

ANALISIS KAITAN CME DENGAN POSISI FLARE DAN DURASI SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE II

SURATNO dan CLARA Y. YATINI

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

Abstrak. Penelitian tentang kaitan antara lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) tipe halo, posisi flare dan semburan radio tipe II yang menimbulkan badai geomagnet memperoleh hasil bahwa lokasi flare paling banyak terjadi di sekitar meridian nol matahari dan cenderung menurun untuk posisi bujur yang lebih besar. Pada meridian antara $\geq 0^\circ$ dan $< 10^\circ$, CME tipe halo dan indeks Dst memiliki rentang kecepatan dan besar Dst yang lebar, berturut-turut 291 km/detik sampai dengan 2411 km/detik, dan -110 nT sampai dengan -387 nT. Rentang waktu kejadian semburan radio matahari (*solar radio bursts*) tipe II berbanding lurus dengan kecepatan CME. Semburan radio tipe II ini baru akan terjadi bila kecepatan CME sebesar 400 km/detik atau lebih. Kaitan antara keduanya cukup tinggi dengan koefisien sebesar $r=0.62$. Komponen B_z dari medan magnet antar planet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) merupakan salah satu komponen yang berperan pada kemungkinan terjadinya badai geomagnet (indeks Dst sebagai indikator). Koefisien korelasi antara B_z dan indeks Dst sangat kuat yaitu sebesar 0.85.

Abstract. We investigate the correlation between halo type of coronal mass ejection (CME) and type II solar radio bursts related to geomagnetic storms. The result shows that the flares which related with these phenomena are located around the zero meridians and tend to decrease in greater longitude. Between the meridian of $\geq 0^\circ$ and $< 10^\circ$, the velocity and related Dst of halo type CMEs have wide ranges, i.e. the velocity ranges are 291 - 2411 kms^{-1} and Dst ranges are -110 nT and -387 nT. We get that the occurrences of type II radio burst are proportional to CME velocities. This solar radio bursts will occur only if the velocity of CME is about $\geq 400 \text{ kms}^{-1}$. Both parameter have good correlation in which the correlation coefficient is 0.62. B_z component of interplanetary magnetic field (IMF) is the cause of the geomagnetic storm (we use Dst index as an indicator). We get high correlation coefficient between B_z and Dst index is 0.85.

Kata Kunci : flare, Lontaran Massa Korona (CME), Badai Geomagnet, Semburan Radio Matahari Tipe II

1. Pendahuluan

Aktivitas matahari bervariasi secara periodik, khususnya perioda 11 tahun dikenal dengan siklus aktivitas matahari. Pada saat aktivitas maksimum, bermunculan banyak fenomena daerah aktif seperti sunspot (bintik matahari) dan flare. Fenomena flare ini mengakibatkan adanya peningkatan mendadak radiasi matahari dari gelombang pendek sampai gelombang radio dan peningkatan pancaran partikel energi tinggi berupa gumpalan plasma yang terjadi di korona matahari yang merupakan lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*). Lontaran massa yang merupakan partikel bermuatan energi tinggi oleh adanya gelombang kejut sebagai akibat dari kejadian flare.

Peningkatan arus plasma dan CME akan mengakibatkan terjadinya gangguan pada cuaca antariksa. Cuaca antariksa adalah kondisi ruang antara matahari dan bumi yang berubah-ubah yang dapat berdampak pada kondisi lingkungan bumi dan diketahui akan mengganggu komunikasi dan operasional muatan satelit dan akan menyebabkan beberapa kesalahan dalam sistem pengamatan parameter dirgantara dan navigasi.

Fenomena matahari lain yang erat terkait dengan lontaran masa korona adalah semburan radio tipe II. Kemunculannya melalui mekanisme radiasi plasma di korona yang disebabkan oleh lewatnya gelombang kejut ketika terjadi flare di kromosfer karena rekoneksi magnet (Robinson, et al., 1984). Dibelakang muka gelombang kejut terseret partikel bermuatan (dominannya adalah elektron) yang akan merangsang osilasi plasma di korona menjadikan radiasi elektromagnetik pada gelombang radio dengan intensitas radiasi yang meningkat (Reiner dan Stone, 1986). Dengan demikian semburan radio tipe II ini sangat berasosiasi dengan kejadian CME.

Magnetosfer dan atmosfer bumi melindungi kemungkinan pengaruh negatif pada sistem peralatan yang peka terhadap partikel energi tinggi dari angin surya. Garis gaya magnet yang menyelimuti bumi membelokkan secara signifikan partikel bermuatan energi tinggi. Atmosfer bumi menyerap radiasi matahari gelombang pendek yaitu sinar ultraviolet, ultraviolet ekstrem dan foton sinar-X lunak yang meningkat ketika terjadi flare. Bila kondisi tersebut tidak terjadi niscaya radiasi elektromagnetik ini akan merusak sel-sel hidup manusia/makhluk lain di muka bumi ini. Masyarakat teknologi modern dan maju ini, banyak berupaya dan diyakini dapat melindungi sistem peralatan elektronik yang peka terhadap pengaruh radiasi elektromagnetik dan partikel dari sumber eksternal bumi. Terjadinya peningkatan intensitas angin surya dan atau CME dan partikel energi tinggi juga akan mengakibatkan terganggunya struktur medan magnet bumi menjadi bergerak secara dinamis dan dikenal sebagai badai geomagnet.

