

SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE III SEBAGAI INDIKATOR PENINGKATAN INTENSITAS ANGIN SURYA [TYPE III SOLAR RADIO BURSTS AS INDICATOR OF SOLAR WIND INTENSITY ENHANCEMENT]

Suratno, Santi Sulistiani dan Johan Muhamad
Peneliti Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: suratno@bdg.lapan.go.id
Diterima 20 Februari 2012; Disetujui 12 Juni 2012

ABSTRACT

Solar *flares*, high energy particles emission, type III solar radio bursts, and solar wind phenomena are a series of close correlated events. Type III bursts are triggered by *flare* and stimulated by high-energy charged particles with speed of approximately one-third that of light in the solar corona. The impacts of these energetic particles are the increase of density and speed of the solar wind, which can be detected at the upper atmosphere. Time difference between the start of type III bursts and the peak of solar wind gives the propagation time of the energetic particles, which can be derived from frequency drift of type III bursts. Analysis of 34 pairs of type III bursts and solar wind data gave the time difference between the start of type III bursts and the peak speed of solar wind in the range of 7 to 60 minutes and the time difference between the start of type III and the peak density of solar wind in the range of 10 to 60 minutes. Difference between propagation time of energetic particles derived from the frequency drift of type III bursts and the observational data showed that they were closer to zero if the events were due to high class X-ray *flares* (class M or X) and or the *flares* were located near the central meridian and at the western solar hemisphere.

Key Words: *Flare, Type III radio bursts, Solar wind*

ABSTRAK

Fenomena *flare*, lontaran partikel energi tinggi, semburan radio tipe III dan angin surya merupakan rangkaian kejadian yang memiliki keterkaitan yang kuat. Semburan tipe III dipicu oleh kejadian *flare* dan lontaran partikel bermuatan energi tinggi di korona matahari dengan kecepatan kira-kira sepertiga kali kecepatan cahaya. Partikel energetik ini akan mengakibatkan peningkatan densitas dan kelajuan angin surya yang terdeteksi di atmosfer atas bumi. Beda waktu antara waktu awal semburan tipe III dan waktu puncak angin surya merupakan waktu penjalaran dari partikel energetik. Waktu penjalaran partikel energetik dapat diturunkan dari pergeseran frekuensi semburan tipe III. Hasil analisis sebanyak 34 pasangan data semburan tipe III dan angin surya ditemukan bahwa beda waktu antara waktu awal semburan tipe III sampai dengan puncak kelajuan angin surya berada pada rentang 7 sampai 60 menit dan beda waktu antara waktu awal tipe III dengan puncak densitas berada pada rentang 10 sampai 60 menit. Beda waktu penjalaran partikel energetik yang diturunkan dari pergeseran frekuensi tipe III dengan data pengamatan menunjukkan bahwa nilainya akan semakin mendekati nol apabila kelas *flare* sinar-X tinggi (kelas M dan atau X) dan atau posisi *flare* berada di sekitar meridian tengah dan belahan barat matahari.

Kata Kunci: *flare, Semburan radio tipe III, Angin surya*

1 PENDAHULUAN

Semburan radio matahari (*solar radio bursts*) merupakan bagian dari fenomena *flare* matahari. Semburan radio terbagi menjadi 5 (lima) tipe yaitu tipe I, II, III, IV dan V (Wild et al., 1963). Semburan tipe III disebabkan atau dirangsang oleh lewatnya elektron energi tinggi dengan kecepatan sekitar sepertiga kecepatan cahaya. Paket elektron menembus plasma lokal yang beresilasi pada frekuensinya. Interaksi atau tumbukan antara elektron dan plasma lokal tersebut mengakibatkan elektron yang memiliki energi lebih rendah akan terhenti dan energinya berubah menjadi energi gelombang radiasi. Frekuensi radiasinya f_p sesuai dengan frekuensi plasma lokal dan sebagai fungsi kerapatannya ($f_p \approx 9\sqrt{N}$, dengan N : kerapatan plasma lokal). Kerapatan plasma di korona matahari berubah dan menurun sebagai fungsi ketinggian korona. Model-model kerapatan korona telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti misalnya Newkirk (1961), Caroubalos et.al (2004) dan Cho et al. (2006). Semburan tipe III adalah semburan dengan pergeseran frekuensi secara cepat dari frekuensi yang lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah (*fast negatif frequency drifting*). Pergeseran frekuensi ini menggambarkan kelajuan dari partikel energetik bermuatan (elektron, proton) yang merangsang timbulnya semburan radio tipe III melalui proses plasma radiasi (Lyman Spitzer, Jr., 1956). Paket elektron yang terlempar karena rekoneksi garis gaya magnet, bergerak cepat sepanjang garis gaya magnet antar planet terbuka di korona. Garis gaya magnetik berperan dalam memandu gerakan elektron ke ruang antar planet. Karena terjadi lemparan partikel tersebut, maka diduga peningkatan densitas dan kelajuan angin surya erat kaitannya dengan kemunculan semburan tipe III.

