

ANALISIS SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE II SEBAGAI PREKURSOR KEMUNGKINAN TERJADINYA BADAI MAGNET BUMI

Suratno dan Santi Sulistiani

Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN

E-mail: suratno@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The solar flare, type II solar radio bursts and Coronal Mass Ejection (CME) are the serial phenomena of the sun which have a closed association. The occurrence of type II solar radio bursts is triggered by passing of shock wave and is showing the ejection of plasma and magnetic fields. The shock wave or CME travelling toward the earth's upper atmosphere can lead to the occurrence of geomagnetic storm. Since the bursts propagation mechanism is by means of electromagnetic radiation and reaches the earth within 8 minutes, the shock wave or CME will reach the earth within 40 to 80 hours or even it is exceeding 5 days, hence, the type II bursts can be used as an early indicator information of the possibility incident of the geomagnetic storm. This investigation is carried out by analysing the travel time of shock wave which is determined from the dynamic spectra of type II solar radio bursts and the onset time of the geomagnetic storm. This travel time then is compared to the difference between start time of type II bursts and the instant of minimum Dst (Disturbance storm time). This analysis is supported by the data of active region position on the solar disk as a source of bursts and the direction of interplanetary magnetic field.

Keyword: *Solar flare, Type II solar radio bursts, Geomagnetic storm*

ABSTRAK

Fenomena ledakan Matahari, semburan radio tipe II dan lontaran massa korona merupakan rangkaian peristiwa yang memiliki keterkaitan yang kuat. Semburan tipe II dipicu oleh lewatnya gelombang kejut dan menyatakan lontaran massa plasma dan medan magnet. Gelombang kejut atau CME dalam penjarannya ke atmosfer atas Bumi dapat mengakibatkan terjadinya badai magnet Bumi. Karena semburan radio merupakan pancaran elektromagnet dan mencapai Bumi dalam waktu 8 menit, sementara gelombang kejut atau CME baru dapat mencapai Bumi dalam waktu 40 jam sampai 80 jam atau bahkan dalam waktu lebih dari 5 hari, maka semburan radio tipe II merupakan indikator informasi awal terhadap kemungkinan akan terjadinya badai

magnet Bumi. Pada penelitian ini dianalisis waktu penjaran gelombang kejut yang diturunkan dari spektra dinamik semburan tipe II dan waktu peristiwa badai magnet Bumi. Kemudian waktu penjaran gelombang kejut ini dibandingkan dengan beda waktu antara waktu awal semburan radio Matahari tipe II dengan waktu pada saat Dst (*Disturbance storm time*) minimum. Analisis keterkaitan tersebut didukung dengan peran posisi daerah aktif Matahari yang menjadi sumber terjadinya semburan radio dan arah medan magnet antar planet.

Kata kunci: *Ledakan Matahari, Semburan radio Matahari tipe II, Badai magnet Bumi*

1 PENDAHULUAN

Ledakan Matahari (*solar flare*) adalah peristiwa transien yang terjadi di kromosfer ditandai dengan meningkatnya intensitas radiasi elektromagnet yang sangat tinggi pada seluruh rentang gelombang dan lontaran massa partikel berenergi tinggi. Ledakan Matahari yang diamati pada panjang gelombang H α ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$) disebut ledakan H α (*H α flare*), pada gelombang sinar-X dengan rentang $\lambda = 1 - 8 \text{ \AA}$ disebut ledakan sinar-X (*X-ray flare*) dan pada rentang gelombang radio disebut semburan radio Matahari (*Solar Radio Bursts*). Di landas Bumi, digunakan teleskop radio untuk mendeteksi radiasi Matahari pada rentang panjang gelombang radio. Teleskop yang beroperasi pada frekuensi tunggal secara sederhana disebut radiometer, sedangkan yang beroperasi pada rentang spektra disebut radiospektrograf. Jenis teleskop radio lain adalah radiointerferometer dan radioheliograf. Semburan radio Matahari yang diamati dengan radiospektrograf akan menghasilkan spektra dinamik yaitu spektra yang menampilkan pergeseran frekuensi versus waktu. Radio spektrograf Matahari menghasilkan spektra dinamik yang dapat dibagi menjadi lima tipe semburan yaitu tipe I, II, III, IV dan tipe V (Wild et al., 1963). Khususnya untuk semburan tipe II, sangat terkait dengan peristiwa lontaran massa korona (Cho et al., 2005, Gopalswamy et al., 2007).

Lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) adalah pelepasan massa gas dan medan magnet dengan tiba-tiba yang terbentuk sebagai lidah medan magnet. Baik peristiwa semburan radio tipe II maupun kejadian CME sama-sama dipicu oleh lewatnya gelombang kejut (*shock wave*) yang menyeret partikel energi tinggi (Melrose 1985, Nelson and Melrose 1985, Svestka 1976, Wang et al., 2005). Penjaran CME dari sumbernya di kromosfer Matahari sampai atmosfer Bumi diperlukan waktu empat puluh sampai delapan puluh jam (bahkan lebih) tergantung pada kelajuannya (Magara et al., 2000, Gopalswamy et al., 2007). Berbagai implikasi dapat terjadi di atmosfer

Bumi misalnya terjadinya badai magnet Bumi (*geomagnetic storm*). Perubahan kuat medan magnet yang besar dalam waktu yang mendadak adalah badai magnet Bumi dan ditandai dengan peningkatan (negatif) indeks Dst (*Disturbance storm time*). Dampak ini sangat terkait dengan komponen medan magnet yang tegak lurus dengan bidang ekliptika (komponen B_z) yang kuat dan mengarah ke selatan Bumi dan dapat berlangsung selama beberapa jam. Namun, CME tidak dapat secara signifikan mengakibatkan badai magnet Bumi bila arah selatan B_z sangat kecil atau bila B_z menuju arah utara. Demikian pula halnya apabila sumber CME di Matahari jauh dari *Central Meridian* (McKenna-Lawlor et al., 2002, Seung-Mi et al. 2006). Hubungan erat antara komponen B_z dari medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) dan parameter badai magnet Bumi Dst juga dikemukakan oleh Iyer et al. (2006). Clara et al. (2008) telah melakukan penelitian tentang keterkaitan antara komponen B_z dari medan magnet Matahari dan indeks Dst dengan koefisien korelasi yang cukup besar yaitu sebesar $R = 0.85$.

Mengingat keterkaitan yang erat antara semburan radio Matahari tipe II, CME dan ledakan Matahari, maka semburan radio tipe II dapat dijadikan sebagai indikator dan informasi awal kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet Bumi di atmosfer atas Bumi. Agar dapat memberikan informasi awal tersebut perlu diketahui kelajuan muka gelombang kejut dan waktu penjarannya sampai di atmosfer Bumi. Sebagai pendukung analisis adalah peninjauan tentang posisi daerah aktif sebagai sumber semburan dan arah komponen B_z medan magnet antar planet.

