

KETERKAITAN SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE II DENGAN CME DAN FLARE SINAR-X

SANTI SULISTIANI

Bidang Matahari dan Antariksa

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN

sulistiani@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Dalam tulisan ini dipelajari sepuluh peristiwa semburan radio matahari tipe II yang diduga berkaitan dengan CME dan flare sinar-X. Ketinggian dan kecepatan *shock* tipe II dihitung untuk kemudian dibandingkan dengan data ketinggian dan kecepatan CME untuk mengetahui keterkaitannya. Selain itu, dibandingkan pula waktu deteksi semburan tipe II dengan CME dan waktu maksimum flare sinar-X. Perbandingan posisi CME dengan daerah aktif penghasil flare dilakukan untuk lebih memastikan keterkaitannya. Diperoleh hasil bahwa peristiwa flare sinar-X yang diikuti oleh deteksi semburan tipe II akan dilanjutkan oleh deteksi CME pada koronagraf C2 LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*). Perhitungan ketinggian *shock* tipe II menunjukkan bahwa tujuh di antaranya menggambarkan ketinggian CME sebelum dideteksi pada medan pandang koronagraf C2 LASCO. Sedangkan hasil perhitungan kecepatan rata-rata menunjukkan bahwa tiga peristiwa lainnya tidak berkaitan dengan CME. Hal ini juga dikonfirmasi oleh perbandingan posisi CME dengan daerah aktif penghasil flare sinar-X pada piringan matahari.

Abstract. Ten type II solar radio bursts events expected to be associated with CME and X-ray flare events are analyzed. The heights and shock velocities of type II events are calculated and compared to the CMEs' in order to recognize the relationship. Furthermore, the detection times of type II events and CMEs are compared to maximum time of X-ray flares. The comparisons of positions of CMEs and active regions that produce flares are used to confirm their relation. It is found that X-ray flare events followed by type II events precede the CME detections on LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*) C2 coronagraph. The heights calculations of type II shocks show that seven of them describe the heights of CMEs before they are detected on LASCO C2 field of view. The calculations of type II shock mean velocities show that the other three are not related to CMEs. These results are confirmed by comparing the positions of CMEs and active regions that produce X-ray flares on the solar disk.

Kata kunci: CME, flare sinar-X, kecepatan *shock*, semburan tipe II.

1. Pendahuluan

Semburan radio matahari merupakan manifestasi dari aktivitas matahari yang dapat diamati pada panjang gelombang radio. Proses emisi radio ini diakibatkan oleh emisi plasma (Ginzburg & Zheleznyakov 1958, Nelson & Melrose 1985), yaitu sebuah proses yang dimulai dengan percepatan elektron pada *shock* yang bergerak. Elektron membangkitkan osilasi plasma yang kemudian bertransformasi menjadi gelombang radio. Gelombang radio ini dapat terlepas di sekitar *shock* dan dapat diamati dalam spektrum radio dinamik sebagai semburan tipe II. Peristiwa ini pertama kali ditemukan oleh Payne-Scott *et al.* (1947) dan diklasifikasikan oleh Wild dan McCready (1950). Semburan radio tipe II bergerak dari

frekuensi tinggi menuju frekuensi rendah dan dapat diamati dari stasiun landas-bumi pada panjang gelombang meter.

Walaupun selama hampir 40 tahun telah diterima secara umum bahwa semburan radio tipe II metrik adalah tanda radio dari gelombang kejut-MHD korona (Uchida 1960, Wild 1962), namun pertanyaan mengenai apakah *shock* ini adalah gelombang ledakan (*blast wave*) yang berkaitan dengan flare atau *shock* yang dikendalikan oleh pelontaran massa korona (*coronal mass ejection-CME*) sebagai piston masih terus didiskusikan (contohnya Cliver *et al.* 1999). Telaah yang dilakukan dalam tulisan ini berangkat dari pernyataan bahwa semburan tipe II berkaitan erat dengan peristiwa flare sinar-X lunak dan H α (Munro *et al.* 1979) dan CME yang bergerak dengan sangat cepat (Gosling *et al.* 1976).

