi tersebut terkait dengan posisi atau lokasi daerah aktif, tingkat intensitas flare sinar-X dan arah medan magnet antar planet (komponen Bz). Setelah diuji dengan data Dst, dengan sesatan $\pm 20\%$ diperoleh prakiraan yang berhasil adalah 20 (dua puluh) kejadian (71,43%). Artinya ada beberapa prakiraan akan terjadi badai magnet bumi tetapi ternyata memiliki simpangan sesatan diluar rentang $\pm 20\%$, dan sebaliknya ada prakiraan tidak akan terjadi badai magnet bumi namun data uji berada didalam rentang $\pm 20\%$.

Ketiga parameter (posisi, flare sinar-X dan arah medan magnet) tersebut saling terkait, artinya meskipun flare cukup besar tetapi bila posisi daerah aktif dan atau arah medan magnet tidak memenuhi syarat maka tidak menjadi pendukung untuk menetapkan kemungkinan akan terjadinya badai magnet bumi. Sebaliknya meskipun tingkat flare tidak cukup kuat (misalnya hanya flare kelas C), tetapi bila posisi daerah aktif berada di dekat meridian tengah atau di belahan barat matahari dan komponen Bz adalah negatif (arah medan magnet antar menuju selatan) maka potensi akan terjadinya badai magnet masih cukup besar.

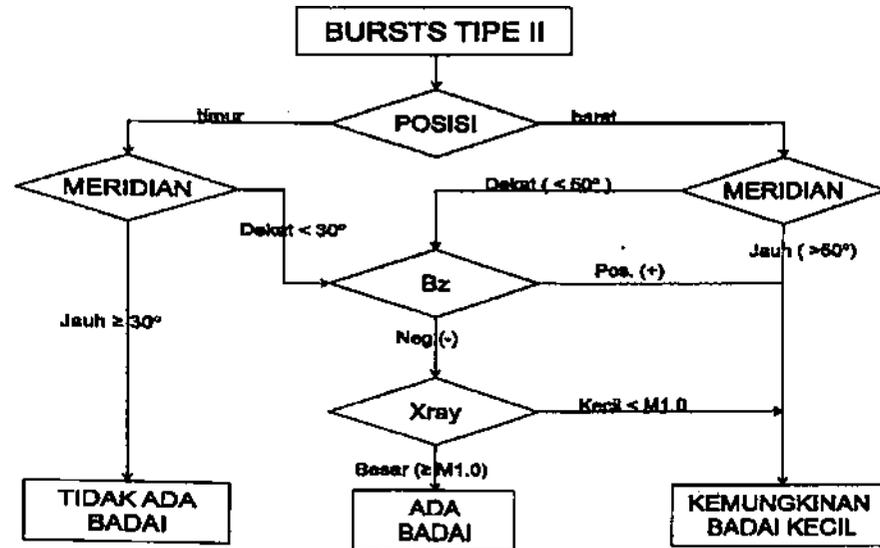
Pada penelitian ini, daerah aktif yang berlokasi di belahan barat matahari sebanyak 17 (tujuh belas) data, sisanya 11 (sebelas) data adalah posisi daerah aktif di belahan timur matahari. Flare sinar-X terdiri atas 1 (satu) kejadian flare kelas B, 3 (tiga) kejadian dengan kemunculan flare kelas C, 13 (tiga belas) kejadian dengan kemunculan kelas M dan 11 (sebelas) kejadian dengan kemunculan kelas X. Flare kelas M dan kelas X mendominasi (85,71%) potensi kemungkinan akan terjadinya badai.

Peran yang menonjol pada kemungkinan akan terjadinya badai magnet bumi adalah arah medan magnet antar planet yang ditampilkan dengan besar Bz (positif atau negatif). Tanda negatif pada Bz menunjukkan arah medan magnet menuju ke selatan dan berlawanan dengan arah medan magnet bumi, sehingga dapat mengakibatkan rekoneksi dan membuat lubang pada medan magnet bumi dan menjadi peluang akan terjadinya badai magnet bumi. Informasi awal ketika kejadian semburan radio tipe II dapat menjadi petunjuk untuk memprakirakan akan atau tidak akan terjadi badai.

Dari 28 kejadian semburan tipe II yang berarti pula ada 20 prakiraan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai. Dengan menggunakan sesatan waktu $\pm 20\%$, terdapat 20 (dua puluh) prakiraan yang berhasil terdiri atas 11 (sebelas) prakiraan terjadi badai dan 9 (sembilan) prakiraan tidak akan terjadi badai. Sementara 8 (delapan) prakiraan yang tidak berhasil terdiri atas 5 (lima) yang diprakirakan akan terjadi badai ternyata tidak terjadi, dan 3 (tiga) yang diprakirakan tidak akan terjadi badai ternyata terjadi badai.

Atas dasar kejadian-kejadian semburan radio dan parameter-parameter pendukung yang ditinjau tersebut, disusun sebuah diagram (gambar 4-5) untuk memprakirakan

kemungkinan akan atau tidak akan terjadi badai magnet bumi. Diagram ini terkait dengan posisi daerah aktif pada belahan matahari, arah medan magnet (B_z) dan intensitas flare Sinar-X.