Maksud dari penelitian ini adalah akan mengungkapkan bahwa munculnya peristiwa semburan radio tipe II menjadi tanda-tanda awal kemungkinan akan terjadinya badai magnet Bumi. Analisis dan langkah-langkah yang akan dilakukan agar dapat memberikan informasi awal tersebut adalah (i) mencatat informasi tentang posisi daerah aktif yang mengindikasikan sebagai sumber semburan radio, (ii) penetapan waktu awal peristiwa semburan radio tipe II, (iii) waktu penjaran (*travel time*) muka gelombang kejut dari sumbernya sampai atmosfer atas Bumi, (iv) waktu peristiwa badai magnet Bumi (Dst sebagai indikator) dan (v) beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan radio Matahari tipe II dengan waktu minimum dari Dst. Kelajuan muka gelombang kejut diturunkan dari spektra dinamik semburan tipe II, kemudian waktu penjarannya sampai atmosfer atas Bumi dibandingkan dengan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan radio Matahari tipe II dengan waktu minimum dari Dst tersebut. Analisis perlu didukung dengan informasi tentang posisi daerah aktif

Matahari yang menjadi sumber terjadinya semburan radio dan arah medan magnet antar planet dengan mengambil data komponen B_z .

2 DATA PENGAMATAN

Data semburan radio Matahari tipe II yang akan dianalisis dalam kaitannya dengan badai magnet diambil dari observatorium Hiraisho-Jepang ($36^{\circ}21'U, 140^{\circ} 37.2'T$) dari situs <http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/>, Tanjung Sari-Indonesia ($6^{\circ} 54'S, 107^{\circ} 50.4'T$), dan Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer (GBSRBS)-Amerika Serikat ($38^{\circ} 26'U, 79^{\circ} 49.5'B$) dari situs <http://gbsrbs.nrao.edu/>. Parameter yang diperlukan adalah informasi tentang waktu (tanggal, bulan, tahun) peristiwa, selang waktu pengamatan, nama observatorium, tipe semburan, waktu awal (*start time*) dan akhir (*end time*) peristiwa semburan tipe II.

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 komponen B_z medan magnet antar planet diambil dari situs <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>, posisi daerah aktif diambil dari posisi ledakan H_{α} , dari situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR> dan citra Matahari diunduh dari *SOHO LASCO CME Catalog*, http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/.

3 ANALISIS DAN HASIL

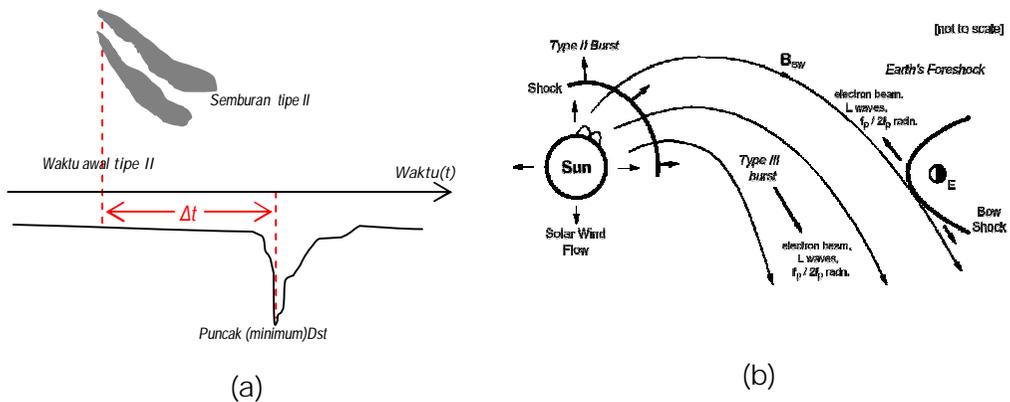
Semburan radio Matahari tipe II dipicu oleh lewatnya muka gelombang kejut yang juga menyatakan adanya lontaran massa korona dan bergerak menuju ke media antar planet dan dapat mengakibatkan terjadinya badai magnet Bumi di atmosfer atas Bumi. Kelajuan gelombang kejut (V_{shock} , selanjutnya ditulis V_s) dapat diturunkan dari spektra dinamik semburan radio tipe II dengan cara mengkonversikan pergeseran frekuensi versus waktu menjadi pergeseran posisi versus waktu (Lyman Spitzer Jr., 1956, Newkirk, 1961, Cho et al. 2007, Sulistiani dan Suratno, 2008). Penurunan kelajuan tersebut didasarkan atas fungsi-fungsi yang terkait dengan frekuensi osilasi plasma $f = 8.98\sqrt{N(R)}$, kerapatan plasma sebagai fungsi ketinggian korona $N(R) = N_0 \times 10^{4.32/R}$, sedemikian sehingga kelajuan muka gelombang kejut (V_s) dapat dinyatakan sebagai,

$$V_s = -0.201 \times R^2 \left(\frac{1}{f} \frac{df}{dt} \right) \quad (3-1)$$

Penelitian yang telah dilakukan oleh Suratno dkk. (Suratno et al., 2009), menganalisis 38 peristiwa semburan radio tipe II, diperoleh

hasil bahwa kelajuan 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.

Apabila peristiwa badai magnet disebabkan atau dipicu oleh lewatnya gelombang kejut ini, maka beda waktu (Δt) antara waktu awal munculnya semburan radio tipe II dan peristiwa badai magnet akan identik dengan waktu penjalaran gelombang kejut. Peristiwa 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. Di samping itu, dimensi waktu antara waktu awal penurunan Dst dan Dst minimum terhadap waktu penjalaran gelombang kejut relatif sangat kecil. Besar Dst yang akan dianalisis sebagai perwujudan badai magnet adalah bila Dst < -50 nT. Gambar 3-1 adalah ilustrasi ketika terjadi semburan radio tipe II yang dapat mengindikasikan terjadinya badai magnet Bumi dengan Dst sebagai indikator.