Pada penelitian ini akan dibahas fenomena CME, semburan radio tipe II dan flare sebagai pemicunya. Pembahasannya menyangkut posisi dan distribusi banyaknya kejadian flare dan keterkaitan antara CME dan semburan radio tipe II. Fenomena flare dan CME yang akan dibahas adalah flare dan CME yang diduga akan menjadi pemicu kemungkinan terjadinya badai geomagnet dan dibatasi hanya untuk CME tipe halo dan partial halo. Badai geomagnet yang akan ditinjau menggunakan indikator *disturbance storm time index* (Dst) yang (negatif) besar yaitu $Dst \leq -100$ nT.

2. Metodologi dan Perolehan Data

Gopalswamy et al. (2007) mengemukakan bahwa CME yang disebabkan oleh aktivitas flare matahari dan bersumber di daerah piringan matahari merupakan CME dapat langsung berpengaruh pada bumi, khususnya CME tipe halo dan partial halo yang memiliki seluruh luasan sudut pandang 360° . Pengaruhnya terhadap kondisi atmosfer bumi adalah bisa menyebabkan kemungkinan terjadinya badai geomagnet, yang ditandai oleh penurunan indeks Dst yang cukup signifikan. Sehingga kejadian CME tersebut dapat digunakan sebagai informasi awal kemungkinan akan terjadinya badai

tersebut dan kemungkinan gangguan-gangguan ikutan lainnya (misalnya badai ionosfer).

Pada penelitian ini penelusuran dan pemilihan data yang akan digunakan untuk analisis dilakukan selama perioda dari tahun 1996 sampai dengan 2006 yaitu sekitar perioda siklus ke 23 aktivitas matahari. Data CME diperoleh dari hasil pengamatan dengan *Large Angle Spectrometric Coronagraph* (LASCO) yang ditumpangkan di satelit *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO) dan tersedia pada SOHO LASCO CME catalog http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list yang antara lain memuat parameter waktu kejadian [UT], posisi[deg], lebar sudut [deg], kecepatan [km/s], masa [gram], energi kinetik [erg]. Data flare sinar-X diperoleh dari NGDC-*National Geophysical Data Center* (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>)

Sebagai pendekatan dalam menentukan kriteria gangguan CME terhadap kemungkinan akan terjadinya badai geomagnet atau pada umumnya terhadap dinamika atmosfer bumi adalah perlunya peninjauan tentang kecepatan CME sehingga dapat diketahui kapan kemungkinan terjadinya gangguan tersebut di atmosfer bumi. Hasil penelusuran data CME tipe halo tersebut diperoleh kecepatan linier tertinggi sebesar 3387 km/detik dan terendah sebesar 104 km/detik, sehingga dapat diperkirakan CME mencapai bumi berturut-turut dalam waktu 12.3 jam dan 400.6 jam. Fenomena badai geomagnet yang berkaitan dengan gangguan di atmosfer bumi ditandai dengan *disturbance storm time index* (Dst) yang (negatif) besar. Pada penelitian ini diambil pada nilai $Dst \leq -100$ nT dan besaran komponen magnet arah meridional B_z . Data Dst diperoleh dari World Data Center for Geomagnetism Kyoto, <http://swdcwww.kugi.kyoto.u.ac.jp>, sedangkan data komponen magnetic antar planet B_z diperoleh dari *SWE experiment* (instrumen yang dimuatkan pada satelit *WIND*) tersedia pada situs <http://web.mit.edu/afs/athena/org/>.

Untuk membahas kaitan antara semburan radio tipe II dan CME perlu ditetapkan kriteria yang terkait dengan waktu awal kejadiannya. Cho et al. (2006) menyebutkan bahwa kejadian CME baru dapat dideteksi oleh LASCO paling cepat pada ketinggian 2 jejeri matahari ($R_s \approx 6.95 \times 10^5$ km), sedangkan kejadian semburan radio tipe II mulai timbul pada 1.2 R_s . Dari hasil penelusuran data kecepatan CME tipe halo (tertinggi 3387 km/detik dan terendah 104 km/detik) maka untuk mencapai ketinggian 2 R_s diperlukan waktu berturut-turut 2.74 menit dan 111.37 menit. Berdasarkan hal ini maka dapat dipilih semburan radio tipe II yang berasosiasi dengan CME.

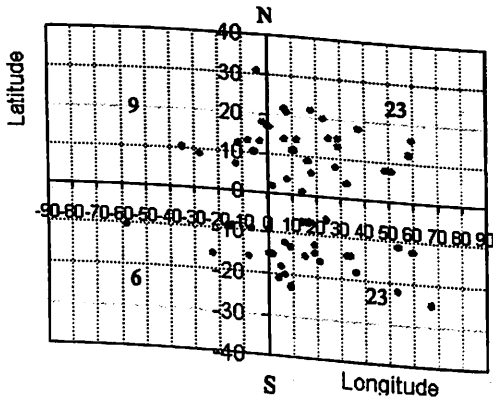
Data flare yang ditinjau adalah flare *soft X-Ray* (SXR) yang terjadi dari beberapa menit sampai sekitar 2 jam sebelum waktu deteksi CME (lihat 2,74 menit dan 111.37 menit). Data flare diperoleh dari situs <http://www.imsal.com/SXT>, data semburan radio matahari tipe II dan posisi flare tersedia pada data flare $H\alpha$ diperoleh dari National Geophysical Data Center (NGDC) situs <http://ftp.ngdc.noaa.gov>.

