

SEMBURAN RADIO MATAHARI DAN FENOMENA ANTAR PLANET

Suratno

*Bidang Penelitian Matahari dan Lingkungan Antariksa
Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN*

Ringkasan

Semburan radio matahari merupakan fenomena peningkatan aktivitas matahari yang diamati pada rentang spektra radio. Terlemparnya elektron berenergi tinggi, peningkatan arus elektron di dalam angin surya dengan gerakan elektron ke ruang antar planet yang dipandu oleh garis gaya magnet merupakan gejala kemunculan semburan tipe III. Sementara semburan tipe II dan tipe IV yang berkaitan erat dengan flare $H\alpha$, menandai adanya kejutan korona, *Coronal Mass Ejection (CME)* dan *Solar Proton Event (SPE)* yang dapat menimbulkan *Sudden Commencement (SC)* di atmosfer bumi.

Abstract

The enhancement of solar activity phenomena which observed in the range of radio wavelength is called the solar radio bursts. Occurrence of the type III bursts indicates enhancement of energetic electron emissions, enhancement of electron current in the solar wind and shows the role of magnetic line of force which guides the trajectory of electron movement to the interplanetary medium. While the type III and type IV bursts are closely associated to the $H\alpha$ flare, it indicates the existence of coronal shocks, Coronal Mass Ejection (CME) and Solar Proton Event (SPE) which caused the occurrence of Sudden Commencement (SC) in the earth's atmosphere.

1. Pendahuluan

Penelitian tentang pengaruh aktivitas matahari pada lingkungan bumi kebanyakan diungkapkan dengan mewakili aktivitas matahari dari radiasi pada rentang gelombang pendek yaitu UV, EUV, sinar-X dan sinar infra-merah atau dengan menggunakan indikator aktivitas matahari seperti bilangan sunspot (R) dan/atau fluks radio pada gelombang 10,7 cm ($F_{10.7}$) (Friis-Christensen & Lassen, 1992; Suratno & Nurzaman, 1998). Sebenarnya radiasi matahari mencakup seluruh panjang gelombang termasuk rentang gelombang radio dari gelombang mikro sampai dengan gelombang panjang.

Makalah ini membahas aktivitas matahari yang berkaitan dengan fenomena atmosfer bumi ditinjau dari sisi pancaran radiasi matahari dalam panjang gelombang radio. Titik berat bahasan adalah pada fenomena transien di ruang antar planet yang memiliki kaitan erat dengan semburan (*bursts*) radio matahari dan partikel-partikel berenergi tinggi yang terlempar dari permukaan atau dari atmosfer matahari. Perilaku emisi partikel berenergi tinggi di ruang angkasa memiliki percepatan, kecepatan dan arah penjalaran yang berkaitan dengan semburan radio dan struktur garis gaya magnet matahari.

Semburan radio tipe III telah diidentifikasi sebagai gejala semburan radio yang berkaitan dengan berkas elektron energi rendah yang bergerak sepanjang garis gaya magnet korona. Jika garis gaya magnet terbuka, elektron dapat bergerak sepanjang garis gaya ke ruang antar planet, sementara jika struktur garis gaya magnet korona masih tertutup maka elektron akan membalik, dan dinamai dengan semburan tipe III-U (Suzuki & Dulk, 1985). Fenomena tersebut akan memberikan informasi mengenai waktu dan asal mula proses percepatan partikel, ketidaklurusan garis gaya magnet antar planet dan memberikan diagnosa kerapatan plasma.

Diketemukannya gejala *CME* (*coronal mass ejection*) dan keterkaitannya dengan gelombang kejut (*shocks wave*), mengungkapkan adanya korelasi *CME* tersebut dengan semburan tipe II (Dryer, 1992). Didasarkan atas karakteristik yang terbaca pada spektra dinamik, semburan radio tipe II yang diyakini muncul menurut mekanisme radiasi plasma (Nelson & Melrose, 1985), melibatkan fenomena percepatan partikel (elektron) yang terseret di belakang muka gelombang kejut (*shock front*).

