

# PROBABILITAS KETERKAITAN SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE II DENGAN LONTARAN MASSA KORONA

Suratno

Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN  
e-mail: suratno@bdg.lapan.go.id

## ABSTRACT

Investigation on probability of association between type II solar radio bursts and Coronal Mass Ejection (CME), found that among 663 type II solar radio bursts, 527 (~79.49%) of them are related to CME. On the other hand, only 5.28% of the CME are associated with type II solar radio bursts. The duration of type II solar radio bursts are proportional to the speed of CME, and tend to increase with increasing of speed of CME. Both phenomena are correlated although have a small coefficient (0.28). Both phenomena are due to the passing of the shock front from solar flare, and we found that most of the CME (25.43%) have speed between 400 km/s and 600 km/s are associated to type II solar radio bursts.

## ABSTRAK

Penelitian tentang probabilitas keterkaitan antara semburan radio matahari tipe II dan lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) menunjukkan bahwa dari 663 kali kejadian semburan radio tipe II terdapat 527 (79.49%) berasosiasi dengan kejadian CME, sebaliknya hanya 5.28% kejadian CME yang berasosiasi dengan kejadian semburan radio tipe II. Durasi berlangsungnya semburan radio tipe II cenderung semakin panjang dengan peningkatan kecepatan CME, keduanya memiliki korelasi walaupun hanya memiliki angka korelasi yang rendah (0.28). Kedua fenomena tersebut terjadi karena lewatnya muka gelombang kejut ketika ada peristiwa flare matahari, dan ditemukan bahwa CME yang berasosiasi dengan semburan tipe II terbanyak (25.43%) memiliki kecepatan antara 400 km/detik dan 600 km/detik.

Kata kunci : *Solar flare, Type II solar radio bursts, Coronal Mass Ejection (CME)*

## 1 PENDAHULUAN

Semburan radio matahari (*solar radio bursts*) merupakan bagian dari wujud aktivitas matahari yang diamati pada gelombang radio. Dari hasil pengamatan dengan radio spektrograf dihasilkan spektra dinamik frekuensi versus waktu. Semburan radio dibedakan menjadi 5 (lima) tipe : tipe I s.d. tipe V, masing-masing tipe terjadi melalui mekanisme radiasi yang berbeda, yaitu termal, radiasi plasma dan radiasi sinkrotron (Melrose, 1985).

Semburan radio bersumber dari kromosfer dan atau di korona bawah matahari dan terkait dengan fenomena aktivitas matahari antara lain dengan

fenomena *flare* dan lontaran masa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*). Kejadian *flare* yang terjadi di kromosfer karena adanya proses rekoneksi garis gaya magnet. Fenomena ini diindikasikan adanya peningkatan mendadak intensitas radiasi matahari pada seluruh spektra elektromagnet dan pancaran partikel energi tinggi (Robinson et al., 1984). Fenomena flare ini penting dalam studi dan riset hubungan matahari dan terestrial karena baik langsung maupun tak langsung aktivitas ini akan berpengaruh pada lingkungan bumi. Semburan tipe II pada gelombang meter dapat diamati dari landas bumi sehingga secara langsung menjadi informasi awal tentang kemungkinan akan terjadinya



badai antariksa. Oleh karena itu dapat menjadi model peringatan dini pengaruh aktivitas matahari pada atmosfer bumi.

Semburan radio erat terkait dengan lontaran masa korona adalah semburan radio tipe II. Tipe ini timbul di korona matahari melalui mekanisme radiasi plasma yang disebabkan oleh lewatnya muka gelombang kejut disertai dengan partikel bermuatan (didominasi elektron) yang akan merangsang osilasi plasma di korona dan meningkatkan intensitas radiasi gelombang radio (Fainberg et al., 1972; Reiner & Stone, 1986).

*Coronal Mass Ejection (CME)* yang merupakan pelepasan massa gas bersamaan dengan medan magnet berlangsung dengan tiba-tiba. Fenomena ini dipicu oleh kejadian flare yang dapat diamati pada spektra *Ha* dan *X-ray* (Wang et al., 2005). Dalam perjalanan ke atmosfer bumi, CME yang juga merupakan gerakan gelombang kejut (*shock wave*) dan mengandung garis gaya magnet dengan medan magnet yang kuat dan disertai dengan partikel energi tinggi akan memiliki implikasi kemungkinan timbulnya badai magnet bumi (*geomagnetic storm*) yang besar. Lebih lanjut bisa terjadi gangguan pada lapisan atas ionosfer khususnya lapisan foF2 yang akan berdampak negatif pada komunikasi radio frekuensi tinggi (Pohjolainen & Lehtinen, 2006).

