

KEMUNCULAN SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE II PADA AKHIR SIKLUS 23 DAN AWAL SIKLUS 24 AKTIVITAS MATAHARI

SURATNO

Bidang Matahari dan Antariksa,
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN
e-mail: suratno@bdg.lapan.go.id

ABSTRAK. Meskipun matahari dalam keadaan tenang (*quiet*), namun menjelang akhir siklus ke 23 dan awal siklus ke 24 aktivitas matahari muncul kejadian semburan radio matahari tipe II. Semburan radio matahari tipe II yang muncul tanggal 31 Desember 2007 tidak berindikasi kemungkinan akan terjadi badai magnet bumi karena posisi daerah aktif berada di tepi timur matahari, arah medan magnet antar planet menuju utara dan kelas flare sinar X rendah. Sementara kejadian semburan radio matahari tipe II yang muncul tanggal 22 Desember 2009, berasal dari daerah aktif dengan posisi di belahan barat matahari, arah medan magnet antar planet menuju selatan. Meskipun aktivitas flare sinar X rendah namun dapat menjadi indikator akan adanya badai magnet dan prakiraannya terdapat sesatan sebesar 2,5 jam dari menurunnya tingkat indeks aktivitas geomagnet.

ABSTRACT. Although the sun in the quiet period, the type II solar radio bursts were emerged within the end of 23rd and early of 24th solar cycle. The type II bursts on December 31, 2007 did not indicate the possibility of the occurrence of geomagnetic storm due to the position of active region on the east limb of solar disk, the interplanetary magnetic field was northward and low class of X-ray flare. The type II bursts which was emerged on December 22, 2009, come from west solar disk and southward interplanetary magnetic field. Although the X-ray flare was low class of but it indicate the existence of geomagnetic storm and the prediction has 2.5 hours deviation from the occurrence of geomagnetic storm.

KATA KUNCI: matahari tenang, semburan radio matahari tipe II, badai magnet bumi.

KEY WORDS: quiet sun, type II solar radio bursts, geomagnetic storm.

1. Pendahuluan

Sebuah kesimpulan tentang prediksi siklus aktivitas matahari ke 24 melalui panel yang dipimpin oleh seorang ilmuwan *NOAA Space Environment Center* Douglas Biesecker, mengatakan bahwa pada bulan Maret 2008 (± 6 bulan) merupakan akhir dari siklus matahari ke 23 dan menandai awal dari siklus aktivitas matahari ke 24. Siklus aktivitas matahari ke 24 akan mencapai puncaknya pada bulan Oktober 2011 dengan bilangan sunspot maksimum sebesar 140 (± 20) atau pada bulan Agustus 2012 dengan bilangan sunspot maksimum 90 (± 10) (<http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/>). Prediksi tersebut pada awalnya menjadi sebuah harapan kenyataan ketika pada tanggal 4 Januari 2008 telah ada daerah aktif dengan kemunculan bintik matahari pada lintang yang cukup tinggi di belahan utara matahari. Hal mana merupakan tanda-tanda awal siklus ke 24. (<http://science.nasa.gov/headlines/>).

Namun kenyataan tersebut tidak berlangsung lama, matahari kembali menjadi dalam kondisi tenang, tidak terdapat kemunculan daerah aktif bahkan sampai melewati bulan dimana prakiraan awal siklus ke 24 (Maret 2008) akan mulai. Bahkan hampir sepanjang tahun 2008 dan 2009 kondisi tenang matahari tetap berlangsung. Walaupun sesekali muncul bintik matahari namun masih berada pada posisi lintang rendah yang kemudian segera lenyap. Posisi yang masih berada di dekat ekuator menandakan masih merupakan bagian dari siklus ke 23 (<http://davep-astro.blogspot.com/2008/05/quiet-sun-again.html>, <http://spaceweather.com>).

Kemudian dilakukan pembaruan prediksi siklus matahari ke 24 melalui panel diskusi tim prediksi yang dipresentasikan oleh *NOAA Space Weather Prediction Center* (SWPC) dan menghasilkan kesepakatan bahwa aktivitas matahari maksimum akan terjadi pada bulan Mei 2013 dengan bilangan sunspot maksimum hanya sebesar 90.

Pengamatan bintik matahari yang juga dilakukan di stasiun pengamat dirgantara (SPD) Tanjungsari dan Watukosek, Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa - LAPAN. Sepanjang tahun 2008 dan 2009 hanya terdapat berturut-turut jumlah data pengamatan bintik matahari 41 dan 60 data (hasil pengamatan SPD Tanjungsari) dan 32 dan 62 (hasil pengamatan SPD Watukosek).

Aktivitas matahari mulai nampak meningkat pada bulan Desember 2009, tepatnya mulai tanggal 10 Desember 2009 dengan kemunculan bintik matahari berada pada posisi lintang tinggi baik di belahan selatan maupun di belahan utara matahari serta mulai menunjukkan peningkatan jumlah bintik. Awal siklus ke 24 telah dimulai dan diyakini aktivitas matahari terus meningkat dan diharapkan prakiraan puncak aktivitas dan perioda siklus ke 24 tidak banyak meleset.

