

ANALISIS ASOSIASI SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE III DENGAN FLARE SINAR-X DAN FREKUENSI MINIMUM IONOSFER

Suratno*) dan Sri Suhartini)**

***) Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN**

*****) Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, LAPAN**

e-mail : suratno@bdg.lapan.go.id

Diterima 21 Oktober 2010; Disetujui 5 Januari 2011

ABSTRACT

The type III solar radio bursts is an indicator of solar X-ray flare phenomena. The effect of solar X-ray flares to the ionospheric layer is the increasing of minimum frequency (f_{\min}) which indicates the absorption of incoming high frequency (HF) radio wave. Further impact is a disturbance of high frequency radio communications. The number and flux density of type III bursts and X-ray flare can used as an information of ionospheric disturbance possibility. The correlation analysis shows that the number of X-ray flare is related to the number of ionospheric absorption and the time duration of these absorption. The serial event of type III bursts and solar X-ray flare occurs during February 6th to 12th, 2010 are an example cases of the early warning of possibility of radio communications disturbances.

Key Words: Solar radio bursts, X-ray flare, Radio communication disturbance

ABSTRAK

Semburan (*bursts*) radio Matahari tipe III merupakan indikator adanya kejadian flare sinar-X. Flare sinar-X mengakibatkan peningkatan frekuensi minimum (f_{\min}) ionosfer yang mengindikasikan adanya absorpsi ionosfer terhadap gelombang radio frekuensi tinggi yang datang. Dampak lebih lanjut adalah terjadinya gangguan komunikasi radio HF. Jumlah dan tingkat fluks kejadian semburan tipe III dan kejadian flare sinar-X dapat digunakan sebagai informasi kemungkinan akan adanya gangguan ionosfer. Analisis korelasi menunjukkan bahwa banyaknya flare sinar-X memang terkait dengan banyaknya kemungkinan terjadinya peristiwa absorpsi ionosfer dan lama waktu absorpsi ionosfer. Rangkaian peristiwa semburan radio Matahari tipe III dan flare sinar-X yang terjadi dari tanggal 6 sampai dengan 12 Februari 2010 adalah contoh kasus untuk peringatan dini kemungkinan adanya gangguan komunikasi radio.

Kata Kunci: Semburan radio Matahari, Flare sinar-X, Gangguan komunikasi radio

1 PENDAHULUAN

Untuk dapat memahami hubungan aktivitas Matahari dengan Bumi perlu dilakukan studi tentang radiasi Matahari. Energi hasil fusi nuklir di dalam inti Matahari dilepaskan dan bergerak menuju permukaan Matahari melalui proses konveksi. Di permukaan Matahari energi terjadi melalui proses termal dan berinteraksi dengan magnetik di fotosfer, kromosfer dan korona Matahari yang mengakibatkan adanya lapisan plasma yang terionisasi. Proses termal menghasilkan radiasi pada spektra elektromagnetik yang lengkap dari gelombang radio, sinar tampak UV, sinar-X, sampai sinar Gamma terpancar keluar permukaan Matahari menuju lingkungan antariksa termasuk di atmosfer Bumi. Adanya interaksi dengan lingkungan terestrial mengakibatkan perubahan kondisi di ruang tersebut dan disebut sebagai cuaca antariksa. Cuaca antariksa ekstrim dapat terjadi bila ada peristiwa ekstrim pula di Matahari, misalnya flare. Fenomena terkait flare antara lain adanya lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*), peningkatan fluks sinar-X, peningkatan fluks sinar ultra violet (UV), dan terjadinya semburan radio (*radio bursts*) Matahari baik pada gelombang mikro (milimeter-centimeter-desimeter) maupun gelombang panjang (meter dan di atasnya).

Peningkatan fluks sinar X secara transien merupakan peristiwa flare sinar X. Flare yang diamati pada panjang gelombang 1 – 8°A dan dikenal dengan sinar-X lunak (*Soft X-Ray*), sedangkan yang diamati pada gelombang <1°A disebut sinar-X keras (*Hard X-Ray*). Klas flare sinar-X adalah A, B, C, M, dan klas X berturut-turut memiliki fluks 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} dan 10^{-4} Watt/m² (Dulk D.A. et al., 1985). Mekanisme terjadinya flare sinar-X ini adalah adanya peningkatan temperatur kromosfer Matahari melalui proses termal (Svestka, 1976). Peningkatan fluks ini berpengaruh pada lapisan E dan F Ionosfer. Kerapatan elektron di lapisan ionosfer didominasi oleh kerapatan di lapisan F (Wang et al. 2005), sementara Liu, et al. (2006) menyebutkan bahwa keterkaitan erat antara variasi TEC (pada tengah hari) meningkat dengan peningkatan fluks flare sinar-X hanya untuk flare klas M dan kelas X. Pembentukan ion di lapisan atmosfer ini melalui proses fotoionisasi dari sinar *Extreme Ultraviolet* (EUV) dan *sinar-X*. Ketika terjadi peristiwa transien (flare) di permukaan atau di atmosfer Matahari (kromosfer) maka tingkat fluks radiasi pengionisasi ini juga meningkat secara mendadak, sehingga akan memiliki akibat yang juga transien di lapisan ionosfer sehingga memungkinkan akan terjadinya anomali di lapisan atau bagian lapisan ionosfer.

Semburan radio Matahari dapat diamati di permukaan Bumi pada jendela (radio) atmosfer Bumi, yaitu pada rentang gelombang 1 mm

sampai 10 m atau pada rentang frekuensi 30 MHz sampai 300 GHz. Hasil pengamatan berupa spektra dinamik yang diklasifikasi menjadi 5 (lima) tipe yaitu tipe I, II, III, IV dan V (Wild, et al., 1963). Setiap flare kuat yang diamati secara optis misalnya pada gelombang $H\alpha$ (disebut flare $H\alpha$) umumnya diikuti oleh semburan tipe II dan tipe IV. Didasarkan atas karakteristik yang terbaca pada spektra dinamik, semburan radio tipe II dan tipe III diyakini terjadi karena mekanisme radiasi plasma (Melrose, 1985). Partikel (elektron) yang terlempar atau terdorong di depan dan atau terseret di belakang muka gelombang kejut (*shock front*) merangsang osilasi plasma menjadi gelombang yang teradiasi (Spitzer, Jr., 1956). Tiga fenomena yaitu flare sinar-X, semburan radio tipe III dan anomali ionosfer memiliki keterkaitan erat. Dengan melakukan pengamatan Matahari dari fenomena flare sinar-X, semburan radio Matahari khususnya semburan tipe III maka dapat dijadikan informasi awal kemungkinan akan terjadinya anomali ionosfer.

Dampak aktivitas Matahari pada struktur dan dinamika ionosfer dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok yaitu dampak langsung dan dampak tunda. Dampak langsung, disebabkan adanya radiasi elektromagnetik pengionisasasi yaitu oleh radiasi sinar-X dan UV. Radiasi sinar-X dan UV mampu menembus sampai lapisan terbawah ionosfer (lapisan D). Waktu penjaralan radiasi ini dari permukaan Matahari sampai lapisan ionosfer sekitar 8,3 menit. Dampak langsung oleh radiasi ini akan sangat berpengaruh pada frekuensi minimum (f_{\min}) ionosfer (Grubor et al., 2005). Sementara dampak tunda aktivitas Matahari apabila anomali ionosfer terjadi dalam selang waktu 12 – 60 menit dan 40- 80 jam bahkan lebih sejak terjadinya peristiwa transien di Matahari (Fainberg et al., 1972; Lin et al., 1981, Suratno et al., 2009). Fenomenanya adalah karena interaksi dengan lontaran partikel energetik, penjaralan gelombang kejut dan lontaran masa korona (CME). Apabila terjadi peningkatan aktivitas Matahari secara transien (flare) maka fenomena seperti CME, *Solar Wind Plasma (SWP)*, *Solar Energetic Particle (SEP)*, *Interplanetary Magnetic Field (IMF)* akan menunjukkan kenaikan fluksnya. Dampak tunda oleh partikel bermuatan energi tinggi akan sangat berpengaruh pada lapisan teratas ionosfer (lapisan F) yang dikenal dengan foF2. Semburan radio Matahari yang berperan adalah semburan tipe II dan tipe III yang dapat dijadikan sebagai indikator awal kemungkinan akan terjadinya anomali ionosfer.