Mengingat keterkaitan yang erat antara flare, semburan radio matahari tipe II dan CME maka perlu diteliti keberadaan/kejadian dan probabilitas keterkaitannya. Sebagaimana peristiwa alam pada umumnya, banyaknya kejadian akan terdistribusi sesuai dengan distribusi *Poisson*. Dengan menggunakan data dari hasil pengamatan, probabilitas keterkaitan antara semburan radio matahari tipe II dan CME akan dibahas pada studi kali ini dengan didasarkan atas kriteria waktu timbulnya kejadian kedua fenomena tersebut. Kecepatan muka gelombang kejut (*shock front*) sebagai pemicu timbulnya semburan tipe II meng-

ekspresikan kecepatan CME juga akan dibahas keterkaitannya.

## 2 DATA YANG DIGUNAKAN

Data CME yang digunakan pada penelitian ini berasal dari CME yang diamati oleh peralatan *Large Angle Spectroscopic Coronagraph (LASCO)* yang ditumpangkan pada satelit *Solar Heliosphere Observatory (SOHO)*. LASCO adalah *coronagraph* yang berfungsi mengamati korona matahari secara langsung dari luar angkasa. Data CME dapat diperoleh dari *SOHO LASCO CME CATALOG*: [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/), memuat tabel berisi data *First C2 Appearance Date Time [UT]*, *Central Position Angle [deg]*, *Angular Width [deg]*, *Linear Speed [km/s]*, *2nd-order Speed at final height [km/s]*, *2nd-order Speed at 20 Rs [km/s]*, *Accel[m/s<sup>2</sup>]*, *Mass[gram]*, *Kinetic Energy[erg]*, *MPA [deg]*.

Data semburan radio tipe II secara penuh dalam bentuk tabel dapat diperoleh dari situs <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/>. Tabel tersebut merupakan gabungan hasil pengamatan *Solar Radio Spectrograph* di seluruh observatorium di dunia dan dihimpun oleh *National Geophysical Data Center (NGDC)*. Khususnya untuk tabel semburan radio matahari antara lain memuat informasi tentang waktu (tanggal, bulan, tahun) kejadian, selang waktu pengamatan, nama observatorium, tipe semburan, waktu awal (*start time*) dan akhir (*end time*) kejadian semburan.

Rentang waktu yang ditinjau dalam penelusuran data CME dan semburan radio tipe II adalah dari Januari 2000 sampai dengan Juni 2007, yaitu pada periode menurun aktivitas matahari siklus ke 23. Data yang cukup banyak dan lengkap sangat mendukung pada studi probabilitas keterkaitan kedua fenomena tersebut.

## 3 METODOLOGI

Korona matahari dapat diamati secara langsung dari permukaan bumi pada saat terjadinya gerhana matahari



dan LASCO menyiasati untuk membuat gerhana matahari buatan dari peralatan ini dengan cara memasang penutup di depan kameranya. Dengan *coronagraph* ini pengamatan terhadap korona dapat dilakukan sepanjang waktu tanpa perlu menunggu datangnya gerhana matahari. Gambar 3-1, pada gambar foto matahari dan atmosfernya nampak bayangan korona dan ilustrasi posisi (cakram) matahari. Terlihat bahwa pada ketinggian tertentu CME baru dapat dideteksi.

Dalam hal penelitian tentang probabilitas keterkaitan antara kedua fenomena ini, terlebih dahulu perlu ditentukan kriteria waktu kejadian. CME teramati oleh sistem pengamatan *Spectroscopic coronagraph* adalah 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 sudah bisa muncul 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 3-1 juga mengilustrasikan di mana sumber semburan radio tipe II telah muncul sementara CME masih tertutup oleh bayangan gerhana buatan.