Dibalik berita di atas, terdapat suatu aktivitas matahari yang cukup menonjol pada perioda kondisi tenang ini. Ditinjau dari pengamatan matahari secara radio, salah satu indikator penting terhadap kemungkinan akan terjadinya badai magnet adalah kemunculan semburan radio matahari tipe II. Pada akhir tahun 2007, tepatnya pada tanggal 31 Desember 2007 dan pada akhir 2009 yaitu tanggal 22 Desember 2009 telah terjadi semburan radio tipe II. Dua peristiwa tersebut menarik untuk dikaji karena terjadi pada perioda ketika matahari menuju kondisi tenang dan menjelang matahari menuju aktif.

Makalah ini akan membahas 2 (dua) peristiwa kemunculan semburan radio matahari tersebut dikaitkan dengan peristiwa kejadian lontaran massa korona dan flare sinar-X dan kemungkinan akan adanya atau tidak akan ada kejadian badai magnet di media antar planet atau di atas atmosfer atas bumi.

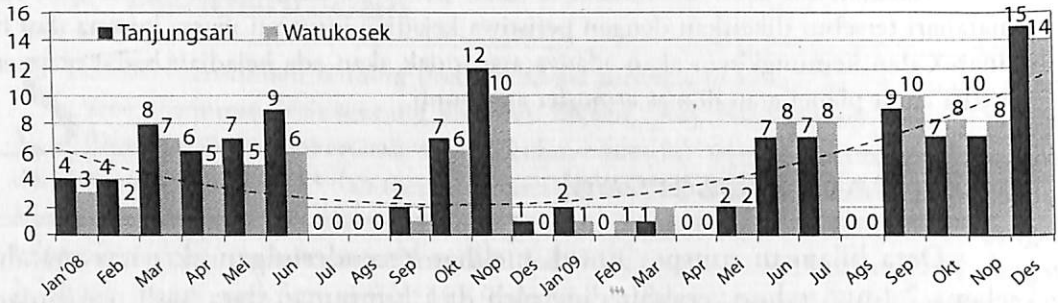
2. Data Observasi

Data bilangan sunspot untuk melihat kecenderungan aktivitas matahari selama 2 (dua) tahun terakhir diperoleh dari himpunan data hasil pengamatan matahari dari stasiun pengamat dirgantara (SPD) Tanjungsari dan Watukosek Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa - LAPAN. Data semburan radio tipe II yang terjadi pada tanggal 31 Desember 2007 merupakan hasil pengamatan matahari yang diperoleh dari *The Green Bank Solar Radio Spectrometer of National Radio Astronomy Observatory*, West Virginia (<http://gbsrbs.nrao.edu/>) dan dari *Culgoora Observatory* (<http://www.ips.gov.au>), serta peristiwa semburan radio tipe II yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2009 diperoleh dari *Culgoora Observatory* (<http://www.ips.gov.au>). Data pendukung lainnya seperti flare sinar X diperoleh dari situs <http://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/solar.html> khusus pada bagian *Solar Flare-Associated Events* dan atau <http://www.swpc.noaa.gov/>, data CME yang merupakan hasil pengamatan *Large Angle Spectroscopic Coronagraph* (LASCO) yang ditumpangkan pada satelit *Solar Heliosphere Observatory* (SOHO). http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/. Badai magnet bumi digunakan data Disturbance storm time (Dst) sebagai indikator diperoleh dari Data Center for Geomagnetism Kyoto, <http://swdcwww.kugi.kyoto.u.ac.jp>. Serta data lainnya yaitu tentang arah medan magnet antarplanet (Bz) diperoleh dari http://www.swpc.noaa.gov/ace/ace_rtsw_data.html.