Berdasarkan mekanisme yang terjadi seperti dijelaskan di atas, maka yang berdampak pada variasi kerapatan ion di lapisan ionosfer yang berpotensi mengakibatkan pergeseran frekuensi minimum (f_{\min}) adalah terjadinya radiasi sinar-X. Frekuensi minimum (f_{\min}) adalah frekuensi terendah yang teramati di ionogram. Gelombang radio yang

dipancarkan oleh ionosonda, dipantulkan oleh lapisan ionosfer (dari lapisan D atau dari lapisan E atau dari lapisan F) dan terdeteksi oleh sistem penerima ionosonda tersebut. Gelombang radio yang datang di lapisan ionosfer yang semula dapat dipantulkan, karena adanya pergeseran (kenaikan) f_{\min} maka gelombang tersebut menjadi tidak terpantul. Fenomena ini disebut sebagai absorpsi gelombang radio. Peningkatan kerapatan ion akan meningkatkan absorpsi gelombang radio yang melalui lapisan D ionosfer (McNamara, 1991). Kondisi tersebut mengindikasikan terjadinya gangguan atau kegagalan komunikasi radio frekuensi ini.

Adanya peristiwa flare sinar-X peningkatan absorpsi semakin besar terhadap frekuensi yang lebih rendah mengindikasikan f_{\min} menjadi lebih tinggi dari frekuensi sebelumnya. Karena peristiwa flare sinar-X terkait dengan kejadian semburan radio tipe III maka semburan ini dapat dijadikan indikator terjadinya pergeseran frekuensi minimum tersebut.

Pada penelitian ini akan dianalisis keterkaitan antara aktivitas Matahari dengan menggunakan data semburan radio tipe III dan aktivitas flare sinar-X yang berdampak langsung terhadap dinamika atau anomali ionosfer. Analisis dilakukan dengan meninjau data peningkatan f_{\min} ionosfer yang mengindikasikan adanya absorpsi gelombang radio yang dipancarkan dari landas Bumi oleh ionosonda. Data absorpsi ini menggambarkan gangguan komunikasi radio frekuensi tinggi (HF).

2 DATA OBSERVASI

Salah satu peralatan pengamatan Matahari yang dioperasikan di Stasiun Pengamat Dirgantara (SPD) Tanjungsari adalah teleskop radio yaitu spektrograf radio yang beroperasi pada rentang frekuensi 57 MHz – 1800 MHz. Spektrograf radio ini memantau aktivitas Matahari dan merekam data semburan radio Matahari secara kontinu. Di SPD Tanjungsari juga dioperasikan peralatan pengamatan ionosfer yaitu ionosonda IPS 71 yang merekam data dinamika ionosfer. Seting operasional ionosonda per 15 menit, sehingga data ionosfer yang terekam adalah data kondisi ionosfer setiap 15 menit. Data semburan tipe III diperoleh dari hasil deteksi spektrograf radio SN4000 dan data f_{\min} dengan ionosonda IPS 71. SPD Tanjungsari pada tanggal 6 s.d 12 Februari 2010 mendeteksi sebanyak 56 kali kejadian semburan radio Matahari tipe III (Tabel 2-1). Rentang waktu pengamatan dari pukul 00:00 - 09:00 UT (07:00 – 16:00 WIB). Pada rentang waktu tersebut terdeteksi semburan tipe III berturut-turut tanggal 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12 Februari 2010 adalah 7, 3, 20, 4, 7, 6, dan 9 peristiwa.

Data flare sinar-X diperoleh dari hasil pengamatan satelit GOES (<http://goes.ngdc.noaa.gov/data>). Khususnya data semburan tipe III, terdapat satu data yang diperoleh dari hasil pengamatan *Izmiran Observatory*.

Akhir tahun 2009 dan awal tahun 2010 ini terindikasi sebagai awal siklus aktivitas Matahari ke-24. Kecenderungan peningkatan jumlah bintik Matahari baru terjadi mulai bulan September 2009 (Suratno, 2010). Pada bulan Februari 2010 kondisi Matahari masih dapat dikatakan tenang. Hal ini didukung dengan masih sedikitnya kemunculan bintik Matahari. Dengan demikian peristiwa yang terjadi pada tanggal-tanggal tersebut dianggap cukup baik apabila dikaitkan dengan penelitian pengaruh aktivitas Matahari pada dinamika ionosfer.

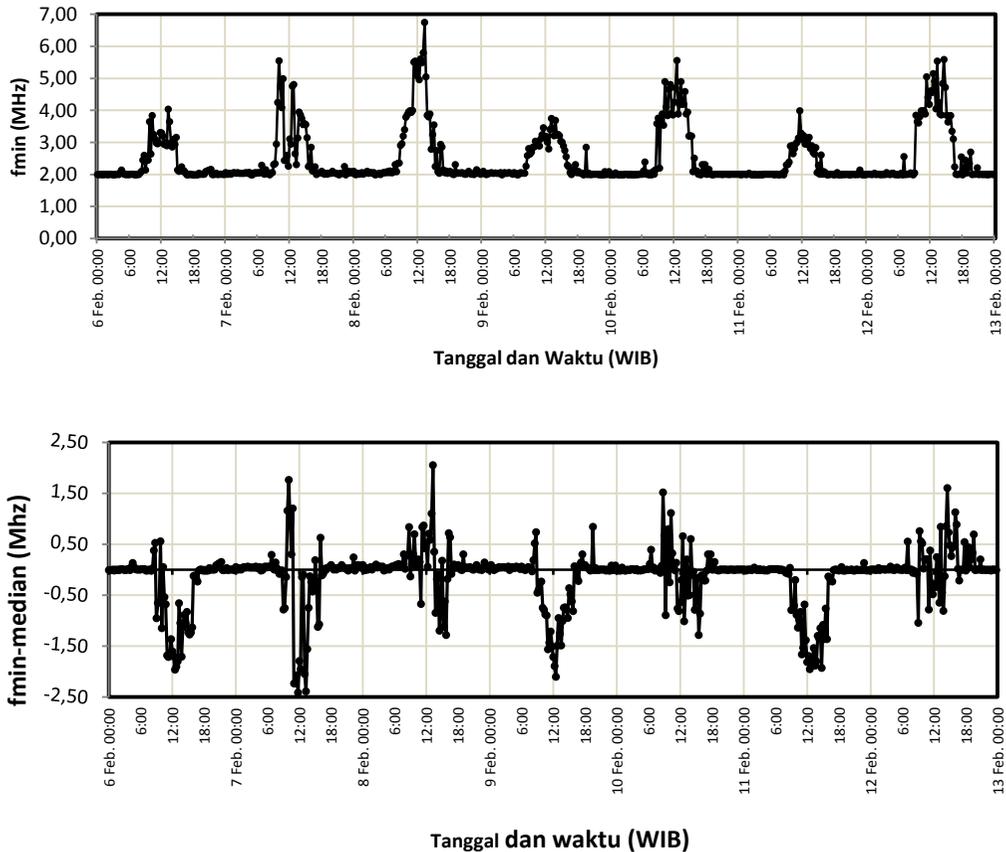
Tabel 2-1: KEJADIAN SEMBURAN TIPE III

No.	ttbbhh	awal	akhir	No.	ttbbhh	awal	akhir	No.	ttbbhh	awal	akhir
1	100206	0009.0	0015.0	21	100208	0311.5	0315.0	41	100210	0723.0	0728.0
2	100206	0127.0	0135.0	22	100208	0353.5	0354.0	42	100211	0014.0	0015.5
3	100206	0155.0	0155.5	23	100208	0407.0	0417.0	43	100211	0119.0	0120.0
4	100206	0307.0	0308.0	24	100208	0422.5	0423.0	44	100211	0316.0	0316.5
5	100206	0436.5	0437.0	25	100208	0426.0	0426.5	45	100211	0352.5	0353.5
6	100206	0644.0	0644.5	26	100208	0513.5	0524.0	46	100211	0556.0	0558.0
7	100206	0702.0	0706.5	27	100208	0610.0	0610.5	47	100211	0736.5	0737.0
8	100207	0230.0	0239.0	28	100208	0702.0	0703.0	48	100212	0047.5	0056.0
9	100207	0530.0	0531.0	29	100208	0739.0	0743.0	49	100212	0112.0	0112.5
10	100207	0536.0	0538.0	30	100208	0749.5	0750.0	50	100212	0215.0	0215.5
11	100208	0004.5	0005.0	31	100209	0103.0	0103.5	51	100212	0401.5	0402.0
12	100208	0009.0	0009.5	32	100209	0224.0	0224.5	52	100212	0453.5	0454.0
13	100208	0011.0	0017.5	33	100209	0534.5	0535.0	53	100212	0606.0	0613.0
14	100208	0056.5	0057.0	34	100209	0540.0	0540.5	54	100212	0632.0	0634.5
15	100208	0113.5	0120.5	35	100210	0011.5	0014.0	55	100212	0641.5	0654.5
16	100208	0231.0	0232.0	36	100210	0426.0	0429.5	56	100212	0721.0	0726.5
17	100208	0245.5	0246.5	37	100210	0508.5	0510.0				
18	100208	0254.0	0255.5	38	100210	0551.0	0555.0				
19	100208	0303.5	0304.0	39	100210	0622.0	0622.5				
20	100208	0309.0	0309.5	40	100210	0713.0	0713.5				

Keterangan : kolom 1: nomor kejadian
 kolom 2: (ttbbhh) tahun, bulan, hari/tanggal
 kolom 3: waktu awal (jam menit dalam UT)
 kolom 4: waktu akhir (jam menit dalam UT)

Grafik hasil deteksi frekuensi minimum (f_{min}) dengan ionosonda SPD Tanjung Sari, ditunjukkan pada Gambar 2-1 (atas), dan pada rentang tanggal tersebut umumnya f_{min} banyak bervariasi, hanya tanggal 9 dan tanggal 11 yang terlihat normal. Untuk mengetahui apakah frekuensi minimum (f_{min}) di lapisan ionosfer tersebut meningkat atau menurun, perlu dibandingkan dengan median bulanan data f_{min} .