Semburan tipe IV yang muncul mengikuti peristiwa flare kuat, terjadi melalui proses radiasi sinkrotron dari perputaran elektron yang terperangkap dalam medan magnet korona. Semburan tipe ini menonjol pada gelombang mikro, gelombang centimeter dan desimeter, sedangkan semburan radio pada gelombang mikro memiliki korelasi yang kuat dengan radiasi sinar-X keras (*hard X-ray*). Hal ini karena kedua fenomena tersebut dihasilkan oleh populasi elektron yang sama tetapi melalui mekanisme radiasi yang berbeda (Kane et al., 1983; Aswanden et al., 1985; Kai et al. 1985). Adanya semburan tipe IV bergerak (*moving type IV bursts*) menunjukkan gejala gerakan medan magnet korona (Stewart, 1985).

Semburan tipe I (*noise storm*), pada pengamatan frekuensi tunggal ditandai dengan munculnya pulsa-pulsa pendek yang berlangsung dalam orde jam sampai beberapa hari. Pada rekaman spektra dinamik hasil pengamatan semburan tipe ini hanya akan nampak pada rentang gelombang meter dan dekameter. Mekanisme kemunculannya masih dalam penelitian, namun dilaporkan oleh beberapa penulis (Melrose, 1980; Spicer & Brown, 1981) bahwa mekanisme munculnya tipe ini datang melalui radiasi plasma oleh populasi elektron yang terperangkap dalam medan magnet tertutup di atas daerah aktif matahari. Meskipun belum ditemukan hubungan statistik yang kuat antara aktivitas *noise storm* dengan fenomena antar planet, namun dilaporkan bahwa pola semburan dengan masa hidup yang panjang akan memiliki keterkaitan yang kuat dengan efek antar planet (Simnet, 1986).

Semburan tipe V, yang merupakan tipe semburan terakhir yang diidentifikasi sebagai tipe yang mengikuti semburan tipe III, berlangsung dalam waktu kurang dari sepuluh menit, dan terjadi pada rentang gelombang meter atau dibawah frekuensi 120 MHz. Pada umumnya semburan tipe III yang diikuti oleh semburan tipe V berlangsung hanya pada flare yang besar. Melihat dari karakteristiknya yang kontinyu, cenderung terpolarisasi linier, dan bersumber jauh di atas permukaan matahari yaitu di lapisan korona, maka diinterpretasikan bahwa tipe ini terjadi menurut proses radiasi plasma dari lapisan korona yang dirangsang oleh lewatnya elektron dengan kecepatan rendah.

Rangkuman singkat diatas, dapat dipakai sebagai petunjuk bahwa pengamatan matahari dalam panjang gelombang radio juga berperan dalam studi hubungan matahari-bumi. Dalam lingkup studi tersebut semburan tipe II dan tipe III yang erat berkaitan dengan lemparan partikel berenergi tinggi dan medan magnet perlu memperoleh perhatian secara lebih mendalam.

2. Efek Semburan Radio Matahari pada Fenomena Antar Planet

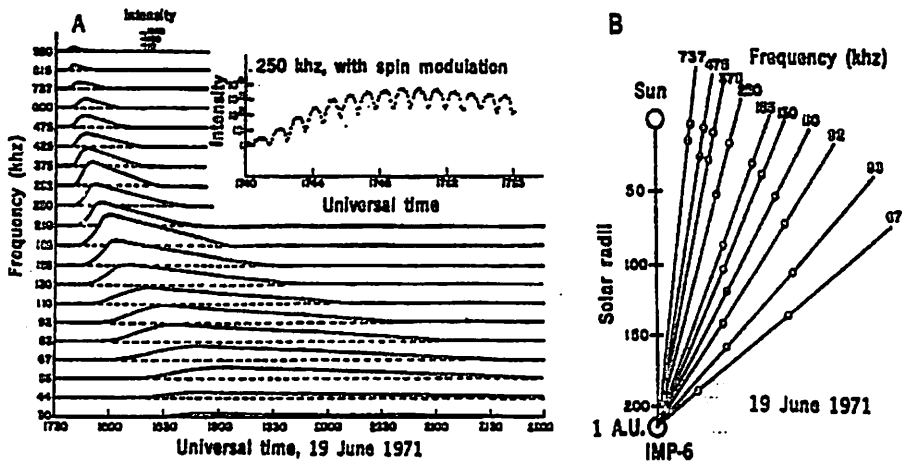
Didasarkan atas fenomena partikel berenergi tinggi, garis gaya magnet, lontaran massa korona (*coronal mass ejection*), sinar-X kuat, sinar-X lunak, gelombang kejut dan lain-lain gejala yang berkaitan dengan semburan radio, maka kiranya perlu diungkapkan fenomena antar planet dengan kemunculan semburan radio matahari.