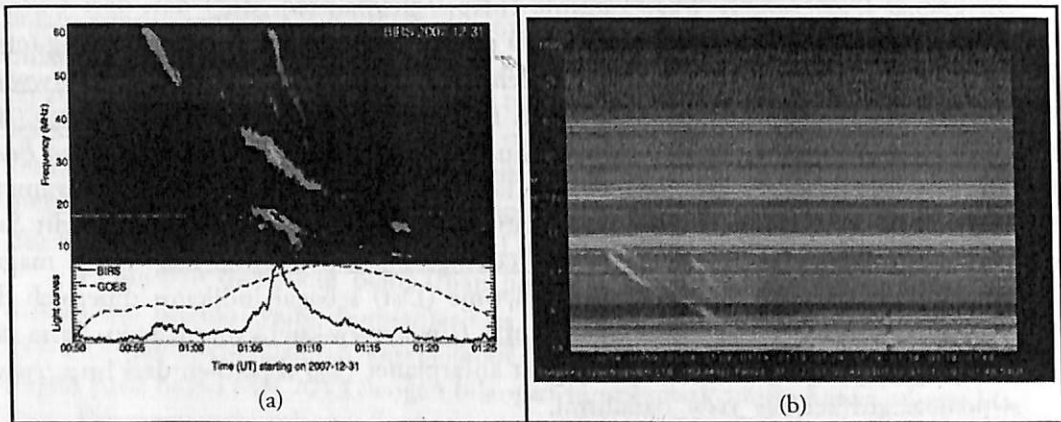
3. Analisis dan Pembahasan

Banyaknya hari pada setiap bulan dimana terlihat kemunculan bintik menjadi indikator tingkat aktivitas matahari. Tahun 2007 yang semula diperkirakan menjadi akhir siklus ke 23, ternyata masih berlanjut sampai tahun 2008/2009, sehingga akhir siklus ke 23 terjadi pada akhir tahun 2008 atau awal tahun 2009. Hasil pengamatan bintik matahari yang dilakukan di stasiun pengamat dirgantara (SPD) Tanjungsari dan Watukosek dalam selang tahun 2008 s.d. 2009 ditunjukkan pada Gambar 3.1. Kecenderungan peningkatan jumlah bintik matahari baru terjadi mulai bulan September 2009.

Pada tanggal 31 Desember 2007 terjadi semburan (*burst*) radio matahari tipe II yang mulai muncul pada pukul 00:53 UT dan terdeteksi oleh spektroskop radio di *Green Bank Solar Radio Burst Spectrometer* (GBSRBS – <http://gbsrbs.nrao.edu/>) dan observatorium Culgoora (<http://ips.gov.au>). Spektra dinamik semburan tipe II tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.2. Dengan peralatan koronagraf LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*) juga terdeteksi peristiwa CME pada pukul 01:31 UT. Kedua fenomena ini memiliki keterkaitan karena CME teramati oleh sistem pengamatan

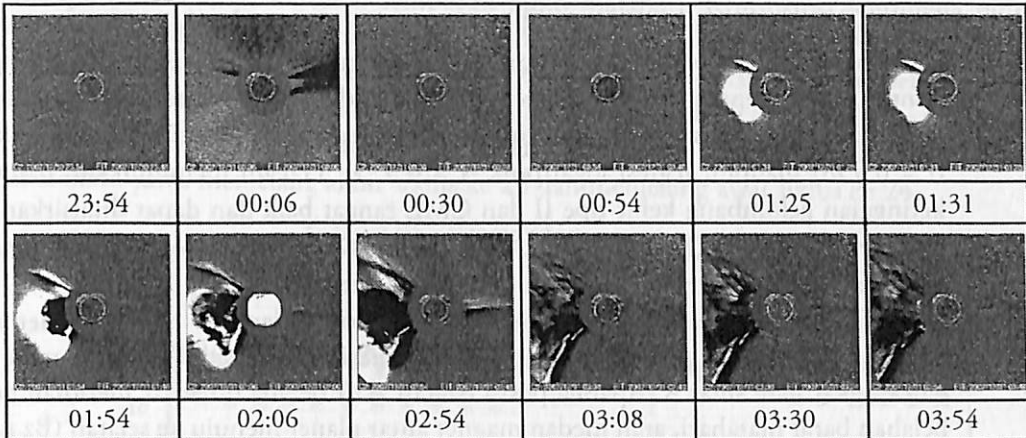


Gambar 3.1. Jumlah hari dengan kemunculan sunspot (2008-2009) hasil pengamatan Stasiun Pengamat Dirgantara Tanjungsari dan Watukosek. Selama periode 2008 s.d. 2009 adalah aktivitas minimum dan terjadi kecenderungan peningkatan (garis-garis) jumlah bintang matahari baru terjadi mulai bulan September 2009.

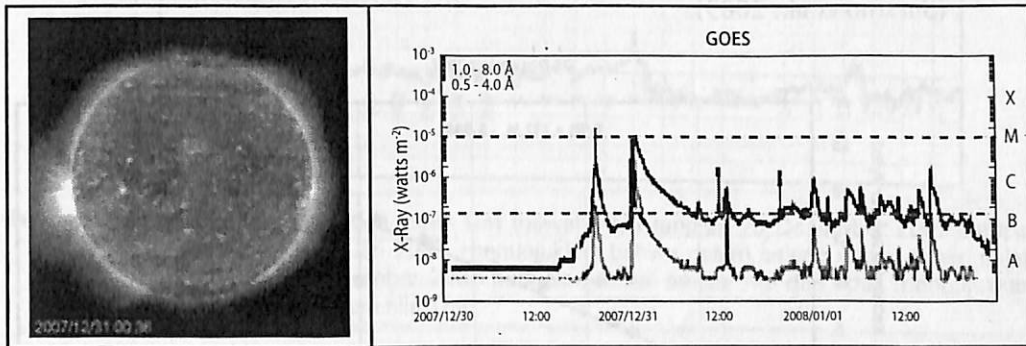


Gambar 3.2. Spektra dinamik semburan radio matahari tipe II yang terdeteksi radiospektrograf GBSRBS (a) dan dari Culgoora (b).

