

PENENTUAN INDEKS AKTIVITAS MATAHARI EKSTRIM HARIAN

Jiyo dan Sri Suhartinl
Penslrlt Bldang Ionosfer dan Tetekomunkasl, LAPAN

ABSTRACT

In this paper we discuss a method to determined extreme solar activity index (ESAI) which refer to soft X-ray (SXR) flare. ESAI-index is calculated by using the simple methods with the inputs are intensity and duration of SXR-flare. From the case study of solar storm at middle January 2005, ESAI-index is better for showing the solar activities impact to ionosphere. However, it still need further study by adding more spatial and temporal data.

ABSTRAK

Dalam makalah ini dibahas metode penentuan indeks aktivitas matahari ekstrim [*ESAI*] yang mengambil acuan kepada kejadian *Soft X-Ray Flare* (SXR-flare). Indeks ESAI dihitung berdasarkan intensitas flare dan durasinya dengan pendekatan sederhana. Penerapan indeks tersebut terhadap kasus badai matahari yang terjadi pada pertengahan Januari 2005 terlihat bahwa indeks ESAI lebih dapat menggambarkan tingkat aktivitas matahari harian yang berdampak kepada lapisan ionosfer. Namun demikian, untuk raengetahui kemampuan indeks buatan ini lebih jauh diperlukan penelitian lanjutan dengan menggunakan data yang lebih banyak secara temporal dan spasial.

Kata kunci: *indeks aktivitas matahari, soft X-ray*

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan akan indeks flare harian diperlukan ketika melakukan telaah tentang dampak dari kejadian ekstrim di matahari terhadap lapisan ionosfer. Pada saat melakukan telaah tersebut diperlukan indeks harian yang kuat sehingga dapat digunakan sebagai indikator atau informasi untuk peringatan dini gangguan terhadap ionosfer dan propagasi gelombang radio. Seperti telah banyak diketahui bahwa kejadian ekstrim di matahari (badai matahari) memberikan dampak kepada lapisan ionosfer dalam berbagai bentuk seperti adanya badai ionosfer, aurora, sintilasi, dan gangguan lainnya. Kejadian badai ionosfer (Rishbeth, 1998) akan mengakibatkan gangguan komunikasi radio dan satelit (Wanninger, 1993), bahkan dapat menimbulkan terputusnya komunikasi [*blackout*]. Badai matahari juga memberikan dampak kepada orbit satelit rendah dan perangkat elektronik yang dibawanya.

Antalova (1992, 1996) telah mengembangkan indeks SXR-flare (FI) harian berdasarkan jumlah kejadian flare yang diberi bobot berdasarkan klas dan intensitasnya. Flare klas C, M, dan X berturut-turut diberikan bobot 1, 10, dan 100. Misalkan flare klas C3.1 diberikan bobot 3 dan flare klas X7.1 diberikan bobot 710. Dari perumusan tersebut nampaknya durasi flare belum diperhitungkan dalam penentuan indeks. Pada makalah ini akan dirumuskan indeks harian yang mengacu kepada klas flare, intensitas, dan durasinya.

Tujuan dari penelitian ini adalah menyediakan rumusan indeks flare harian yang mudah diimplementasikan dan berguna untuk analisis dampak aktivitas matahari terhadap lapisan ionosfer dan propagasi gelombang radio. Adapun sasarannya adalah mendapatkan rumusan matematis indeks flare harian tersebut.

