

ANALISIS STATISTIK SOLAR PROTON EVENT (SPE) TERHADAP BILANGAN SUNSPOT DAN FLARE SINAR-X

TIAR DANI dan JALU TEJO NUGROHO

Pusat Sains Antariksa - LAPAN
e-mail: t_dani @ bdg. lapan. go. id

Abstrak. Kaitan kejadian SPE terhadap bilangan sunspot dan flare sinar-X telah dilakukan dengan menggunakan analisis statistik. Dalam penelitian ini diteliti korelasi SPE terhadap indikator aktivitas matahari, yaitu bilangan sunspot. Korelasi fluks proton pada SPE juga dianalisis terhadap kelas dan posisi flare sinar-X serta selang waktu saat mulai terjadi flare sinar-X hingga terjadinya kenaikan fluks proton. Diperoleh hubungan korelasi antara SPE dengan bilangan sunspot sebesar 0,72. Diperoleh pula bahwa makin besar kelas flare sinar-X yang terjadi, maka akan makin besar pula nilai fluks proton serta semakin pendek selang waktu saat flare hingga peristiwa SPE terjadi. Selain itu, lokasi flare sinar-X yang dapat menyebabkan SPE mayoritas terdapat di sebelah barat piringan matahari.

Kata kunci: Solar Proton Events (SPE), flare sinar-X, fluks proton

Abstract. The relationships study of SPE events with sunspot number and X-ray flares have been carried out using statistic analysis. In this research we conduct SPE correlation with solar activity indicators (i.e. sunspot numbers). It is also analyzed the SPE proton flux relationship with the class and position of the X-ray flares and the time interval between X-ray flares occurrence until the increase of proton flux. Result on correlation between sunspot numbers and SPE is about 0.72. It is also found that the larger class of X-ray flare that occurred, it will be the greater the value of the proton flux and the shorter the time interval between a flare up to SPE events. In addition, the location of the X-ray flares that can cause the SPE majority are located in the west of the solar hemisphere.