Spectroscopic coronagraph setelah waktu awal dari semburan radio tipe II. Hal ini terjadi karena CME baru teramati pada ketinggian 2 R_s (R_s = jejari matahari $\approx 6,95 \times 10^5$ km) atau $\approx 1,39 \times 10^6$ km, sementara semburan tipe II bersumber pada ketinggian 1,2 R_s (Cho et al., 2006). Muka gelombang kejut dari CME telah terlebih dahulu memicu terjadinya semburan radio tipe II pada ketinggian dimana CME belum dapat dideteksi oleh sistem LASCO. Gambar 3.3. adalah citra rangkaian kejadian CME dari pukul 23:54 UT sampai dengan pukul 03:54 UT yang direkam oleh C2 LASCO. CME terjadi pada posisi 92° (berlawanan arah jarum jam) dari kutub utara matahari dan memiliki lebar sudut 164° , dan diduga berhubungan dengan *flare* C8.3 yang dimulai pada pukul 00:37 UT. *Flare* C8.3 ini berasal dari tepi timur permukaan matahari yang menjauhi bumi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. sebelah kiri. Dilihat dari waktu kejadiannya, *flare* C8.3 mencapai maksimum pada pukul 01:11 UT, yaitu beberapa menit setelah terdeteksi semburan tipe II (00:53 UT). Sedangkan CME dideteksi 28 menit setelah semburan tipe II. Hal ini sesuai dengan pernyataan McKenna-Lawlor et al. (2002) bahwa waktu awal semburan tipe II biasanya dekat dengan waktu maksimum fluks sinar-X dan CME hampir selalu dimulai setelah semburan tipe II.



Gambar 3.3. Citra rangkaian kejadian CME tanggal 31 Desember 2007 yang direkam oleh C2 LASCO (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/), lingkaran putih menunjukkan posisi piringan matahari yang terhalang piringan okultasi.

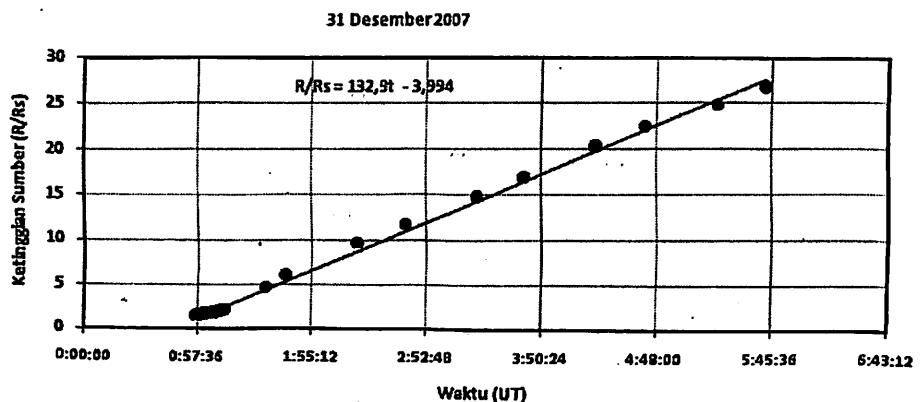


Gambar 3.4. Citra permukaan matahari (panjang gelombang 195 Å) tanggal 31 Desember 2007 (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) pukul 00:36 UT pada saat terjadi flare C8.3(kiri). Flare mencapai puncaknya pada pukul 01:11 UT (kanan).

Dengan metoda digitasi spektra dinamik semburan tipe II (Santi & Suratno, 2008), dilakukan perhitungan kelajuan muka gelombang kejut (*shock front*) dengan menggunakan persamaan $V_s = \frac{-2 \times R^2}{\ln 10 \times 4,32 R_0} \frac{df}{dt} \frac{1}{f}$ (Cho et al., 2006) diperoleh kelajuan rata-rata gelombang kejut tipe II sebesar 866.97 km/s. CME yang dideteksi oleh koronagraf C2 LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*) pada pukul 01:31 UT. CME ini memiliki kelajuan linier 1013 km/s dan kecepatan orde-2 pada ketinggian akhir sebesar 850 km/s dengan percepatan -21.2 km/s^2 . Hasil plotting perubahan ketinggian posisi (dalam satuan jejari matahari R/Rs) gelombang kejut yang diturunkan dari hasil digitasi spektra dinamik semburan radio tipe II yang digabungkan dengan perubahan ketinggian CME seperti terlihat pada Gambar 3.5. Berdasarkan plot ketinggian terhadap waktu ini dapat dilihat bahwa perubahan ketinggian gerakan gelombang kejut dari semburan tipe II melukiskan perubahan ketinggian CME selama terhalang piringan pengokultasi. Data ketinggian gelombang kejut tipe II tampak sangat rapat dibandingkan data ketinggian CME karena LASCO mencatat perubahan