Dari lima macam tipe semburan radio matahari (tipe I, II, III, IV dan Tipe V), tipe II dan tipe III yang terkait kuat dengan garis gaya magnet, gelombang kejut dan lemparan partikel berenergi tinggi akan diuraikan secara khusus pada sub-bab berikut.

2.1. Semburan Radio tipe III

Semburan tipe III adalah semburan dengan pergeseran frekuensi secara cepat dari frekuensi yang lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah (*fast negative frequency drifting*). Pergeseran frekuensi yang cepat tersebut mengakibatkan struktur fundamental dan harmoniknya tidak nampak jelas. Sesuai dengan kerapatan plasma korona yang menurun terhadap ketinggian, pergeseran negatif frekuensi semburan ini menggambarkan gerakan/lemparan populasi elektron dari bawah (kromosfer) menuju korona, merangsang osilasi plasma, meningkatkan radiasi dan menghasilkan semburan radio yang berawal dari frekuensi ratusan MHz dan bisa berakhir sampai di bawah frekuensi 6 KHz. Contoh yang sangat baik telah dilaporkan oleh Fainberg et al.(1972) dan Lin et al.(1973) melalui pengamatan di ruang angkasa menggunakan satelit *ISEE* (Gambar 2.1). Di sini peroleh informasi yang sangat penting melalui analisis peristiwa tanggal 19 Mei 1971 yang mengungkapkan dengan jelas bahwa lintasan elektron perangsang semburan tipe III dipandu oleh garis gaya magnet korona yang menjulang di ruang antar planet yang berbentuk spiral archimedes. Gambar tersebut juga menunjukkan dengan jelas lintasan elektron sampai jarak matahari-bumi (1 satuan astronomi [SA]). Hal ini juga dilaporkan, oleh Reiner & Stone (1986) yang menyebutkan bahwa lintasan elektron dipandu oleh garis gaya magnet. Dengan menggunakan suatu model kerapatan plasma korona dapat diperkirakan dimana sumber elektron berasal.

Menurut Fainberg et al. (1972) kecepatan rata-rata elektron perangsang adalah sebesar 0.37 kali kecepatan cahaya atau sekitar $\approx 1.1 \times 10^8$ m/detik. Kecepatan elektron ini juga dapat diselidiki dengan menggunakan data pergeseran frekuensi pada spektra dinamik dan menggunakan model kerapatan plasma korona, dan menurut mereka kecepatan minimal yang memungkinkan terbentuknya semburan tipe III adalah sebesar 0.4×10^8 m/s (Suratno et al., 1994).



Gambar 2.1. (A) Hasil pengamatan semburan radio matahari pada rentang frekuensi kHz, lewat sarana satelit ISEE. (B) Dari hasil pengamatan ini dapat diturunkan lintasan elektron di ruang antar planet (Fainberg et al., 1992)

Keterkaitan hal tersebut di atas dengan semburan elektron energi $>20\text{keV}$ yang teramati di permukaan pada jarak 1 SA ternyata sangat tinggi, meskipun tercatat lebih banyak peristiwa semburan tipe III dari pada semburan elektron. Karena mekanisme semburan elektron dan semburan tipe III berbeda, maka sangat mungkin terjadi kedua peristiwa tersebut berlangsung tidak serentak. Eratnya keterkaitan antara kedua fenomena tersebut dikemukakan pada peristiwa 16 Mei 1971 yang serentak dengan terdeteksinya elektron energi $>10\text{ keV}$ sampai 100 keV (Lin, et al., 1973). Dilaporkan juga bahwa dalam angin surya yang diamati di ruang angkasa pada jarak antara 0.3 dan 1 SA dari matahari terdapat keterkaitan yang erat antara arus elektron dan gelombang plasma dengan semburan tipe III. Arus elektron mengandung kira-kira 10^{33} elektron dan memiliki penampang lintang 1 SA^2 pada jarak 1 SA (Lin, et al. 1981).