Gambar 3-1: (a) Ilustrasi peristiwa semburan radio tipe II yang mengindikasikan terjadinya badai magnet Bumi (Dst sebagai indikator). Beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan tipe II dan Dst minimum akan identik dengan waktu penjalaran muka gelombang kejut (*shock - type II bursts*) dari Matahari ke atmosfer atas Bumi seperti diilustrasikan seperti gambar (b), (Iver et al., 1997)

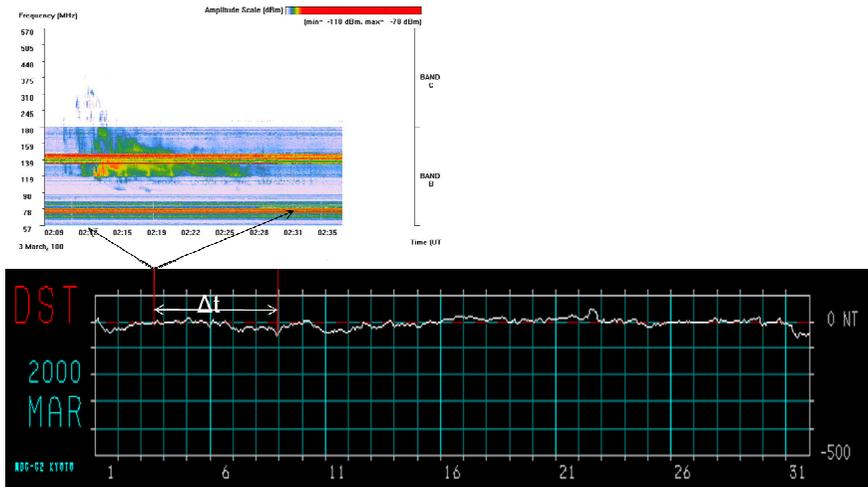
Posisi daerah aktif sebagai sumber semburan radio berperan pada peristiwa badai di atas atmosfer Bumi. Garis gaya magnet di media antar planet Matahari dengan kutub-kutubnya tertancap di permukaan pada bintik Matahari. Karena adanya gerak rotasi Matahari garis gaya ini memiliki lintasan yang melengkung. Arah garis gaya ini menjadi pemandu gerakan muka gelombang kejut atau CME, plasma

angin surya dan partikel bermuatan energi tinggi yang terlontar dari kromosfer. Dalam hal ini juga memiliki keterkaitan dengan fenomena semburan radio Matahari tipe II dan tipe III (Iver et al., 1997). Peluang menembus atmosfer Bumi tergantung pada posisi daerah aktif Matahari. Demikian pula potensi interaksi dengan medan magnet Bumi dan terjadinya rangsangan kemungkinan akan terjadinya badai. Posisi daerah aktif dan ledakan Matahari yang berdampak pada medan magnet Bumi bila berada di tengah (sekitar meridian nol) dan bujur barat Matahari (Clara et al., 2008).

Komponen B_z dari medan magnet antar planet merupakan komponen yang berperan terhadap kemungkinan terjadinya badai magnet Bumi. Komponen B_z arah selatan (negatif) menjadikan interaksi medan magnet antar planet dengan medan magnet Bumi berpotensi menimbulkan badai magnet Bumi. Peningkatan medan magnet Bumi ditandai dengan peningkatan indeks Dst. Clara et al. (2008) juga telah meneliti bahwa keterkaitan Dst dengan posisi ledakan Matahari memiliki kecenderungan menurun apabila ledakan terjadi pada posisi bujur yang lebih lebar baik arah Bujur Barat maupun arah Bujur Timur Matahari.

Analisis diawali dari peristiwa semburan radio tipe II, kemudian mencatat terdeteksi atau tidak terdeteksi daerah aktifnya dan jika terdeteksi dimana posisinya. Selanjutnya dihitung laju muka gelombang kejut dari spektra dinamik tipe II dan waktu penjararannya sampai atmosfer atas Bumi. Dengan mengetahui waktu awal peristiwa semburan radio tipe II dan waktu penjararan muka gelombang kejut dari sumbernya sampai atmosfer atas Bumi maka dapat diinformasikan waktu kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi. Hasil analisis ini kemudian dicocokkan/dibandingkan dengan waktu peristiwa badai magnet Bumi (Dst sebagai indikator) dan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan radio Matahari tipe II dengan waktu minimum dari Dst. Analisis perlu didukung dengan informasi arah medan magnet antar planet dengan mengambil data komponen B_z . Berikut adalah contoh 6 (enam) kasus peristiwa semburan radio Matahari tipe II dan analisis yang mengindikasikan ada atau tidak adanya badai magnet Bumi.

3.1 Peristiwa Semburan Radio tipe II tanggal 03 Maret 2000

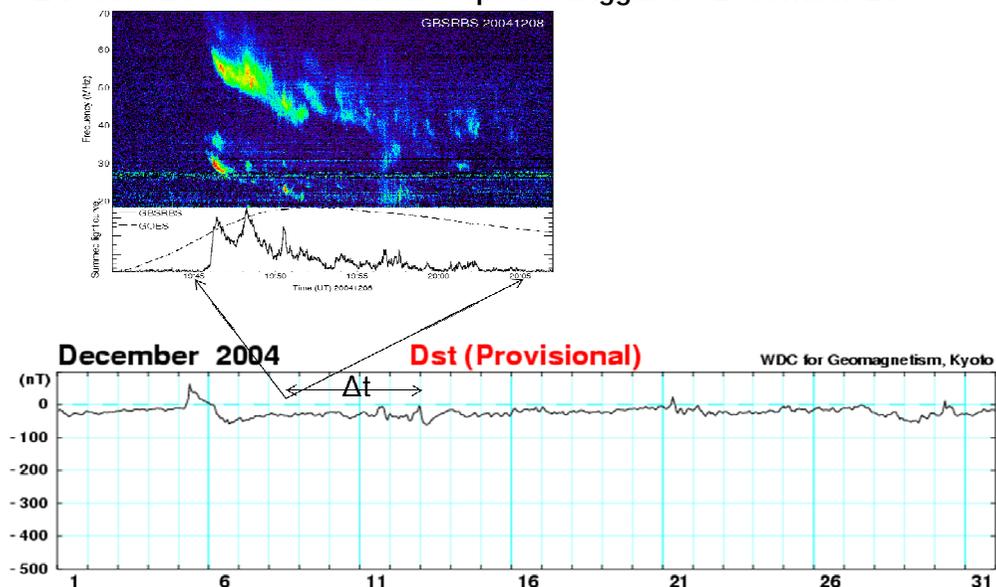


Gambar 3-2: Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 03 Maret 2000 (Tanjung Sari – LAPAN) dan peristiwa badai magnet Bumi pada 08 Maret 2000 dengan Dst -51 nT

Semburan radio Matahari tipe II yang terjadi pada 03 Maret 2000, terdeteksi melalui radiospektrograf SN4000 dari Stasiun Pengamat Dirgantara Tanjung Sari LAPAN. Waktu awal semburan terjadi pada pukul 0212 UT dan berakhir pada pukul 0235 UT. Daerah aktif (15°U , 60°B) menghasilkan ledakan $\text{H}\alpha$ kelas 1B dan ledakan sinar X kelas M3.8. Dengan posisi daerah aktif di belahan barat Matahari, maka semburan tipe II ini berpotensi memiliki keterkaitan yang erat terhadap kemungkinan akan terjadinya badai magnet. Hasil olah data dari spektra semburan tipe II dalam menghitung kelajuan muka gelombang kejut diperoleh $V_s=342$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut dari sumber semburan sampai atmosfer atas Bumi adalah 121,83 jam. Waktu ini menjadi prakiraan waktu kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi.