Dilaporkan oleh Lin et al. (1981) dan Anderson et al. (2004) bahwa di dalam angin surya yang diamati di ruang antar planet pada jarak 0,3 dan 1 AU dari Matahari terdapat asosiasi yang erat antara arus elektron dan semburan tipe III. Fainberg et al. (1972) melaporkan bahwa kelajuan elektron perangsang berkisar pada $\approx 0,15 - 0,7 c$ (c : kecepatan cahaya) dengan rata-rata $\approx 0,37 c$ atau $\approx 1,1 \times 10^8$ m/s. Kelajuan elektron dapat diturunkan dari pergeseran frekuensi spektra dinamik semburan tipe III dengan menggunakan model kerapatan plasma korona (Newkirk, 1961). Bila kecepatan elektron energi tinggi rata-rata $0,37c$ maka terhitung dari waktu awal kemunculan semburan tipe III arus elektron akan mencapai atmosfer bumi dalam waktu ≈ 23 menit kemudian; dan jika kecepatan berkisar $0,14-0,7 c$, maka arus angin surya akan mencapai atmosfer bumi dalam waktu sekitar $\approx 12 - 60$ menit.

Angin surya adalah arus partikel bermuatan sebagai plasma yang terlempar dari atmosfer atas matahari, sebagian besar terdiri atas elektron dan proton dengan energi kira-kira 1 keV. Arus partikel ini mampu keluar dari gravitasi matahari disebabkan tidak hanya karena perbedaan temperatur di korona yang sangat tinggi, tetapi juga karena energinya yang tinggi. Kecepatan rata-ratanya sekitar 400 km/detik. Angin surya terlepas terutama pada lubang korona yang sangat nampak pada kutub-kutub matahari dan atau pada medan magnet terbuka di atas bintik matahari. Semburan radio tipe III yang dihasilkan ketika elektron dipercepat dari korona bawah terkait dengan kejadian *flare* matahari. Banyaknya kejadian semburan radio ini terkait dengan tingkat aktivitas matahari; pada aktivitas matahari maksimum banyak kejadian semburan radio tipe III. Di medium antar planet yang jauh di atas permukaan matahari sampai di atas atmosfer bumi, kerapatan plasma menurun secara cepat. Pada medium ini frekuensinya berada pada orde 1 MHz sampai kHz dan pada frekuensi ini emisi radio tidak dapat terdeteksi di permukaan bumi dan hanya dapat direkam oleh sistem penerima yang ditempatkan pada kendaraan ruang angkasa (SWE,

Voyager, IMP 8). Di ruang antar planet semburan tipe III dapat diamati pada frekuensi rendah (Wu et al. 2004). Lokasi sumber semburan radio tipe III pada gelombang meter berada pada ketinggian di bawah dua jejari matahari sesuai dengan kerapatan plasma korona (Caroubalos et al., 2004; Magara et al., 2000; Newkirk, 1961). Pada penelitian ini hanya akan dibahas semburan radio tipe III yang terdeteksi oleh sistem penerima yang ditempatkan pada landas bumi. Parameter yang akan ditinjau dalam penelitian ini adalah pergeseran frekuensi dari semburan radio tipe III untuk menentukan kecepatan partikel (paket elektron), posisi daerah aktif yang mengindikasikan sumber dari semburan dan medan magnet antar planet.

Makalah ini mengemukakan bagaimana peran fenomena semburan radio matahari tipe III yang dapat digunakan sebagai indikator kemungkinan akan terjadinya peningkatan kelajuan dan densitas angin surya, yaitu kapan akan mencapai puncaknya dan peran dari posisi dan intensitas *flare* sinar-X.