2 PRINSIP DASAR DAN METODOLOGI

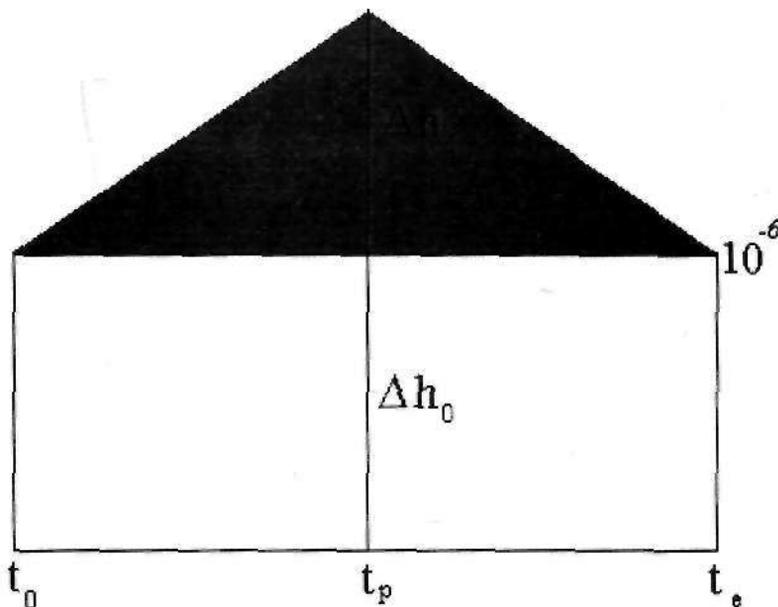
Hal-hal yang menjadi dasar dari kegiatan penentuan indeks SXR-flare harian ini adalah sebagai berikut: Pertama, indeks yang dibuat mempunyai hubungan yang kuat dengan propagasi gelombang radio, khususnya pada gelombang HF dan VHF-rendah. Kedua, mudah mendapatkan data mentahnya. Dan ketiga, mudah perhitungannya. Indeks ini diberi nama indeks aktivitas matahari ekstrim (*extreme solar activity index, ESAI*).

SXR-flare dianggap lebih menggambarkan kondisi fisis dari aktivitas matahari dibandingkan bilangan bintik matahari (sunspot, R) atau fluks matahari pada panjang gelombang 10 cm (F10,7). Dengan memilih fluks energi SXR-flare sebagai data acuannya, diharapkan indeks yang dibuat akan mempunyai hubungan sebab-akibat yang lebih kuat terhadap lapisan ionosfer dan propagasi gelombang radio, khususnya pada band HF (3-30 MHz) dan VHF-rendah (30-50 MHz). Indeks yang dihasilkan akan berguna sebagai informasi peringatan dini sistem komunikasi radio HF/VHF-rendah yang sedang dikembangkan.

IPS Radio and Space Services, Australia setiap bulan menyampaikan informasi SXR-flare sebagai indikasi aktivitas matahari untuk pengguna komunikasi radio. Di dalam buletin bulanan *Solar And Geophysical Summary* (SAGS) flare yang disampaikan hanya kelas M dan X saja. Sementara klas yang lain diabaikan dengan alasan pengaruhnya terhadap komunikasi radio sangat kecil (SAGS, edisi Januari 2005). Seperti halnya Antalova (1992, 1996), pada tulisan ini penulis mencoba untuk mempertimbangkan pula flare C. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa wilayah ionosfer Indonesia termasuk dalam daerah ekuatorial yang lebih peka terhadap perubahan energi dari matahari, sehingga flare klas C yang tingkat energinya di bawah klas M dan X kemungkinan mempunyai pengaruh yang cukup berarti terhadap lapisan ionosfer dan propagasi gelombang radio HF/VHF-rendah.

Untuk mempermudah perhitungan, maka variasi fluks SXR dari t_0 , t_p , sampai dengan t_e membentuk segitiga dengan puncak pada saat t_p seperti pada Gambar 2-1. Luas daerah gelap pada Gambar 2-1 dapat dihitung dengan luas segitiga dengan alas $(t_e - t_0)$ dan tinggi A_{hi} . Berikut akan dirumuskan indeks harian SXR untuk masing-masing klas flare yang terjadi.

2.1 Flare Klas C



Gambar 2-1: Skema variasi fluks SXR-flare klas C, dengan sumbu vertikal menyatakan besaran fluks (watt/m^2) dalam skala logaritmis

Gambar 2-1 menyatakan skema variasi fluks SXR-flare dengan klas Cy, dari saat t_0 , mencapai puncak t_p , dan berakhir t_e , dengan sumbu vertikal berskala logaritmis. Huruf y menyatakan besaran energi dari flare tersebut dalam satuan 10^6 watt/m^2 . Misalkan $h = A_{ho} + A_{hi}$. Dari definisi y dan Gambar 2-1, maka h dapat dinyatakan sebagai $y \cdot 10^6 \text{ watt/m}^2$, dan $A_{ho} = 10^6 \text{ watt/m}^2$. Luas daerah berwarna gelap dapat dirumuskan sebagai:

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)\Delta h_1 \dots\dots\dots (2-1)$$

Atau

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)(h - \Delta h_0) \dots\dots\dots (2-2)$$

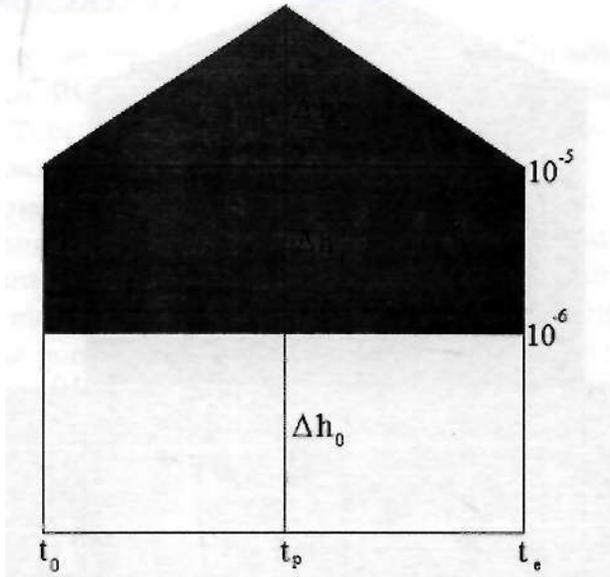
Dengan memasukkan harga h dan Δh_0 , maka didapatkan :

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)(y - 1)10^6 \dots\dots\dots (2-3)$$

Indeks aktivitas matahari ekstrim (E-SAI) untuk flare klas Cy didefinisikan sebagai :

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)(y - 1) \dots \dots \dots (2-4)$$

2.2 Flare Klas M



Gambar 2-2: Skema variasi fluks SXR-flare klas M, dengan sumbu vertikal menyatakan besaran fluks (watt/m²) dalam skala logaritmis

Selanjutnya Gambar 2-2 menyatakan skema variasi fluks SXR-flare klas *My* dari saat mulai t_0 , mencapai puncak t_p , dan berakhir t_e , dengan sumbu vertikal berskala logaritmis. Huruf y menyatakan besaran fluks energi dalam satuan 10^5 watt/m². Dari Gambar 2-2 dan definisi y dapat dinyatakan $h = A_{h0} + A_{hi} + A_{h2} = y \cdot 10^{11}$ watt/m², $A_{h0} + A_{hi} = 10^{10}$ watt/m², dan $A_{h0} = 10^6$ watt/m². Dan selanjutnya luas daerah berwarna gelap pada gambar tersebut dapat dirumuskan sebagai :

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)\Delta h_2 + (t_e - t_0)\Delta h_1 \dots \dots \dots (2-5)$$

dari persamaan-persamaan h , Δh_0 , dan Δh_1 , maka

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)(h - (\Delta h_0 + \Delta h_1)) + (t_e - t_1)(10^{-5} - \Delta h_0) \dots \dots \dots (2-6)$$

atau

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_0)(y \cdot 10^{-5} - 10^{-5}) + (t_e - t_1)(10^{-5} - 10^{-6}) \dots \dots \dots (2-7)$$

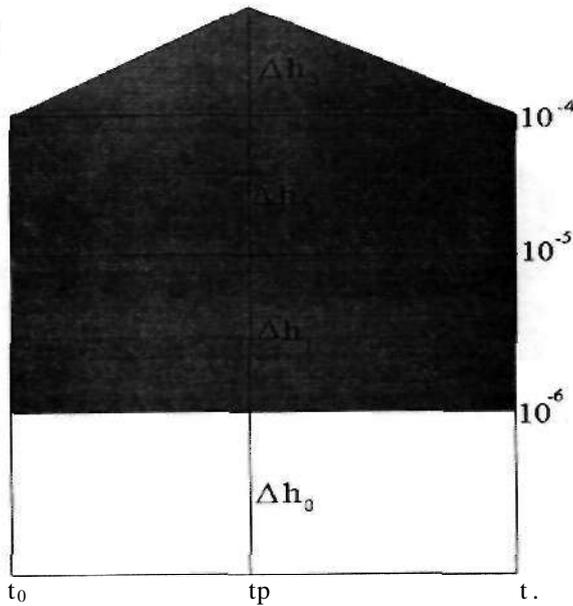
atau

$$L = (t_e - t_0)(5y + 4) \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (2-8)$$