Terindikasi terjadi badai magnet Bumi pada tanggal 08 Maret 2000, ditandai dengan adanya penurunan Dst sampai -51 nT pada pukul 21.00 UT. Medan magnet antar planet pada 08 Maret 2000 menuju arah selatan dengan komponen $B_z = -1.42$ nT. Beda waktu (Δt) antara waktu awal peristiwa semburan tipe II dan waktu minimum Dst adalah = 138,8 jam. Dengan demikian terdapat perbedaan waktu antara waktu penjalaran (WP) dan Δt sebesar -16,97 jam. Perbedaan waktu ini merupakan sesatan karena Δt merupakan data pengamatan sedangkan WP adalah waktu penjalaran yang diturunkan dari spektra dinamik semburan tipe II. Sesatan ini dapat dinyatakan dalam % terhadap waktu penjalaran gelombang kejut (WP), dan diperoleh sebesar -13,93 %.

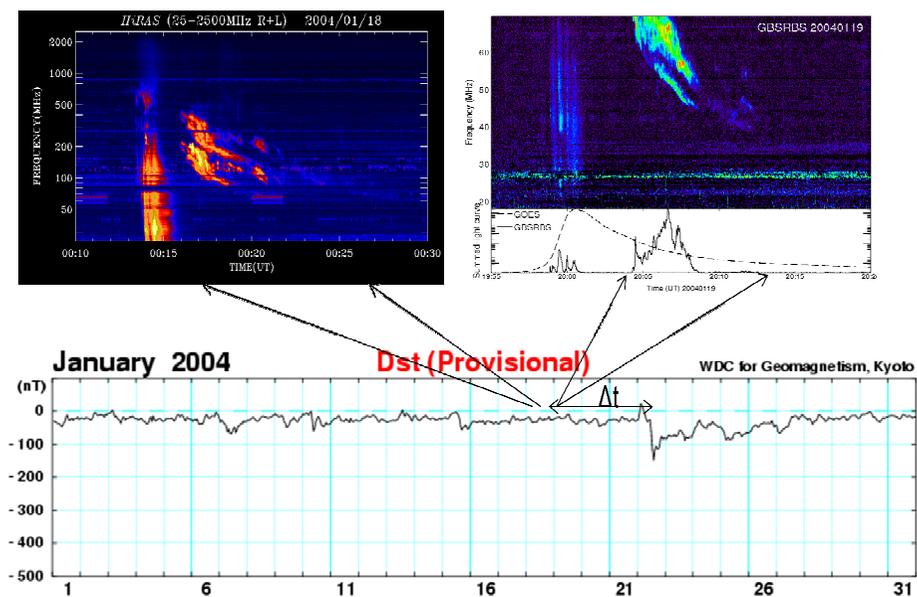
3.2 Peristiwa Semburan Radio tipe II tanggal 08 Desember 2004



Gambar 3-3: Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 8 Desember 2004 (GBSRBS) dan peristiwa badai magnet Bumi pada 13 Desember 2004

Waktu awal semburan tipe II terjadi pada pukul 19.45 UT. Data ledakan H α kelas SF dan ledakan sinar X kelas C2.5 tercatat dari daerah aktif yang berada pada posisi (08 $^{\circ}$ U, 03 $^{\circ}$ B), sehingga dapat menjadi indikator kemungkinan akan terjadinya badai magnet. Terindikasi terjadi badai magnet Bumi pada tanggal 13 Desember 2004, ditandai terjadi penurunan Dst sampai -61 nT pada pukul 05.00 UT. Medan magnet antar planet pada 13 Desember 2004 adalah menuju arah selatan dengan besar komponen Bz = -1.41 nT. Hasil olah data semburan tipe II dalam menghitung kelajuan muka gelombang kejut adalah $V_s=444$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut dari korona Matahari sampai atmosfer atas Bumi sebesar 93.59 jam, sementara beda waktu (Δt) antara waktu awal peristiwa semburan tipe II dan waktu minimum Dst adalah 104.25 jam. Dengan demikian terdapat perbedaan waktu antara waktu penjalaran dan Δt sebesar -10,66 jam, sehingga sesatan terhadap hitungan waktu penjalaran gelombang kejut sebesar -11.39%.

3.3 Peristiwa semburan radio tipe II tanggal 18 dan 19 Januari 2004



Gambar 3-4: Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 18 dan 19 Januari 2004 (GBSRBS dan Hiraisho) dan peristiwa badai magnet pada 22 Januari 2004

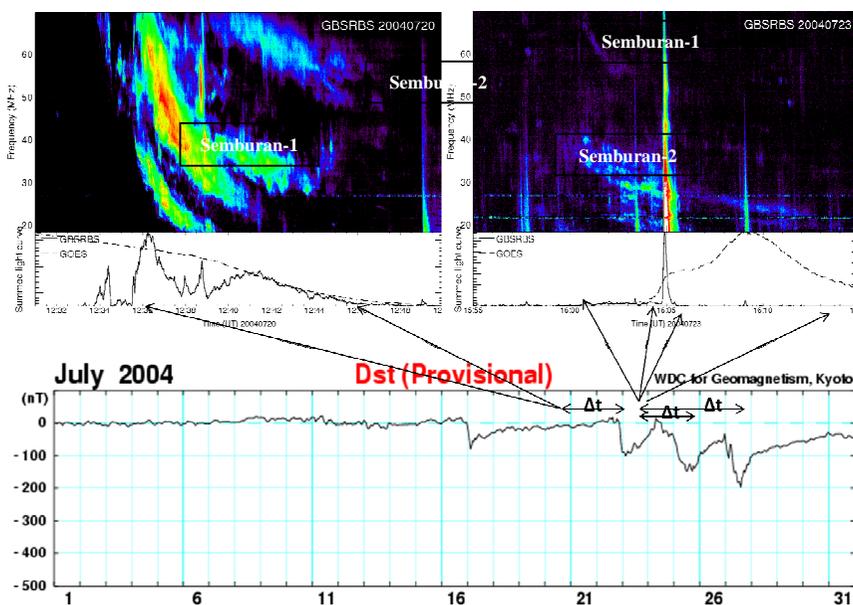
Dua peristiwa semburan tipe II terjadi pada tanggal 18 dan 19 Januari 2004. Badai magnet Bumi terjadi pada 22 Januari 2004, dengan Dst mencapai -149 nT pada pukul 13.00 UT. Dalam analisis peristiwa ini dapat dilakukan dengan cara anggapan sebaliknya, dengan pertanyaan apakah badai magnet Bumi berasosiasi dengan semburan tipe II yang terjadi pada 18 Januari atau yang terjadi pada 19 Januari 2004.