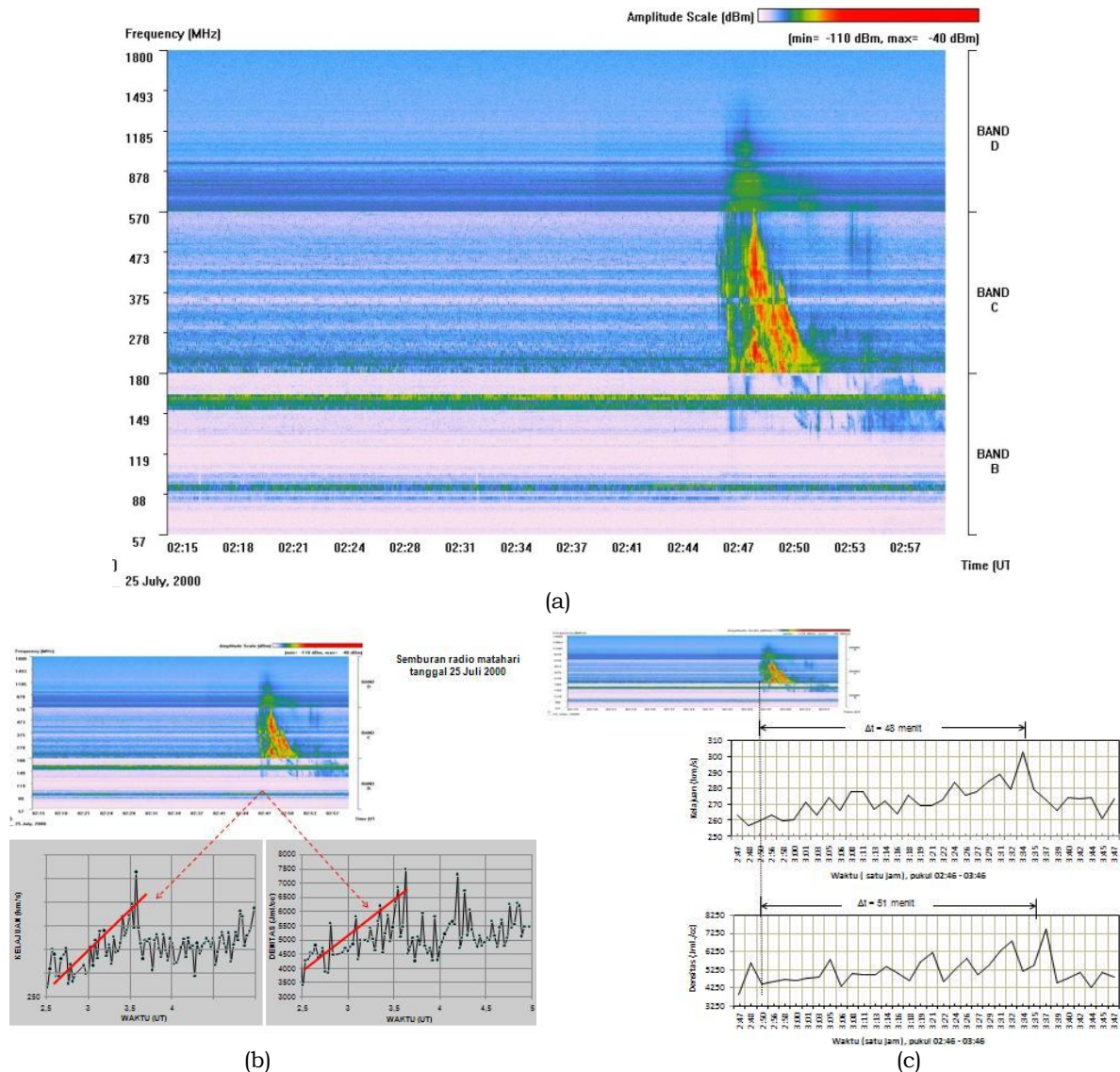
2 DATA OBSERVASI

Digunakan data pada tahun-tahun perioda menurun aktivitas matahari siklus ke 23 yang dapat mewakili tingkat aktivitas matahari maksimum, menengah dan matahari dalam keadaan tenang. Data semburan radio pada kejadian tertentu yang akan dianalisis lebih rinci diambil beberapa data dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2010 dari hasil pengamatan dari Loka Pengamatan Dirgantara (LPD) LAPAN Sumedang-Indonesia ($6^{\circ}54'LS$, $107^{\circ}50.4'BT$), Culgoora-Australia ($30^{\circ}17.4'LS$; $149^{\circ}34.8'BT$), Hiraisho-Jepang ($36^{\circ}21'LU$, $140^{\circ}37.2'BT$), Izmiran-Rusia ($55^{\circ}28.2'LU$, $37^{\circ}19.2'BT$) dan *Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer* (GBSRBS)-Amerika Serikat ($38^{\circ}26'LU$, $79^{\circ}49.5'BT$). Dari observatorium tersebut pengamatan semburan radio matahari telah terpenuhi data hasil pengamatan selama 24 jam. Data *flare* sinar-X dan posisi daerah aktif dari *Word Data Center* <http://ftp.ngdc.noaa.gov/stp/>. Data angin surya (*Solar Wind*) hasil pengamatan dengan satelit *Solar Wind Experiment* (SWE) diperoleh dari situs <http://web.mit.edu/space/www/wind/>.

Terseleksi sebanyak 34 data semburan radio matahari tipe III, kemudian dicari data *flare* sinar-X beserta posisi *flare* dan data angin surya sebagai pasangannya dianalisis keterkaitannya.