Keywords: Solar Proton Events (SPE), X-ray flare, proton flux

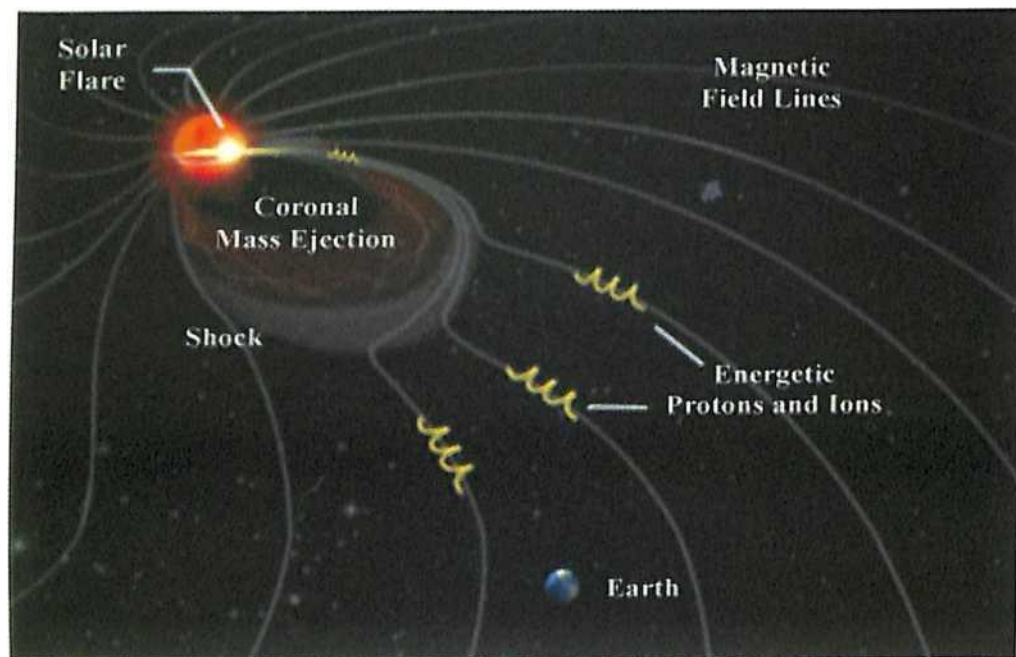
1. Pendahuluan

Solar Proton Events (SPE) terjadi saat proton yang dipancarkan oleh matahari ketika terjadi peristiwa flare atau CME berupa gelombang kejut mengalami akselerasi hingga memiliki energi tinggi (berkisar antara keV hingga GeV) dengan partikel tercepat dapat mencapai kecepatan sekitar 80% dari kecepatan cahaya. Partikel-partikel proton ini akan sampai ke bumi dalam hitungan jam. Saat partikel-partikel energi tinggi ini keluar dari korona tidak langsung menuju Bumi melainkan mengalir melalui garis medan magnet matahari (*Interplanetary Magnetic Field, IMF*). Garis medan ini memiliki struktur berbentuk spiral dari arah dalam menuju keluar atau disebut sebagai spiral Parker (Schwenn, 2006).

Peristiwa SPE ini cenderung terkait dengan siklus matahari walaupun kemunculannya lebih bersifat acak (Gabriel, 1998). Disebutkan pula bahwa tingkat

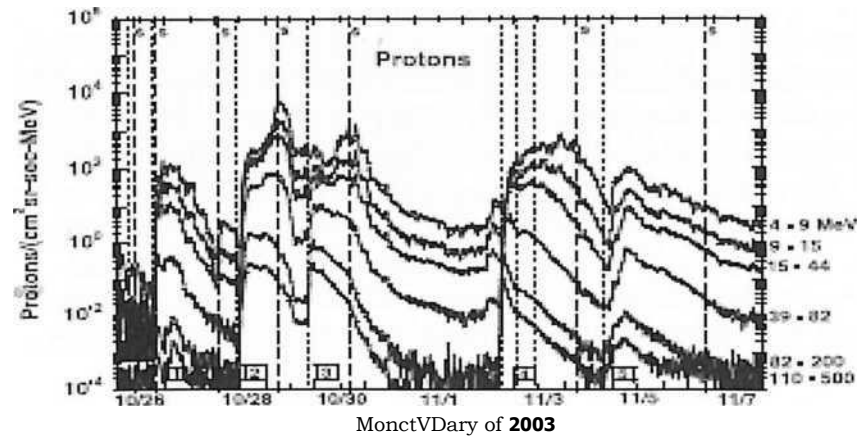
terjadinya SPE memiliki periode 7 tahunan, yaitu 2 tahun sebelum dan 4 tahun sesudah solar maksimum. Selama periode tersebut, kemungkinan tingkat kemunculan SPE tinggi dan diketahui pula dapat menyebabkan efek yang besar terhadap bumi.

Tingkat energi yang tinggi dari proton ini menyebabkan meningkatnya tingkat radiasi sehingga sangat berbahaya bagi manusia. Daerah-daerah yang berbahaya saat terjadi peristiwa SPE ini adalah daerah kutub dan di luar lapisan magnetosfer Bumi. Penerbangan dan satelit orbit rendah yang melewati daerah kutub sangat rentan mengalami kerusakan, terutama pada sistem instrumennya. Untuk satelit yang mengorbit diluar lapisan magnetosfer bumi sangat rentan mengalami *charging* yang dapat merusak komponen elektronik dan mengurangi tingkat efisiensi dari panel matahari yang terdapat pada satelit tersebut.

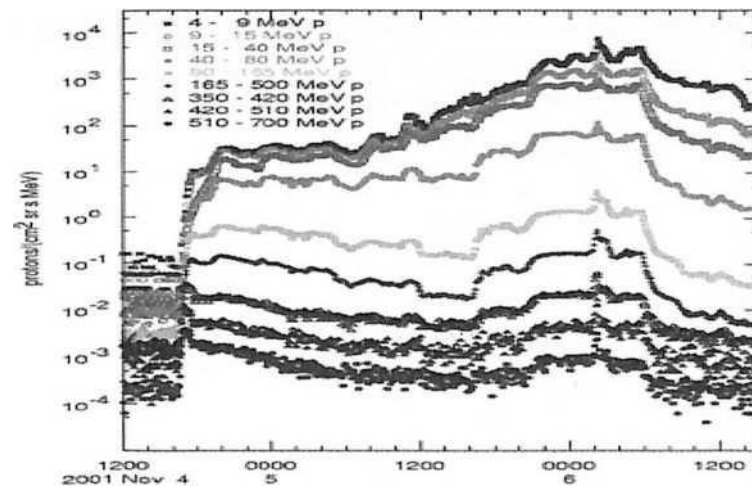


Gambar 1-1. SPE yang di pancarkan oleh matahari akan mengalami akselerasi hingga berenergi tinggi. Proton energi tinggi ini akhirnya akan mengikuti medan magnet antar planet hingga mencapai Bumi (sumber : <http://spaceweather.uma.es/solarstorms.html>).