ketinggian CME dengan jeda waktu yang relatif lama sedangkan data ketinggian gelombang kejut tipe II merupakan hasil perhitungan data frekuensi plasma yang kontinu dalam rentang waktu yang relatif lebih pendek. Hasil regresi data yang diperoleh menunjukkan korelasi yang sangat tinggi baik regresi linier ($r = 0.9978$), regresi kuadrat ($r = 0.998$) maupun regresi logaritmik ($r = 0.979$). Hal ini menunjukkan bahwa plot ketinggian gelombang kejut tipe II dan CME sangat baik dan dapat ditafsirkan kedua fenomena ini memiliki korelasi yang kuat yaitu bahwa gelombang kejut yang merupakan penyebab dari semburan tipe II juga merupakan gerakan CME.

Gelombang kejut ini akan menjadi penyebab terjadinya badai magnet apabila didukung dengan data lain yaitu posisi daerah aktif, arah medan magnet antar planet dan tingkat flare sinar X. Apabila posisi daerah aktif berada disekitar meridian nol atau belahan barat matahari, arah medan magnet antar planet menuju ke selatan (B_z negatif) dan flare sinar X sama atau lebih besar dari kelas M maka gelombang kejut berpotensi menimbulkan badai magnet di atmosfer atas bumi. Badai magnet ini akan muncul dalam selang waktu antara 40 dan 80 jam dari waktu awal kemunculan semburan radio tipe II (Suratno et al., 2009).

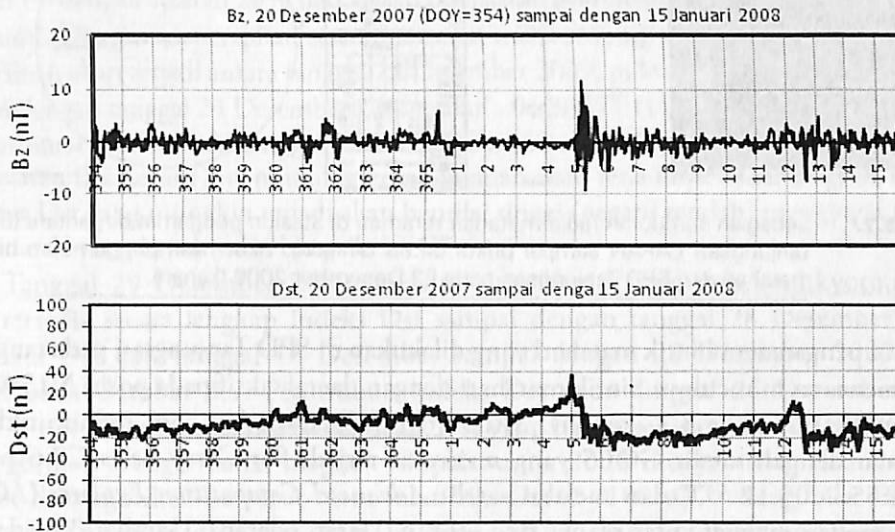


Gambar 3.5. Ploting perubahan ketinggian gelombang kejut yang diturunkan dari semburan radio tipe II (lingkaran hitam) digabungkan dengan perubahan ketinggian gelombang kejut CME (lingkaran abu abu).

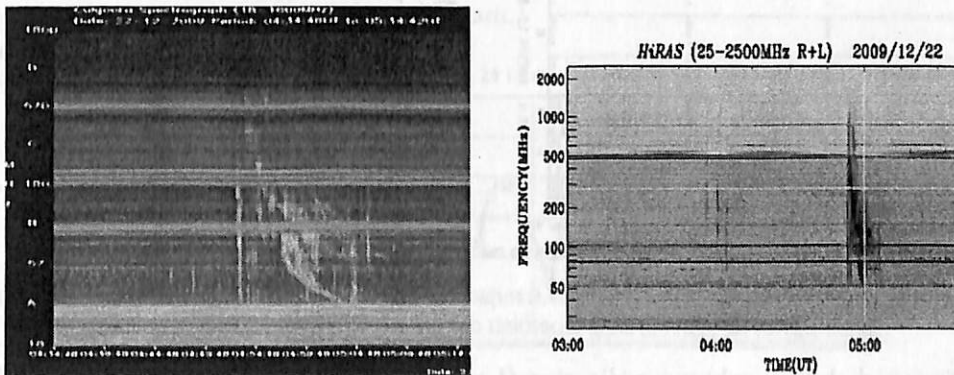
Karena posisi daerah aktif berada di tepi timur matahari, B_z bernilai positif dan atau negatif kecil dan flare hanya kelas C8.3, maka semburan radio berindikasi tidak berpotensi akan terjadi badai magnet di atmosfer atas bumi. Gambar 3.5 di bawah adalah data B_z dan indeks Dst yang menunjukkan dalam selang waktu 6 hari sejak tanggal 31 Desember 2007 data B_z bernilai sekitar nol dan tidak menunjukkan adanya penurunan nilai Dst yang signifikan. Hal ini menjadi indikasi tidak terjadi badai magnet di atmosfer atas bumi.