3 METODOLOGI

Diawali dengan memilih dan mengidentifikasi peristiwa semburan tipe III tertentu, kemudian diidentifikasi pula data angin surya untuk dianalisis secara rinci. Data ini perlu didukung dengan data *flare* sinar-X (intensitas dan posisi). Kemudian dilakukan pencatatan waktu awal semburan tipe III, waktu puncak kelajuan dan densitas angin surya. Langkah ini diperlukan untuk membandingkan dan menghitung beda waktu antara waktu awal semburan tipe III dengan waktu puncak kelajuan dan densitas angin surya. Contoh pengamatan dan analisis data seperti terlihat pada Gambar 3-1. Contoh ini adalah peristiwa semburan tipe III tanggal 25 Juli 2000 yang dihasilkan dari pengamatan matahari dengan radiospektrograf di Loka Pengamatan Dirgantara-Lapan Sumedang (dahulu bernama Stasiun Pengamat Dirgantara-Lapan Tanjungsari). Contoh keterkaitan tersebut (secara kualitatif) peristiwa semburan tipe III terjadi pada pukul 02:46 UT. Terlihat bahwa sejak waktu kejadian itu ada kecenderungan peningkatan kelajuan dan densitas angin surya yang mencapai puncaknya pada sekitar pukul 03:34 UT dan 3:37 UT.



Gambar 3-1: Contoh peristiwa semburan radio tipe III yang terjadi pada 25 Juli 2000 hasil pengamatan spektrograf radio di Sumedang dengan waktu awal pukul 02:46 UT (a). Keterkaitan semburan tipe III dengan kelajuan dan densitas angin surya yang mencapai puncak berturut-turut pada pukul 03:34 UT dan pukul 03:37 UT (b). Gambar (c) menunjukkan selisih waktu (Δt) adalah beda waktu antara awal kejadian semburan tipe III dan waktu puncak kelajuan dan densitas angin surya berturut-turut 48 dan 51 menit.

Selanjutnya dilakukan penghitungan kelajuan partikel energetik di korona matahari diturunkan dari data semburan radio tipe III dengan mengkonversikan data pada spektradinamik dari kawasan frekuensi versus waktu (df/dt) menjadi kawasan posisi versus waktu (dR/dt). Formulanya adalah:

$$\frac{df}{dt} = \frac{df}{dN} \cdot \frac{dN}{dR} \cdot \frac{dR}{dt} \tag{3-1}$$

$\frac{dR}{dt}$ adalah kelajuan muka gelombang kejut;

Frekuensi plasma sebagai fungsi kerapatan, dinyatakan :

$$f = 9\sqrt{N} \tag{3-2}$$

dengan N adalah kerapatan plasma sebagai fungsi ketinggian (Newkirk, 1961), yaitu

$$N = N_0 \times 10^{(4.32/R)} \tag{3-3}$$

dengan R: ketinggian korona dalam satuan jejari matahari ($\approx 7 \times 10^5$ km).

Penurunan atau penghitungan kelajuan dilakukan dengan cara digitasi data dan perangkat lunak pendukung lainnya (Sulistiani dan Suratno, 2008). Dengan diasumsikan kelajuan angin surya dan jarak antara atmosfer matahari (sumber) dan atmosfer atas bumi tidak berubah, maka dapat dihitung pula waktu penjalaraan (*travel time*) angin surya sampai di atmosfer atas bumi dengan cara membagi jarak matahari-bumi dengan besar kelajuannya.

Dengan hasil penghitungan kelajuan yang dilakukan dengan cara tersebut, maka dapat ditentukan waktu penjalaraan (*travel time*) partikel dari sumbernya (atmosfer matahari) sampai di atmosfer atas bumi. Karena dalam spektra dinamik waktu puncak semburan tipe III juga bergeser sesuai frekuensinya, maka waktu awal digunakan sebagai dasar hitungan tersebut. Sebaliknya, akan kesulitan dalam menetapkan waktu awal kenaikan kelajuan dan densitas angin surya, sehingga waktu puncaknya yang ditetapkan. Maka waktu tiba (*arrival time*) di atmosfer bumi dihitung dari waktu awal kejadian semburan radio matahari tipe III sampai waktu puncak kelajuan dan waktu puncak densitas angin surya. Hasil perhitungan waktu penjalaraan partikel energetik ini kemudian dibandingkan dengan beda waktu (Δt) antara waktu puncak kelajuan dan puncak densitas angin surya dengan waktu awal terjadinya semburan tipe III. Selanjutnya dilakukan studi terhadap peran posisi daerah aktif dan peran *flare* dengan menggunakan data *flare* sinar-X dan posisinya untuk seluruh data yang terpilih.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana telah disampaikan bahwa angin surya akan mencapai atmosfer bumi dalam waktu $\approx 12 - 60$ menit. Selanjutnya akan dianalisis semburan tipe III dalam kaitannya dengan angin surya. Disamping itu ditampilkan juga fenomena *flare* sinar-X (kelas dan posisi *flare*) yang juga terkait erat dengan fenomena semburan tipe III. Hasil olah data semburan tipe III diperoleh bahwa dari sebanyak 34 data yang ditinjau terdapat 3 data dengan puncak kelajuan angin surya memiliki beda waktu (Δt) di bawah 12 menit, dan tidak ada data yang beda waktunya lebih dari 60 menit. Terhadap puncak densitas angin surya hanya terdapat 1 data dengan beda waktu (Δt) di bawah 12 menit, dan tidak ada data yang beda waktunya lebih dari 60 menit. Secara lengkap data semburan tipe III yang dipilih tercantum pada Tabel 4-1. Pada tabel ini nomor urut kejadian yang terseleksi, observatorium dimana pengamatan semburan radio dilakukan, waktu awal dan waktu akhir kejadian, data angin surya (terdiri waktu puncak dan besar kelajuan, waktu puncak densitas dan besar densitas). Kemudian dicantumkan juga hasil perhitungan jeda waktu antara waktu puncak tersebut dengan waktu awal semburan tipe III (kolom 10 dan kolom 11).