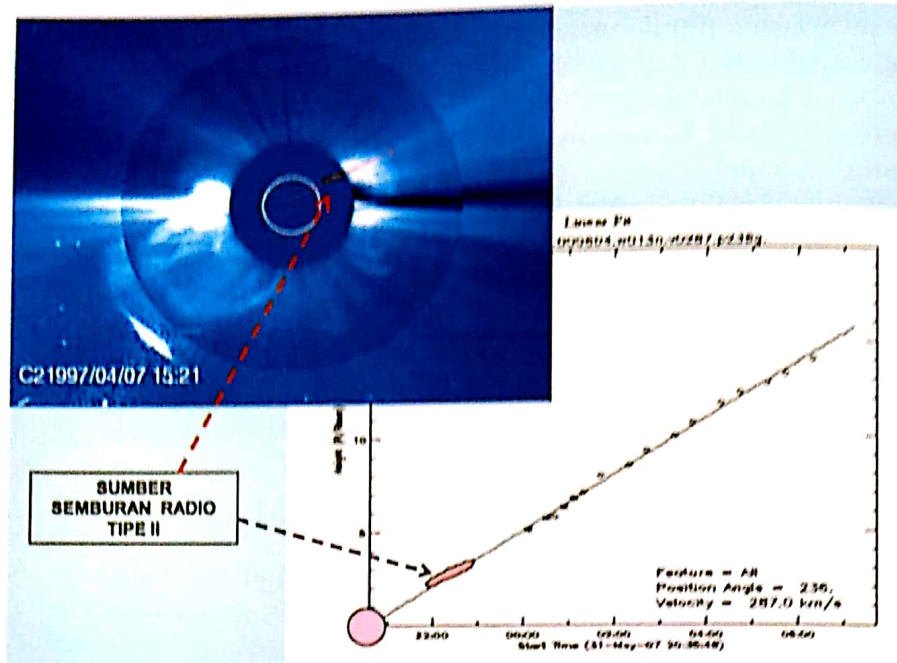
Untuk menetapkan kriteria keterkaitan antara CME dan semburan radio tipe II, perlu ditinjau waktu kejadian semburan dan waktu pertama CME terdeteksi. Ditinjau kecepatan linier CME (yang dianggap terkait dengan semburan tipe II) terendah dan tertinggi. Selama rentang waktu tahun 2000 s.d 2007 (Juni), kejadian CME tercatat data kecepatan terendah sebesar 21 km/detik dan kecepatan tertinggi sebesar 3387 km/detik. Kriteria waktu ini ditetapkan sebagai kondisi ekstrim. Ketika sumber semburan tipe II muncul di ketinggian 1.2  $R_s$  dengan kecepatan CME 21 km/detik maka sampai di ketinggian 2  $R_s$  diperlukan waktu 441.27 menit, dan jika kecepatan CME 3387 km/detik maka sampai di ketinggian 2  $R_s$  diperlukan waktu 2.74 menit. Dengan kriteria

tersebut maka CME yang berasosiasi dengan semburan tipe II bila CME terdeteksi terjadi segera atau hampir bersamaan dengan waktu awal dari semburan tipe II.

Kecepatan CME juga menyatakan kecepatan muka gelombang kejut yaitu muka gelombang yang memicu timbulnya kejadian semburan radio tipe II. Kecepatan muka gelombang kejut yang rendah (misal 21 km/detik) berarti memiliki energi kinetik yang rendah pula sehingga sangat kecil kemungkinan untuk menjadi pemicu munculnya semburan tipe II. Robinson et al. (1984) menyatakan bahwa di korona matahari, gelombang kejut (*shockwave*) terbentuk jika kecepatan *shock* lebih besar dari kecepatan magnetosonik lokal yaitu pada kecepatan Alfvén dan pada ketinggian di atas 1.5  $R_s$  kecepatan pemandu (*shock front*) dari gelombang kejut harus 500 km/detik. Oleh karena itu meskipun kriteria beda waktu sampai 441.27 menit (atau lebih dari 7 jam) tetap digunakan, namun dengan kondisi tersebut semburan radio tipe II tidak akan terbentuk.

Kriteria lain yang digunakan adalah bahwa semburan tipe II sangat mungkin terjadi pada posisi (ketinggian) di atas posisi di mana CME telah terdeteksi oleh LASCO. Hal ini berarti deteksi CME lebih dahulu dibandingkan dengan deteksi semburan tipe II sehingga perbedaan waktu kejadian antara dua fenomena ini (waktu deteksi CME dikurangi waktu deteksi semburan tipe II) bernilai negatif. McKenna-Lawlor et al. (2002), pernah meneliti tentang keterkaitan flare bersama semburan tipe II dan CME menemukan bahwa perbedaan waktu antara deteksi CME dan semburan radio tipe II adalah -6 menit sampai dengan 1 jam 14 menit. Cho et al. (2006), menganalisis keterkaitan antara semburan tipe II dan CME dengan kriteria bila semburan tipe II terjadi di bawah 90 menit sebelum kejadian CME. Disebutkan bahwa dari sebanyak 173 data semburan tipe II pada selang Februari 1997 sampai dengan Oktober 2000, terdapat 81% berasosiasi dengan CME.