Pada perioda waktu tersebut terdapat 91 data Dst dengan intensitas ≤ -100 nT, dan data aktivitas matahari yang terkait dengan adanya kejadian badai geomagnet tersebut adalah 75 kejadian CME tipe halo dan partial halo, 61 data flare X ray pada intensitas yang bervariasi pada kelas C, M dan X, dan 12 data semburan tipe II yang menyertainya.

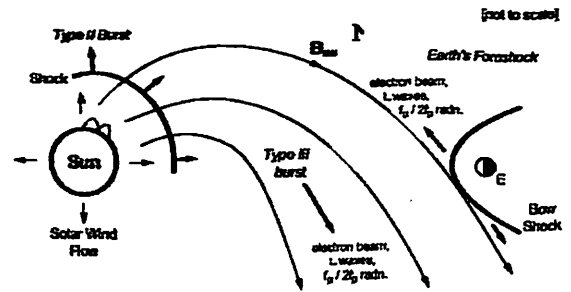
3. Hasil dan Analisis

Kejadian flare yang akan mengakibatkan badai geomagnet ini tergantung pada posisi kejadiannya di permukaan matahari. Bila posisi flare di sekitar meridian nol dan atau di bujur sebelah barat piringan matahari akan menjadi peluang besar terjadinya badai geomagnet. Hal ini terkait dengan penjalaran plasma angin surya yang cenderung berada di lintasan garis gaya magnet antar planet dimana bumi juga berada di lintasan tersebut (Gopalswamy et al., 2007).

Pada penelitian ini, dari 91 kejadian badai geomagnet dengan $Dst \leq -100$ nT ditemukan 61 kejadian (66,30%) bersamaan dengan flare SXR dan kejadian CME tipe halo. Dari 61 kejadian flare tersebut 23 flare berada pada posisi N(orth)-W(est), 23 pada posisi S(outh)-W. Dengan demikian terdapat 46 (75.41%) kejadian flare berada di belahan barat Matahari. Sisanya 9 flare berada di posisi N-E(ast) dan 6 pada posisi S-E, inipun masih berada disekitar meridian nol matahari. Gambar 3.1(a) adalah hasil plotting yang memperlihatkan posisi flare di piringan matahari sesuai dengan bujur dan lintangnya dan gambar 3.1.(b) adalah ilustrasi posisi flare dan gerakan CME atau plasma angin surya sepanjang garis gaya magnet antar planet, berpeluang menembus magnet bumi berada di tengah (sekitar meridian nol) dan belahan barat matahari dan terkait dengan garis gaya magnet yang menuju atau melewati posisi (medan magnet) bumi. Interaksinya memungkinkan terjadinya rangsangan akan terjadinya badai geomagnet.



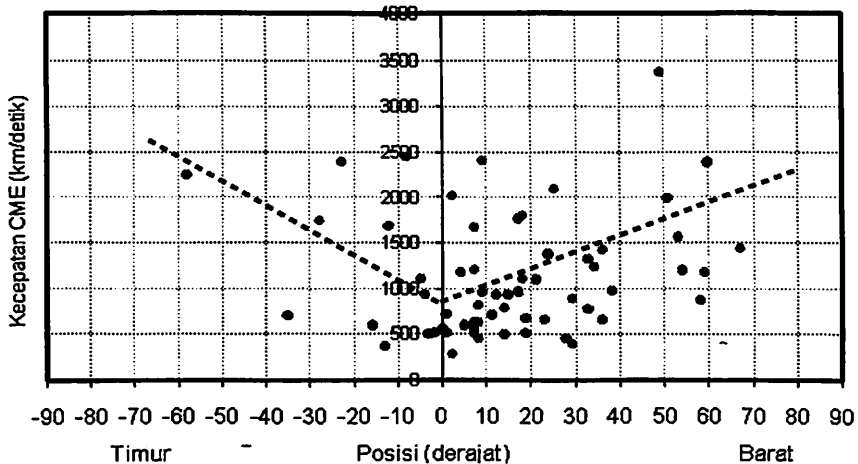
(a)



(b)

Gambar 3.1. (a) Plotting posisi flare terkait dengan fenomena CME dan badai geomagnet ($Dst \leq -100$ nT), angka : 23, 23, 6, 9 menyatakan jumlah flare pada kuadran bersangkutan, (b) ilustrasi gerakan plasma angin surya dan garis gaya magnet antar planet menuju bumi dan fenomena semburan radio matahari tipe II dan tipe III di korona (courtesy of Iver et al., 1997)