Gambar 1-2. merupakan profil dari peristiwa SPE selama tanggal 26 Oktober 2003 hingga 4 November 2003 yang terekam oleh GOES-11. Sedangkan pada gambar 1.3 menjelaskan mengenai profil dari peristiwa SPE yang sangat kuat pada tanggal 4 November 2001 (Reames, 2004). Terlihat fluks mengalami peningkatan tajam dalam beberapa menit setelah terjadinya flare.



Gambar 1-2. Peristiwa SPE yang terekam pada GOES-11 pada enam interval tingkat energi selama tanggal 26 Oktober 2003 hingga 7 November 2003. Garis titik-titik vertikal merupakan kemunculan X-ray flare sedangkan garis putus-putus vertikal merupakan gelombang kejut diruang antarplanet.



Gambar 1-3. Profil peristiwa SPE pada 4 November dimana fluks mengalami peningkatan tajam pada tanggal 6 November hingga mencapai 510 - 700 MeV.

Pada makalah ini akan menjelaskan keterkaitan peristiwa SPE yang memiliki tingkat energi > 10 MeV yang berpengaruh pada lingkungan Bumi terhadap beberapa parameter dari aktivitas matahari secara statistik. Pembahasannya menyangkut frekuensi terjadinya SPE terhadap bilangan sunspot serta kaitannya dengan kelas, posisi dan selisih waktu flare sinar-X terhadap SPE.

2. Data dan Metode

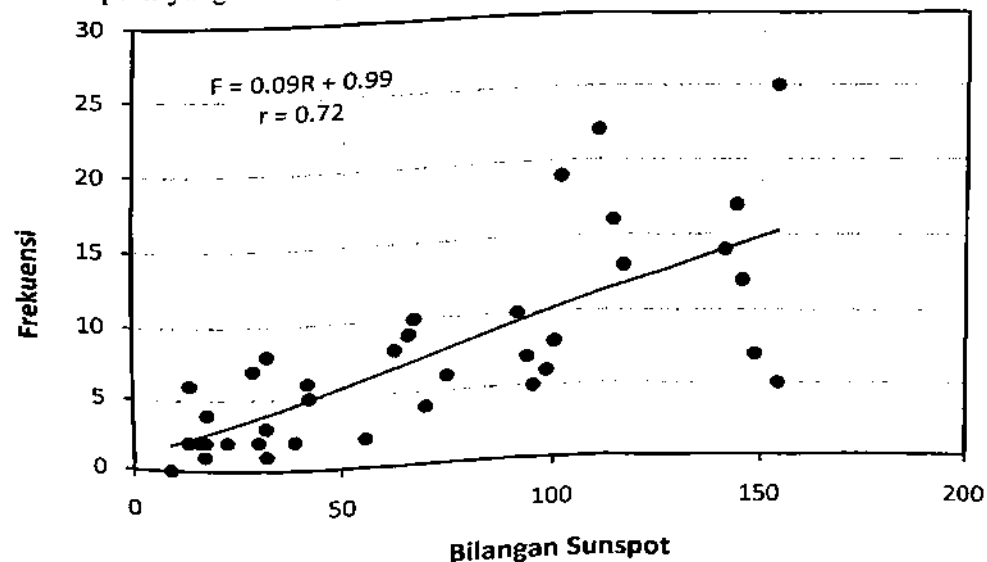
Data yang dipergunakan adalah peristiwa-peristiwa SPE dengan $E > 10$ MeV dan intensitas > 10 pfu tahun 1970 — 2002 (V.Kurt, et al, 2004) serta data SPE yang berpengaruh terhadap lingkungan Bumi dari Space Weather Prediction Center, NOAA tahun 2003 - 2006 (www.swpc.noaa.gov/ftpd/indices/SPE.txt). Kedua data ini diperoleh dan diolah dari satelit GOES untuk pengamatan solar X-ray dan fluks proton. Kemudian data bilangan sunspot tahunan dari tahun 1970 - 2006 dari National Geophysical Data Center (NGDC) yang diunduh dari Space Physics Interactive Data Resources (SPIDR) (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>). Beberapa parameter pada data tersebut diatas dianalisis secara statistik untuk mencari keterkaitannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Keterkaitan SPE ($E > 10$ MeV) dengan Bilangan Sunspot

Jumlah peristiwa SPE selama 3,5 siklus aktivitas matahari dari tahun 1970 hingga 2006 menunjukkan korelasi sebesar $r = 0.72$ terhadap bilangan sunspot. Hal ini menunjukkan bahwa peristiwa SPE akan semakin sering terjadi saat puncak siklus aktivitas matahari dan menurun bersamaan dengan semakin rendahnya tingkat aktivitas

matahari seperti yang terlihat pada gambar 3-1.