Indeks aktivitas matahari ekstrim (E-SAI) untuk flare klas *My* didefinisikan sebagai :

$$L = (t_e - t_o)(5y + 4) \dots\dots\dots (2-9)$$

2.3 Flare Klas X



Gambar 2-3: Skema variasi fluks SXR-flare klas X, dengan sumbu vertikal menyatakan besaran fluks (watt/m²) dalam skala logaritmis

Skema variasi fluks SXR-flare klas *Xy* dari saat mulai *t_o*, mencapai puncak *t_p*, dan berakhir *t_e*, dengan sumbu vertikal berskala logaritmis seperti pada Gambar 2-3. Huruf *y* menyatakan besaran fluks energi dalam satuan 10⁴ watt/m². Dari Gambar 2-3 dan definisi *y* tersebut, maka dapat dinyatakan *h*=*Ah_o*+*Ah_i*+*Ah₂*+*Ah₃*=*y*·10⁻⁴ watt/m², *Ah_o*+*Ah_i*+*Ah₂*=*ICH* watt/m², dan *Ah₀*=10⁻⁶ watt/m². Luas daerah berwarna pada gambar tersebut dapat dirumuskan sebagai :

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_o)\Delta h_3 + (t_e - t_o)(\Delta h_1 + \Delta h_2) \dots\dots\dots (2-10)$$

dari persamaan-persamaan *h*, *Δh₀*, *Δh₁*, dan *Δh₂*, maka diperoleh

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_o)(h - (\Delta h_0 + \Delta h_1 + \Delta h_2)) + (t_e - t_o)(10^{-4} - \Delta h_0) \dots\dots\dots (2-11)$$

atau

$$L = \frac{1}{2}(t_e - t_o)(y \cdot 10^{-4} - 10^{-4}) + (t_e - t_o)(10^{-4} - 10^{-6}) \dots\dots\dots (2-12)$$

atau

$$L = (t_e - t_o)(50y + 49)10^{-6} \dots\dots\dots (2-13)$$

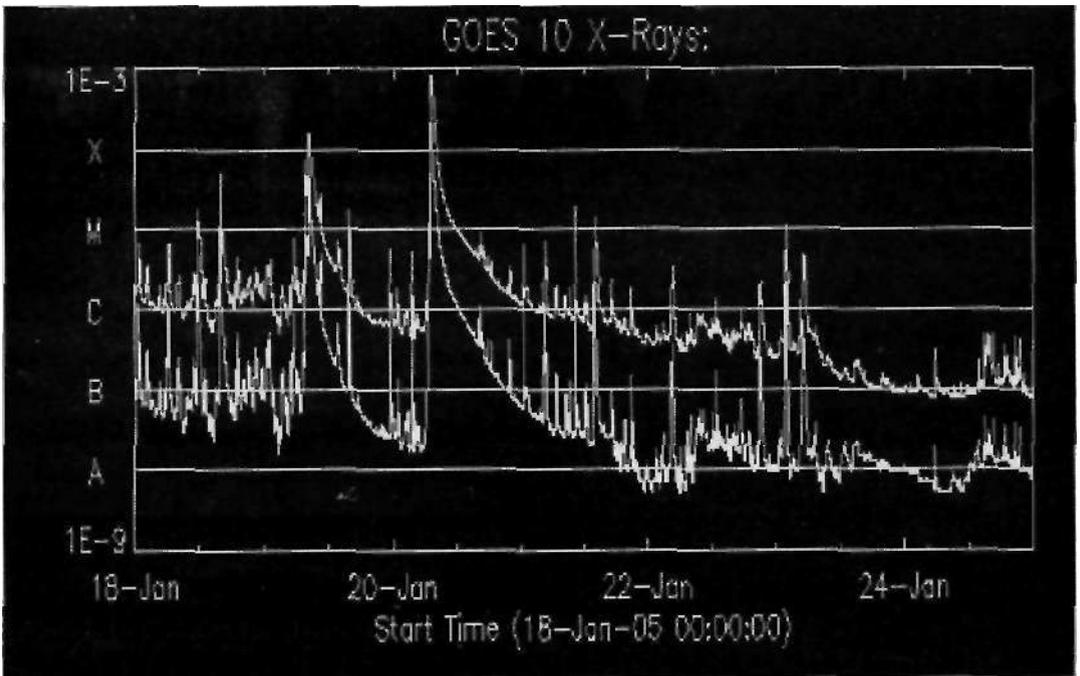
Indeks harian untuk SXR-flare klas Xy didefinisikan sebagai :

$$L = (t_e - t_0)(50y + 49) \dots \dots \dots (2-14)$$

Waktu dihitung dalam satuan menit.