Dalam tulisan ini akan diselidiki keterkaitan sepuluh peristiwa semburan tipe II dengan CME dan flare sinar-X dilihat dari kecepatan, waktu awal kejadian, dan posisinya pada permukaan matahari. Kecepatan rata-rata *shock* tipe II akan digunakan sebagai pembanding dengan kecepatan CME. Keterkaitan semburan tipe II dengan CME dan flare sinar-X akan dilihat dari waktu awal ketiga fenomena dan waktu maksimum peristiwa flare sinar-X karena menurut McKenna-Lawlor *et al.* (2002) CME hampir selalu dideteksi setelah waktu awal semburan tipe II dan waktu awal semburan tipe II dekat dengan waktu maksimum fluks sinar-X.

2. Data dan Metode

Data peristiwa semburan radio tipe II yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah citra spektrum dinamik radio dari GBSRBS-Green Bank Solar Radio Burst Spectrometer (<http://gbsrbs.nrao.edu/>) yang masing-masing menampilkan plot frekuensi terhadap waktu. Dari catalog CME LASCO-SOHO (*Large Angle Spectrometric Coronagraph-Solar a0*) (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) digunakan data CME yang meliputi waktu pertama kali dideteksi pada koronagraf C2, sudut posisi pusat (CPA-central position angle), lebar sudut, kecepatan linier, kecepatan orde-2 pada ketinggian 20 R $_s$ (R $_s$ = jejari matahari), kecepatan orde-2 pada ketinggian akhir, dan percepatan. Sedangkan data peristiwa flare sinar-X diperoleh dari NGDC-National Geophysical Data Center (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>), meliputi waktu awal, waktu maksimum, posisi, dan klasifikasinya. Citra permukaan matahari dari SolarMonitor.org (<http://www.solarmonitor.org/>) digunakan juga untuk membandingkan posisi peristiwa flare dengan CME.

Data spektrum dinamik radio yang masih berupa citra digital dua-dimensi ini harus melalui proses digitasi sebelum dapat digunakan untuk menghitung kecepatan *shock* tipe II. Setelah dilakukan proses digitasi maka akan diperoleh nilai frekuensi plasma yang berubah terhadap waktu. Nilai frekuensi ini lalu digunakan untuk menghitung kecepatan *shock* tipe II dengan menggunakan persamaan yang diturunkan dari Cho *et al.* (2005) sebagai berikut:

$$V_s = \frac{-2 \times R^2}{\ln 10 \times 4.32 R_s} \frac{df}{f} \quad (2.1)$$

dengan f adalah frekuensi plasma yang dinyatakan dalam MHz, sedangkan R adalah ketinggian muka *shock*, dinyatakan dalam R_s , yang diturunkan dari Newkirk (1961) sebagai berikut:

$$R = \frac{2.16}{\log\left(\frac{f}{2.97}\right)} \tag{2.2}$$

3. Hasil Dan Pembahasan

Pada Tabel 3.1 ditunjukkan hasil perhitungan kecepatan *shock* tipe II (kolom 4) menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) yang dibandingkan dengan kecepatan linier (kolom 6) dan orde-2 CME pada ketinggian $20 R_s$ (kolom 7). Secara umum, kecepatan rata-rata *shock* tipe II lebih tinggi daripada kecepatan CME yang diduga berkaitan dengannya.

Tabel 3.1.

Hasil perhitungan kecepatan *shock* tipe II dibandingkan dengan kecepatan CME dan nilai ketepatan plot gabungan ketinggian *shock* tipe II dan CME terhadap waktu.