Pada Tabel 4-2 dicantumkan kembali Δt yaitu beda waktu antara waktu puncak kelajuan dan waktu puncak densitas angin surya dan waktu awal semburan tipe III (kolom 2 dan kolom 3. Kolom 4 dan kolom 5 berturut-turut kelajuan partikel energetik yang diturunkan dari semburan tipe III dan waktu penjalaraan (*travel time*)nya.

Hipotesisnya adalah bahwa waktu penjalaraan partikel bermuatan ini akan sama dengan beda waktu antara waktu awal semburan tipe III dan waktu puncak kelajuan/densitas angin surya. Namun karena partikel bermuatan dalam penjalaraannya berada di dalam medan magnet antar planet maka angin surya tersebut akan berada di

lintasan medan magnet. Oleh karena itu, analisis selanjutnya adalah membandingkan waktu penjarangan ini dengan data Δt hasil pengamatan, yaitu dengan cara mengurangkannya (kolom 6 dan 4). Bervariasinya beda waktu antara waktu puncak baik laju maupun densitasnya menandakan adanya variasi dari kelajuan dan densitas angin surya.

Tabel 4-1: DATA PUNCAK KELAJUAN DAN PUNCAK DENSITAS ANGIN SURYA TERKAIT DENGAN PERISTIWA SEMBURAN TIPE III, DAN DELTA WAKTU ANTARA WAKTU PUNCAK TERSEBUT DENGAN WAKTU AWAL SEMBURAN

No	Bursts TIII				Angin Surya				Δt (menit)	
	Tanggal HHBBTT TT	OBSERVA TORIUM	Waktu Awal (U T)	Waktu Ak hir (UT)	Waktu Pun cak (UT)	Laju (km/det)	Waktu Puncak (UT)	Densitas (jml/cc)	(6)-(4)	(8)-(4)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	25072000	SMD	2:46	2:57	3:34	302,6	3:37	7489	48	51
2	26042003	HIRAS	8:05	8:07	8:43	484,4	9:00	8832	38	55
3	26042003	HIRAS	23:39	23:41	23:49	473,2	0:10	10220	10	31
4	19082003	IZMI	7:55	7:57	8:47	594,3	8:11	15420	52	16
5	11112003	HIRAS	5:28	5:31	6:10	733,1	5:57	7342	42	29
6	18012004	CULG	0:14	0:15	0:23	567,1	1:06	2301	9	52
7	20012004	GBSRBS	19:40	19:41	20:36	483,4	20:37	1683	56	57
8	02022004	SMD	3:35	3:37	3:50	577,2	4:19	3374	15	44
9	05032004	GBSRBS	21:00	21:01	21:44	433,7	21:18	4592	44	18
10	20032004	GBSRBS	14:50	14:52	15:10	397,1	15:36	9189	20	46
11	12042004	GBSRBS	14:01	14:04	14:17	430,4	14:22	4689	16	21
12	21062004	GBSRBS	17:45	17:47	18:06	383	18:09	6005	21	24
15	30102004	GBSRBS	12:49	12:52	13:45	452,8	13:25	8083	56	36
16	01012005	HIRAS	0:30	0:45	0:58	453	0:44	7023	28	14
17	14012005	GBSRBS	16:03	16:06	16:16	575	17:03	5130	13	60
18	14022005	GBSRBS	19:51	19:53	20:31	412	20:05	7861	40	14
19	04052005	GBSRBS	12:55	12:56	13:02	385,3	13:08	3045	7	13
20	05092005	IZMI	9:18	10:29	9:39	550,9	9:52	3220	21	34
21	15092005	IZMI	20:37	20:40	20:53	820	21:03	2122	16	26
22	05012006	IZMI	9:20	9:22	10:12	341,5	9:55	5833	52	35
23	05122006	IZMI	10:27	10:52	11:24	323,8	11:27	15300	57	60
24	13122006	CULG	2:25	2:45	3:09	673,7	2:35	1578	44	10
25	14122006	CULG	22:09	22:27	22:20	887,5	22:27	22760	11	18
26	18022007	GBSRBS	19:31	19:33	20:25	405	19:43	3882	54	12
27	19052007	GBSRBS	12:55	13:00	13:55	634,4	13:09	3726	60	14
28	03062007	IZMI	19:25	19:28	20:01	517,8	20:23	4323	36	58
29	22122009	CULG	4:54	5:09	5:09	349,5	5:27	4036	15	33
30	08022010	SMD	0:13	0:16	0:38	395,7	1:09	4685	25	56
31	08022010	SMD	1:18	1:20	1:52	393,2	1:30	3844	34	12
32	08022010	SMD	2:31	2:32	3:11	396,2	2:52	4886	40	21
33	12022010	SMD	7:22	7:25	8:10	328,5	8:02	3920	48	40
34	12062010	SMD	0:51	1:01	1:44	368,2	1:17	3289	53	26