Gambar 3-1: Ilustrasi posisi kemunculan semburan radio tipe II dibandingkan terhadap pengamatan CME dengan LASCO, baik pada hasil foto maupun plotting posisi versus ketinggian di korona matahari

#### 4 HASIL

Pada penelitian ini, dengan menerapkan kriteria di atas, dengan data yang diambil untuk selang waktu dari Januari 2000 sampai dengan Juni 2007 yaitu setengah siklus dari puncak ke (hampir) minimum aktivitas matahari ke 23, telah diperoleh hasil penelusuran data dan dapat diringkas (Tabel 4-1).

Dari total 9980 kali kejadian CME yang terdeteksi oleh LASCO ada 527 (5.28%) kejadian yang berasosiasi dengan kejadian semburan radio tipe II. Kondisi sebaliknya, dari total 663 kali kejadian semburan radio tipe II terdapat 527 (79.49%) kejadian yang berasosiasi dengan kejadian CME, hanya 136 (20.51%) kejadian semburan tipe II yang tidak terkait dengan CME. Dari 527 kejadian CME ini di antaranya ada 128 (24.29%) adalah CME tipe halo. Pada penelusuran kali ini, jumlah kejadian CME tipe halo pada periode waktu tersebut sebanyak 326, jadi 39.26% (128 kejadian) terkait dengan semburan tipe II. Dengan demikian, CME bukan tipe halo pada periode waktu tersebut berjumlah (9980-326) atau 9654 kejadian dan jumlah kejadian semburan tipe II yang ber-

asosiasi dengan CME bukan tipe halo adalah (663-128) atau 535 kejadian. Sehingga persentase CME terhadap kejadian total CME tipe halo yang berasosiasi dengan semburan tipe II adalah 5.54%. Suatu perbedaan yang cukup besar antara persentase CME bukan halo (5.54%) dan CME halo (39.26%) yang berasosiasi dengan semburan tipe II terhadap masing-masing totalnya.

Dari sejumlah kejadian CME dan semburan radio tipe II yang berasosiasi tersebut perlu adanya penyelidikan pada selang waktu berapa yang paling dominan. Gambar 4-1 adalah histogram jumlah kejadian semburan tipe II dan CME yang berasosiasi, dengan menetapkan selang waktu 10 menit. Hasil penelusuran diperoleh hasil terbanyak pada selang waktu 20 sampai 30 menit, yaitu sebanyak 128 kejadian semburan tipe II dan CME atau sebanyak 24,5% dari total kejadian. Kejadian yang lain berturut-turut pada selang waktu 10 s.d 20 menit sebanyak 86 kejadian (16,48%) dan pada 30 s.d 40 menit sebanyak 95 kejadian (18,20%). Pada histogram juga ditunjukkan tipe CME bukan halo dan tipe halo.

Tabel 4-1: TABEL KEJADIAN SEMBURAN TIPE II DAN CME DAN KETERKAITANNYA

TAHUN :	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 <sup>1)</sup>	JML.
CME TOTAL	1605	1489	1679	1142	1103	1244	1042	676	9980
TYPE II TOTAL	136	145	136	87	65	69	20	5	663
TYPE II DENGAN : CME	105	111	108	69	56	60	13	5	527
TYPE II TANPA CME	31	34	28	18	9	9	7	0	136
TYPE II DENGAN : CME TIPE HALO	26	28	21	15	16	22	5	0	133

<sup>1)</sup>sampai dengan Juni 2007

Banyaknya kejadian dua fenomena yang berasosiasi dengan selang waktu yang telah ditentukan tersebut terdistribusi sesuai dengan distribusi Poisson (Gambar 4-1). Apabila pada setiap selang waktu dinyatakan sebagai fungsi (x) berturut-turut untuk x = 0, 1, 2, 3, ....., probabilitasnya dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$P(X) = \frac{6.18^x \times \lambda^{-6.18}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, 3 \quad (4-1)$$

Karena semburan radio matahari tipe II dipicu oleh lewatnya muka gelombang kejut yang juga menyatakan adanya lontaran massa korona, maka antara kecepatan CME dan kejadian semburan radio matahari tipe II akan memiliki keterkaitan tertentu. Dugaan awal bahwa bila kecepatan CME tinggi, waktu yang diperlukan oleh muka gelombang kejut atau muka CME dalam penjarannya di korona matahari hanya memerlukan waktu yang lebih singkat, sehingga durasi semburan menjadi singkat dan antara kecepatan CME dan durasi semburan tipe II memiliki hubungan yang berbanding terbalik.