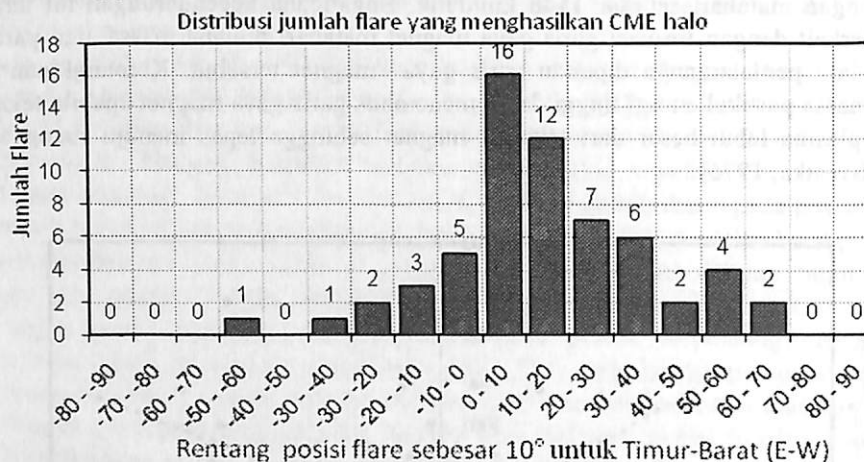
Gambar 3.2, adalah plotting data posisi pada bujur Timur – Barat (T-B) flare versus kecepatan CME. Memperlihatkan bahwa kecepatan CME tipe halo tidak tergantung pada posisi flare terjadi, namun tampak adanya indikasi kecenderungan kecepatan CME meningkat dengan berubahnya posisi ke arah tepi (bujur barat dan timur). Gopalswamy et al. (2007) melaporkan kecepatan rata-rata CME yang bersumber di daerah piringan matahari sebesar 933 km/detik, sementara CME yang bersumber dari tepi piringan matahari sebesar 1548 km/detik. Bagaimana kecenderungan ini terjadi, sangat terkait dengan formasi garis gaya magnet matahari dimana massa atau partikel yang dalam penjalarannya dipandu garis gaya magnet tersebut. Kemungkinan lain adalah massa partikel energi tinggi dapat menembus garis gaya magnet apabila tekanan kinetik plasma lebih besar dari tekanan magnet sehingga lepas menuju ruang antar planet (Svestka, 1976).



Gambar 3.2. Ploting data posisi (bujur) kejadian flare versus kecepatan CME yang terkait. Garis putus-putus (merah dan biru) menunjukkan kecenderungan besar kecepatan CME

Distribusinya seperti terlihat pada histogram (Gambar 3.3), posisi bujur antara -10° dan 0° terdapat 5 kejadian flare, dan seterusnya pada bujur $\geq 0^{\circ}$ s.d. $<10^{\circ}$, $\geq 10^{\circ}$ s.d. $<20^{\circ}$, $\geq 20^{\circ}$ s. d. $<30^{\circ}$, $\geq 30^{\circ}$ s.d. $<40^{\circ}$ berturut-turut terdapat 16 (17,6%), 12 (13,18%), 7(7,69%), 6 (6,59%) kejadian flare dan CME tipe halo, sisanya pada posisi bujur baik arah barat maupun arah timur dibawah ≤ 4 (kurang dari 4,39%) kejadian. Data ini menunjukkan bahwa banyaknya kejadian flare yang menghasilkan CME tipe halo cukup banyak disekitar meridian 0° dan cenderung menurun untuk bujur yang lebih besar. Gopalswamy et al. (2007), dalam penelitiannya yang menggunakan data CME tipe halo dengan data yang cukup banyak (3778 data dari tahun 1996 – 2005) juga mengemukakan bahwa 75% bersumber dari daerah aktif di bagian piringan matahari sementara sisanya bersumber di bagian tepi yang terjadi ketika puncak matahari aktif.

Pada histogram ini, terlihat bahwa pada rentang meridian antara $\geq 0^\circ$ dan $< 10^\circ$ terjadi kejadian CME tipe halo dengan rentang kecepatan mulai dari kecepatan rendah (291 km/detik) sampai dengan kecepatan tinggi (2411km/detik). Kenyataan ini menunjukkan bahwa bahwa CME tipe halo yang terjadi disekitar meridian nol dapat teramati meskipun hanya memiliki kecepatan yang rendah. Sementara CME yang terjadi pada posisi dengan meridian yang lebih besar cenderung memiliki kecepatan yang lebih tinggi.



Gambar 3.3. Histogram distribusi banyaknya kejadian flare yang menghasilkan CME tipe halo. Dengan mengambil rentang 10° terlihat kejadian flare banyak terjadi disekitar meridian nol.

Dalam kaitannya dengan semburan radio tipe II, semburan radio tipe ini berasosiasi kuat dengan kejadian CME. Kemunculan semburan tipe ini melalui proses-proses yang terkait dengan kejadian-kejadian flare, CME, muka gelombang kejut dan lewatnya gelombang kejut yang membawa massa partikel energi tinggi dan berinteraksi dengan plasma lokal sehingga merangsang peningkatan intensitas radiasi elektromagnetik pada frekuensi plasma (Nelson & Melrose, 1985; Svestka, 1976). Seperti dilaporkan oleh Gopalswamy et al. (2005) dan Claßen and Aurass (2002) dari hasil pengamatan dengan *WIND/WAVE experiment* dan CME dari hasil pengamatan dengan SOHO LASCO bahwa semburan radio tipe II memiliki komponen emisi pada seluruh pita gelombang yaitu gelombang meter (m), dekameter-hektometer (dh) sampai gelombang kilometer (km). Pada gelombang meter memiliki kaitan dengan CME lebih kuat dibandingkan dengan pita gelombang dh dan km, hanya sebagian kecil semburan tipe II yang secara lengkap mencakup seluruh pita gelombang tersebut (m-sampai-km) berasosiasi kuat dengan CME. Dilaporkan juga bahwa sebagian besar (78%) dari semburan tipe II berasosiasi kuat dengan kejadian *solar energetic particle* (SEP). Disisi lain, Cliver et al., (1999) melaporkan bahwa secara umum semburan radio tipe II pada gelombang meter tidak memiliki kaitan yang kuat dengan kejadian flare. Dilaporkan hanya 24% yang berasosiasi kuat dengan kejadian flare. Hanya jika terjadi flare yang