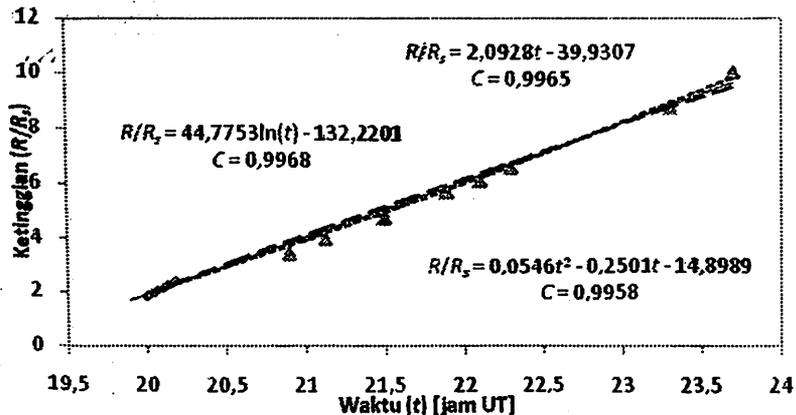
No	Tanggal	Semburan tipe II		CME			Ketepatan regresi plot ketinggian vs waktu			
		Waktu Awal [UT]	V_s [km/det]	Waktu Awal [UT]	Kecepatan [km/det] Linier	Kecepatan [km/det] Orde-2 [20 R_s]	Percepatan [km/det ²]	Linier	Kuadrat	Logaritma
1	13/05/2005	16:41	1999	17:12	1689	-	-	0.9903	0.9936	0.9897
2	14/05/2005	20:46	795	20:56	789	1037	21.4	0.9327	0.9743	0.9296
3	15/05/2005	22:41	1345	23:26	379	1070	43.5	0.8421	0.9245	0.8463
4	31/05/2005	14:45	1127	15:32	313	245	-2.9	0.9985	0.9994	0.9995
5	11/10/2005	17:34	1302	18:26	250	344	2.6	0.9560	0.9573	0.9550
6	22/05/2006	19:59	770	20:54	448	549	5.4	0.9965	0.9968	0.9958
7	28/11/2006	15:02	2134	20:57	276	0	-47.3	0.5548	0.6827	0.5598
8	19/05/2007	12:50	1250	13:24	958	871	-13.4	0.9984	0.9988	0.9970
9	22/05/2007	14:36	1203	16:09	544	614	7.9	0.9973	0.9995	0.9936
10	31/12/2007	00:53	1025	01:31	995	869	-17.9	0.9992	0.9994	0.9816

Tiga kolom terakhir pada Tabel 3.1 masing-masing menunjukkan nilai ketepatan regresi linier, kuadrat, dan logaritma untuk gabungan plot ketinggian terhadap waktu semburan tipe II dan CME pada koronagraf C2 LASCO. Sembilan set data paling baik didekati oleh regresi kuadrat, satu set data lainnya (yaitu peristiwa tanggal 31 Mei 2005) lebih baik didekati oleh regresi logaritma. Hal ini menunjukkan bahwa sepuluh peristiwa semburan tipe II dan CME yang dipelajari di sini tidak menjalar secara linier, sesuai dengan gejala alam pada umumnya.

Pada Gambar 3.1 ditunjukkan plot ketinggian terhadap waktu untuk gabungan peristiwa semburan tipe II dan CME pada tanggal 22 Mei 2006. Kedua peristiwa ini dapat