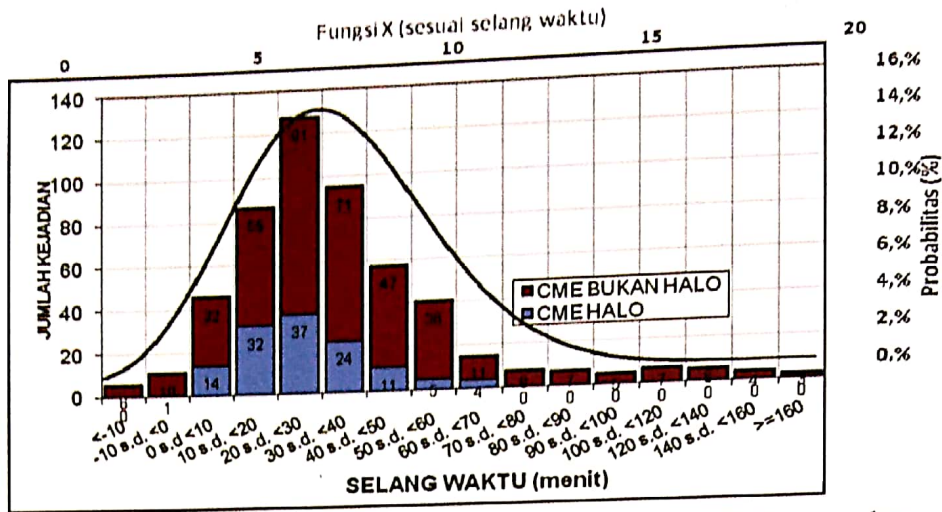
Sebaliknya, sebagai dugaan alternatif adalah bahwa dengan kecepatan yang tinggi, berarti muka CME memiliki energi yang tinggi pula, sehingga CME dapat menembus korona lebih tinggi dan menghasilkan semburan radio dalam rentang frekuensi dan durasi waktu yang panjang. Dengan demikian antara kecepatan CME dan durasi waktu kejadian semburan tipe II menjadi berbanding lurus.

Dari hasil penelusuran dengan data yang cukup banyak, ternyata dugaan pertama tidak terpenuhi (lihat diagram Gambar 4-2). Hasil yang diperoleh adalah durasi semburan radio tipe II ( $\Delta T_{II}$ ) memiliki kecenderungan bertambah dengan meningkatnya kecepatan CME ( $V_{cme}$ ). Meskipun hanya memiliki koefisien korelasi yang rendah ( $R=0.28$ ), namun hubungan dua fenomena yang berasosiasi tersebut dapat dinyatakan sebagai :

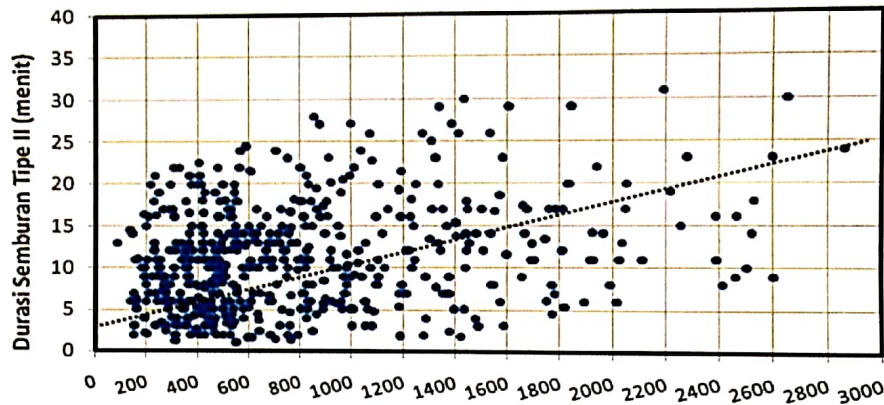
$$\Delta T_{II} = 0.003 V_{cme} + 8.439 \quad (4-2)$$

dengan durasi semburan tipe II ( $\Delta T_{II}$ ) dalam menit dan kecepatan CME ( $V_{cme}$ ) dalam km/detik.