Keterangan : HHBBTTT : Hari (tanggal) Bulan Tahun
 SMD : Sumedang; HIRAS : Hiraisho; IZMI : Izmiran; CULG : Culgoora;
 GBSRBS: Green Bank Solar Radio Bursts Spectrometer

Tabel 4-2: BEDA WAKTU PUNCAK FLUKS X-RAY, PUNCAK KELAJUAN DAN PUNCAK DENSITAS ANGIN SURYA DENGAN WAKTU AWAL SEMBURAN TIPE III, DAN SELISIH ANTARA BEDA WAKTU PUNCAK TERSEBUT DENGAN WAKTU PENJALARAN PARTIKEL

NO.	Δt (menit)		Bursts tipe III		Travel Time - Δt (menit)		Flare sinar-X	
	Puncak laju SW- Waktu awal TIII	Puncak Dens. SW- Waktu awal TIII	Kelajuan partikel (km/s)	Travel Time (menit)	(5) - (2)	(5) - (3)	Klas	Lokasi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	48	51	57.949	43,141	-4,859	-7,859	M8.0	N06W08
2	38	55	74.543	33,538	-4,462	-21,462	M7.0	N21W59
3	10	31	67.982	36,774	26,774	5,774	M2.5	N21W67
4	52	16	110.896	22,544	-29,456	6,544	M2.0	S12W63
5	42	29	32.090	77,906	35,906	48,906	B7.8	N00W51
6	9	52	29.897	83,620	74,620	31,620	M1.4	S15E18
7	56	57	50.481	49,524	-6,476	-7,476		
8	15	44	18.416	135,752	120,752	91,752	B3.6	N14E55
9	44	18	87.109	28,700	-15,300	10,700	C5.2	S15E91
10	20	46	210.143	11,897	-8,103	-34,103	B7.0	N15E52
11	16	21	42.965	58,187	42,187	37,187	C1.3	S19W57
12	21	24	160.952	15,533	-5,467	-8,467	C2.0	S11W08
13	58	35	58.989	42,381	-15,619	7,381	B3.9	S10W87
14	16	34	81.520	30,667	14,667	-3,333	B9.9	N07E26
15	56	36	51.543	48,503	-7,497	12,503	X1.2	N13W25
16	28	14	16.071	155,560	127,560	141,560	X1.7	N06E34
17	13	60	61.575	40,601	27,601	-19,399	M1.0	S06E02
18	40	14	67.008	37,309	-2,691	23,309	B3.6	S08E20
19	7	13	43.599	57,341	50,341	44,341	B2.9	S07E59
20	21	34	98.031	25,502	4,502	-8,498	C2.7	N13W72
21	16	26	207.791	12,031	-3,969	-13,969	C1.5	S11W19
22	52	35	77.215	32,377	-19,623	-2,623	C4.4	N14W59
23	57	60	49.774	50,227	-6,773	-9,773	X9.0	S07E68
24	44	10	70.839	35,291	-8,709	25,291	X3.4	S06W23
25	11	18	22.035	12,374	1,374	-5,626	X1.5	S06W46
26	54	12	50.888	49,127	-4,873	37,127	B8.3	S01E04
27	60	14	135.309	18,476	-41,524	4,476	B9.5	N00E35
28	36	58	56.552	44,207	8,207	-13,793	C5.3	S10E68
29	15	33	67.378	37,104	22,104	4,104	C7.2	S26W46
30	25	56	72.245	34,604	9,604	-21,396	C1.4	N22E02
31	34	12	31.502	79,360	45,360	67,360	B7	N21E01
32	40	21	21.380	116,932	76,932	95,932	B7.4	N22W01
33	48	40	28.940	86,386	38,386	46,386	C7.9	N24E13
34	53	26	77.600	32,216	-20,784	6,216	M2.0	N22W30