2.2 Semburan Radio tipe II

Sub bab ini tidak hanya membahas semburan tipe II, tetapi juga gelombang kejut dan lemparan massa korona (*CME*) yang sering menyertainya. Sedemikian sehingga dapat diketahui karakteristik gejala-gejala radio, kejut antar planet, *CME*, dan bagaimana mekanisme kemunculannya. Kecepatan dari fenomena ini jauh lebih rendah dari peristiwa partikel berenergi tinggi dan semburan tipe III, namun ditinjau dari efek terhadap sistem Matahari-Bumi peristiwa ini mungkin lebih sangat berarti.

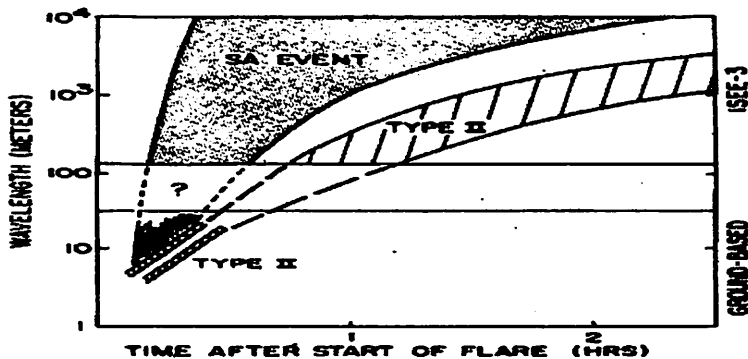
Semburan tipe II adalah semburan dengan pergeseran frekuensi secara lambat dari frekuensi yang lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah (*slow negative frequency drifting*), dan rentang frekuensi kemunculannya sempit yang berawal dibawah 150 MHz. Umumnya gejala ini memperlihatkan struktur fundamental dan harmonik

secara jelas, sehingga memperkuat pembuktian hipotesis tentang mekanisme radiasi tipe II, yaitu radiasi plasma.

Semburan tipe II sangat erat hubungannya dengan peristiwa flare yang diamati secara optik ($H\alpha$ flare) dan hanya flare yang kuat yang mampu menghasilkan fenomena semburan tipe II. Analisis tentang mekanisme semburan, didahului dengan percepatan kejutan akibat flare yang menyeret elektron sehingga merangsang peningkatan osilasi plasma korona, sedemikian sehingga mengakibatkan emisi radio.

Dengan menggunakan model kerapatan plasma di korona, data pergeseran frekuensi pada spektra dinamik dapat digunakan untuk menghitung laju gangguan perangsang kemunculan tipe II tersebut. Kecepatannya berkisar 500-1000 km/s, umumnya melampaui kecepatan *Alfven* di korona, sehingga gangguan diduga berasal dari kejutan *MHD impulsif* pada peristiwa flare. Secara lebih spesifik Robinson et al. (1984) menyatakan bahwa kecepatan gangguan adalah sebesar 834 km/s, sementara Supriyatno et al. (1997) melaporkan kecepatan tersebut sebesar antara 400 - 700 km/s.