besar semburan radio tipe II memiliki kaitan yang kuat baik dengan flare maupun dengan CME pada seluruh pita gelombang dari gelombang meter sampai kilometer. Wang et al. (2005) dalam penelitiannya melaporkan bahwa kejadian flare yang besar yang terjadi pada 26-28 Oktober 2003 tidak hanya semburan radio tipe II yang berasosiasi kuat dengan CME tetapi berasosiasi kuat dengan gelombang radio yang lengkap termasuk semburan radio tipe IV dan tipe III.

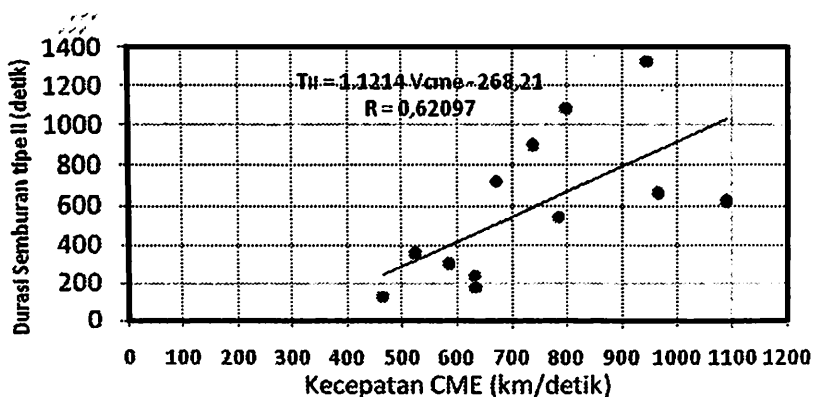
Cho *et al.* (2006) mengemukakan bahwa kecepatan gelombang kejut dapat diturunkan dari penurunan plotting ketinggian versus waktu hasil konversi dari pergeseran frekuensi semburan tipe II pada spektra dinamik. Adanya keterkaitan antara dua fenomena memunculkan skenario proses pembentukan semburan radio tipe II. Pertama, emisi radio yang disebabkan oleh flare dan gelombang kejut. Kedua, adanya gelombang kejut yang dipandu oleh bagian depan dari CME, dan ketiga, adanya gelombang kejut yang dipandu oleh bagian dalam atau sisi dari CME. Namun masih memungkinkan emisi radio semburan tipe II dengan skenario yang berbeda, yaitu semburan tipe II dapat terjadi bila kecepatan gelombang kejut lebih tinggi dari kecepatan *Alfven*. Model medan magnet daerah aktif yang dikemukakan mengestimasi *Alfvenic Mach Number* (perbandingan antara kecepatan gelombang kejut dan kecepatan *Alfen*) sebesar ~ 1.2 pada muka CME dan ~ 2 pada sisi CME. Dengan demikian gerakan masa CME memiliki laju *Alfvenic* lokal yang tinggi. Mekanismenya melalui proses radiasi plasma yaitu proses resonansi yang mana gelombang elektrostatis Langmuir diperkuat sebagai frekuensi elektron plasma. Plasma lokal dengan kerapatan elektron tertentu, dirangsang oleh temperatur yang sangat tinggi dan adanya interaksi dengan paket plasma yang bergerak melewatinya, dikonversikan dan dipancarkan sebagai gelombang transversal elektromagnetik pada frekuensi plasma dan harmoniknya dengan hubungan $f_p = 8,98\sqrt{n_e}$, f_p dalam Hz dan n_e dalam m^{-3} (White, 2007). Suratno dan Clara (2008) secara khusus telah meneliti tentang kaitan antara CME tipe halo dan semburan radio tipe II. Dari 253 kejadian CME tipe halo yang diteliti terdapat 182 ($\sim 72\%$) kejadian terkait dengan kejadian semburan radio tipe II, namun hanya memiliki koefisien korelasi sebesar $R=0.47$.

Pada penelitian kali ini, dengan kriteria bahwa semburan radio tipe II dapat terjadi satu sampai dengan dua jam sesudah kemunculan CME, hanya 12 data semburan tipe II yang menyertainya. Bagaimana kaitan antara durasi waktu kejadian semburan tipe II dan kecepatan CME dapat dilihat pada gambar 3.4. Kondisi tersebut dapat ditafsirkan bahwa dengan kecepatan yang tinggi, berarti muka CME memiliki energi yang tinggi pula, sehingga CME dapat menembus korona lebih jauh dan mampu menghasilkan semburan radio tipe II yang dapat dideteksi oleh radiospektrograf pada rentang frekuensi dan waktu yang lebar.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa CME yang dapat menimbulkan semburan radio tipe II apabila kecepatannya lebih besar dari 400 km/detik. Korelasi antara kecepatan CME (V_{cme}) dan durasi waktu semburan tipe II (T_{II}), dapat dinyatakan dalam hubungan:

$$T_{II} = 1,1214 V_{cme} - 268,21 \quad (3.1)$$

dengan koefisien korelasi sebesar $R=0,62$.