Gambar 2-1 (bawah) adalah grafik f_{\min} -median bulanan. Karena proses ionisasi lapisan ionosfer terbawah (lapisan D) oleh radiasi sinar-X atau ultraviolet secara langsung, maka terindikasi anomali apabila terdeteksi variasi f_{\min} -median cukup besar sekitar 1-2 MHz, bahkan f_{\min} -median ini dapat mencapai di atas nol (atau bernilai positif).



Gambar 2-1: Grafik frekuensi minimum dari tanggal 6 – 12 Februari 2010 (atas) dan variasi f_{\min} – median bulanan (bawah)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dianalisis keterkaitan antara aktivitas Matahari (dengan menggunakan data semburan radio tipe III, aktivitas flare sinar-X) dan dinamika atau anomali ionosfer dengan meninjau data peningkatan frekuensi minimum (f_{\min}) sebagai indikasi absorpsi gelombang radio yang dipancarkan oleh ionosonda. Data absorpsi ini menggambarkan gangguan komunikasi radio frekuensi tinggi (HF). Data yang terekam di ionosonda adalah frekuensi gelombang radio yang dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Dengan adanya peningkatan frekuensi minimum ini berarti gelombang yang dipancarkan dari muka

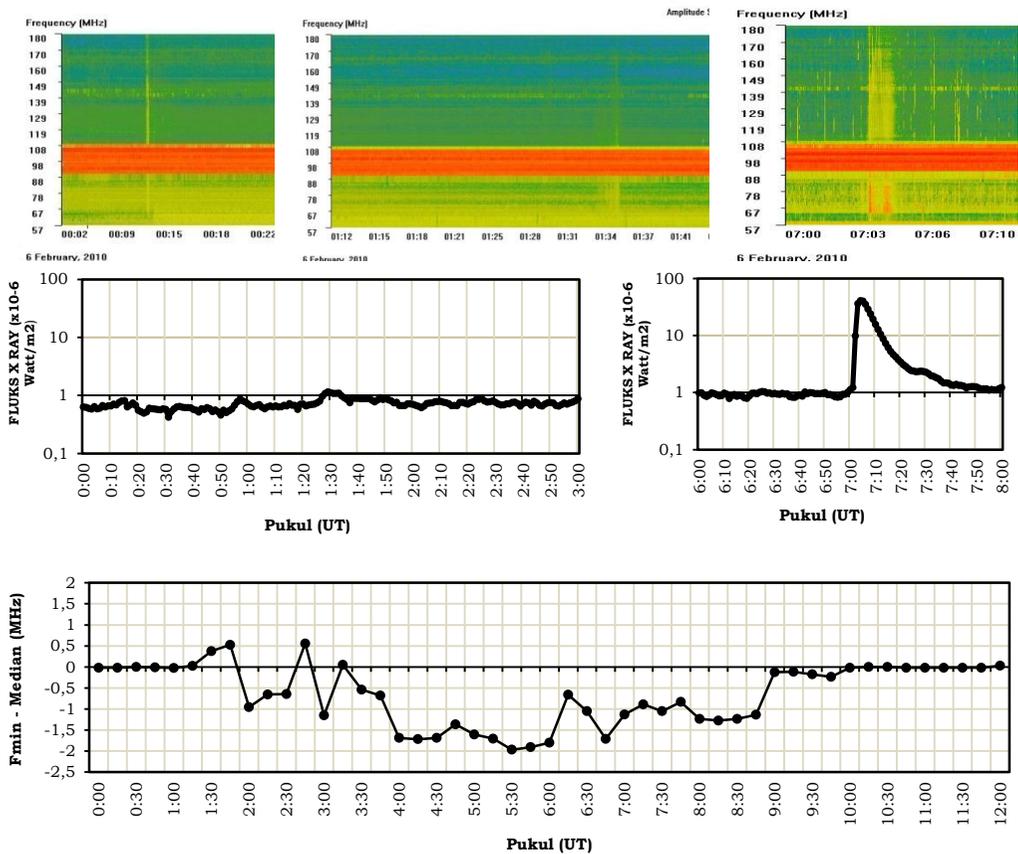
Bumi yang semula dipantulkan menjadi tidak dipantulkan atau diabsorpsi oleh lapisan ionosfer. Peningkatan f_{\min} tersebut terkait dengan adanya peningkatan fluks sinar-X karena adanya peristiwa flare. Antara semburan radio Matahari tipe III dan peristiwa flare memiliki keterkaitan yang erat. Oleh karenanya semburan tipe III ini dapat menjadi indikasi kemungkinan akan terjadinya peningkatan f_{\min} yang berakibat terjadi absorpsi pada gelombang yang dipancarkan. Apabila gelombang ini digunakan untuk komunikasi radio, maka akan terjadi gangguan komunikasi. Pada analisis berikut ini semua waktu dinyatakan dalam UT (*Universal Time*, WIB=UT+7)

Peristiwa 6 Februari 2010

Serangkaian semburan radio Matahari tipe III terjadi pada tanggal 6 Februari 2010 sebanyak 8 kali peristiwa, namun ada sebagian yang nampak sebagai badai noise. Peristiwa terjadi pada pukul (UT) 00:09 – 00:15, 01:27 – 01:35, 01:55 – 01:55.5, 03:07 – 03:08, 04:36.5 – 04:37, 06:44 – 06:44.5, 07:02 – 07:06.5. Fluks sinar-X hanya pada kelas B (orde 10^{-7} Watt/m²) dengan puncak fluks pada sekitar pukul 00:12 UT, 00:56 UT dan kelas C4.1 ($4,1 \times 10^{-6}$ Watt/m²) dengan puncak fluks pada pukul 07:43 UT. Absorpsi ionosfer terjadi pada sekitar pukul 01:15 – 02:00 dan 02:30 – 02:45 UT. Setelah terjadi kenaikan f_{\min} , kemudian terjadi proses rekombinasi kembali f_{\min} menjadi menurun. Penurunan f_{\min} dapat terjadi sedemikian sehingga f_{\min} menjadi lebih rendah dari mediannya.

Pada rangkaian peristiwa ini, peran semburan tipe III (sebagai indikator) terlihat pada variasi frekuensi minimum meskipun berada di bawah median bulanan tetapi bervariasi cukup lebar. Hal ini sangat terkait dengan peristiwa flare sinar-X yang juga diindikasikan banyaknya kemunculan semburan radio tipe III (Gambar 3-1). Sesuai dengan waktu kejadiannya, absorpsi ionosfer pukul 01:15 – 02:00 dan 02:30 – 02:45 UT terkait dengan semburan tipe III pukul 00:09 – 00:15, 01:27 – 01:35 UT. Sedangkan variasi ionosfer yang terjadi sekitar pukul 06:00 sampai dengan pukul 7:30 UT terkait dengan semburan tipe III pukul 07:02 – 07:06.5 UT dan peristiwa flare sinar-X kelas C4.1. Meskipun frekuensi minimum berada di bawah median bulanan f_{\min} , namun variasi yang besar ini menunjukkan adanya perubahan frekuensi minimum yang dapat berakibat terjadinya gangguan komunikasi radio.