3 DATA DAN PENGAMATAN

Data SXR flare secara grafis dan angka dapat diperoleh melalui alamat web www.lmsal.com. Data grafis seperti terlihat pada Gambar 3-1, dan data teks seperti pada Tabel 3-1. Data angka memuat informasi tentang waktu mulai (t_0), mencapai puncak (t_p), dan waktu berakhir (U), klas flare, dan intensitasnya. Dengan demikian dari tabel yang diperoleh dapat dihitung indeks harian menggunakan persamaan (3-4), (3-9), atau (3-14), sesuai dengan klas dan intensitasnya. Karena rumus-rumus perhitungan tersebut cukup sederhana, maka indeks harian tersebut dapat dihitung menggunakan paket program yang populer seperti Microsoft Excel atau Microsoft Acces.



Gambar 3-1: Contoh grafik intensitas flare tanggal 18 Januari 2005 (www.lmsal.com)

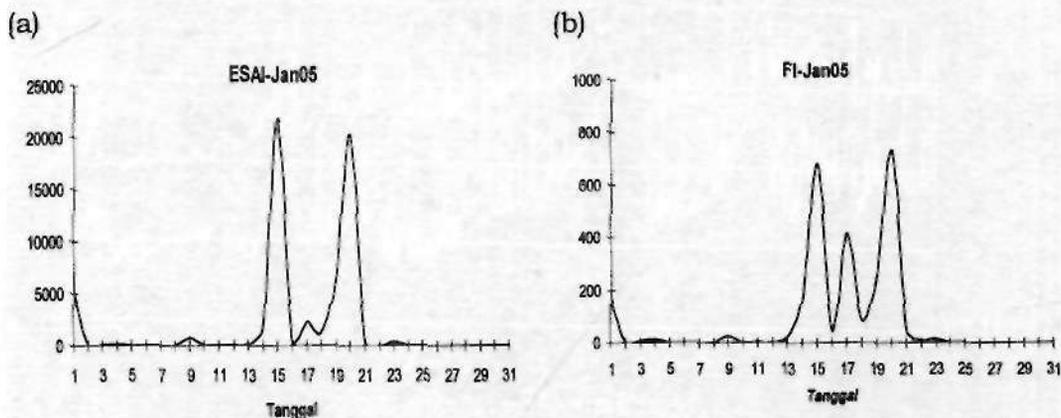
Tabel 3-1: CONTOH INFORMASI KEJADIAN FLARE DARI www.lmsal.com, DENGAN SETING WAKTU DALAM UT

GOES Event Listing run via WWW at Tue Mar 15 17:08:54 2005

DATE	t0	tp	te	Class			
19-JAN-05	19	03:10	03:24	03:37	C1.8		
19-JAN-05	19	04:44	04:48	04:52	C1.9		
19-JAN-05	19	05:10	05:26	05:35	C7.2	SF N12W44	720

19-JAN-05	19	06:58	07:31	07:55	M6.7		
19-JAN-05	19	08:03	08:22	08:40	X1.3		
19-JAN-05	19	10:19	10:24	10:29	M2.7		
19-JAN-05	19	15:32	15:40	15:48	M1.6		
19-JAN-05	19	23:18	23:24	23:29	C5.3	SF S01E55	723
20-JAN-05	20	00:37	00:47	00:56	C1.6		
20-JAN-05	20	03:21	03:30	03:36	C4.8		
20-JAN-05	20	06:36	07:01	07:26	X7.1		
20-JAN-05	20	16:08	16:14	16:19	C8.0		
20-JAN-05	20	18:13	18:16	18:19	C3.6		
20-JAN-05	20	21:47	21:53	21:56	C4.5		