Peristiwa semburan tipe II tanggal 18 Januari 2004 dengan daerah aktif berada pada posisi (15°S, 18°T) yang menghasilkan ledakan H α kelas SF dan ledakan sinar X kelas X1.8. Posisi daerah aktif di belahan timur Matahari, maka semburan tipe II menjadi indikator bahwa kemungkinan tidak akan ada peristiwa badai magnet Bumi. Waktu awal peristiwa semburan ini adalah pukul 0016 UT sehingga Δt sebesar 108,73 jam. Hasil olah data spektra dinamik semburan tipe II ini dalam penentuan laju gelombang kejut diperoleh $V_s = 1405$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut adalah hanya 29,59 jam. Kondisi ini sudah dapat dikatakan bahwa badai magnet Bumi yang terjadi pada tanggal 22 Januari 2004 tersebut tidak berasosiasi dengan peristiwa semburan tipe II yang terjadi tanggal 18 Januari 2004.

Peristiwa semburan tipe II tanggal 19 Januari 2004 dengan daerah aktif berada pada posisi (16°S, 05°B), yang dapat menjadi indikator kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi. Laju muka gelombang kejut hasil olah data spektra dinamik peristiwa semburan tipe II ini adalah $V_s=631$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut dari sumbernya sampai atmosfer atas Bumi sebesar 66,03 jam. Waktu awal semburan untuk peristiwa ini adalah pada pukul 2003 UT, sehingga diperoleh beda waktu (Δt) antara waktu awal peristiwa semburan tipe II dan waktu minimum Dst adalah 64,95 jam. Didukung dengan data medan magnet antar planet dengan arah selatan dan komponen $B_z = -4,829$ nT. Dengan demikian hanya terdapat perbedaan waktu antara waktu penjalaran dan Δt sebesar +1,08 jam, sehingga hanya ada sesatan sebesar +1.64%.

Dengan demikian, dua peristiwa semburan tipe II yang terjadi dalam dua hari berurutan tersebut dapat menjelaskan dan memperkuat pendapat bahwa posisi daerah aktif menjadi indikator yang sangat diperhitungkan dalam menentukan informasi kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet Bumi.

3.4 Peristiwa Semburan Radio tipe II tanggal 20 dan 23 Juli 2004



Gambar 3-5: Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 20 dan 23 Juli 2004 (GBSRBS) yang berasosiasi dengan peristiwa badai magnet pada 23, 25 dan 27 Juli 2004

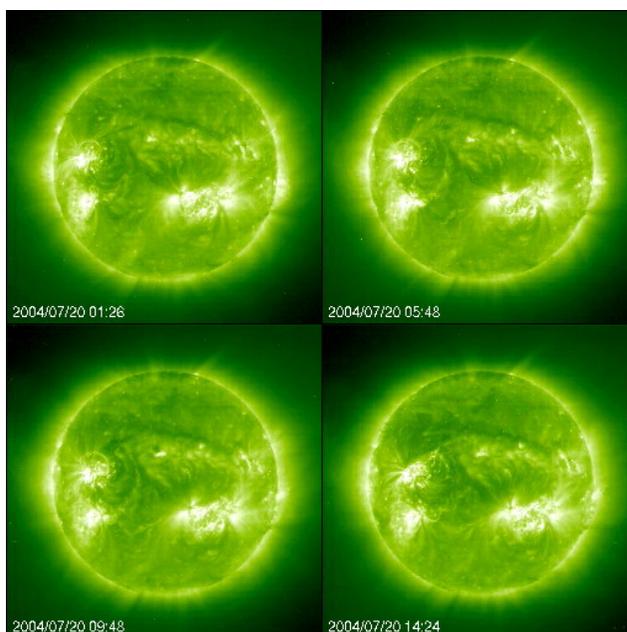
Peristiwa semburan tipe II pada tanggal 20 dan 23 Juli 2004 bisa dikatakan unik karena masing-masing terdapat dua semburan tipe II yang terjadi dalam waktu yang (hampir) bersamaan (lihat Gambar 3-5). Badai magnet Bumi terjadi secara berurutan dengan penurunan Dst yang cukup besar pada 22, 25 dan 27 Juli 2004. Rangkaian peristiwa ini dapat dianalisis sebagai berikut.

3.4.1 Peristiwa semburan tanggal 20 Juli 2004

Data ledakan mencatat daerah aktif berada pada posisi (10°U , 32°T). Pada posisi yang berada di belahan timur Matahari kemungkinan tidak akan mengindikasikan akan terjadi badai magnet. Akan dicoba peristiwa semburan ini diasosiasikan dengan badai magnet pada 23 Juli 2004. Data Bz pada 23 Juli adalah -99.653 nT , yang berarti arah medan magnet mengarah selatan Bumi. Semburan radio dipisahkan menjadi dua peristiwa, (1) yang memiliki pergeseran frekuensi cepat (plot spektra dinamik dengan kemiringan tajam) dan (2) yang memiliki pergeseran frekuensi lambat (plot spektra dinamik dengan kemiringan landai).

Hasil olah data dalam menentukan kelajuan gelombang kejut, diperoleh semburan-1 (gambar spektra dinamik curam) $V_s=3286\text{ km/s}$, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut adalah 12,65 jam; semburan-2 (gambar spektra dinamik landai) $V_s=720\text{ km/s}$, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut adalah 57,85 jam. Beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan tipe II dan Dst minimum tanggal 23 Juli adalah 61,48 jam. Dengan demikian maka semburan tipe II yang kedua lebih sesuai dengan peristiwa badai magnet tanggal 23 Juli 2004 dibandingkan dengan semburan tipe II yang pertama.

Terkait dengan posisi daerah aktif yang berada di bujur timur Matahari dapat ditafsirkan bahwa peristiwa semburan tipe II ini bersumber dari daerah aktif yang berbeda. Gambar 3-6 adalah kondisi daerah aktif Matahari pada tanggal 20 Juli 2004, terlihat adanya beberapa daerah aktif. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semburan radio Matahari dapat berasal daerah aktif yang tidak sama (termasuk yang berada di balik Matahari).