Semburan radio Matahari tipe III



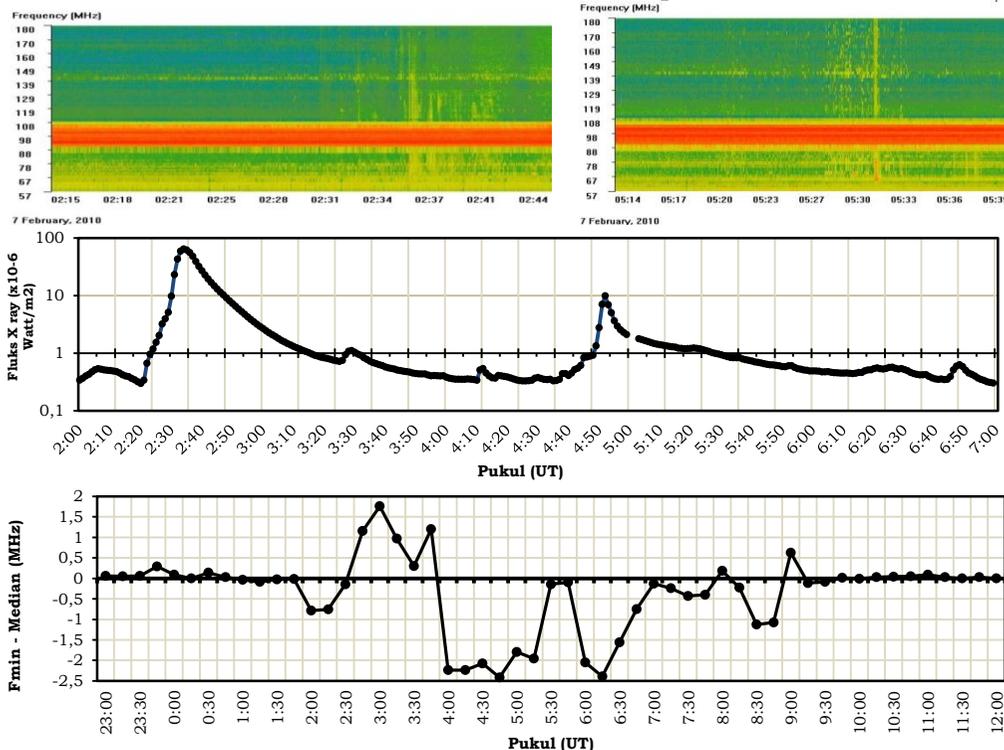
Gambar 3-1: Sebagian dari semburan radio Matahari tipe III yang terkait dengan variasi sinar-X dan absorpsi ionosfer. Fluks sinar-X meningkat pada sekitar pukul 00:12, 00:56 dan 07:00 UT, sedangkan absorpsi ionosfer terjadi pada sekitar pukul 01:00 dan 02:30 UT

Peristiwa 7 Februari 2010

Pada tanggal 7 Februari 2010 terjadi tiga peristiwa semburan radio Matahari tipe III yaitu pada pukul 02:30 – 02:39, 05:30 – 05:31 dan 05:36 – 05:38 (UT). Terjadi lonjakan fluks sinar-X (flare kelas M6,5) pada sekitar pukul 02:30 – 02:50 dan kelas M1.0 pada pukul 04:50 – 05:00 UT. Gambar 3-2 (bawah) terlihat f_{\min} -median yang bernilai positif (mengindikasikan terjadi absorpsi ionosfer) pada pukul 02:30 – 04:00 UT yang sangat terkait dengan peristiwa semburan tipe III dan flare sinar-X. Absorpsi juga terjadi pada sekitar pukul 08:45 UT. Sedangkan peristiwa semburan tipe III yang terjadi sekitar pukul 05:30 UT dan flare sinar-X yang terjadi pukul 04:50 UT terkait dengan frekuensi minimum yang bervariasi cukup tinggi yaitu meningkat dan menurun tajam (2 - 2,5 MHz) dari f_{\min} sebelum dan sesudahnya yang puncaknya terjadi pada pukul 05:30 UT. Sama seperti halnya pada peristiwa

pertama (6 Februari 2011), variasi yang besar pada f_{min} dapat berakibat terjadinya gangguan komunikasi radio.

Semburan radio Matahari tipe III



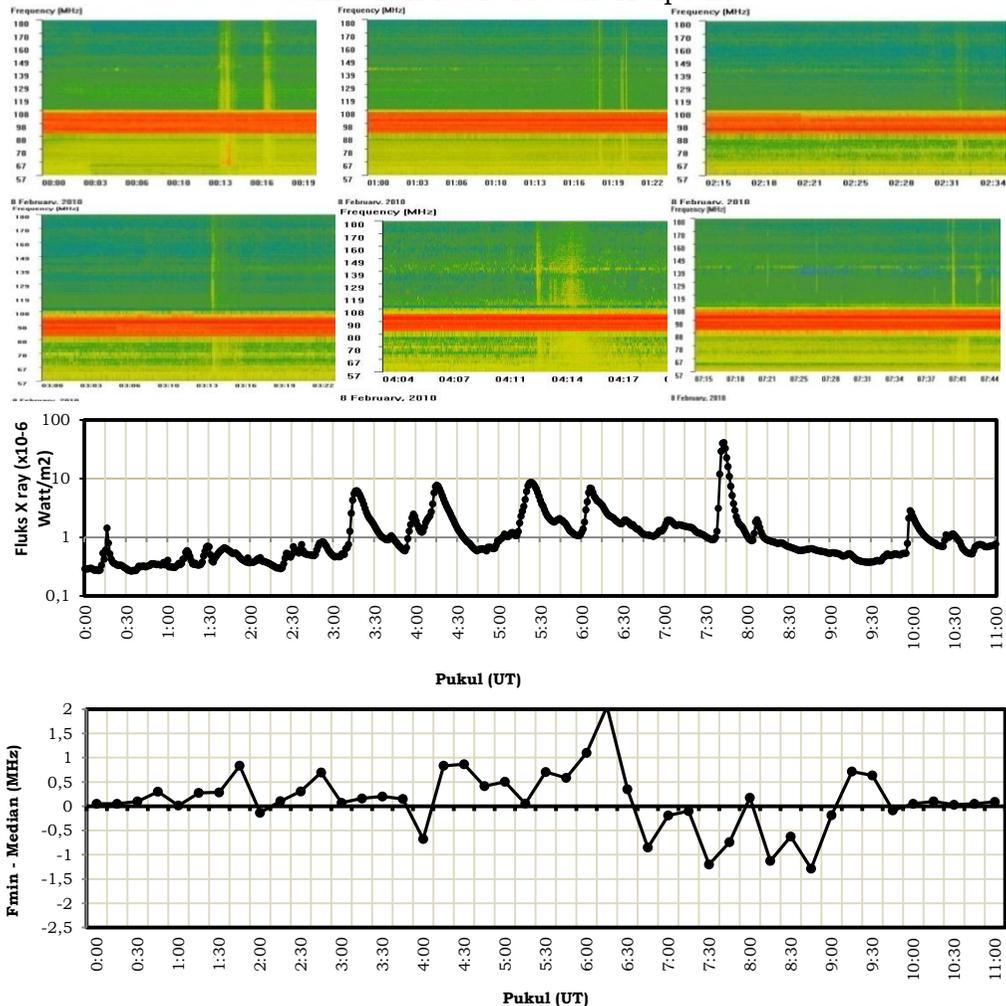
Gambar 3-2: Pada tanggal 7 Februari 2010, fluks sinar-X meningkat menonjol pada sekitar pukul 02:30 dan 04:50 – 05:00 UT, sedangkan absorpsi ionosfer terjadi pada sekitar pukul 02:45 sampai dengan 04:15 UT. Sementara f_{min} yang terkait peningkatan fluks sinar-X pada pukul 04:50-05:00 UT terjadi sekitar pukul 05:45 yang meningkat dari f_{min} sebelumnya

Peristiwa 8 Februari 2010

Pada rentang tanggal 6 – 12 Februari 2010, tanggal 08 Februari 2010 tercatat paling banyak terjadi rangkaian peristiwa semburan tipe III yaitu 20 kali (Tabel 2-1). Peristiwa pada tanggal 08 Februari 2011 ini, diawali dengan semburan yang berupa badai noise dari sekitar pukul 00:04 UT, disusul dengan munculnya semburan tipe III yang berurutan dari pukul 00:11 sampai dengan pukul 00:17.5. Peristiwa terjadi hampir sepanjang hari dari pukul 00 sampai dengan pukul 08 UT. Sebagian rekaman spektra dinamik dari peristiwa semburan ini diperlihatkan pada Gambar 3-3. Fluks sinar-X juga meningkat dan bervariasi cukup menonjol hampir sepanjang hari. Flare sinar-X pada kelas C1.5 pukul 00:16, kelas C6.1 pukul 03:16 UT, kelas C2.5 pukul

03:58, kelas C7.7 pukul 04:15 UT, kelas C8.6 pukul 05:23 UT, kelas C6.9 pukul 06:06 UT, kelas M4.1 pukul 07:43 UT, kelas C1.8 pukul 08:07 UT dan kelas C2.8 pukul 09:58 UT. Peristiwa ionosfer yang menarik adalah bahwa pada siang hari tersebut terjadi indikasi adanya absorpsi dari pukul 00:30 sampai dengan 06:30 UT dan sekitar pukul 09:00 – 09:45 UT. Frekuensi minimum yang terjadi pada rentang waktu pukul 06:30–09:00 UT lebih tinggi dari median bulanan namun sangat bervariasi mencapai 1,5 MHz.