Sebagai contoh flare klas X7.1 yang terjadi pada tanggal 20 Januari 2005. Awal kejadian flare pada pukul 06.36 UT, mencapai puncak pada pukul 07.01 UT, dan berakhir pada pukul 07.26 UT. Komponen indeks SXR-flare (ESAI) selama selang waktu tersebut mencapai harga 20200. Sedangkan komponen indeks flare berdasarkan Antalova (1996) (FI) mencapai harga 710. Selanjutnya dengan data flare klas C, M, X yang terjadi dalam sehari didapatkan ESAI harian yang merupakan penjumlahan komponen indeks harian yang dihitung dengan ramus (3-4), (3-9), dan (3-14) sesuai dengan klas flare yang terjadi. Plot indeks ESAI dan FI untuk bulan Januari 2005 seperti terlihat pada Gambar 3-2.



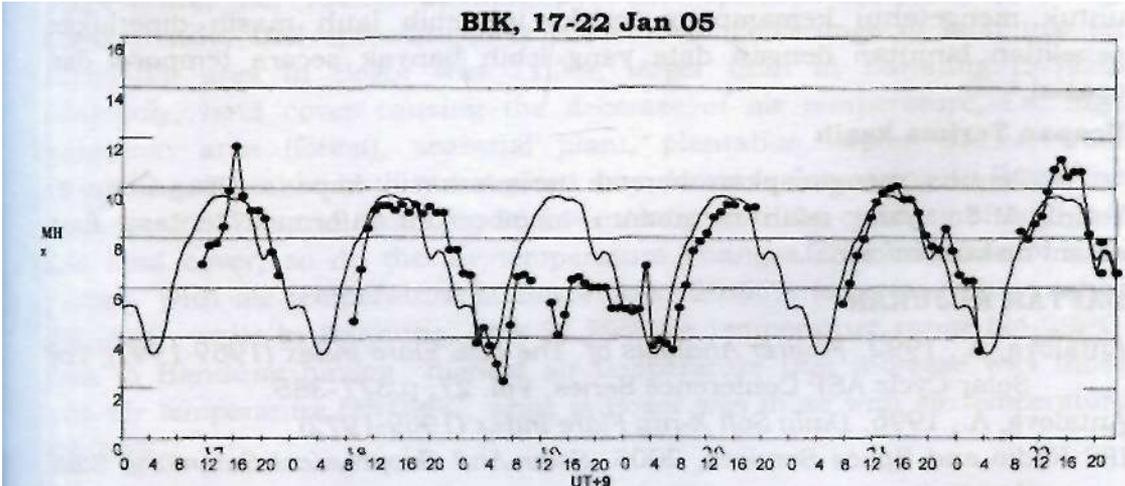
Gambar 3-2: Indeks aktivitas matahari ekstrim (ESAI) dan indeks flare harian (FI) untuk bulan Januari 2005

4 PEMBAHASAN

Dari Gambar 3-2 terlihat telah terjadi peningkatan aktivitas matahari sebanyak dua kali yakni pada tanggal 15-16 (kejadian-1) dan 19-20 (kejadian-2). Berdasarkan Indeks ESAI (Gambar 3-2.a) menunjukkan bahwa tingkat aktivitas matahari pada kejadian-1 sedikit lebih tinggi dibandingkan kejadian-2. Sedangkan pada Gambar 3-2.b memperlihatkan bahwa berdasarkan indeks FI kejadian-2 lebih kuat dibandingkan kejadian-1.

Selanjutnya Gambar 4-1 menunjukkan badai ionosfer yang terjadi pada tanggal 19 Januari 2005. Badai ionosfer ditandai dengan penurunan secara mencolok harga foF2 terhadap mediannya. Depresi foF2 mulai terjadi setelah pukul 09.00 WIT (UT+9) dan berakhir sekitar pukul 20.00 WIT. Sementara itu kejadian flare klas X dengan intensitas tertinggi justru hari berikutnya. Seperti telah disinggung pada bab sebelumnya bahwa flare X7.1 terjadi tanggal 20 Januari 2005 mulai pukul 15.36 WIT sampai dengan 16.26 WIT. Jadi anomali ionosfer yang terjadi pada tanggal 19 Januari 2005 lebih diakibatkan oleh akumulasi kejadian flare hari-hari sebelumnya.