Gambar 3-6: Kondisi daerah aktif Matahari pada tanggal 20 Juli 2004. Terdapat beberapa daerah aktif yang menjadi sumber semburan, termasuk kemungkinan daerah aktif yang berada di balik Matahari (SOHO-LASCO)

3.4.2 Peristiwa semburan tanggal 23 Juli 2004

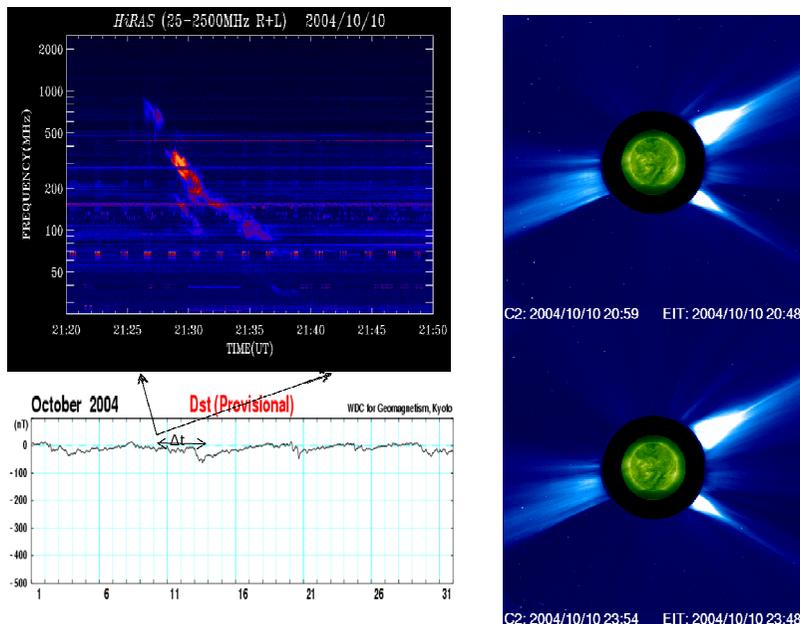
Data ledakan H α kelas SF dan ledakan sinar X kelas M2.2 bersumber dari daerah aktif yang berada pada posisi (03 $^{\circ}$ U,04 $^{\circ}$ B). Pada posisi ini sangat memungkinkan dapat mengindikasikan akan terjadi badai magnet pada hari dan atau beberapa puluh jam kemudian. Peristiwa semburan ini diprakirakan berasosiasi dengan badai magnet pada 25 dan 27 Juli 2004. Data Bz pada 25 dan 27 Juli berturut-turut -191.170 nT dan -125.360 nT, sangat mendukung akan kemungkinan terjadinya badai magnet. Dengan kondisi seperti ini, yaitu posisi daerah aktif di dekat meridian nol, ledakan sinar X yang kuat, dan arah medan magnet antar planet menuju selatan maka sangat mendukung kemungkinan akan terjadinya badai geomagnet.

Seperti halnya peristiwa semburan radio pada tanggal 20 Juli 2004, peristiwa semburan tanggal 23 Juli ini juga dipisahkan menjadi dua peristiwa, (1) yang memiliki pergeseran frekuensi cepat dan (2) yang memiliki pergeseran frekuensi lambat. Hasil olah data dalam menentukan kelajuan gelombang kejut diperoleh Semburan (1), $V_s=979$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut adalah 42,57 jam; semburan (2), $V_s=530$ km/s, sehingga waktu penjalaran gelombang kejut adalah 78,63 jam.

Beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan tipe II (23 Juli) dan Dst minimum (25 Juli) adalah 43 jam dan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan tipe II (23 Juli) dan Dst minimum (27 Juli) adalah 93 jam. Dengan demikian maka semburan tipe II yang pertama (1) dapat ditafsirkan berasosiasi dengan badai tanggal 25 Juli 2004 karena hanya memiliki beda waktu antara waktu penjarangan gelombang kejut dengan Δt kurang dari satu jam (42.57 - 43) atau 0,43 jam hanya memiliki kesalahan $\sim 1\%$, dan semburan tipe II yang kedua (2) dapat ditafsirkan berasosiasi dengan badai tanggal 27 Juli 2004 meskipun memiliki perbedaan waktu yang relatif besar (78.63-93) atau -14,37 jam atau memiliki kesalahan 18,28%.

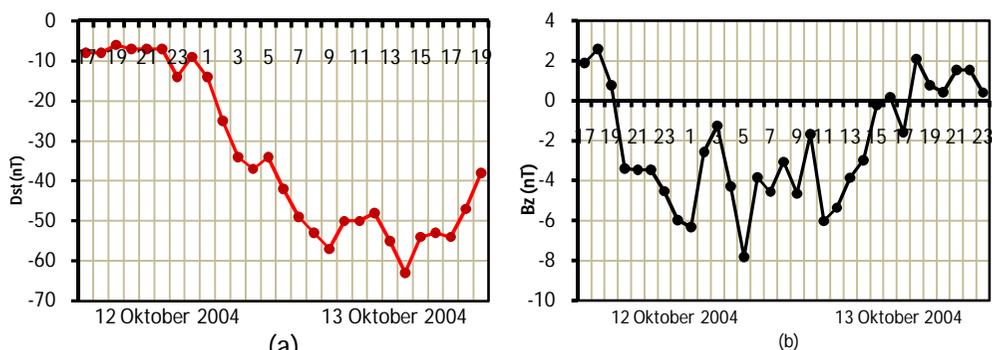
3.5 Peristiwa Semburan Radio tipe II tanggal 10 Oktober 2004

Contoh pada Gambar 3-7 adalah peristiwa semburan tipe II dengan spektra dinamik yang nampak jelas, tetapi lokasi daerah aktif sumber semburan tidak dapat terdeteksi. Daerah aktif tidak nampak karena berlokasi di balik Matahari. Lokasi di balik ini bisa berada di sisi barat atau di sisi timur belahan Matahari. Hasil pengamatan citra Matahari oleh satelit SOHO, daerah aktif yang merupakan sumber semburan radio tipe II pada peristiwa semburan tipe II tanggal 10 Oktober 2004 ini berada pada sisi barat Matahari.



Gambar 3-7: Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 10 Oktober 2004, daerah aktif sebagai sumber semburan berada dibalik Matahari sisi barat, tidak teramati namun memungkinkan berasosiasi dengan terjadinya badai magnet di atmosfer atas Bumi

Karena daerah aktif berada di sisi belahan barat Matahari, maka peristiwa semburan ini dapat menjadi indikator kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi. Hasil perhitungan kelajuan gelombang kejut dari data semburan tipe II ini sebesar 778 km/s, sehingga waktu penjarangan sampai atmosfer atas Bumi memerlukan waktu 53,56 jam. Data Dst 13 Oktober 2004 terjadi angka minimum yaitu -63 nT pada pukul 14.00 UT (Gambar 3-8a). Waktu awal peristiwa semburan tipe II pada pukul 21.26 UT (10 Oktober 2004), sehingga beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan dengan Dst minimum adalah 64,57 jam. Meskipun posisi daerah aktif tidak terdeteksi, parameter yang mendukung kemungkinan akan terjadinya badai magnet dari semburan tipe II ini adalah arah medan magnet antar planet yang menuju arah selatan magnet Bumi dengan kompen Bz bernilai negatif (-2,98 nT). Sesatan waktu antara waktu penjarangan gelombang kejut (hasil hitungan) dengan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan dengan Dst minimum sebesar -11,01 jam. Dengan demikian maka peristiwa semburan tipe II ini dapat dikatakan berasosiasi dengan badai magnet Bumi yang terjadi pada tanggal 13 Oktober 2004. Gambar 3-7b. menunjukkan komponen Bz bernilai negatif sejak tanggal 12 Oktober pukul 20 UT (pukul 19 be rnilai positif) dan kembali bernilai positif pada tanggal 18 Oktober 2004. Indeks Dst mencapai minimum (-63 nT) pada 13 Oktober 2004 pukul 14.00 UT.