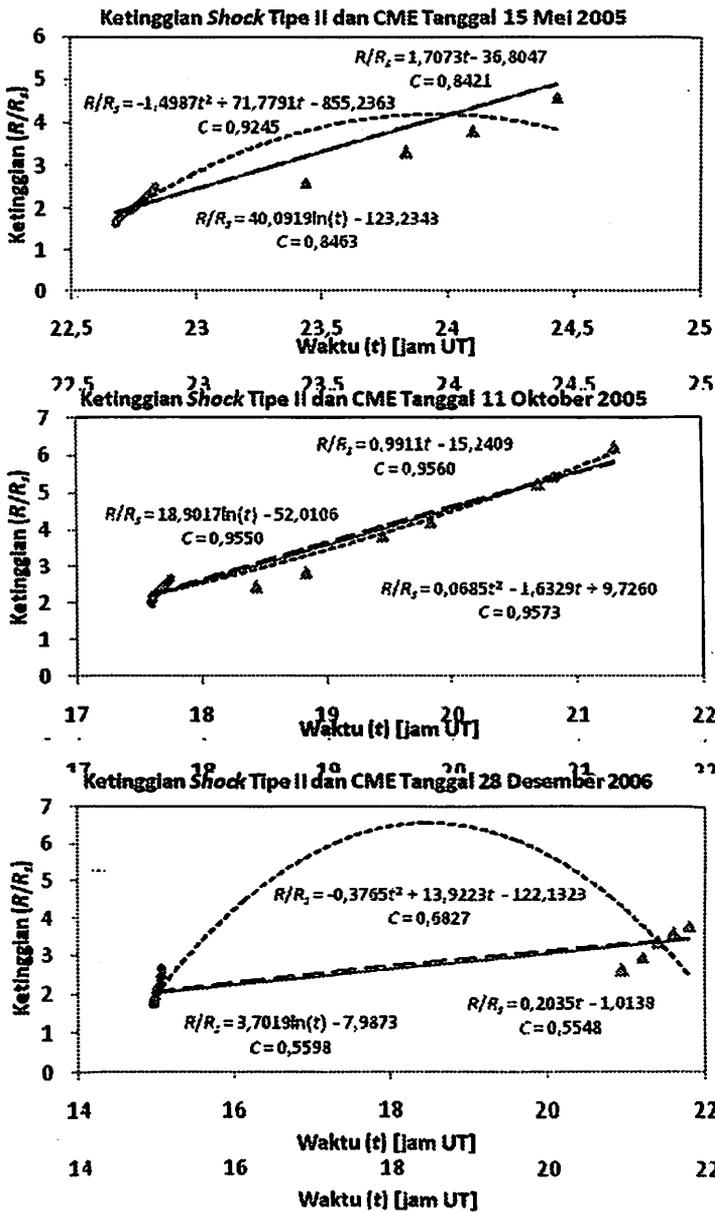
didekati dengan baik oleh persamaan linier, kuadrat, maupun logaritma dengan ketepatan di atas 0.99 (lihat Tabel 3.1). Dapat dilihat pada Gambar 3.1 bahwa ketinggian *shock* tipe II menggambarkan ketinggian CME selama terhalang oleh piringan okultasi pada koronagraf C2 LASCO. Keterkaitan antara ketinggian *shock* tipe II dengan CME ini serupa dengan enam set data lainnya, yaitu peristiwa tanggal 13, 14, 31 Mei 2005, 19, 22 Mei 2007, dan 31 Desember 2007, di mana ketinggian *shock* tipe II menggambarkan ketinggian CME selama terhalang piringan okultasi pada koronagraf C2 LASCO.

Plot ketinggian terhadap waktu untuk gabungan peristiwa semburan tipe II dan CME pada tanggal 15 Mei 2005, 11 Oktober 2005, dan 26 November 2006 ditampilkan pada Gambar 3.2, menunjukkan bahwa peristiwa semburan tipe II tidak berkaitan dengan CME karena ketinggian *shock* tipe II tidak menggambarkan ketinggian CME selama terhalang piringan okultasi pada koronagraf C2 LASCO. Regresi kuadrat pada plot ketinggian terhadap waktu untuk peristiwa tanggal 15 Mei 2005 dan 28 November 2006 tampaknya tidak lazim –ketinggiannya mencapai maksimum pada suatu saat lalu berkurang lagi– karena materi matahari yang terlepas bersama CME tidak mungkin kembali ke permukaan matahari. Dari hasil perhitungan kecepatan untuk tanggal 15 Mei 2005, 11 Oktober 2005, dan 28 November 2006 (lihat Tabel 3.1) juga dapat dilihat bahwa kecepatan rata-rata *shock* tipe II tidak dapat dibandingkan dengan kecepatan CME, di mana kecepatan rata-rata *shock* tipe II jauh lebih tinggi daripada kecepatan CME yang diduga berkaitan dengannya, dengan selisih kecepatan melebihi 800 km/detik.



Gambar 3.1. Plot ketinggian terhadap waktu untuk peristiwa semburan tipe II dan CME pada tanggal 22 Mei 2005. Perubahan waktu untuk ketinggian *shock* tipe II dinyatakan sebagai titik-titik yang membentuk garis tebal, sedangkan perubahan ketinggian CME dinyatakan sebagai titik-titik segitiga. Garis tipis yang hampir berimpit menunjukkan regresi linier (hitam), kuadrat (titik-titik), dan logaritma (putus-putus). Ditunjukkan pula persamaan dan ketepatan masing-masing regresi. Ketinggian *shock* tipe II menggambarkan ketinggian CME selama terhalang piringan okultasi pada koronagraf C2 LASCO.