Gambar 4-5. Diagram kemungkinan akan atau tidak akan terjadinya badai magnet bumi dari kejadian semburan radio matahari tipe II.

5. Kesimpulan

Semburan radio matahari tipe II yang terjadi secara berangakai dari waktu ke waktu dalam beberapa hari mengindikasikan adanya badai magnet, namun masing-masing semburan tipe II dalam serangkaian tersebut tidak berkorelasi satu-satu dengan penurunan Dst. Dalam hal prakiraan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet dari adanya semburan tipe II ini perlu didukung dengan data posisi daerah aktif, arah medan magnet antar planet dan besar flare sinar-X matahari. Artinya adalah bahwa meskipun flare cukup besar tetapi bila posisi daerah aktif dan atau arah medan magnet tidak memenuhi syarat maka tidak menjadi pendukung untuk menetapkan kemungkinan akan terjadinya badai magnet bumi. Sebaliknya meskipun tingkat flare tidak cukup kuat (lebih rendah dari kelas M 1.0), tetapi bila posisi daerah aktif berada di dekat meridian tengah atau di belahan barat matahari dan komponen B_z adalah negatif (arah medan magnet ke selatan) maka potensi akan terjadinya badai magnet masih cukup besar. Peran yang menonjol dalam kemungkinan akan terjadinya badai magnet bumi adalah arah medan magnet antar planet dan posisi daerah aktif.

Hasil prakiraan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet dari kemunculan semburan tipe II diuji dengan penurunan Dst. Dengan sesatan $\pm 20\%$

diperoleh prakiraan yang berhasil adalah 20 (dua puluh) kejadian (71,43%). Dari 28 (dua puluh delapan) kejadian semburan tipe II prakiraan yang berhasil terdiri atas 11 (sebelas) prakiraan terjadi badai dan 9 (sembilan) prakiraan tidak akan terjadi badai. Delapan prakiraan yang tidak berhasil terdiri atas 5 (lima) prakiraan diprakirakan akan terjadi badai ternyata tidak terjadi, dan 3 (tiga) prakiraan yang diprakirakan tidak akan terjadi badai ternyata terjadi badai.

Daftar Rujukan

- Cho K.-S.; Lee, J.; Moon, Y.-J.; Dryer, M.; Bong, S.-C.; Kim, Y.-H. and Park, Y. D.; 2007, *A study of CME and type II shock kinematics based on coronal density measurement*, *Astronomy & Astrophysics*, **461**, 1121–1125, DOI: 10.1051/0004-6361:20064920
- Gopalswamy, N., 2008, *Solar connections of geoeffective magnetic structures*, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, doi:10.1016/j.jastp.2008.06.010
- Iyer K. N., Jadav, R. M.; Jadeja, A.K.; Manoharan, P.K.; Som Sharma and Hari Om Vats, 2006, *Space Weather Effects of Coronal Mass Ejection*, *J. Astrophys. Astr.* **27**, 219–226
- Magara, T.; Pengfei, C.; Kazunari, S. and Yokoyama, T.; 2000, *A Unified Model of Coronal Mass Ejection-related Type II Radio Bursts*, *The Astrophysical Journal*, **538**:L175–L178.
- Melrose, D.B., 1985, *Plasma emission mechanism in Solar Radio Physics*, ed. McLean & Labrum, Cambridge Univ. Press.
- Nelson, G.J. & Melrose, D.B., 1985, *Type II Bursts*, *Solar Radio Physics*, ed. D.J. McLean & Labrum. 333-359.
- Newkirk, G.Jr., 1961, *The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation*, *Astrophys. J.*, **133**, 983
- Sulistiani S. dan Suratno, 2008, *Digitizing 2-Dimensional Plot Pictures*, International Conference on Mathematics and Natural Sciences, Institute Teknologi Bandung, October 28 – 30, 2008
- Suratno dan Santi S., 2010, *Analisis Semburan Radio Matahari Tipe II sebagai Prekursor Kemungkinan Tejadinya Badai Magnet Bumi*, *Jurnal Sains Dirgantara*, **7**, No. 2, 113-131.
- Suratno; Santi Sulistiani; A. Gunawan; Johan Muhamad dan Margono. 2009. *Kesetaraan Kecepatan Gelombang kejut Semburan Radio Matahari Tipe II dan Lontaran Massa Korona*, *Jurnal Sains Dirgantara*, **6**, No. 2, 109 - 123.
- Svestka, Z. 1976. *Non Thermal Phenomena*. in *Solar Flares*. D.Reidel Publ. Co., 143-215.
- Wang, S.J.; Yan, Y.; Fu, Q.; Liu, Y. and Chen, Z.; 2005. *Multi-Wavelength Radio Features Associated with Large CMEs on Oct. 26-28, 2003*, *Proceedings IAU Symposium No. 226*.