Gambar 3-1. Grafik hubungan frekuensi peristiwa SPE terhadap bilangan sunspot.

Pada saat matahari aktif yang direpresentasikan dengan semakin bertambahnya kemunculan sunspot maka aliran partikel berenergi dari matahari akan memancar dengan kecepatan yang lebih tinggi serta membawa partikel dengan energi yang lebih besar dari pada biasanya yang menyebabkan berubahnya kondisi plasma di atmosfer matahari dan lingkungan antariksa. Akibatnya kemungkinan terjadinya peristiwa SPE pun cenderung semakin sering terjadi.

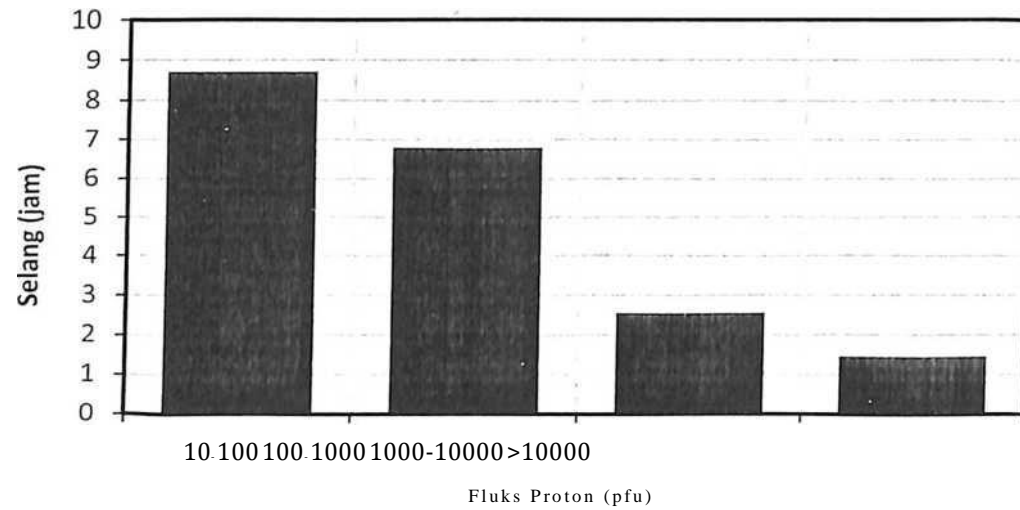
3.2. Keterkaitan fluksproton $E > 10$ MeV dengan flare sinar-X

Pada gambar 3-2 menjelaskan tingkatan fluks proton yang terjadi akibat peristiwa flare X-ray. Terlihat bahwa untuk frekuensi flare X-ray akan menurun seiring dengan makin besar fluks proton yang dihasilkan. Hal ini menjelaskan bahwa penyebab terbesar untuk terjadinya peristiwa SPE adalah kelas flare $>M$. Untuk rentang fluks proton 10 - 100 pfu lebih banyak diakibatkan oleh flare kelas M sedangkan untuk fluks di atas 100 pfu lebih banyak disebabkan oleh flare kelas X. Kelas X dihasilkan hanya pada energi yang lebih tinggi dan dikaitkan dengan puncak fluks X-ray yang lebih besar dari 10-4 Watt/m². Tingkat energi dan puncak fluks ini sangat dibutuhkan dalam produktivitas flare proton (Shaltout et.al, 1996). Shaltout (1996) menambahkan bahwa selama periode Januari 1996 sampai dengan Januari 1990 dari kejadian 81 solar proton events yang berdampak pada lingkungan matahari-bumi. diketahui terkait dengan flare sinar-X kelas X sebesar 56,8%, kelas M (38.3%) dan kelas C (1.2%).