Plot ketinggian *shock* tipe II pada Gambar 3.1 dan 3.2 tampak sangat rapat dibandingkan dengan data ketinggian CME karena LASCO mencatat perubahan ketinggian CME dengan jeda waktu yang relatif panjang sedangkan data ketinggian *shock* tipe II merupakan hasil perhitungan data frekuensi plasma yang kontinu dalam rentang waktu yang relatif lebih pendek.



Gambar 3.2. Plot ketinggian terhadap waktu untuk peristiwa semburan tipe II dan CME pada tanggal 15 Mei 2005, 11 Oktober 2005, dan 28 November 2006. Perubahan ketinggian shock tipe II dinyatakan sebagai titik-titik yang membentuk garis tebal, sedangkan perubahan ketinggian CME dinyatakan sebagai segitiga. Garis tipis menunjukkan regresi linier (hitam), kuadrat (titik-titik), dan logaritma (putus-putus). Ditunjukkan pula persamaan dan ketepatan masing-masing regresi.

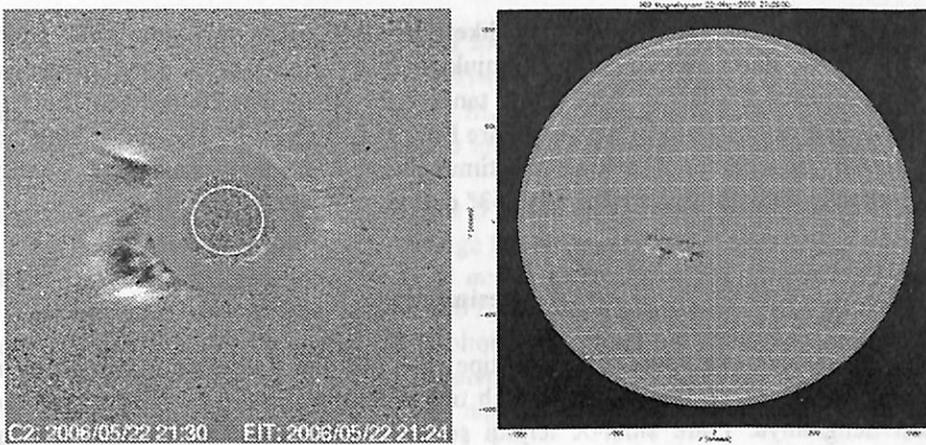
Pada Tabel 3.2 ditampilkan perbandingan waktu awal peristiwa semburan tipe II (kolom 3), CME (kolom 4) dan flare sinar-X (kolom 7), posisi peristiwa CME (kolom 5) dan flare sinar-X (kolom 10). Dari data waktu kejadian dapat dilihat bahwa semua set data peristiwa semburan tipe II dan flare sinar-X yang dipelajari menunjukkan keterkaitan, mengikuti pernyataan McKenna-Lawlor et al. (2002) bahwa CME hampir selalu dideteksi setelah waktu awal semburan tipe II dan waktu awal semburan tipe II dekat dengan waktu maksimum fluks sinar-X.

Tabel 3.2.

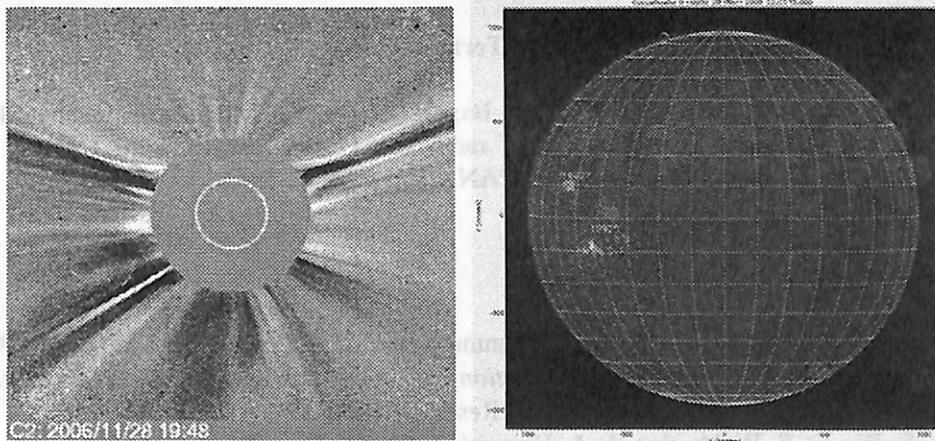
Perbandingan data waktu kejadian semburan tipe II, CME, dan flare sinar-X serta lokasi CME dan flare sinar-X pada piringan matahari.