Semburan radio Matahari tipe III

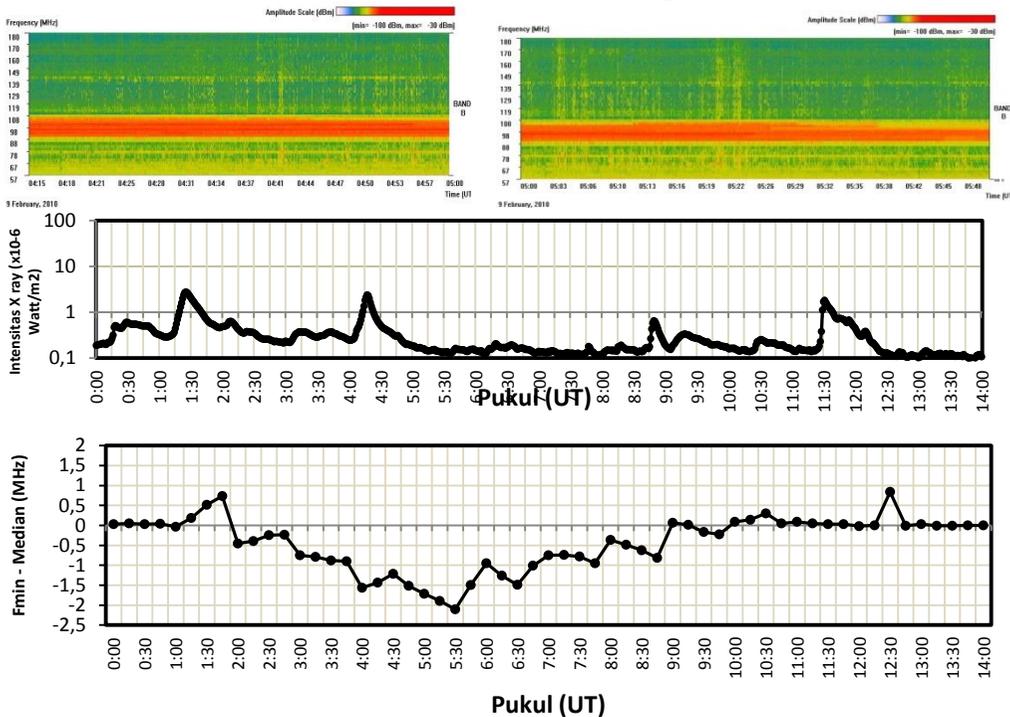


Gambar 3-3: Pada tanggal 08 Februari 2010 ini, tercatat paling banyak terjadi (20 kali) semburan radio tipe III. Fluks sinar-X juga meningkat dan bervariasi cukup menonjol. Absorpsi ionosfer terjadi hampir sepanjang hari dari pukul 00:30 sampai dengan 06:30 UT dan sekitar pukul 09:00 – 9:45 UT

Peristiwa 9 Februari 2010

Tanggal 09 Februari 2010 hanya terjadi empat peristiwa semburan tipe III, yaitu pada pukul 01:03 – 01:03.5, 02:24 – 02:24.5, 05:34.5 – 05:35, dan 05:40 – 05:40.5 UT. Diantaranya nampak seperti badai noise yang cukup menonjol pada sekitar pukul 05:00 UT. Peningkatan fluks sinar-X nampak tinggi yang puncaknya terjadi pada sekitar pukul 01:30, 04:24, 08:48 dan 11:36 UT. Flare sinar-X kelas B6.1 pukul 0:29 UT, kelas C2.8 pukul 01:25 UT, kelas B6.2 pukul 02:06 UT, kelas C2.4 pukul 04:17 UT, kelas B6.6 pukul 08:49 UT dan kelas C1.8 pukul 11:31 UT. Peristiwa ini tidak signifikan mengakibatkan anomali ionosfer, diindikasikan hanya terjadi absorpsi pada sekitar pukul 01:15, 10:15 dan 12:30 UT. Namun jika dilihat f_{min} yang nampak berfluktuasi, menunjukkan bahwa variasi parameter lapisan ionosfer ini terkait dengan kejadian atau variasi intensitas sinar-X.

Semburan radio Matahari tipe III

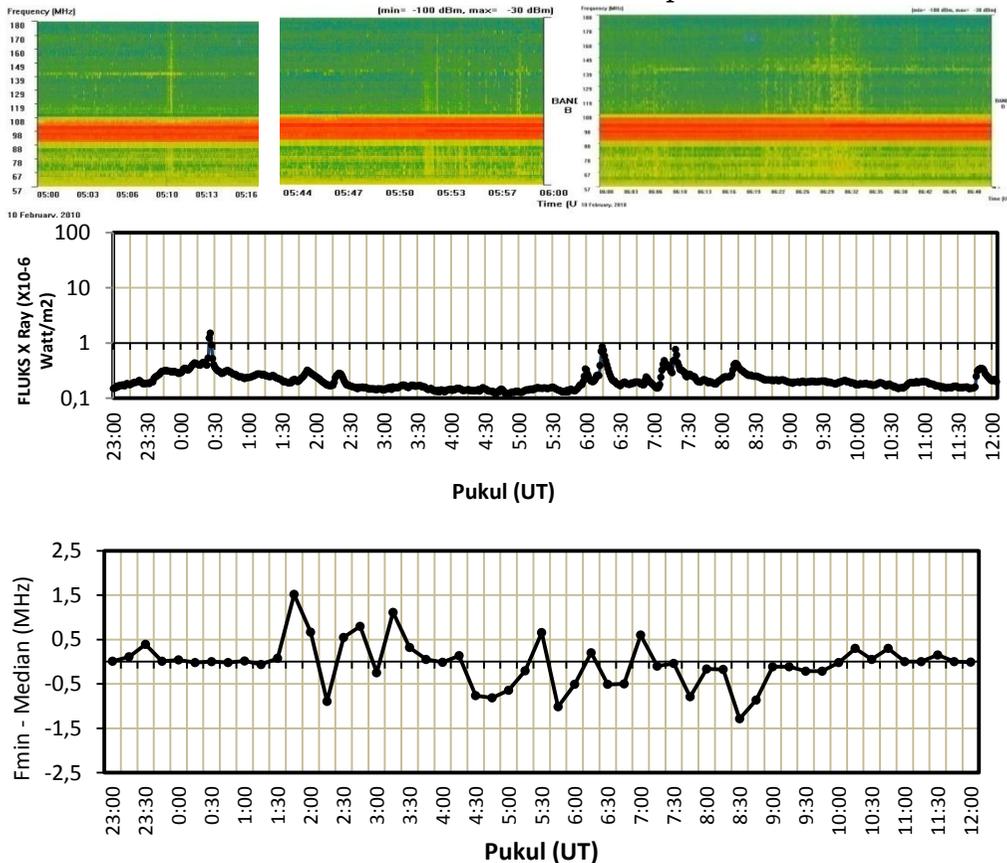


Gambar 3-4: Tanggal 09 Februari 2010 tidak banyak terjadi peristiwa semburan tipe III, dan nampak seperti badai noise yang cukup menonjol pada sekitar pukul 05:00 UT (atas). Fluks sinar-X nampak menonjol pada sekitar pukul 01:30, 04:24, 08:48 dan 11:36 UT (tengah). Absorpsi ionosfer hanya terjadi pada sekitar pukul 01:15, 10:15 dan 12:30 UT (bawah)

Peristiwa 10 Februari 2010

Tanggal 10 Februari 2010 terjadi semburan tipe III sebanyak 7 kali peristiwa, ada diantaranya berupa badai noise. Gambar 3-5 adalah sebagian dari peristiwa semburan radio Matahari pada tanggal dan pada rentang waktu tersebut. Flare sinar-X kelas C1.2 terjadi pada sekitar pukul 00:26 dan beberapa flare kelas B dengan fluks puncak pada sekitar pukul 1:45, 02:15, 06:00, 06:15, 07:12, dan 07:17 UT. Tetapi absorpsi ionosfer terjadi hampir sepanjang siang hari sekitar pukul 01:30 – 04:30 UT, 05:30 UT, 6:15 UT, 7:00 UT dan 10:00 – 11:30 UT. Kondisi ini memperkuat dugaan bahwa semburan tipe III atau badai noise dapat menjadi indikator kemungkinan terjadinya anomali di ionosfer.