Gambar 3.4. Ploting data antara rentang waktu kejadian semburan radio matahari tipe II dan kecepatan CME yang terkait dengan badai geomagnet.

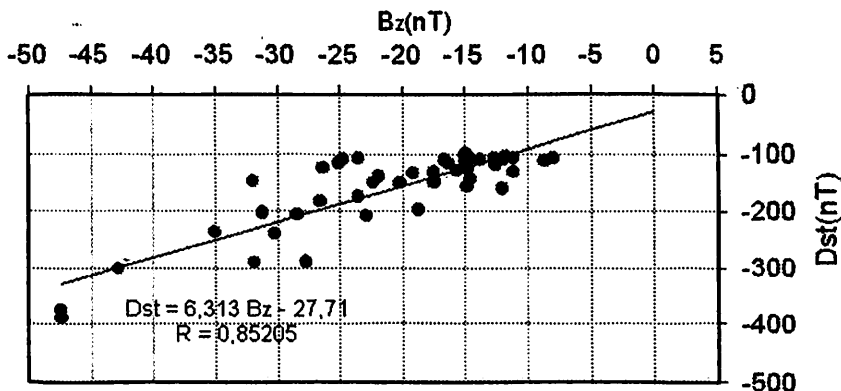
Selanjutnya, dibahas bagaimana fenomena flare tersebut merupakan sumber penyebab terjadinya badai geomagnet. Sebagaimana dijelaskan oleh Veenadhari & Alex (2006) bahwa fenomena terjadinya badai geomagnet disebabkan oleh adanya gangguan cuaca antariksa, yaitu gangguan yang disebabkan oleh adanya fenomena transien (flare) matahari. Badai geomagnet adalah gangguan besar di magnetosfer ditandai dengan penurunan indeks geomagnet (Dst), dan memiliki pola yang jelas. Badai ini secara signifikan dapat meningkatkan atau menurunkan kerapatan elektron di ionosfer (disebut badai positif atau badai negatif). Badai geomagnet terjadi bila plasma dengan kecepatan tinggi dari CME atau dari lubang korona dan berbenturan dengan medan geomagnet di atmosfer bumi. Proses rekoneksi terjadi jika plasma angin surya yang datang dengan medan magnet arah selatan bergabung erat ke dalam magnetosfer bumi di atmosfer atas. Perubahan arus cincin terestrial sebagai penyebab dari penurunan secara global medan magnet permukaan bumi. Perubahan struktur magnetosfer diketahui memberikan kontribusi yang signifikan pada dinamika ionosfer. Medan listrik dari magnetosfer dapat masuk ke lapisan ionosfer ekuator dan dalam gerakan vertikal akan merubah struktur kerapatan elektron di daerah F. Kerapatan plasma ionosfer, medan listrik dan arus listrik di daerah ekuator (lintang rendah) mengalami gangguan kuat selama selang waktu terjadinya peningkatan aktivitas geomagnet. Pada siang hari gangguan disebabkan oleh masuknya medan listrik. Penetrasi langsung medan listrik dari lintang tinggi ke lintang rendah merupakan gejala adanya badai ionosfer. Dalam penjarannya CME mencapai bumi memerlukan waktu satu sampai lima hari dari kejadian flare dan berinteraksi dengan angin surya dan medan magnet antar planet. Akibatnya, laju CME akan menyesuaikan diri dengan laju angin surya (dipercepat atau diperlambat). CME kecepatan tinggi (kira-kira >500 km/detik) dapat menimbulkan suatu muka gelombang kejut (*shock front*) bila kelajuan CME lebih tinggi dari laju *magnetosonic* lokal. Muka gelombang kejut dapat diamati secara langsung dengan coronagraphs sampai dengan ketinggian 2 R_s (jejari matahari). Fenomena ini juga terkait dengan semburan radio tipe II dan partikel energi tinggi dari matahari (Magara, 2000; Pohjolainen & Lehtinen,

2006). Penelitian lain yang mendukung adanya rangsangan badai geomagnet dilakukan oleh Seung-Mi *et al.* (2006) mengemukakan bahwa gerakan medan magnet didalam CME menuju arah selatan medan magnet bumi (arah berlawanan) sangat berperan dalam kejadian badai geomagnet.

Partikel energi tinggi sering teramati bersamaan dengan CME yang dihasilkan ketika terjadi flare atau terkait dengan gelombang kejut dalam penjaralan CME di korona dan ruang antar planet. Penjaralan paket partikel energi tinggi merupakan indikator akan terjadinya badai geomagnet. Hal penting pengamatan partikel energi tinggi adalah dapat membedakan antara sisi depan dan sisi belakang CME, dan menjadi tanda-tanda awal adanya gelombang kejut. Hasil pengamatannya dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan CME dan gelombang kejut dan tekanan magnet yang terkandung didalamnya. Magara *et al.* (2000) dalam studinya mendapatkan indikasi adanya kaitan yang kuat antara waktu transit dari gelombang kejut yang diturunkan dari pengamatan partikel energi tinggi dan intensitas badai geomagnet dari nilai Dst minimum.