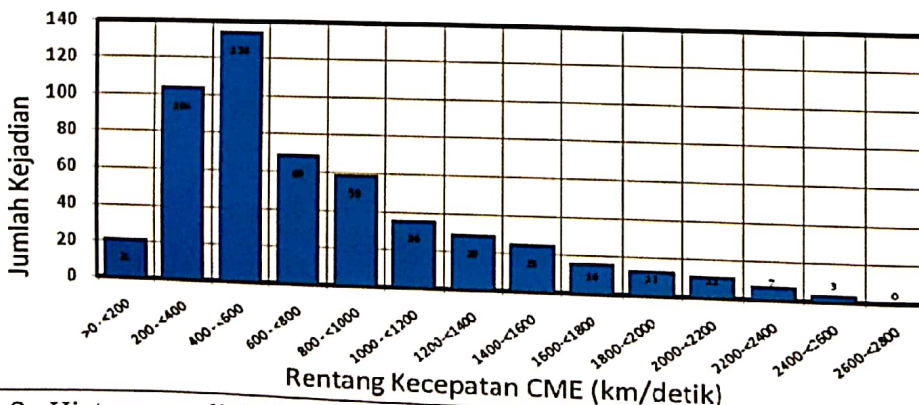




Gambar 4-1: Histogram jumlah kejadian semburan tipe II dan CME yang berasosiasi dan probabilitasnya, dengan mengambil selang waktu 10 menit. Terlihat jumlah tertinggi pada selang waktu antara 20 s.d 30 menit. Data selang waktu >160 menit hanya 3 kejadian dan data untuk selang waktu <-10 menit ada 6 kejadian



Gambar 4-2: Hubungan antara durasi semburan radio tipe II (menit) versus kecepatan CME (km/detik). Terlihat kecenderungan bahwa kecepatan CME yang tinggi mengakibatkan durasi kejadian semburan semakin panjang



Gambar 4-3: Histogram distribusi kecepatan CME yang berasosiasi dengan semburan radio matahari tipe II. Dengan rentang kecepatan 200 km/detik terlihat pada jumlah kejadian antara 400 dan 600 km/detik, dinyatakan

## 5 KESIMPULAN

Dua fenomena aktivitas matahari yang dipicu oleh lewatnya muka gelombang kejut (*shock front*) adalah semburan radio (*burst*) tipe II dan lontaran massa korona CME. Dengan kriteria yang didasarkan atas waktu awal terjadinya semburan radio tipe II dan waktu terdeteksinya CME, telah diteliti probabilitas keterkaitan antara semburan radio tipe II dan CME dengan data selama enam tahun dari tahun 2001 sampai dengan Juni 2007 yaitu selama fase menurun dari aktivitas matahari siklus ke 23. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 663 kali kejadian semburan radio tipe II terdapat 527 (79.49%) berasosiasi dengan kejadian CME, sebaliknya dari 9980 kejadian CME hanya 5.28% yang berasosiasi dengan kejadian semburan radio tipe II. Durasi berlangsungnya semburan radio tipe II cenderung berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan CME. Walaupun hanya memiliki angka korelasi yang rendah (0.28), korelasinya dapat dinyatakan sebagai  $\Delta T_{II} = 0.003 V_{CME} + 8.439$ , dengan  $\Delta T_{II}$  adalah durasi semburan tipe II (dalam satuan menit) dan  $V_{CME}$  adalah kecepatan CME dalam satuan km/detik.

### DAFTAR RUJUKAN

Cho, K. S., Y.J. Moon, M. Dryer, A. Shanmugaraju, C.D. Fry, Y.H. Kim, S.C. Bong, and Y. D. Park, 2006. *Examination of Type II Origin with SOHO/LASCO Observations*, Journal of Geophysical Research, 110, ISSN 0148-0227.

- Fainberg J., Evans L.G., Stone R. G., 1972. *Radio Tracking of Solar Energetic Particles through Interplanetary Space*, Science 178, 743.
- McKenna-Lawlor S.M.P., M. Dryer, 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.
- Melrose D.B., 1985. *Plasma Emission Mechanism in Solar Radio Physics*, ed. McLean & Labrum, Cambridge Univ. Press.
- Pohjolainen Silja and Niina Lehtinen, 2006. *Slow Halo CMEs with Shock Signatures*, Astronomy and Astrophysics, 449, pp. 359-367.
- Reiner M.J. and 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.
- 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.