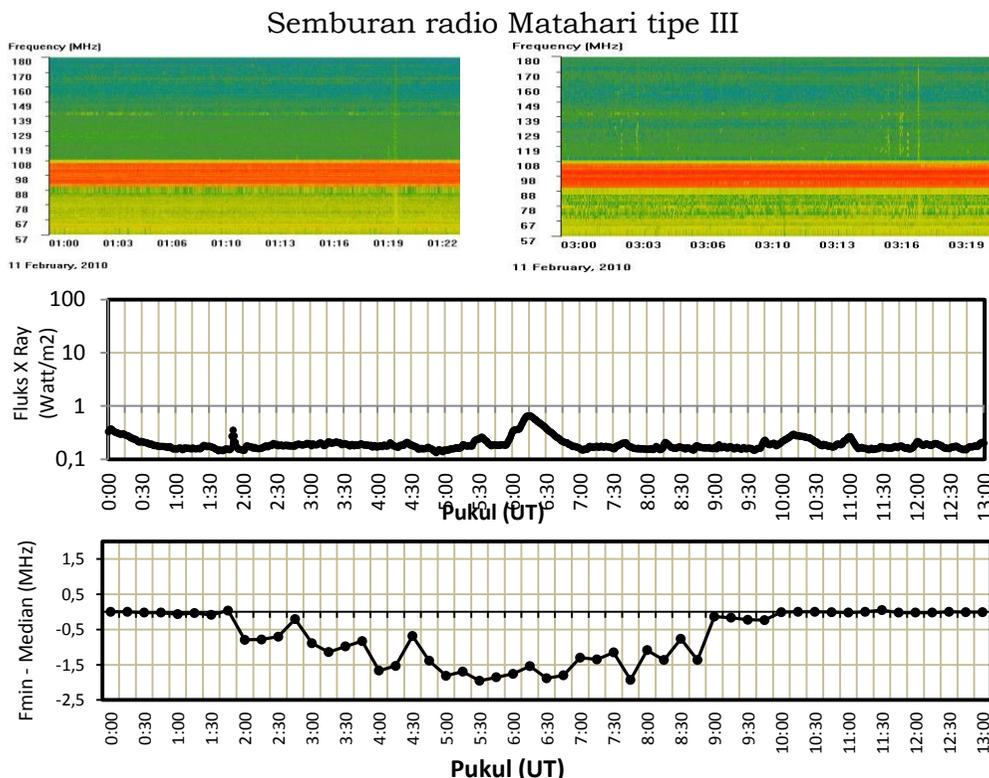
Semburan radio Matahari tipe III



Gambar 3-5: Tanggal 10 Februari 2010 terjadi semburan tipe III sebanyak 7 kali peristiwa (atas). Fluks sinar-X meningkat yang mencapai puncak pada sekitar pukul 07:40 UT (tengah). Absorpsi ionosfer terjadi hampir sepanjang hari dari sekitar pukul 01:30 UT sampai dengan 11:30 UT (bawah)

Peristiwa 11 Februari 2010

Kondisi aktivitas Matahari pada tanggal 11 Februari 2010 tidak signifikan. Semburan tipe III terdeteksi hanya 6 kali peristiwa dengan fluks yang tidak menonjol dan lebih menyerupai badai noise. Demikian pula, tidak terjadi flare sinar-X dan hanya flare yang sangat kecil dengan fluks rendah kelas B3.5 terjadi pada pukul 01:51 UT dan kelas B6.7 terjadi pada pukul 06:16 UT. Pada siang hari tanggal tersebut tidak terjadi absorpsi ionosfer (Gambar 3-6).



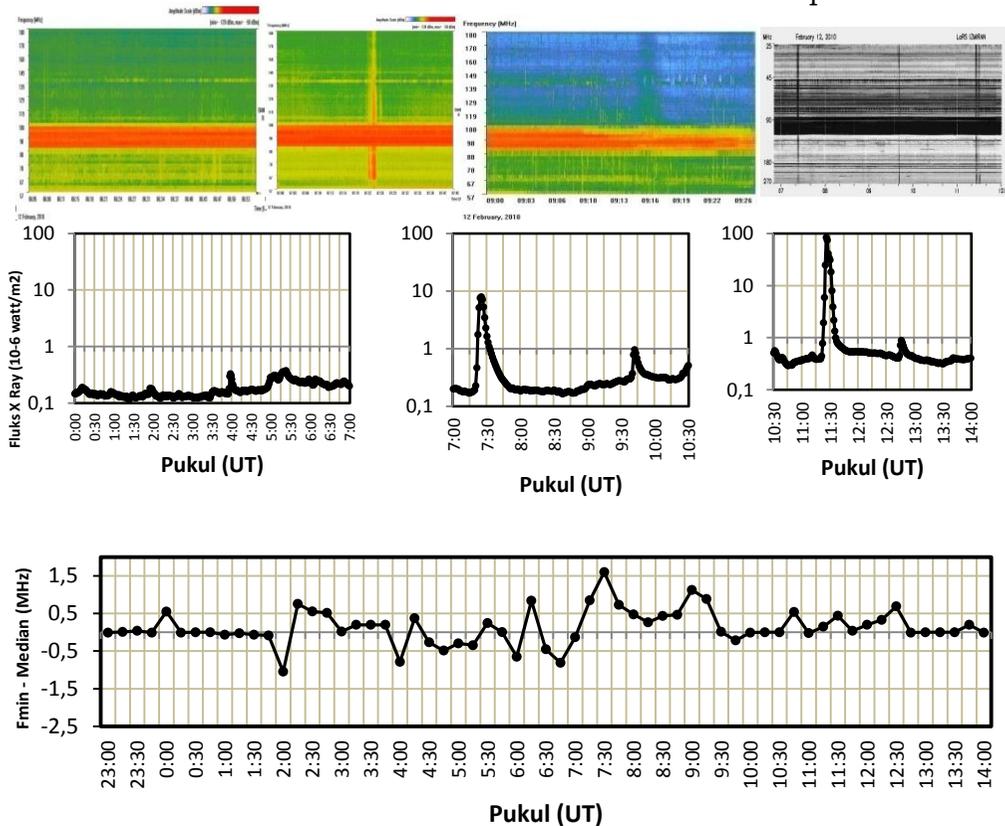
Gambar 3-6: Pada tanggal 11 Februari 2010 tidak terjadi semburan tipe III dengan fluks yang menonjol, tetapi lebih menyerupai badai noise (atas). Fluks sinar-X juga tidak terjadi variasi peningkatan yang tinggi dan hanya terjadi pada sekitar pukul 01:50 UT (tengah). Pada siang hari tanggal tersebut tidak terjadi absorpsi ionosfer (bawah)

Peristiwa 12 Februari 2010

Berbeda dengan peristiwa 2 (dua) hari sebelumnya, pada tanggal 12 Februari 2010 terjadi sebanyak 9 kali peristiwa semburan tipe III yang akan nampak sebagai badai noise. Salah satu diantaranya terdapat peristiwa tipe III dengan fluks yang kuat yang terjadi pada pukul 07:21 – 07:26.5 (Gambar 3-7). Fluks sinar-X pada rentang waktu

sebelum pukul 07:00 UT berupa flare kecil pada kelas B, dan flare dengan fluks sedang yaitu kelas C7.6 terjadi pada 07:23 UT dan kelas C1.0 pada pukul 09:42 UT. Flare kuat (kelas M8.4) terjadi pada pukul 11:26UT. Ketiga peristiwa sinar-X terakhir ini sangat terkait dengan peristiwa semburan tipe III yang terdeteksi oleh spektrograf radio Tanjungsari dan *Izmiran Observatory* (pada pukul 11:00 UT spektrograf radio Tanjungsari sudah tidak beroperasi). Absorpsi ionosfer terjadi hampir sepanjang siang hari pada tanggal tersebut. Gambar 3-7 memperlihatkan dengan jelas f_{min} -median yang bernilai positif pada sekitar pukul 23:45 UT, 02:30 – 04:00 UT, sekitar pukul 06:00 UT, sekitar pukul 07:00 – 09:30 UT dan dari pukul 10:20 – 13:00 UT.

Semburan radio Matahari tipe III



Gambar 3-7: Tanggal 10 Februari 2010 terjadi semburan tipe III sebanyak 9 kali peristiwa (atas). Fluks sinar-X sejak pukul 00:00 UT sangat bervariasi dan terjadi peningkatan mendadak pada pukul 07:20 UT yang sangat terkait dengan peristiwa semburan tipe III (tengah). Absorpsi ionosfer terjadi hampir sepanjang siang hari pada sekitar pukul 23:45 UT sampai dengan pukul 13:00 UT (bawah)

Tabel 3-1 adalah rangkuman analisis 56 peristiwa semburan radio Matahari tipe III yang terjadi selama 7 hari berurutan tersebut. Tabel ini tidak menggambarkan hubungan satu-satu, tetapi memberikan gambaran adanya kejadian flare sinar-X dan absorpsi ionosfer terhadap gelombang radio yang dipancarkan dari muka Bumi. Absorpsi ionosfer memiliki rentang waktu dengan waktu puncaknya dicantumkan pada kolom 6 tabel ini. Rentang waktu ini menandakan waktu untuk ionosfer kembali ke kondisi normal. Demikian juga adanya peristiwa flare sinar-X dicantumkan pada kolom 4 dan kolom 5. Ditampilkan juga absorpsi ionosfer dan flare sinar-X yang waktu kejadiannya berurutan dengan peristiwa semburan tipe III (peristiwa nomor urut 30, 31, 34, dan 56).