Seperti yang telah dituliskan terdahulu bahwa aktivitas matahari baru mulai nampak meningkat pada bulan September 2009 ditandai dengan sering munculnya bintik matahari dan terus meningkat sampai pengamatan bulan Desember 2009 (kemungkinan akan terus meningkat). Pada selang waktu hampir 2 (dua) tahun tersebut belum terjadi fenomena aktivitas matahari yang signifikan baik aktivitas flare sinar X

maupun munculnya kejadian semburan radio matahari. Khususnya fenomena radio matahari muncul kejadian semburan radio tipe II pada tanggal 22 Desember 2009. Fenomena ini cukup menarik, karena pada kondisi aktivitas matahari yang belum cukup tinggi telah terjadi fenomena semburan tipe II. Suatu tambahan catatan bahwa fenomena ini terjadi seolah-olah terjadi pada awal berakhirnya dan awal meningkatnya aktivitas matahari, yaitu menjelang akhir siklus ke 23 dan menjelang awal siklus ke 24.



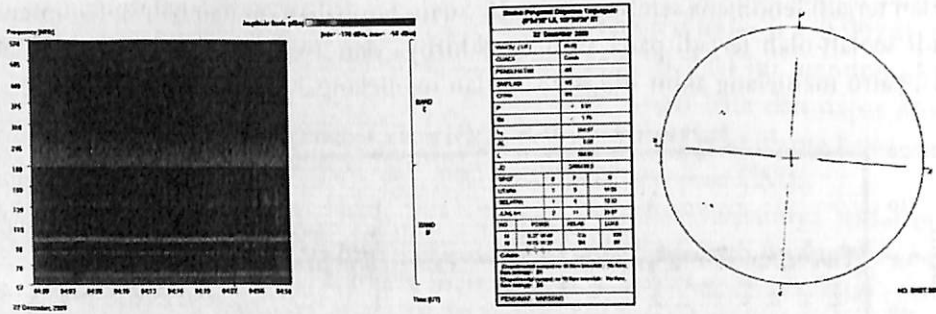
Gambar 3.5. Data Bz (atas) dan indeks Dst (bawah) dari tanggal 20 Desember 2007 sampai dengan 15 Januari 2008, menunjukkan bahwa dalam selang waktu 6 hari sejak tanggal 31 Desember 2007 data Bz bernilai sekitar nol dan tidak menunjukkan adanya penurunan nilai Dst.



Gambar 3.6. Semburan radio matahari tipe II teramati di observatorium Culgoora Australia (kiri) dan observatorium Hiraio Jepang (kanan) pada tanggal 22 Desember 2009 pukul 04:34 – 05:30 UT.

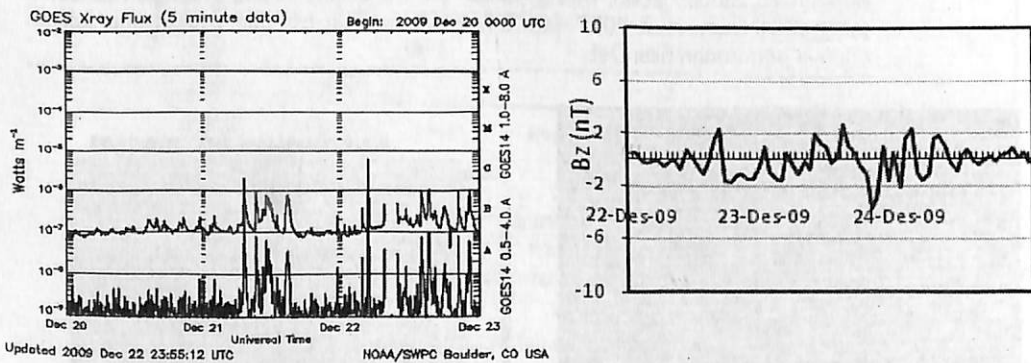
Semburan radio matahari tipe II terjadi pada tanggal 22 Desember 2009 pukul 04:54-05:09 UT, yang teramati di observatorium Culgoora-Australia dan observatorium Hiraio-Jepang (Gambar 3.6). Radiospektrograf matahari di stasiun pengamat dirgantara (SPD) Tanjungsari LAPAN yang sedang dalam percobaan pengamatan juga mencatat

kejadian semburan radio tersebut, namun disayangkan pada pukul 04:58 UT dihentikan operasional pengamatannya karena sedang dalam perawatan (Gambar 3.7, kiri).