No	Tanggal	Waktu awal tipe II [UT]	CME			Flare sinar-X			
			Waktu awal [UT]	Posisi sudut [°]	Lebar sudut [°]	Waktu awal [UT]	Waktu maks. [UT]	Kelas	Lokasi (NOAA)
1	13/05/2005	16:41	17:12	Halo	360	16:13	16:57	M8.0	N12E11 (10759)
2	14/05/2005	20:46	20:56	261	115	20:18	20:58	C2.8	-(10758)
3	15/05/2005	22:41	23:26	125	179	22:27	22:36	M3.5	S16E15 (10763)
4	31/05/2005	14:45	15:32	289	134	14:33	14:42	C2.4	N13W23 (10770)
5	11/10/2005	17:34	18:26	271	68	17:20	17:27	C1.1	-(10814)
6	22/05/2006	19:59	20:54	104	118	19:37	19:52	B6.4	S13E14 (10884)
7	28/11/2006	15:02	20:57	263	28	14:51	15:10	B4.0	-(10926)
8	19/05/2007	12:50	13:24	260	106	12:48	13:02	B9.5	-(10956)
9	22/05/2007	14:36	16:09	276	108	14:30	14:47	B3.9	N03W46 (10956)
10	31/12/2007	00:53	01:31	92	164	00:37	01:11	C8.3	[tepi timur]

Namun berdasarkan data posisi pada piringan matahari dapat dilihat bahwa hanya tujuh peristiwa CME saja yang berkaitan dengan flare sinar-X. Tujuh CME yang berkaitan dengan flare sinar-X ini adalah CME yang berkaitan dengan semburan tipe II berdasarkan perhitungan kecepatan dan plot ketinggiannya terhadap waktu, seperti yang telah dibahas di atas. Untuk lebih memastikan ketepatan posisi CME dengan flare sinar-X yang diduga berkaitan dengannya, digunakan perbandingan citra CME dengan citra daerah aktif penghasil flare di matahari, misalnya untuk peristiwa tanggal 22 Mei 2006 seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3. Daerah aktif NOAA 10884 penghasil flare B6.4 berada pada kuadran selatan-timur piringan matahari, kira-kira sesuai dengan posisi CME yang berada pada 104° dari kutub utara matahari (dihitung berlawanan arah jarum jam). Perbandingan posisi dengan cara ini memungkinkan kita untuk mengetahui keterkaitan posisi CME dengan peristiwa flare yang tidak mencantumkan data posisi. Perbandingan posisi ini akan lebih mudah jika flare berasal dari tepi piringan matahari.



Gambar 3.3. Kiri: Citra yang direkam oleh koronagraf C2 LASCO (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) pada saat terjadi CME tanggal 22 Mei 2006 (104° dari kutub utara matahari), lingkaran putih menunjukkan posisi piringan matahari yang terhalang piringan okultasi. Kanan: Citra permukaan matahari dari SolarMonitor.org (<http://www.solarmonitor.org/>) yang menunjukkan posisi daerah aktif NOAA 10884 (S13E14) penghasil flare B6.4 yang diduga berkaitan dengan CME.



Gambar 3.4. Kiri: Citra yang direkam oleh koronagraf C2 LASCO (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) pada saat terjadi CME tanggal 28 November 2006 (263° dari kutub utara matahari), lingkaran putih menunjukkan posisi piringan matahari yang terhalang piringan okultasi. Kanan: Citra permukaan matahari dari SolarMonitor.org (<http://www.solarmonitor.org/>) yang menunjukkan posisi daerah aktif NOAA 10926 penghasil flare B4.0 yang diduga berkaitan dengan CME.

Dengan cara yang sama dapat juga diketahui CME mana saja yang tidak berkaitan dengan peristiwa flare, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 yang menampilkan perbandingan posisi CME dan flare untuk tanggal 28 November 2006. Pada Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa daerah aktif pengasil flare B4.0 pada tanggal 28 November 2006 adalah NOAA 10926 yang berada di sekitar tepi timur piringan matahari, sedangkan CME yang diduga berkaitan dengannya berada pada 263° dari kutub utara.

4. Kesimpulan

Dari sepuluh set data peristiwa semburan tipe II, CME dan flare sinar-X yang dipelajari, kecepatan rata-rata *shock* tipe II selalu lebih tinggi daripada kecepatan CME yang diduga berkaitan dengannya. Flare sinar-X terjadi sebelum semburan tipe II yang dilanjutkan dengan deteksi CME pada koronagraf C2 LASCO, dengan waktu awal semburan tipe II dekat dengan maksimum flare sinar-X. Hal ini sesuai dengan hasil McKenna-Lawlor et al. (2002) bahwa CME hampir selalu dideteksi setelah waktu awal semburan tipe II dan waktu awal semburan tipe II dekat dengan waktu maksimum fluks sinar-X. Namun berdasarkan perhitungan kecepatan dan ketinggian *shock* tipe II yang dibandingkan dengan kecepatan dan ketinggian CME, hanya tujuh peristiwa semburan tipe II yang berkaitan dengan CME. Hal ini dikonfirmasi oleh perbandingan posisi CME dengan daerah aktif penghasil flare sinar-X pada piringan matahari.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Margono, A.Md atas bantuannya dalam melakukan digitasi data citra spektrograf radio dan kepada para peneliti LAPAN atas diskusinya pada kolokium Pufatsainsa LAPAN.

Daftar Pustaka

- Cho. K. -S., Y. -J. Moon, M. Dryer, A. Shanmugaraju, C. D. Fry, Y. -H. Kim, S. -C. Bong, dan Y. -D. Park. 2005. *Examination of Type II Origin with SOHO/LASCO Observations*, Journal of Geophysical Research **110**(A12), A12101.
- Cliver, E. W., D. F. Webb, dan R. A. Howard. 1999. *On the origin of solar metric type II bursts*, Solar Physics **187**, Issue 1, 89-114.
- Ginzburg, V. L. dan V. V. Zheleznyakov. 1958. *On the Possible Mechanisms of Sporadic Solar Radio Emission (Radiation in an Isotropic Plasma)*, Soviet Astronomy **2**, 653.
- Gosling, J. T. , E. Hildner, R. M. MacQueen, R. H. Munro, A. I. Poland, C. L. Ross. 1976. *The speeds of coronal mass ejection events*, Solar Physics **48**, 379.
- McKenna-Lawlor, S. M. P., M. Dryer, Z. Smith, K. Kecskemety, C. D. Fry, W. Sun, C. S. Deehr, D. Berdichevsky, K. Kudela, dan 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.*
- Munro, R. H., J. T. Gosling, E. Hildner, R. M. MacQueen, A. I. Poland, dan C. L. Ross. 1979. *The association of coronal mass ejection transients with other forms of solar activity, Solar Physics, 61, 201-215.*
- Nelson, G. S. dan D. B. Melrose. 1985. *Type II Bursts* dalam *Solar Radiophysics*, editor D. J. McLean dan N. R. Labrum (Cambridge Univ. Press, Cambridge), 333.
- Newkirk, G. Jr. 1961. *The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation, Astrophysical Journal, 133, 983.*
- Payne-Scott, R., D. E. Yabsley, dan J. G. Bolton. 1947. *Relative Times of Arrival of Bursts of Solar Noise on Different Radio Frequencies, Nature, 160, Issue 4060, 256-257.*
- Uchida, Y. 1960. *On the Exciters of Type II and Type III Solar Radio Bursts, Publications of the Astronomical Society of Japan, 12, 376.*
- Wild, J. P. 1962. *The Radio Emission from Solar Flares, Journal of the Physical Society of Japan, 17 (Suppl. A-11), 249.*
- Wild, J. P. dan L. L. McCready. 1950. *Observations of the spectrum of high-intensity solar radiation at metre wavelengths. I. The Apparatus and Spectral Types of Solar Burst Observed, Australian Journal of Scientific Research A3, 387-398.*