Iyer *et al.* (2006) dalam penelitiannya mengemukakan adanya hubungan erat antara komponen B_z dari IMF, kecepatan CME tipe halo, dan parameter (nilai negatif) badai geomagnet Dst. Diungkapkan bahwa kejadian CME mendahului ~50 jam sebelum terjadinya badai geomagnet. Kejadian CME yang ditinjaunya memiliki laju ~1868 km/detik terjadi pada 4 Nopember 2001 dengan Dst ~ -300 nT dengan komponen B_z sebesar -60 NT, terjadi pada 6 Nopember 2001. Demikian pula halnya dengan fenomena di ionosfer yang ditandai dengan penurunan *total electron content* (TEC) sesuai dengan urutan waktu kejadiannya. Komponen B_z dari medan magnet antar planet yang berasal dari matahari merupakan komponen yang berperan terhadap kemungkinan akan terjadinya badai geomagnet. Besar atau kecilnya kompenen B_z (negatif) akan berpengaruh langsung pada indeks Dst dari badai geomagnet. Gambar 3.5. adalah plotting Dst versus komponen B_z dari medan magnet matahari. Kaitan antara kedua parameter tersebut sangat erat dengan koefisien korelasi sebesar $R= 0.85$, menurut hubungan:

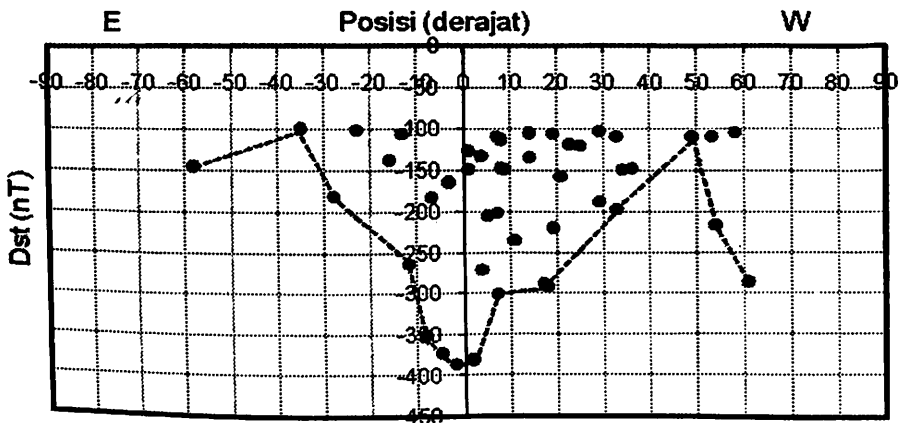
$$Dst = 6,31 B_z - 27,71 \quad (3.2)$$



Gambar 3.5. Ploting indeks (badai) geomagnet $Dst \leq -100$ nT versus komponen B_z medan magnet antar planet, menunjukkan kaitan yang kuat dengan koefisien $R= 85,25\%$

Dengan nilai koefisien korelasi yang kuat ini, menunjukkan betapa dominan pengaruh komponen B_z terhadap perubahan medan magnet bumi. Interaksi medan magnet antar planet dengan medan magnet bumi dan komponen B_z paling berperan dalam penambahan medan magnet bumi. Kuat medan yang besar dalam waktu yang mendadak merupakan badai geomagnet dan ditandai dengan peningkatan (negatif) indeks Dst.

Demikian pula kaitan antara posisi flare dan kejadian badai geomagnet. Plotting datanya terlihat pada Gambar 3.6, juga menunjukkan sebaran yang cukup lebar. Hal yang menarik pada fenomena ini adalah bahwa nilai indeks Dst terbesar (negatif) terjadi pada sekitar meridian nol, dan ada kecenderungan menurun bila posisi flare menuju belahan barat matahari (juga ke arah belahan timur). Pada posisi flare di sekitar meridian nol, akan mengakibatkan badai geomagnet dengan indeks Dst kecil (-110 nT) sampai Dst besar (-387 nT). Nilai indeks Dst (negatif) terbesar terjadi pada bujur antara $\geq -10^\circ$ dan $< 0^\circ$ (-87nT), dan bujur antara $\geq 0^\circ$ dan $< 10^\circ$ (-383 nT dan -387 nT). Kondisi ini mendukung fenomena kaitan antara kejadian badai geomagnet dan flare yang menghasilkan komponen (negatif) B_z medan magnet akan potensial terjadi bila dengan posisi flare berada di sekitar meridian nol.



Gambar 3.6. Plotting data posisi bujur (timur-barat) kejadian flare versus kejadian badai geomagnet yang terkait (dengan indikator indeks Dst). Garis putus-putus menandai kecenderungan kejadian badai geomagnet terhadap posisi flare.

4. Kesimpulan

Lokasi kejadian flare yang menghasilkan CME tipe halo cukup banyak disekitar meridian 0° dekat pusat piringan matahari dan cenderung menurun untuk posisi bujur yang lebih besar dekat tepi piringan matahari. Kecepatan CME ada indikasi kecenderungan meningkat bila flare terjadi pada bujur lebih kearah belahan barat (dan

belahan timur) matahari. Tetapi pada meridian antara $\geq 0^\circ$ dan $< 10^\circ$ kejadian CME tipe halo yang terjadi memiliki rentang kecepatan mulai dari kecepatan rendah (291 km/detik) sampai dengan kecepatan tinggi (2411 km/detik). Peningkatan medan magnet antar planet yang disebabkan oleh adanya kejadian flare matahari menjadi unsur penyebab timbulnya badai magnet bumi.