Tabel 3-1: RANGKUMAN HASIL ANALISIS 56 PERISTIWA SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE III TERKAIT DENGAN PERISTIWA FLARE SINAR-X DAN FREKUENSI MINIMUM IONOSFER

No.	Semburan Tipe III		Sinar-X		Puncak f_{min} (UT)
	awal	akhir	Kelas	Puncak (UT)	
1	2	3	4	5	6
1	0009.0	0015.0	B1.2	00:12	
2	0127.0	0135.0			01:15
3	0155.0	0155.5			02:30
4	0307.0	0308.0			
5	0436.5	0437.0			
6	0644.0	0644.5			06:15
7	0702.0	0706.5	C4,1	07:43	
8	0230.0	0239.0	M6.5	02:30	02:30
9	0530.0	0531.0	M1.0	04:50	05:30
10	0536.0	0538.0			
11	0004.5	0005.0			
12	0009.0	0009.5			
13	0011.0	0017.5	C1.5	0:16	
14	0056.5	0057.0			00:45
15	0113.5	0120.5			01:15
16	0231.0	0232.0			01:45
17	0245.5	0246.5			02:45
18	0254.0	0255.5			
19	0303.5	0304.0			
20	0309.0	0309.5			
21	0311.5	0315.0	C6.1	3:16	03:15
22	0353.5	0354.0	C2.5	3:58	
23	0407.0	0417.0	C7.7	4:15	
24	0422.5	0423.0			04:30
25	0426.0	0426.5			05:00
26	0513.5	0524.0	C8.6	5:23	05:30
27	0610.0	0610.5	C6.9	6:06	06:15
28	0702.0	0703.0	M4.1	7:43	07:15
29	0739.0	0743.0	C1.8	8:07	08:00

Tabel 3-1: (lanjutan)

1	2	3	4	5	6
30	0749.5	0750.0			08:30
			C2.8	9:58	09:15
			B6.1	00:29	
31	0103.0	0103.5	C2.8	01:25	01:15
32	0224.0	0224.5	B6.2	02:06	
33	0534.5	0535.0	C2.4	04:17	
34	0540.0	0540.5			
			B6.6	08:49	10:15
			C1.8	11:31	12:30
35	0011.5	0014.0	C1.2	00:26	01:30
36	0426.0	0429.5			
37	0508.5	0510.0			05:30
38	0551.0	0555.0			
39	0622.0	0622.5	B...	06:15	06:15
40	0713.0	0713.5	B...	07:12	07:00
41	0723.0	0728.0	B...	07:17	10:00
42	0014.0	0015.5			
43	0119.0	0120.0	B3.5	01:51	
44	0316.0	0316.5			
45	0352.5	0353.5			
46	0556.0	0558.0	B6.7	06:16	
47	0736.5	0737.0			
48	0047.5	0056.0			23:45
49	0112.0	0112.5			
50	0215.0	0215.5			02:30
51	0401.5	0402.0			
52	0453.5	0454.0			
53	0606.0	0613.0			06:00
54	0632.0	0634.5			
55	0641.5	0654.5			
56	0721.0	0726.5	C7.6	07:23	07:00
			C1.0	09:42	10:20
			M8.4	11:26	

Catatan : nomor urut 1 - 7 : peristiwa tanggal 06 Februari 2011
 nomor urut 8 - 10 : peristiwa tanggal 07 Februari 2011
 nomor urut 11- 30 : peristiwa tanggal 08 Februari 2011
 nomor urut 31 -34 : peristiwa tanggal 09 Februari 2011
 nomor urut 35 -41 : peristiwa tanggal 10 Februari 2011
 nomor urut 42 -47 : peristiwa tanggal 11 Februari 2011
 nomor urut 48 -56 : peristiwa tanggal 12 Februari 2011

Selanjutnya dicoba untuk dianalisis secara kuantitatif pada jumlah kejadian semburan radio Matahari tipe III, jumlah kejadian flare sinar-X, jumlah kejadian absorpsi ionosfer dan lama waktu absorpsinya (Tabel 3-2). Jumlah kejadian absorpsi dihitung ketika f_{\min} - median

bernilai positif dan lama waktunya hanya merupakan perkiraan kasar, disebabkan deteksi ionosonda dilakukan setiap 15 menit. Kelas flare sinar-X yang tercantum pada Tabel 3-2 kolom 4, merupakan puncak fluks sinar-X. Sebagai contoh kelas C4.1 memiliki fluks sebesar 4.1×10^{-6} Watt/m². Khususnya untuk kelas B (pada tabel ini) ada yang tidak dicantumkan besar fluks terkait, mengingat besar fluks yang rendah ($<10^{-6}$ Watt/m²).

Jumlah kejadian-kejadian tersebut menggambarkan banyaknya peristiwa semburan tipe III menjadi indikasi tentang kejadian flare sinar-X dan banyaknya kejadian absorpsi ionosfer. Dengan didukung oleh kelas flare sinar-X dapat memperkuat kemungkinan kejadian absorpsi dan lama waktunya. Lama waktu absorpsi nampak panjang apabila kelas flare flare yang kuat. Contoh peristiwa yang terjadi pada tanggal 7, 8 dan 12 Februari 2010, dengan flare sinar-X pada kelas M menunjukkan waktu absorpsi yang lebih lama bila dibandingkan dengan peristiwa yang terjadi pada tanggal-tanggal dengan flare sinar-X pada kelas yang rendah. Peristiwa pada tanggal 9, 10 dan 11 Februari 2010, meskipun jumlah kejadian semburan dan flare sinar-X cukup banyak namun kelas flare sinar-X rendah, maka baik jumlah kejadian absorpsi maupun lama waktu absorpsi nampak sedikit dan pendek.

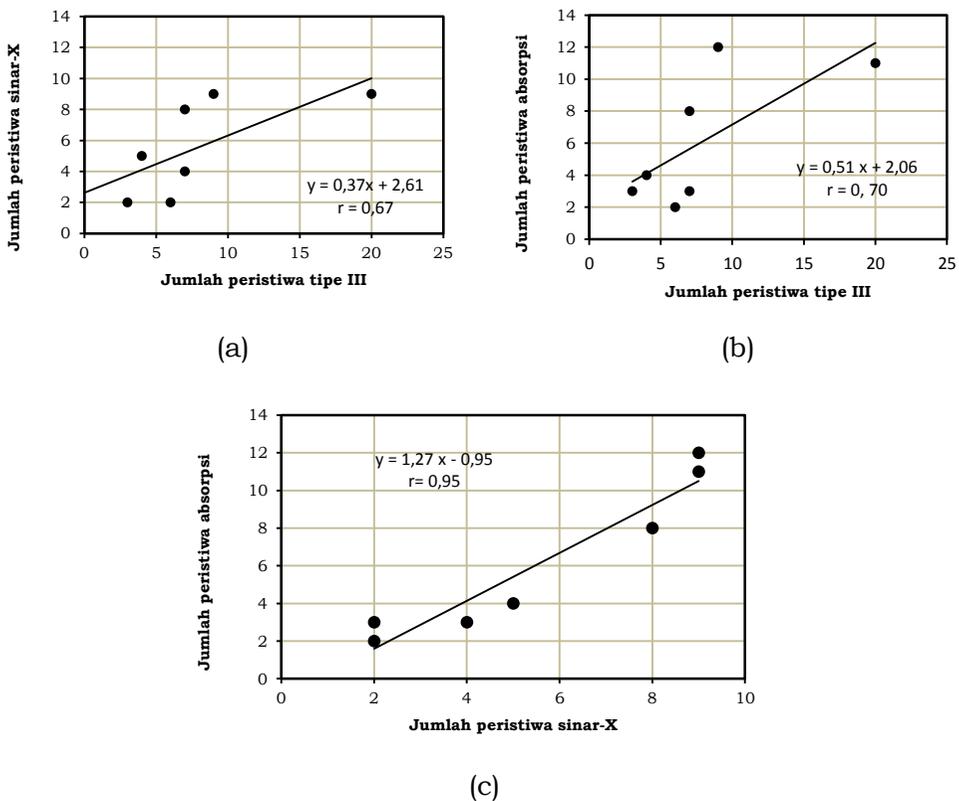
Tabel 3-2: TANGGAL KEJADIAN, JUMLAH KEJADIAN SEMBURAN TIPE III, JUMLAH KEJADIAN SINAR-X, JUMLAH KEJADIAN ABSORPSI DAN LAMA WAKTUNYA DALAM BULAN FEBRUARI 2010