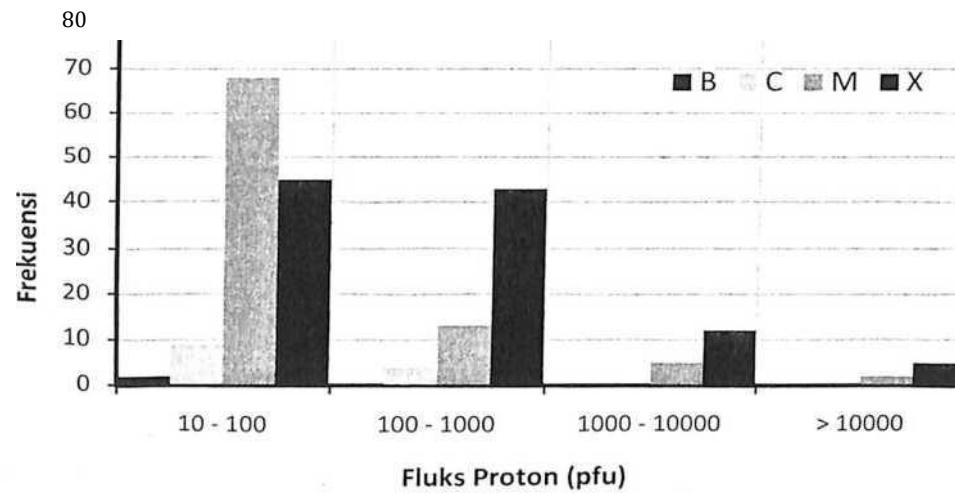
Gambar 3-2 menunjukkan semakin besar nilai fluks proton maka semakin pendek selang waktu antara terjadinya peristiwa flare sinar-X dengan munculnya SPE. Hal ini disebabkan fluks proton berenergi tinggi akan keluar dari korona matahari dan mengalami akselerasi saat menuju ke Bumi. Nilai fluks proton yang tinggi ini mayoritas dihasilkan oleh flare M dan X seperti yang dijelaskan pada gambar 3-3.

Seperti diketahui bahwa mekanisme flare sinar-X (Soft X-ray dan Ultra Violet) adalah terjadinya peningkatan temperatur kromosfer matahari (proses thermal) yang dapat bersamaan dengan kejadian flare Ha. Disamping soft X-ray, bisa juga terjadi peningkatan mendadak dari Hard X-ray menurut mekanisme non-thermal (Kai, 1986 dalam Suratno, 2008).

Mekanisme akselerasi yang dialami proton dapat dijelaskan sebagai berikut, konfigurasi dan distribusi intensitas garis-garis gaya magnet sunspot di dekat daerah flare secara umum sangat luas dalam dimensi ruang dan waktu dikaitkan dengan solar flares. Gelombang kejut yang dibangkitkan selama fase ledakan di daerah flare merambat keluar menuju angkasa luar. Keberadaan gelombang ini merambat melalui kromosfer dan semburan radio tipe II. Gelombang kejut ini diduga memanaskan temperature ambient plasma di dalam dan di dekat daerah flare dan sebagian mengalami akselerasi menjadi partikel berenergi tinggi oleh beberapa proses non-thermal (Sakurai, 1988).



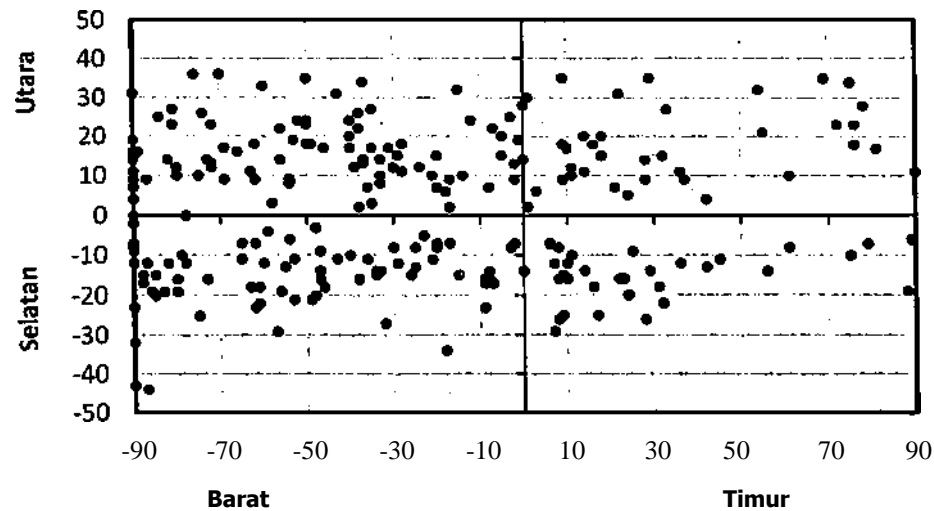
Gambar 3-2. Selang waktu flare sinar-X terhadap onset SPE.