Gambar 3.7. Sebagian semburan radio matahari teramati di stasiun pengamat dirgantara (SPD) Tanjungsari LAPAN sampai pukul 04:58 UT (kiri). Sket hasil pengamatan bintang matahari dari SPD Tanjungsari pada 22 Desember 2009 (kanan).

Hasil pengamatan bintang matahari yang dilakukan di SPD Tanjungsari pada tanggal tersebut mencatat munculnya bintang matahari dengan daerah aktif pada posisi N15W35 dan S27W43 (Gambar 3.7, kanan). Situs <http://spaceweather.com> menunjukkan pengamatan dengan satelit GOES yang mencatat terjadi flare Xray kelas C7.6 pada pukul 04:55 – 05:12 UT, dan melalui satelit *Advanced Composition Explorer* (ACE) mencatat medan magnet antar planet Bz : -0.7 nT (arah selatan). Gambar 3.8 adalah plot data flare sinar X (kiri) dan arah medan magnet antar planet Bz (kanan).



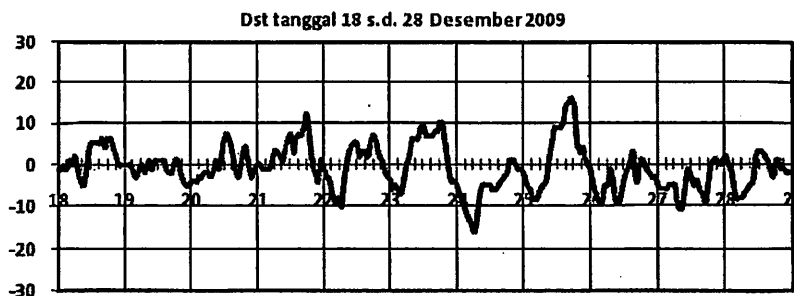
Gambar 3.8. Plotting data flare sinar X kelas C7.6 terjadi pada pukul 04:55 (kiri), dan arah medan magnet antar planet Bz (kanan). Data diperoleh dari situs <http://www.swpc.noaa.gov/ace/>.

Seperti halnya semburan radio tipe II yang terjadi tanggal 31 Desember 2007, dengan metoda digitasi spektra dinamik semburan tipe II pada data Culgoora dilakukan perhitungan kelajuan muka gelombang kejut dan diperoleh kelajuan rata-rata gelombang kejut tipe II sebesar 1047 km/s. Dengan kelajuan sebesar ini maka gelombang kejut tersebut dapat mencapai atmosfer atas bumi sekitar 39,79 jam atau hampir 40 jam.

Pada fenomena yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2009 ini, selanjutnya dilakukan analisis apakah ada kemungkinan akan atau tidak akan terjadi badai magnet di atmosfer atas bumi. Dengan posisi daerah aktif yang berada di belahan barat matahari (N15W35 dan S27W43), flare sinar X sebesar C7.6 (mendekati kelas M) dan arah medan magnet antar

planer pada tanggal 23 Desember 2009 menuju selatan ($B_z = -0,7$ nT), maka gelombang kejut berpotensi menimbulkan kemungkinan terjadi badai magnet. Karena kelajuan gelombang kejut sebesar 1047 km/s dan akan mencapai bumi dalam waktu ~40 jam, dan dihitung dari awal kemunculan semburan tipe II (tanggal 22 Desember pukul 04:54) maka diprakirakan kemungkinan badai magnet akan terjadi pada tanggal 23 Desember pukul 20:42 UT. Suratno et al. (2009) telah membuat prakiraan akan kemungkinan terjadi badai magnet ini dengan sesatan 20% dari waktu penjaralan gelombang kejut mencapai atmosfer atas bumi. Dengan menerapkan sesatan tersebut maka rentang waktu kemungkinan badai diprakiraan akan terjadi antara tanggal 23 Desember 2009, pukul ~12:37 UT (19:37 WIB) sampai dengan tanggal 24 Desember 2009 pukul ~04:30 UT (11:30 WIB). Kondisi medan magnet antar planet pada tanggal 23 s.d. 24 Desember 2009 yang lebih banyak menuju arah selatan (B_z negatif) mendukung kemungkinan akan terjadinya badai magnet, namun besarnya Dst yang mungkin terjadi akan bernilai tinggi (negatif rendah) mengingat tingkat flare sinar-X yang lemah yaitu hanya kelas C7.6.

Tanggal 29 Desember 2009, melalui situs <http://swdcwww.kugi.kyoto.u.ac.jp> telah tersedia secara lengkap indeks Dst sampai dengan tanggal 28 Desember 2009. Plot data Dst dari tanggal 18 Desember sampai dengan 28 Desember 2009 dapat dilihat pada Gambar 3.9. Penurunan indeks Dst pada tanggal 24 Desember 2009 pukul 07:00 UT mencapai -16 nT. Besar Dst yang hanya sebesar -16 nT belum dapat dikategorikan sebagai badai magnet. Gopalswamy, 2008 menyebutkan bahwa badai magnet dikategorikan berturut-turut kuat bila $Dst \leq -100$ nT, sedang bila -100 nT $\leq Dst < -50$ nT dan lemah bila -30 nT $\leq Dst < -50$ nT. Namun bila dilihat plotting serial data Dst dari tanggal 18 Desember 2009 sampai dengan 28 Desember 2009 terlihat adanya perbedaan minimum Dst yang menonjol terjadi pada tanggal 24 Desember pukul 07:00 UT bila dibandingkan dengan besar Dst sebelum dan sesudahnya. Meskipun sangat kecil, bila ini dianggap sebagai gangguan maka prakiraan prakiraan kemungkinan terjadinya badai hanya meleset sekitar 2,5 jam.



Gambar 3.9. Dst tanggal 18 s.d. 28 Desember 2009, terjadi penurunan Dst pada tanggal 24 Desember mencapai minimum (-16 nT) pada pukul 07:00 UT. Prakiraan terjadi pada 23 Desember 2009, pukul ~12:37 UT (~19:37 WIB) sampai dengan tanggal 24 Desember 2009 pukul ~04:30 UT (~11:30 WIB)

Dua peristiwa semburan radio tipe II yang terjadi pada menjelang akhir siklus ke 23 dan menjelang awal siklus ke 24 yang telah dianalisis di atas, dari sisi semburan radio tidak ada perbedaan karakteristik diantara keduanya. Tetapi dari sisi hubungan matahari bumi terdapat perbedaan yaitu tidak adanya dampak dan adanya dampak pada

atmosfer atas bumi. Peran akan kemungkinan ada atau tidak akan ada dampak pada atmosfer atas bumi adalah posisi daerah aktif dimana sumber semburan terjadi.

4. Kesimpulan

Aktivitas matahari siklus ke 23 berakhir pada akhir tahun 2008 sampai pertengahan tahun 2009 dan awal siklus ke 24 mulai pada bulan-bulan akhir tahun 2009 ditandai dengan kemunculan bintik matahari mulai bulan September 2009 dan cenderung terjadi kemunculan bintik baru dan terus meningkat. Ada kejadian semburan radio matahari tipe II yang muncul menjelang waktu-waktu akhir siklus ke 23 dan waktu-waktu awal mulainya siklus ke 24 berturut-turut terjadi pada tanggal 31 Desember 2007 dan tanggal 22 Desember 2009.

Kejadian semburan radio matahari tipe II yang muncul tanggal 31 Desember 2007 tidak berindikasi kemungkinan akan terjadinya badai magnet karena posisi daerah aktif berada di tepi timur matahari, Bz bernilai positif dan atau negatif kecil dan flare hanya kelas C8.3. Sedangkan kejadian semburan radio matahari tipe II yang muncul tanggal 22 Desember 2009, berasal dari daerah aktif dengan posisi di belahan barat matahari dan didukung pula arah medan magnet antar planet menuju selatan dan terjadi aktivitas flare sinar X, sehingga menjadi indikator adanya badai magnet. Karena tingkat aktivitas flare sinar X yang lemah maka badai magnet hanya terjadi perbedaan tingkat indek Dst yang berbeda bila dibandingkan dibandingkan dengan besar Dst sebelum dan sesudahnya. Prakiraan akan kejadian badai magnet terjadi sesatan sebesar 2,5 jam.

Meskipun berada pada selang waktu matahari dalam keadaan tenang (*quiet*), terdapat peristiwa-peristiwa semburan radio tipe II yang terjadi pada waktu-waktu transisi aktivitas matahari dari siklus ke 23 menuju ke siklus ke 24.

Daftar Pustaka

- Cho K.-S., Lee, J., Moon, Y.-J., Dryer, M., Bong, S.-C., Kim, Y.-H. and Park, Y. D., 2006, *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
- McKenna-Lawlor S.M.P., M. Driyer, Z. Smith, K. Kecskemety, C.D. Fry, W.Sun, C.S. Deehr, D. Berdichevsky, K. Kudela, and G. Zastenker, 2002, *Arrival Times of Flare/Halo CME Associated Shocks at the Earth : Comparison of the Predictions of Three Numerical Models with These Observations*, *Annales Geophysicae* **20**, 917-935.
- Santi Sulistiani & Suratno, 2008, *Digitizing 2-Dimensional Plot Pictures*, International Conference on Mathematics and Natural Sciences, Institute Teknologi Bandung, October 28 – 30, 2008
- Suratno, Santi Sulistiani, Gunawan A. dan Johan Muhamad, 2009, *Kesetaraan Kecepatan Gelombang Kejut Semburan Radio Matahari Tipe II dan Lontaran Massa Korona*, *Jurnal Sains Dirgantara*, **6**, No. 2, 109 - 123.