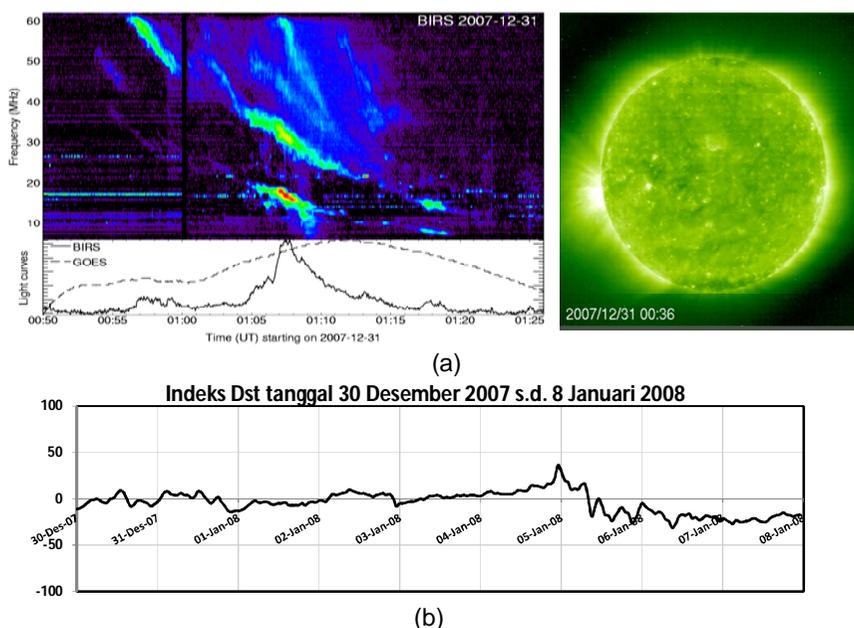


Gambar 3-8: Dst (a) dan Bz (b) tanggal 12 Oktober 2004 pukul 17.00 UT sampai dengan tanggal 13 Oktober 2004 pukul 19.00 UT. Dst mencapai minimum (-63 nT) pada 13 Oktober 2004 pukul 14.00 UT dan komponen Bz bernilai negatif sejak tanggal 12 Oktober 2004 pukul 20.00 UT (pukul 19.00 UT bernilai positif) dan kembali bernilai positif pada tanggal 13 Oktober 2004 pukul 18.00 UT

3.6 Peristiwa Semburan Radio tipe II tanggal 31 Desember 2007

Peristiwa semburan radio tipe II tanggal 31 Desember 2007 dengan waktu awal pukul 00.53 UT, terdeteksi dengan spektra dinamik yang nampak jelas. Lokasi daerah aktif tidak nampak dan seperti halnya peristiwa semburan tipe II tanggal 10 Oktober 2004, lokasi daerah aktif untuk peristiwa ini juga berada dibalik Matahari. Data citra Matahari dari satelit SOHO nampak bahwa daerah aktif berada di balik Matahari dan nampak berada disisi timur (Gambar 3-9a). Dengan informasi posisi daerah aktif seperti ini, maka peristiwa semburan radio tipe II tanggal 31 Desember 2007 dapat menjadi indikator kemungkinan tidak akan terjadi badai magnet.

Data indeks Dst yang merupakan indikator adanya badai magnet, tidak menunjukkan terjadinya badai magnet Bumi dan hanya terjadi penurunan Dst hanya sampai angka minimal -31 nT pada tanggal 6 Januari 2008 pukul 10:00 UT (Gambar 3-9b). Hasil perhitungan kelajuan muka gelombang kejut dari spektra dinamik adalah $V_s=1025$ km/s, sehingga apabila muka gelombang kejut ini sampai atau menuju ke atmosfer atas Bumi maka waktu penjarannya hanya 40,65 jam.



Gambar 3-9: (a) Peristiwa semburan radio Matahari tipe II pada tanggal 31 Desember 2007. Lokasi daerah aktif berada dibalik dan di sisi belahan timur Matahari, sehingga mengindikasikan kemungkinan tidak akan terjadi badai magnet. (b) Indeks Dst tanggal 31 Desember 2007 sampai dengan 08 Januari 2008

4 PEMBAHASAN

Enam contoh di Bab 3 membahas sebanyak 10 (sepuluh) peristiwa semburan radio Matahari tipe II. Dari 10 peristiwa semburan radio tipe II, 2 peristiwa diyakini mengindikasikan kemungkinan tidak akan terjadi badai. Keduanya terjadi di daerah aktif pada posisi di belahan timur. Namun terdapat posisi daerah aktif yang tercatat di belahan timur tetapi terdapat asosiasi yang kuat dengan kemungkinan terjadinya badai (tetapi peristiwa ini cukup kompleks, sehingga posisi di belahan timur ini diragukan perannya). Contoh yang lain meyakinkan bahwa peristiwa semburan tipe II mengindikasikan kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi, dengan posisi daerah aktif di belahan barat atau didekat meridian nol Matahari. Terdapat dua contoh peristiwa semburan tipe II yang daerah aktifnya tidak dapat terdeteksi, namun dengan bantuan citra Matahari dari satelit SOHO dapat diinformasikan kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet Bumi.

Posisi daerah aktif menjadi data masukan yang sangat penting dalam menentukan informasi kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet Bumi. Apabila terjadi peristiwa semburan tipe II sementara posisi daerah aktif tidak terdeteksi karena berada disisi dan dibalik cakram Matahari maka perlu adanya informasi tentang citra Matahari yang dapat dilihat secara *real time* dari satelit SOHO. Posisi citra radiasi (sisi barat atau sisi timur) menjadi penentu prakiraan tersebut. Pendukung lain adalah arah medan magnet antar planet menuju arah selatan atau arah utara dari tanda (+) atau (-) pada komponen Bz.

Tabel 4-1 adalah hasil analisis 10 peristiwa semburan radio Matahari tipe II. Pada tabel ini, tertulis data waktu awal terjadinya semburan tipe II (kolom 3) dan waktu minimum Dst (kolom 10). Beda waktunya (kolom 12) adalah merupakan waktu penjalaran gelombang kejut dari sumbernya sampai atmosfer atas Bumi. Waktu penjalaran gelombang kejut dapat diprakirakan dengan menganalisis dan menurunkannya dari data semburan tipe II (kolom 8). Perbedaan waktu antara data dan prakiraan waktu penjalaran gelombang kejut (kolom 13) dapat diartikan sebagai sesatan prakiraan. Apabila dibandingkan dengan prakiraannya maka sesatan dapat dinyatakan dalam % (kolom 14). Dengan nilai sesatan tersebut pada Tabel 4-1, maka dalam aplikasi selanjutnya prakiraan waktu kemungkinan akan terjadinya badai magnet perlu adanya koreksi sekitar 20% dari prakiraan waktu yang diturunkan dari analisis spektra dinamik semburan tipe II.

Tabel 4-1: DATA DAN HASIL ANALISIS 6 CONTOH PERISTIWA DAN RANGKAIAN PERISTIWA SEMBURAN TIPE II

No.	Semburan Tipe II		Flare		Lokasi daerah aktif	V_s (km/s)	WP (jam)	Dst					Sesatan (%)
	hhbbtt	Awal (UT)	X ray	H α				hhbbtt	Waktu minimum (UT)	Besar (nT)	Δt (jam)	Wp- Δt (jam)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	030300	02:12	M3.8	1B	(08°U, 03°B)	342	121,83	080300	21:00	-51	138,80	-16,97	-13,93%
2	081204	19:45	C2.5	SF	(08°U, 03°B)	444	93,59	131204	04:00	-61	104,25	-10,66	-11,39%
3	180104	00:16	X1.8	SF	(15°S, 18°T)	1405	29,59	220104	13:00	-149	108,73	Tidak berasosiasi	
	190104	20:03	C8.2	SF	(16°S, 05°B)	631	66,03	220104	13:00	-149	64,95	+1,08	+1,64%
4	200704	12:31	M8.6	3B	(10°U, 32°T)	3286	12,65	230704	02:00	-101	61,48	Tidak berasosiasi	
	200704	12:31	M8.6	3B	(10°U, 32°T)	720	57,85	230704	02:00	-101	61,48	-3,63	-6,28%
	230704	16:00	M2.2	SF	(03°U, 04°T)	979	42,57	250704	11:00	-148	43,00	-0,43	-1,01%
	230704	16:00	M2.2	SF	(03°U, 04°T)	530	78,63	270704	13:00	-197	93,00	-14,37	-18,28%
5	101004	21:26	--	--	Tidak nampak	778	53,56	131004	14:00	-63	64,57	-11,01	-20,56%
6	311207	00:53	C8.3	--	Tidak nampak	1025	40,65	---	---	---	---	Tidak ada dampak	

Keterangan tabel

- Kolom 1 nomor contoh kasus
- Kolom 2 tanggal (hh), bulan (bb) dan tahun (tt) peristiwa semburan radio Matahari tipe II
- Kolom 3 waktu awal (*start time*) peristiwa semburan radio Matahari tipe II
- Kolom 4 kelas flare sinar X
- Kolom 5 kelas flare H α
- Kolom 6 lokasi daerah aktif Matahari diperoleh dari data flare H α (U : utara, B : barat, S : selatan, dan T : timur)
- Kolom 7 kelajuan gelombang kejut (km/s) diturunkan dari spektra dinamik semburan tipe II
- Kolom 8 waktu penjarangan (WP) gelombang kejut dari sumber (kromosfer) sampai atmosfer atas Bumi, dalam satuan jam (jarak Matahari – Bumi (1 AU)/ kelajuan gelombang kejut)
- Kolom 9 tanggal (hh), bulan (bb) dan tahun (tt) peristiwa badai magnet diindikasikan dari data Dst
- Kolom 10 waktu ketika Dst minimum
- Kolom 11 besar Dst minimum dalam satuan nT
- Kolom 12 beda waktu antara waktu awal semburan tipe II sampai Dst minimum (kolom 7-kolom2)
- Kolom 13 perbedaan (sesatan) hasil hitungan waktu penjarangan gelombang kejut dengan data beda waktu antara awal semburan tipe II dan Dst minimum
- Kolom 14 sesatan (%) terhadap waktu penjarangan gelombang kejut.

5 KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa kemunculan peristiwa semburan radio tipe II dapat dijadikan prekursor kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi. Hasil analisis peristiwa semburan tipe II yaitu melihat data posisi daerah aktif, waktu awal peristiwa semburan radio tipe II, kelajuan muka gelombang kejut dan waktu penjarangan (*travel time*) sampai atmosfer atas Bumi, waktu terjadinya peristiwa badai magnet Bumi dan beda waktu (Δt) antara waktu awal semburan radio Matahari tipe II dengan waktu minimum dari Dst.

Sepuluh contoh peristiwa semburan radio Matahari tipe II menunjukkan peran informasi posisi daerah aktif dan citra Matahari yang terkait, sehingga dapat menentukan informasi awal (prekursor) kemungkinan akan terjadi atau tidak akan terjadi badai magnet Bumi. Analisis sesatan hasil hitungan waktu penjarangan gelombang kejut dengan beda waktu antara waktu awal semburan tipe II dan Dst minimum masih banyak menghasilkan nilai negatif, berarti bahwa prakiraan waktu kemungkinan akan terjadi badai magnet Bumi masih perlu diantisipasi untuk ditambah bahkan sampai ~20%.

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 10.1051/0004-636120064920.
- Cho K.-S., Moon, Y.J., Dryer, M., Shanmugaraju, A., Fry, C.D., Kim, Y.H., Bong, S.C. and Park, Y. D., 2005. *Examination of Type II Origin with SOHO/LASCO Observations*, *Journal of Geophysical Research*, 110, A12101.1-A12101.10.
- Clara Y.Y., Suratno, Gunawan A., dan Nana S., 2008. *Karakteristik Lontaran Massa Korona (CME) yang menyebabkan Badai Geomagnet*, *Jurnal Sains Dirgantara*, 6, No.1, 47-59.
- Gopalswamy N., Yasiro, S. and Akiyama, S., 2007. *Geoeffectiveness of Halo Coronal Mass Ejections*, *Journal of Geophysical Research*, 112, A06112.1-A12112.13.
- Iver H. C, Robinson P. A., and Zank G. P., 1997. *Progress on Coronal, Interplanetary, Foreshock, and Outer Heliospheric Radio Emissions*, *Electronic Publications of Astronomical Society of Australia*, 17 (1), 22.
- 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 Tipe 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. and Melrose, D. B., 1985. *Tipe II Bursts*, *Solar Radio Physics*, ed. D.J.Mc Lean & 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*, *Proceedings of The Second International Conference on Mathematics and Natural Science*, ICMNS 2008, ISBN : 978-979-1344-54-8, Institute Teknologi Bandung. October 28 – 30, 2008, 1255-1258.
- Suratno, Sulistiani S., Gunawan A. dan Muhamad J., 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*, *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*, 139-140.
- Wild, J.P., Smerd, S.F. and Weiss A.A., 1963. *Solar Bursts*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 1, 291-366.