Gambar 3-3. Grafik hubungan frekuensi flare sinar-X terhadap tingkatan fluks proton $E > 10$ MeV.

Gambar 3-4 menunjukkan bahwa sebagian besar kejadian SPE diakibatkan oleh flare yang berlokasi disebelah barat piringan matahari. Lokasi flare yang mengakibatkan SPE mayoritas terletak pada bujur antara $0^\circ - 90^\circ$ Barat dan $0^\circ - 40^\circ$ Timur matahari. Hal ini disebabkan partikel yang dilontarkan saat terjadi flare/CME akan mengalir

mengikuti garis medan magnet matahari yang berbentuk spiral sehingga flare yang berlokasi di timur piringan matahari yang menyebabkan peningkatan fluks proton menjadi tidak terlalu signifikan memberikan pengaruh terhadap Bumi.



Gambar 3-4. Distribusi lokasi flare sinar-X terhadap SPE.

2. Kesimpulan

Dari hasil analisis statistik data kejadian SPE terhadap flare sinar-X selama rentang tahun 1970 hingga 2006 diperoleh nilai korelasi sebesar 0.72 berdasarkan hubungan SPE dengan bilangan sunspot. Hal ini disebabkan pada saat matahari aktif yang direpresentasikan dengan semakin bertambahnya kemunculan sunspot maka aliran partikel berenergi dari matahari akan memancar dengan kecepatan yang lebih tinggi serta membawa partikel dengan energi yang lebih besar daripada biasanya yang menyebabkan berubahnya kondisi plasma di atmosfer matahari dan lingkungan antariksa. Akibatnya kemungkinan terjadinya peristiwa SPE pun cenderung semakin sering terjadi. Diperoleh pula bahwa makin besar kelas flare sinar-X yang terjadi, maka akan makin besar pula nilai fluks proton serta semakin pendek selang waktu saat flare hingga peristiwa SPE terjadi. Hal ini sebabkan makin besar kelas flare maka tingkat energi yang dihasilkan semakin besar dan akan mengakselerasi partikel-partikel proton lebih cepat. Diketahui pula bahwa lokasi flare sinar-X yang dapat menyebabkan SPE mayoritas terdapat di sebelah barat piringan matahari dikarenakan partikel energi tinggi akan mengalir mengikuti medan magnet matahari yang berbentuk spiral sehingga flare yang berlokasi di timur piringan matahari tidak terlalu memberikan pengaruh bagi terjadinya SPE.

Daftar Rujukan

- Gabriel, S.B., 1998, *Cosmic Rays and Solar Protons in The Near-Earth Environment and Their Entry into The Magnetosphere*, Proceeding ESA Workshop on Space Weather.
- Kurt, V. , A. Belov, H. Mavromichalaki, dan M. Gerontidou, 2004, *Statistical Analysis of Solar Proton Events*, *Annales Geophysicae*, 22 : 2255 - 2271.
- Laurenza, M., J. Hewitt, E. W. Cliver, M. Storini, dan A. Ling, 2006, *Solar Energetic Proton Events and Soft X-ray Flares*,
- Reamcs, D.V., 2004, *Solar Energetic Particle Variations*, *Adv. Space Res.*, 34, 381-390.
- Sakurai K, Oda M, Nishimura J., 1988, *Cosmic Rays Astrophysics, Chapter 8 (Solar-Flare Particles)*, Terra Scicnlific Pub. Comp. Tokyo.
- Schwenn, Rainer, 2006, *Space Weather: The Solar Pcrspective*, Living Reviewvs in Solar Physics.
- Shaltout, M.A.M., Yousef, S., and El-Saied, O.M., 1996, *Statistical Analysis for Solar Proton Events Measured by CO ES Spacecraft Diiring the Period (1976-1990)*, *Adv. Space Res. Vol. 17. No. 4/5*, pp. 171-175.
- Suratno dan Muslim, B., 2008, *Tanggapan Lapisan F Ionosfer terhadap Variasi Intensitas Soft X-Ray*, Matahari dan Lingkungan Antariksa, LAPAN.
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_proton_event.
http://www.windows2universe.org/spaceweather/build_storm2.html.