Jika mengacu kepada indeks FI, maka hal di atas menunjukkan kontradiksi. Pada saat indeks FI lebih tinggi (kejadian-2) justru tidak terjadi anomali di lapisan ionosfer. Sedangkan pada saat indeks FI lebih rendah (kejadian-1) memberikan dampak badai ionosfer pada beberapa hari setelah kejadian flare. Jika mengacu kepada indeks ESAI, maka nampaknya lebih masuk akal. Karena tingkat aktivitas matahari pada kejadian-1 lebih besar dibandingkan dengan kejadian-2. Sehingga lebih masuk akal jika dampak dari kejadian-1 lebih terlihat dibandingkan dampak dari kejadian-2.



Gambar 4-1: Grafik frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) di atas Biak hasil pengamatan tanggal 17 sampai dengan 22 bulan Januari 2005 dan mediannya. Pada tanggal 19 Januari terjadi depresi (penurunan) foF2 sebagai akibat peningkatan aktivitas matahari beberapa hari sebelumnya

Dari pembahasan tersebut terlihat bahwa untuk kasus badai matahari pada pertengahan bulan Januari 2005 indeks ESAI lebih bisa menggambarkan tingkat aktivitas matahari yang mempunyai dampak jelas terhadap lapisan ionosfer di atas Biak. Dengan data yang hanya sedikit tentunya belum bisa disimpulkan bahwa indeks ESAI lebih baik dibandingkan indeks FI. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan mengenai hal ini dengan data matahari sebelumnya yang cukup banyak. Demikian pula data ionosfer yang digunakan juga bisa diperluas dari segi waktu

maupun ruang. Dari kerangka waktu bisa ditnanfaatkan data ionosfer tahun 1990 sampai dengan tahun 2004 atau 2005. Stasiun pengamat yang telah menghasilkan data cukup banyak dan kontinu adalah Biak (1992-1996 dan mulai Januari 2005), Tanjungsari (1997-2004), Pameungpeuk (1997-2000), dan Kototabang (2004-2005). Sedangkan stasiun pengamat lain yang juga telah menghasilkan data adalah Kupang dan Manado.

Selain itu, metodologi dapat dikembangkan dengan modifikasi indeks FI. Pada dasarnya perhitungan indeks FI hampir sama dengan indeks ESAI. Perbedaannya hanya pada pertimbangan memasukkan faktor durasi flare ke dalam perhitungan. Jika FI dikembangkan dengan mempertimbangkan durasi kejadian flare, maka hasilnya akan mirip dengan indeks ESAI.

5 KESIMPULAN

Dari penerapan indeks ESAI pada kejadian badai matahari yang terjadi pada bulan januari 2005, maka dapat disimpulkan dua hal. Pertama, indeks aktivitas matahari ektrim (ESAI) lebih dapat menggambarkan tingkat aktivitas matahari harian pada saat itu, yang berdampak kepada lapisan ionosfer dibandingkan dengan indeks FI (Antalova, 1992, 1996). Kedua, untuk mengetahui kemampuan indeks ini lebih jauh masih diperlukan penelitian lanjutan dengan data yang lebih banyak secara temporal dan spasial.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dra. Clara Y. Yatini, M.Sc. yang telah membantu memberikan informasi tentang flare dalam diskusi informal.

DAFTAR RUJUKAN

- Antalova, A., 1992. *Fouirer Analysis of The IDE Flare Index (1969-1991)*, The Solar Cycle ASP Conference Series, Vol. 27, p.377-385.
- Antalova, A., 1996. *Daily Soft X-ray Flare Index (1969-1972)*.
- IPS Radio and Space Services, 2005. *Solar And Geophysical Summary*, Edisi Januari.
- Lockheed Martin, *Solar and Astrophysics Laboratory*, <http://www.lmsal.com>
- Rishbeth, H., 1998. *Basic Physics of The Ionosphere : A Tutorial Review*, J. IERE, Vol. 58, No. 6 (Supplement), p. S207-S223
- Wanninger, L., 1993. *Effects of The Equatorial Ionosphere on GPS*, GPS World, Edisi Juli, hal. 48-54.