Tanggal	Jumlah tipe III	Sinar-X		Absorpsi	
		Jumlah	Kelas	Jumlah	Lama (menit)
6	7	4	B (3 kali), C4.1	3	105
7	3	2	M6.5, M1.0	3	210
8	20	9	C1.5, C6.1, C2.5, C7.7, C8.6, C6.9, M4.1, C1.8, C2.8	11	660
9	4	5	B6.1, C2.8, B6.2, C2.4, C1.8	4	175
10	7	8	C1.2, B (7 kali)	8	270
11	6	2	B3.5, B6.7	2	30
12	9	9	B(6 kali), C7.6, C1.0, M8.4	12	870

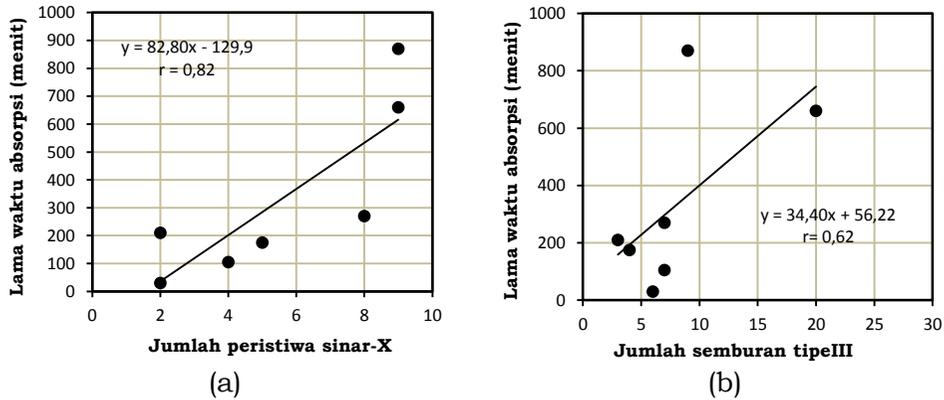
Meskipun hanya 7 (tujuh) hari data, namun jumlah peristiwanya cukup banyak baik semburan radio tipe III maupun flare sinar-X. Demikian pula dampak yang terjadi di ionosfer yaitu nampak terjadinya peningkatan frekuensi minimumnya. Frekuensi minimum yang sering berada di atas median bulanan berindikasi adanya anomali ionosfer, yang berdampak terjadinya gangguan komunikasi radio HF.

Dicoba untuk dilakukan plotting korelasi antara jumlah kejadian semburan tipe III dan jumlah kejadian flare sinar-X (Gambar 3-8a), jumlah kejadian semburan tipe III dan jumlah kejadian absorpsi (Gambar 3-8b), jumlah kejadian peristiwa flare sinar-X dan jumlah kejadian absorpsi (Gambar 3-8c). Dari ketiga jenis korelasi tersebut terlihat bahwa antara jumlah kejadian peristiwa flare sinar-X dan jumlah peristiwa absorpsi ionosfer memiliki angka korelasi tertinggi ($r = 0,95$), sementara korelasi antara jumlah peristiwa semburan tipe III dan jumlah peristiwa flare sinar-X dan korelasi antara jumlah peristiwa tipe III dan jumlah peristiwa absorpsi ionosfer berturut-turut memiliki angka korelasi $r = 0,67$ dan $r = 0,70$. Hal ini menunjukkan kenyataan bahwa flare sinar-X memang terkait erat dengan kemungkinan terjadinya peristiwa absorpsi ionosfer.

Demikian pula halnya dengan korelasi terhadap lama waktu kejadian absorpsi ionosfer. Gambar 3-9 (a, b) adalah plotting korelasi antara jumlah kejadian flare sinar-X dan jumlah kejadian semburan tipe III terhadap lama waktu absorpsi.



Gambar 3-8: *Plotting* korelasi antara jumlah kejadian semburan tipe III, flare sinar-X, kejadian absorpsi ionosfer



Gambar 3-9: *Plotting* korelasi antara jumlah kejadian flare sinar-X, semburan tipe III dan lama waktu absorpsi

4 KESIMPULAN

Rangkaian peristiwa semburan tipe III menjadi indikasi adanya kejadian flare sinar-X yang kemudian menjadi indikator kemungkinan akan terjadinya anomali ionosfer. Flare sinar-X menjadi sumber penyebab dampak langsung pada ionosfer yaitu terjadinya peningkatan frekuensi minimum (f_{\min}). Frekuensi minimum meningkat atau menjadi lebih tinggi dari kondisi normal, mengindikasikan terjadinya absorpsi gelombang radio pada frekuensi dibawah f_{\min} yang dipancarkan dari muka Bumi. Hasil analisis 56 peristiwa semburan radio Matahari tipe III yang terkait dengan aktivitas flare sinar-X memberikan gambaran terjadinya absorpsi ionosfer. Kejadian absorpsi memiliki rentang waktu sehingga kemungkinan gangguan komunikasi radio HF bisa berlangsung cukup lama. Anomali ini mengakibatkan kegagalan komunikasi radio yang menggunakan frekuensi dibawah f_{\min} .

Intensitas flare sinar-X yang dinyatakan dengan kelas flare (A, B, C, M dan X) memperkuat dugaan kemungkinan kejadian absorpsi dan lama waktunya. Kelas flare yang besar (C, M dan X) dapat digunakan sebagai informasi kemungkinan akan adanya absorpsi dan lama waktu absorpsinya. Hasil analisis korelasi jumlah kejadian menunjukkan bahwa flare sinar-X memang lebih dekat dengan kemungkinan terjadinya peristiwa absorpsi ionosfer bila dibandingkan dengan analisis korelasi semburan tipe III. Demikian pula halnya dengan korelasi terhadap lama waktu kejadian absorpsi ionosfer.

Serangkaian peristiwa semburan radio Matahari tipe III dan flare sinar-X yang terjadi dari tanggal 6 sampai dengan 12 Februari 2010

merupakan peristiwa yang dapat dijadikan studi kasus untuk peringatan terhadap kemungkinan adanya gangguan komunikasi radio.

DAFTAR RUJUKAN

- Dulk G.A., Mc. Lean D.J., & Nelson G.J., 1985. *Solar Radio Physics*, ed. D.J.McLean & Labrum. hal.53-88.
- Fainberg J., Evans L.G., Stone R.G., 1972. *Radio Tracking of Solar Energetic Particles through Interplanetary Space*, Science 178, 743.
- Grubor D., Sulic D. and Zigman V., 2005. *Influence Of Solar X-Ray Flares On The Earth -Ionosphere Waveguide*, Serb. Astron. J. 171, 29 – 35.
- 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.
- Liu, J.H., C.H. Lin, Y.I. Chen, Y.C. Lin, T.W. Fang, C.H. Chen, Y.C. Chen, and J.J. Hwang, 2006. *Solar flare signature of the ionospheric GPS total electron content*, Journal of geophysical Research, Vol. 111, A05308.
- McNamara Leo F, 1991. *The Ionosphere: Communications, Surveillance, and Direction Finding*, Krieger, Publishing, Co., Florida, 107-108.
- Melrose D.B., 1985. *Plasma emission mechanism*, Solar Radio Physics, ed. McLean & Labrum, Cambridge Univ. Press. 177-206.
- Spitzer Lyman, Jr., 1956. *Physics of Fully Ionized Gases*, Interscience Publisers, Inc., New York, Interscience Publisher Ltd., London, 47-55.
- Suratno, 2010. *Kemunculan Semburan Radio Matahari Tipe II pada Akhir Siklus 23 dan Awal Siklus 24 Aktivitas Matahari*, Buku Ilmiah Matahari dan Lingkungan Antariksa LAPAN, hal. 17-26, ISBN 978-979-078-317-1.
- Suratno, Santi Sulistiani, Gunawan A. dan Johan Muhamad, 2009. *Kesetaraan Kecepatan Gelombang Kejut Semburan Radio Matahari Tipe II dan Lontaran Massa Korona*, Jurnal Sains Dirgantara LAPAN, 2009, Vo. 6 No. 2, hal. 109-123, ISSN1412-808X.
- Svestka Z., 1976. *Solar Flares*, D. Reidel Publ. Co., 143-215.
- 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.
- Wild J.P., Smerd S.F., and Weiss A.A, 1963. *Solar Bursts*, Ann. Rev. Astron. Astrophys, 1, 291-366.