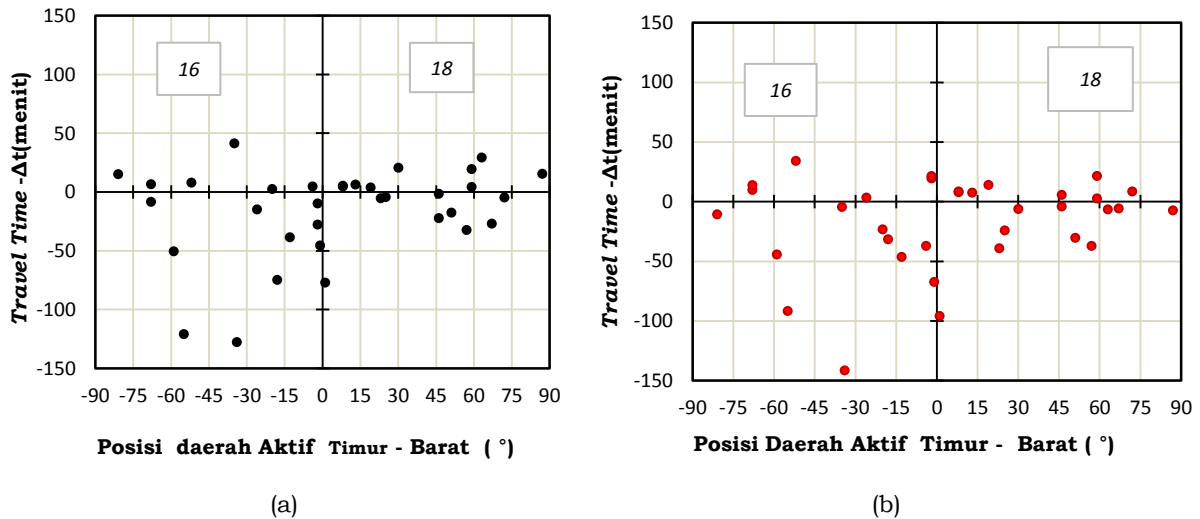
Keterangan: kolom 2 dan kolom 3, SW adalah kependekan dari *Solar Wind*, kolom 9, untuk lokasi *flare* adalah N: *North*; S: *South*; E: *East* dan W: *West*.

Karena penjalaran partikel energetik bermuatan sesuai dengan arah medan magnet, maka lokasi *flare* matahari akan sangat berperan pada arah partikel energetik tersebut menuju bumi atau di luar bumi. Bila lokasi *flare* berada di posisi belahan timur maka partikel matahari tidak akan tepat jatuh di atmosfer bumi, sebaliknya bila posisi *flare* di meridian tengah dan lebih ke belahan barat matahari maka partikel akan

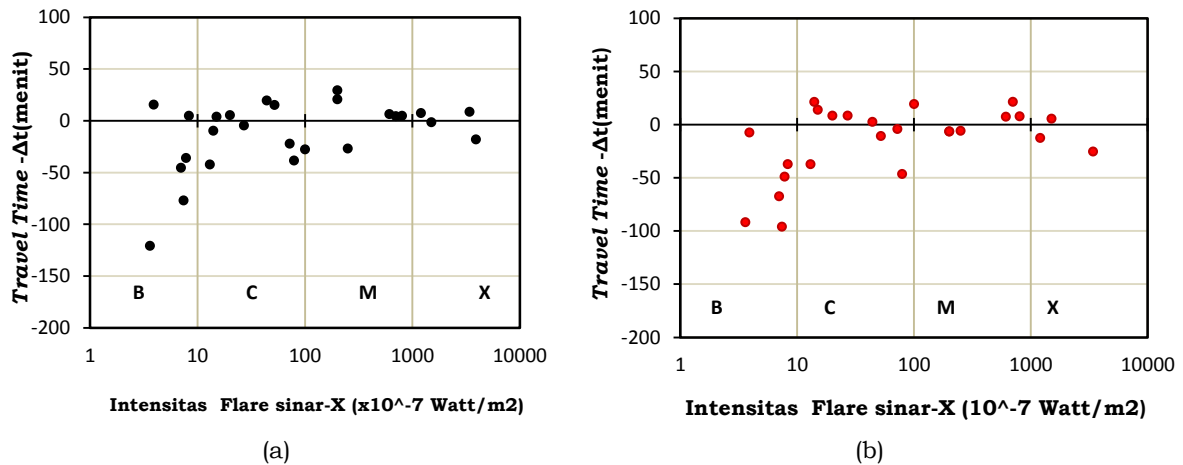
memiliki potensi yang besar untuk tepat di atas atmosfer bumi. Demikian pula dengan intensitas flare juga berperan akan potensi ketepatan waktu partikel jatuh di atmosfer atas bumi. Analisis selanjutnya adalah bagaimana peran kedua parameter tersebut dengan cara membuat plot antara beda waktu (*travel time* dikurangi Δt) versus posisi dan kelas flare sinar-X (Gambar 4-1 dan Gambar 4-2).

Gambar 4-1 adalah plot selisih waktu antara waktu penjarangan (*travel time*) angin surya dengan beda waktu puncak kelajuan dan densitas, sekaligus menunjukkan peran posisi flare sinar-X terjadi. Terlihat bahwa rentang selisih waktu tersebut cukup besar terutama jika lokasi flare sinar-X berada pada posisi di belahan timur matahari, sedangkan bila lokasi flare berada di meridian tengah dan di belahan barat matahari selisih waktu cukup kecil.