Cane & Stone (1984), melaporkan bahwa di ruang antar planet gelombang kejut mendahului semburan tipe II dan disebutkan sebagai *shock associated (SA)*. Sumber semburan tipe II yang terjadi dalam panjang gelombang hektometer atau yang lebih tinggi berasal dari ruang antar planet yang jauh dari permukaan matahari. Oleh karenanya mereka disebut sebagai tipe II antar planet (*Interplanetary/IP Type II*). Gambar 2.2 adalah skema emisi radio matahari gelombang panjang untuk suatu



Gambar 2.2 Penggambaran secara skematik keterkaitan antara semburan radio tipe II, semburan yang diamati pada gelombang panjang dan fenomena *shock associated* (Cane & Stone, 1984)

peristiwa flare. Peristiwa *SA* mulai muncul kira-kira 1 menit sesudah kemunculan semburan tipe II untuk gelombang meter. Skema tersebut menunjukkan adanya selang antara *IP* type II dan *SA*.

Peristiwa *SA* mengakibatkan timbulnya *sudden commencement (SC)*. Dari 37 peristiwa yang dipilihnya, hanya 4 peristiwa yang tidak menghasilkan *SC* (3 diantaranya dari tepi timur matahari), 32 peristiwa bersamaan dengan *Solar Proton Event (SPE)* ~ 18 MeV. Secara rinci disebutkan pula bahwa dari 37 peristiwa yang

diteliti tersebut 21 diantaranya bersamaan dengan munculnya semburan tipe II dan Tipe IV, 7 peristiwa bersamaan hanya dengan tipe II dan 9 hanya dengan tipe IV

Gejala semburan tipe II merupakan indikator adanya kejutan korona (*coronal shock*) yang menandai adanya *CME* dan *SPE* yang berasosiasi sangat kuat dengan *CME* (Reames, 1992). Reames membedakan dua macam mekanisme percepatan partikel dari matahari. *Pertama, impulsive flares*; partikel berenergi tinggi yang terlempar didominasi oleh elektron namun ada juga partikel berat yang menyertai meski hanya dalam kapasitas yang relatif kecil. Semburan radio yang simultan dengan peristiwa ini adalah semburan tipe III, tipe V dan sekali-sekali tipe II juga menyertainya. Partikel-partikel tersebut terperangkap pada kerucut medan magnet yang relatif sempit, berkaitan langsung dengan daerah aktif dimana flare terjadi. *Kedua, secara gradual* yaitu percepatan partikel yang terjadi pada gelombang kejut yang dipandu oleh *CME*. Partikel-partikel tersebut dipercepat dalam kurun waktu beberapa hari dan mencakup daerah permukaan yang sangat luas. Partikel berenergi tinggi yang terlempar didominasi oleh proton dan partikel partikel berat lain terutama hidrogen. Semburan radio matahari yang menyertai adalah tipe II dan tipe IV; sesuai dengan mekanisme terjadinya semburan tipe-tipe tersebut dimana medan magnet berperan dalam pembentukannya. Tabel-1 dibawah menyatakan fenomena yang berkaitan dengan flare impulsif dan flare gradual (Reames, 1992).

Tabel 1. Sifat-sifat flare impulsif dan gradual

	Impulsive	Gradual
Partikel	kaya electron ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$	kaya proton ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$
	~ 1	~ 0.0005
	Fe/O	Fe/O
	~ 1.0	~ 0.1
	H/He	H/He
	~ 10	~ 100
	Q_{Fe}	Q_{Fe}
	~ +20	~ +13
Lamanya	beberapa jam	Beberapa hari
Kerucut bujur	<30 deg	~ 180 deg
Jenis pancaran Radio	III, V (II)	II, IV
X - rays	Impulsif	Gradual
Koronagraf	-	<i>CME</i> (96%)
Angin surya	-	IP shock
Flares/tahun	~ 1000	~ 10

(Sumber : Reames, 1992)

Setiap peristiwa flare besar akan meningkatkan intensitas hampir seluruh rentang spektra radiasi elektromagnetik matahari. Secara khusus kemunculan semburan tipe II yang terkait dengan flare umumnya diikuti oleh semburan tipe IV. Kedua tipe semburan ini juga dapat menjadi indikator adanya peningkatan intensitas *Soft X-ray (SXR)* seperti yang dilaporkan Sersen (1992). Dari 29 flare besar yang diikuti oleh semburan tipe II dan IV ternyata menunjukkan pula intensitas *SXR* yang tinggi yaitu 9 peristiwa *SXR* klas *M*, 18 peristiwa *SXR* klas *X*, dan hanya 1 peristiwa *SXR* klas *C* (tepatnya klas *C7*) sedangkan 1 peristiwa lagi tidak tercatat.