Durasi waktu kejadian semburan tipe II berbanding lurus dengan kecepatan CME dan terlihat adanya batasan bahwa CME yang dapat menimbulkan semburan radio tipe II yaitu apabila kecepatannya lebih dari 400 km/detik. Dengan demikian untuk menganalisis kejadian semburan radio tipe II dalam kaitannya dengan kemungkinan akan terjadinya badai geomagnet perlu ditinjau kecepatan CME.

Indeks Dst sebagai indikator adanya badai geomagnet juga cenderung menurun apabila kejadian flare terjadi pada posisi bujur yang lebih lebar baik arah belahan barat maupun arah belahan timur matahari. Demikian pula pada rentang meridian sekitar nol, terdapat indeks Dst dari nilai kecil (-110 nT) sampai Dst besar (-387 nT). Peran komponen B_z medan magnet antar planet yang merupakan salah satu komponen penyebab terjadinya badai geomagnet ditunjukkan oleh korelasi yang sangat kuat dengan indeks Dst dengan koefisien korelasi sebesar $R=0.85$.

Daftar Pustaka

- Cho K.S., J.Le, Y.-J.Moon, M.Dryer, S.-C.Bong, Y.-H.Kim and Y.D. Park, 2006, *A Study of CME and Type II Shock Kinematics Based on Coronal Density Measueremnts*, Astronomy & Astrophysics manuscript no. aapúcho © ESO 2006 September 12.
- Claßen H.T. and H. Aurass, 2002, *On the Association between Type II Radio Bursts and CMEs*, Astronomy & Astrophysics, **384**, 1098-1106.
- Cliver E.W.; Webb D.F.; Howard R.A., 1999, *On the Origin of Solar Metric Type II Bursts*, Solar Physics, **187**, 89-114
- Gopalswamy N., E. Aguilar-Rodriguez, S. Yashiro, S. Nunes, M. L. Kaiser, R. A. Howard, 2005, *Type II Radio Bursts and Energetic Solar Eruptions*, Journal of Geophysical Research, **110**, A12S07, doi:10.1029/2005JA011158.
- Gopalswamy N., S.Yasiro, and S. Akiyama, 2007, *Geoeffectiveness of Halo Coronal Mass Ejections*, Journal of Geophysical Research, **112**, A06112, doi:10.1029/2006JA012149.
- Iver H. C, P. A. Robinson , and G. P. Zank, 1997, *Progress on Coronal, Interplanetary, Foreshock, and Outer Heliospheric Radio Emissions*, Electronic Publications of Astronomical Society of Australia, **17** (1), 22
- Iyer K. N., R. M. Jadav, A. K.Jadeja, P.K. Manoharan, Som Sharma and Hari Om Vats, 2006, *Space Weather Effects of Coronal Mass Ejection*, J. Astrophys. Astr., **27**, 219-226
- Magara Tetsuya, Pengfei Chen, Kazunari Shibata, and Takaaki Yokoyama, 2000, *A Unified Model of Coronal Mass Ejection-related Type II Radio Bursts*, The Astrophysical Journal, **538**:L175-L178.

- Nelson G.J. & Melrose D.B., 1985, *Type II Bursts*, Solar Radio Physics, ed. D.J. McLean & Labrum. 333-359.
- Pohjolainen, S. and Niina Lehtinen, 2006, *Slow halo CMEs with shock signatures*, Astronomy and Astrophysics, **449**, pp. 359-367
- Reiner M.J., Stone R.G., 1986, *Multi-Wavelength Observations of CMEs and Associated Phenomena*, Solar Physics, **104**, 92
- Robinson R.D., Stewart R.T., Cane H.V., 1984, *Properties of metre-wavelength solar radio bursts associated with interplanetary Type II emission*. Solar Physics, **91**, 159.
- Seung-Mi Kang, Y.-J. Moon, K.-S. Cho, Yeon-Han Kim, Y. D. Park, Ji-Hye Baek, Heon-Young Chang, 2006, *Coronal mass ejection geoeffectiveness depending on field orientation and interplanetary coronal mass ejection classification*, Journal of Geophysical Research, **111**, A05102.
- Suratno dan Clara Y.Y., 2008, *Semburan Radio Matahari Type II sebagai Indikator terjadinya Lontaran Massa Korona*, Buku Ilmiah LAPAN, 45-51, ISBN:978-979-1458-14-6
- Svestka Z. 1976. *Non Thermal Phenomena*, in Solar Flares, D.Reidel Publ. Co., 143-215.
- Veenadhari B. and S. Alex, 2006, *Space Weather Effects on Low Latitude Geomagnetic Field and Ionospheric Plasma Response*, ILWS Workshop, February: 19 -24.
- Wang S.J., Y.Yan, Q.Fu, Y.Liu, and Z.Chen, 2005, *Multi-Wavelength Radio Features Associated with Large CMEs on Oct. 26-28, 2003*, Proceedings IAU Symposium No. 226, 2005.
- White, S. M., 2007, *Solar Radio Bursts and Space Weather*, Asian Journal of Physics, [//www.nrao.edu/astrores/gbrbs/Pubs/AJP_07.pdf](http://www.nrao.edu/astrores/gbrbs/Pubs/AJP_07.pdf)