Demikian pula halnya dengan keterkaitan antara intensitas flare sinar-X dengan selisih waktu antara *travel time* dan beda waktu data riil. Gambar 4-2 menunjukkan bahwa semakin tinggi kelas flare selisih waktu semakin terlihat singkat. Terlihat bahwa untuk flare kelas B selisih waktu terlihat sangat lebar dan semakin menyempit bila kelas flare menuju kelas C, M dan kelas X.



Gambar 4-1: Plot selisih waktu antara waktu penjarangan partikel dengan Δt . Delta t (Δt) adalah beda waktu antara waktu puncak kelajuan dan waktu puncak densitas angin surya dengan waktu awal semburan tipe III. Dilakukan plotting terhadap posisi flare sinar-X, berturut-turut (a) plot untuk kelajuan dan (b) plot untuk densitas angin surya



Gambar 4-2: Plot selisih waktu antaran *travel time* dan beda waktu (puncak kelajuan dan densitas) berturut-turut bagi kelajuan angin surya (a) dan densitas angin surya (b) versus intensitas flare sinar-X. Ditunjukkan pula kelas flare B, C, M, X

5 KESIMPULAN

Semburan radio matahari tipe III adalah gambaran gerakan fisik di dalam angin surya. Fenomena ini terkait dengan arus partikel elektron energi tinggi ketika terjadi *flare* matahari. Studi keterkaitan antara semburan tipe III dan fenomena angin surya di medium antar planet menunjukkan bahwa ketika terjadi peristiwa semburan tipe III terlihat adanya variasi kelajuan dan densitas angin surya yang ditandai dengan bervariasinya beda waktu antara waktu puncak angin surya baik kelajuan maupun densitasnya.

Lokasi *flare* matahari sangat berperan pada arah partikel energetik tersebut menuju bumi. Bila lokasi *flare* berada di posisi meridian tengah dan di belahan barat matahari maka partikel memiliki potensi yang besar untuk tepat jatuh di atas atmosfer bumi. Demikian pula intensitas *flare* menunjukkan indikasi tentang kemungkinan waktu peningkatan intensitas (densitas dan kelajuan) angin surya. Semakin kuat intensitas *flare*, semakin kuat pendekatan puncak densitas dan puncak kelajuan angin surya.

DAFTAR RUJUKAN

- Anderson R., Nagano I., Yagitani S., Matsumoto H., Hashimoto K., Kojima H., Henderson M.G., Thomsen M.F., and Reeves G. D., 2004. *The Quasi-Periodic Occurrence of Type III Solar Radio Bursts, Auroral Kilometric Radiation, and other Plasma Wave Phenomena Observed by the Geotail Plasma Wave Investigation*, COSPAR 04.
- Caroubalos C., Hillaris A., Bouratzis C., Alisandrakis C.E., Prekapapadema P., Polygiannkis J., Tsitsipis P., Kontogeorgos A., Mousssas X., Bougeret J.L., Dumas G., dan Perche, C. 2004. *Solar Type II and Type IV Radio Bursts Observed During 1998-2000 with the ARTEMIS-IV Radiospectrograph*, Astronomy & Astrophysics 413, 1125-1133.
- Cho K.-S., Moon Y.J., Dryer M., Shanmugaraju A., Fry C.D., Kim Y.H., Bong S.C. dan Park Y. D., 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.
- Lin R.P., Potter D.W., Gurnett D. A., Scarf F.L., 1981. *Energetic Electrons and Plasma Wave Associated with a Solar Type III Radio Bursts*, Astrophys. J. 251, 364-373.
- Lyman Spitzer, Jr., 1956. *Physics of Fully Ionized Gases*, Interscience Publisers, Inc., New York, Interscience Publisher Ltd., London, 47-55.
- Magara T., Chen P., Shibata K., and Yokoyama T., 2000. *A Unified Model of Coronal Mass Ejection-Related Type II Radio Bursts*, The Astrophysical Journal, 538:L175-L178.
- Newkirk, G.Jr., 1961. *The Solar Corona in Active Regions and The Thermal Origin of the Slowly Varying Component of Solar Radio Radiation*, Astrophys. J. 133, 983.
- Sulistiani S. dan Suratno, 2008. *Digitizing 2-Dimensional Plot Pictures*, Proceeding of 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2008, Institute Teknologi Bandung, Indonesia, 28-30 October 2008, 1255-1259.
- Wild J.P., Smerd S.F., and Weiss A.A, 1963. *Solar Bursts*, Ann. Rev. Astron, Astrophys., 1, 291-366.
- Wu C.S. , Reiner M. J., Yoon P. H., Zheng H. N., and Wang S., 2004. *On Low-Frequency Type III Solar Radio Bursts Observed in Interplanetary Space* , The Astrophysical Journal, 605:503-510.