3. Kesimpulan

Semburan radio matahari merupakan fenomena yang menandakan peningkatan aktivitas matahari yang diamati pada rentang spektra radio. Medan magnet sangat berperan dalam mekanisme setiap tipe semburan.

Semburan type III menandai terlemparnya elektron berenergi tinggi dengan kecepatan yang sekitar sepertiga kecepatan cahaya. Garis gaya magnet berperan dalam memandu gerakan elektron ke ruang antar planet. Peningkatan arus elektron didalam angin surya sangat erat kaitannya dengan kemunculan semburan tipe III.

Setiap flare kuat yang diamati secara optis ($H\alpha$ flare) umumnya diikuti oleh semburan tipe II dan tipe IV. Semburan tipe ini menandai adanya kejutan korona, CME dan *Solar Proton Event (SPE)*. Kecepatan gelombang kejut itu adalah sebesar 500-1000 km/detik. Di atmosfer atas Bumi kejutan gelombang akan mengakibatkan timbulnya *Sudden Commencement (SC)*, sementara dalam kaitannya dengan radiasi matahari tipe II dan tipe IV merupakan indikator adanya peningkatan intensitas *Soft X-ray (SXR)*.

Daftar Pustaka

- Aswanden, M.J., Wiehl, H.J., Benz, A.O., 1985, *Solar Physics* 97, 159
- Cane, H.V. & Stone, R.G., 1984, *Astrophysical Journal* 282,339.
- Dryer, M., 1992, *Solar-Terrestrial Energy Program*, Proc. of the STEP Symp. D.N Baker, et al., hal.169
- Friis-Christensen, E., Lassen, K., 1992, *Solar-Terrestrial Energy Program*, Proc. of the STEP Symp., Ed. D.N Baker et al., hal.529
- Fainberg, J., Evans, L.G., Stone, R.G., 1972, *Science* 178,743.
- Kane, S.R., Kai, K., Kosugi, T., Enome, S., Landecker, P.B., Mc.Kenzie, D.L., 1983, *Astrophys. Journal*, 271, 376
- Kai K., Kosugi T., Nitta N., 1985, *Publ. Astron.Society Japan* 37, 155.
- Lin, R.P., Evans, L.G., Fainberg, J., 1973, *Astrophysical Lett.* 14,191.
- Lin, R.P., Potter, D.N., Gurnett, D. A., Scarf, F.L., 1981, *Astrophys. Journal* 251,364.
- Melrose, D.B., 1980, *Solar Physics* 67, 357.
- Nelson, G.J., Melrose, D.B., 1985, *Solar Radio Physics*, ed. D.J.McLean & Labrum. hal.333.
- Reames, D.V., 1992, *Solar-Terrestrial Predictions-IV*, Proc.of a Workshop, ed. J.Hruska et al., Ottawa, Canada, hal. 302
- Reiner, M.J., Stone, R.G., 1986, *Solar Physics* 104, 92
- Robinson, R.D., Stewart, R.T., Cane, H.V., 1984, *Solar Physics* 91, 159.
- Simnet, G.M., 1986, *Solar Physics* 104, 67

- Spicer, D.S. , Brown, J.C.,1981, *The Sun and Star*, S. Jordan (ed.), NASA SP-450, hal. 413.
- Suzuki, S., Dulk, G.A., 1985, *Solar Radio Physics*, ed. D.J.McLean & Labrum. hal.289
- Stewart, R.T., 1985, *Solar Radio Physics*, D.J.McLean & Labrum (eds.), hal.361.
- Suprijatno, Suratno, Ratag, M.A., 1997, *Majalah LAPAN* 83, 23.
- Suratno, Nurzaman, 1997, *Majalah LAPAN* 84, 6
- Suratno, Suprijatno, Ratag, M.A., 1993, *Proceding Program Penelitian 1993/1994* Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN.