

MODEL SPEKTRUM ENERGI *FLUENS* PROTON PADA SIKLUS MATAHARI KE-23

Wilson Sinambela, S. L. Manurung, Nana Suryana
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
e-mail: wilson@bdg.lapan.go.id
e-mail: manurung@bdg.lapan.go.id
nana_sry@yahoo.com

ABSTRACT

We derived the energy spectra of solar proton flux with energy from more than 1 MeV until more than 100 MeV which based on data monitored by GOES-10 from 1999-2004. The density of solar proton flux is negative exponential energy function. Either monthly or yearly energy spectra is dominated by energy spectra of solar proton event as well as spectra energy of July 2000 and October 2003. The amplitude of energy spectra depends on solar activity.

ABSTRAK

Berdasarkan data *fluks* proton berenergi lebih dari 1 MeV hingga lebih dari 100 MeV yang diamati oleh GOES 10 dari 1999 s.d 2004 dibangun model spektrum energi *fluens* proton. Hubungan *fluens* proton dengan energi dinyatakan oleh fungsi eksponensial negatif dari energi. Spektrum energi *fluens* proton tahunan didominasi oleh spektrum energi dari peristiwa proton surya yang dibuktikan oleh terjadinya peristiwa proton surya pada Juli 2000 dan Oktober 2003. Spektrum energi *fluens* proton bergantung juga pada aktivitas matahari.

Kata kunci: *Spektrum energi, Fluks proton, Fluens proton, Peristiwa lontaran proton surya*

1 PENDAHULUAN

Kendaraan antariksa, seperti satelit komunikasi, yang berada pada orbit terutama GEO, (*Geostationary Earth Orbit*) diterpa oleh radiasi matahari setiap saat. Radiasi itu adalah gelombang elektromagnetik dan partikel energetik. Intensitas gelombang elektromagnetik dan *fluks* partikel energetik serta energinya sangat bergantung pada aktivitas matahari. Pada masa aktivitas matahari maksimum, terutama ketika terdapat daerah aktif di matahari, intensitas, *fluks* dan energi radiasi elektromagnetik dan partikel energetik jauh lebih besar dibandingkan pada masa aktivitas matahari minimum.

Radiasi elektromagnetik dan partikel terutama proton energetik mempunyai daya ionisasi tinggi dan daya penetrasi kuat. Jika emisi itu mengenai materi atau benda di antariksa, ada

kemungkinan menembus ke dalam dan menimbulkan ionisasi yang dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis dan kimia atom-atom atau molekul dari materi yang dimaksud. Demikian juga ketika partikel terutama proton energetik menerpa kendaraan antariksa, proton energetik ada yang hanya mengenai badan pesawat, sebagian menembus sampai ke dalam pesawat dan mengenai komponen elektronik dan instrumen elektronik.

Barangkali interaksi dalam waktu singkat tidak menimbulkan penumpukan muatan yang kecil dan peluang ionisasi rendah, tetapi karena interaksi berlangsung dalam waktu lama dan *fluks* partikel dan energinya meningkat seiring dengan peningkatan aktivitas matahari, muatan tertumpuk semakin besar (akumulasi muatan) dan peluang ionisasi semakin tinggi, atau semakin banyak atom-atom komponen elektronika ter-

ionisasi. Penumpukan muatan menimbulkan aliran arus pendek dan ionisasi menimbulkan perubahan sifat fisis atom. Peristiwa ini dapat mengakibatkan kerusakan pada kinerja sistem instrumen bahkan yang pada akhirnya terjadi anomali kinerja satelit.

Untuk mencegah terjadinya anomali kinerja satelit akibat dari interaksi proton energetik dengan pesawat antartiksa dan instrumen yang terpasang (*on-board*), diperlukan pelindung (*shielding*) yang tidak rentan terhadap proton energetik. Untuk merancang pelindung perlu diketahui sifat-sifat fisis proton energetik dari matahari. Sifat-sifat fisis itu adalah spektrum energi *fluks* proton pada waktu peristiwa lontaran proton, dan spektrum energi akumulatif tahunan dan setengah siklus aktivitas matahari.

Peristiwa proton matahari (*Solar Proton Event/SPE*), pada umumnya terjadi bersamaan dengan lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*) dan *flare* matahari, Namun *flare* matahari tidak selalu diikuti oleh lontaran massa korona dan lontaran proton. Jumlah emisi proton dari matahari yang dimonitor oleh instrumen satelit di GEO, misalnya satelit GOES-10 dinyatakan oleh satuan jumlah proton per satuan luas per satuan waktu per satuan sudut ruang disingkat dengan proton *fluence* [*fluens proton*] matahari, atau *sfp* dengan 1 *sfp* = satu proton $\text{str} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Suatu peristiwa disebut peristiwa emisi proton (*proton event*) terjadi apabila *fluens* proton pada tiga kali pengamatan berturut-turut dalam selang waktu 5 menitan lebih besar atau sama dengan 10 *sfp* pada energi lebih besar dari 1-5 MeV. Sebaliknya peristiwa proton berhenti jika *fluens* kurang dari 10 *sfp* dalam tiga kali pengamatan berurutan. Oleh karena itu peristiwa proton di matahari ditentukan dari nilai *fluens*-nya. Proton yang diamati oleh GOES-10 di GSO pada energi dalam interval dari lebih besar 1 MeV sampai dengan lebih besar 100 MeV. Dari pengamatan itu dapat ditentukan spektrum energi *fluens* proton

atau *fluens* proton sebagai fungsi dari energi. Dari pengamatan GOES-10 dalam selang tahun 1999- 2003, *fluens* proton terbesar adalah *fluens* proton Oktober 2003, dan kedua adalah *fluens* proton pada Juli 2000. Pola *fluens* proton tahunan mengikuti aktivitas matahari dengan perkataan lain *fluens* proton maksimum terjadi pada masa matahari aktif dan sebaliknya.

Berdasarkan data *fluens* proton bulanan, tahunan dan kumulatif selama setengah siklus matahari, serta periode matahari aktif dibentuk suatu model spektrum energi *fluens* proton. Model yang dimaksud adalah berupa persamaan matematis dengan beberapa konstanta. Dari model yang dibangun, maka *fluens* proton bulanan, tahunan, dan kumulatif yang akan datang dapat diprediksi.

2 PENGOLAHAN DATA DAN HASILNYA

GOES-10 memonitor *fluens* proton energi lebih besar dari 1 MeV, 5 MeV, 10 MeV, 30 MeV, 50 MeV, 60 MeV dan 100 MeV, dinyatakan dengan F1, f5, f10, f30, f50, f60 dan f100. Satuan pengamatan dalam jumlah proton $\text{str} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{V}$ yang diamati dalam rata-rata waktu pengamatan lima menitan. Data pengamatan yang diolah adalah *fluens* proton dari 1999 s.d 2003, atau hampir setengah siklus matahari, dalam masa matahari aktif. Interval waktu data yang diolah ditetapkan demikian karena peristiwa proton atau solar proton *event* sangat jarang terjadi pada waktu matahari tenang dan masa operasional satelit pada umumnya adalah dari 5 sampai dengan 7 tahun. Data ini tersedia di www.sec.noaa.gov/Data/.

Untuk membangun spektrum energi *fluens* proton atau pola *fluens* proton kumulatif satu bulan ditentukan apabila *fluens* proton lebih besar dari 10 *sfp* dalam tiga kali pengamatan berurutan dan berhenti jika *fluens* proton kurang dari 10 *sfp* dalam tiga kali pengamatan berurutan dari proton berenergi lebih besar dari 1 MeV. Spektrum energi *fluens*

proton kumulatif tahunan dan kumulatif selama masa matahari aktif masing-masing adalah jumlah kumulatif bulanan dan kumulatif dari setiap tahun.

Spektrum energi *fluens* proton 15-21 Juli 2000 dan 5-8 Oktober 2003 diperlihatkan pada Gambar 2-1 dan 2-2. Spektrum energi *fluens* proton kumulatif tahunan dan kumulatif dalam masa lima tahun diperlihatkan oleh Gambar 2-3 dan 2-4. Berdasarkan data dan gambar tersebut diperoleh persamaan matematis pada bulan ekstrim dan kumulatif selama masa matahari aktif sebagai berikut:

Spektrum energi *fluens* proton Juli 2000 memenuhi persamaan,

$$J_p = 4 \times 10^6 \times \exp(-0.0374E) \quad (2-1)$$

atau $J_p = J_o \times \exp(-0.0374E)$,
 $J_o = \text{konstanta} = 4 \times 10^6$

dan spektrum energi *fluens* proton Oktober 2003,

$$J_p = 6 \times 10^6 \times e^{0.0525E} \quad (2-2)$$

dengan J_p adalah *fluens* proton dan B energi proton dari 1 sampai dengan 100 MeV.

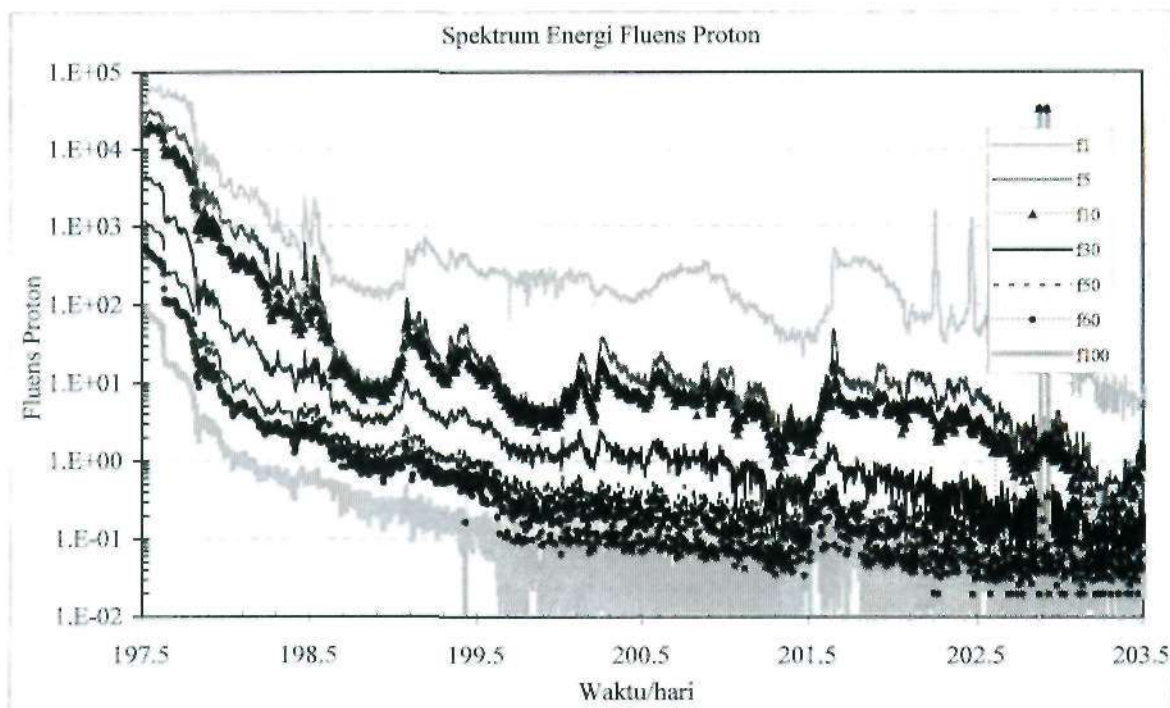
Dalam satu siklus matahari hanya beberapa fenomena aktivitas matahari yang memancarkan proton, demikian juga dengan *flare* matahari tidak selalu diikuti lontaran proton atau peristiwa yang diikuti oleh lontaran proton (*Solar Proton Event/SPE*). Fenomena aktivitas matahari sering terjadi dalam masa aktivitas matahari maksimum dan di sekitar masa turun aktivitas matahari. Oleh karena itu *fluens* proton kumulatif tahunan dan setengah siklus aktivitas matahari, 1999-2003, diperlihatkan oleh

Gambar 2-3 dan 2-4.

Spektrum energi kumulatif dari *fluens* proton dalam setengah siklus, 1999-2003 adalah,

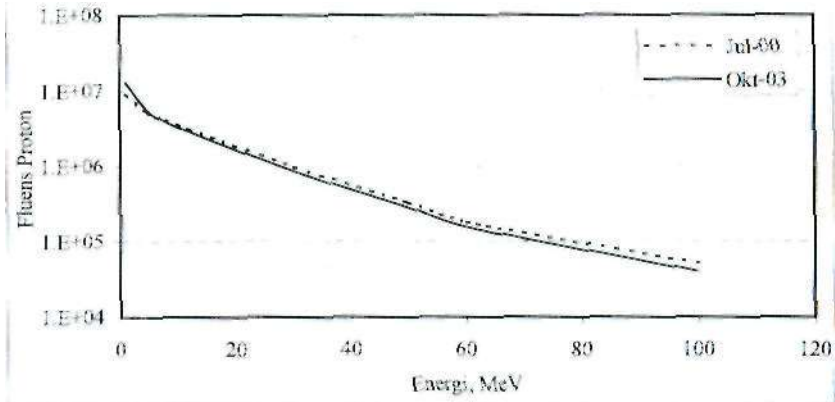
$$J_p = 5 \times 10^7 \times \exp(-0.0573E) \quad (2-3)$$

dengan E adalah energi dari 1 s.d 100 MeV.



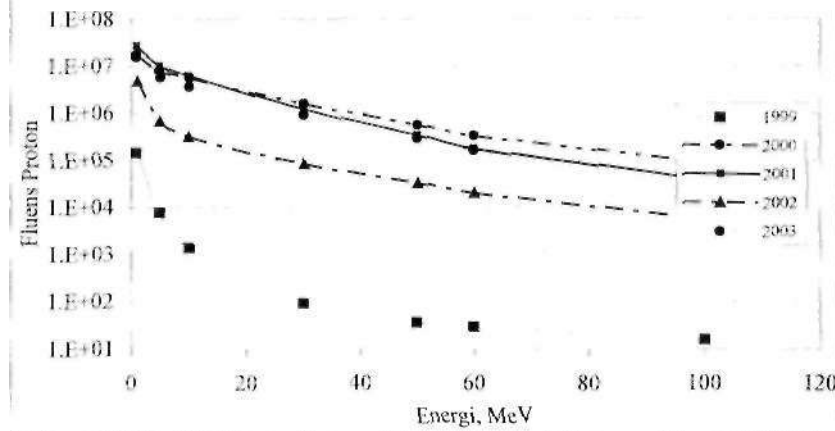
Gambar 2-1: Spektrum *fluks* proton energetik, 1, 2, 5, 10, 30, 60 dan 100 MeV. Data dari monitoring GOES 10, hari ke 197 sampai dengan 203 tahun 2000, (15-21 Juli 2000)

Spektrum Energi Fluens Proton, Jul/00 dan Okt/03



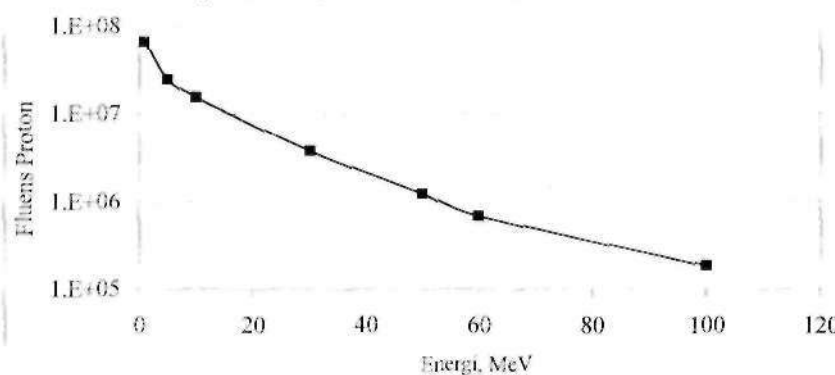
Gambar 2-2: Spektrum fluks proton energetik, 1, 2, 5, 10, 30, 60 dan 100 MeV. Data dari monitoring GOES 10, hari ke 197 s.d 203 tahun 2000, (15-21 Juli 2000) dan hari ke 279-283, 5-8 Oktober 2003. Hubungan masing-masing fluens proton dengan energi dinyatakan oleh persamaan: $J_p = 4 \times 10^6 \times \exp(-0.0374E)$ dan $J_p = 6 \times 10^6 \times \exp(-0.0525E)$

Spektrum Energi Fluens Proton Tahunan. 1999-2003



Gambar 2-3: Spektrum energi proton tahunan dalam selang tahun (1999-2003). Satuan fluens proton adalah jumlah proton $\text{str}^{-1}\text{m}^2\text{s}^{-1}$

Spektrum Energi Fluens Proton Kumulatif 1999-2003



Gambar 2-4: Spektrum energi proton kumulatif 1999 s.d 2003. Satuan fluens proton adalah proton $\text{str}^{-1}\text{m}^2\text{s}^{-1}$. Persamaan matematis: $J_p = 5 \times 10^7 \times \exp(-0.0573E)$

3 PEMBAHASAN

Proton berenergi lebih besar dari 1 MeV sampai dengan lebih besar dari 100 MeV yang terlontar dari matahari yang sampai ke orbit geostasioner diamati oleh instrumen yang ditempatkan pada satelit seri GOES. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama satu siklus matahari yakni siklus ke 23, tidak setiap tahun terjadi lontaran proton yang signifikan yaitu bila *fluens* proton rata-rata dalam tiga kali pengamatan berurutan dalam interval 5 menit lebih besar dari 10 sfp. Pada waktu terjadi lontaran proton yang signifikan spektrum energi proton yaitu *fluks* proton sebagai fungsi dari energi dalam interval energi seperti dinyatakan di atas mengikuti fungsi ekponensial negatif dari energi.

Proton energi tinggi adalah partikel yang mempunyai daya penetrasi tinggi bagi materi yang dilaluinya atau ditumbuknya, (Marvin, 2000). Dalam masa fenomena aktivitas matahari yang melontarkan proton, proton secara kontinu berinteraksi dengan kendaraan antariksa atau satelit terutama satelit yang berada di GEO, seperti satelit komunikasi. Interaksi itu dapat menimbulkan pemuatan di badan kendaraan dan menimbulkan loncatan bunga api yang menimbulkan kerusakan bagi sistem di luar pesawat seperti sel surya. Penetrasi proton energi tinggi demikian kuat hingga ke dalam pesawat dan berinteraksi dengan sistem elektronik, membuat sistem tidak berfungsi. Interaksi itu berlangsung dalam waktu lama dalam masa fenomena lontaran proton. Interaksi yang berlangsung lama dapat mengakibatkan kerusakan bagi sistem elektronik di kendaraan antariksa, sehingga diperlukan model *fluens* proton kumulatif sesuai dengan masa operasional kendaraan antariksa yang biasanya antara 5 sampai dengan 10 tahun atau lebih kurang setengah siklus matahari.

Dari pengolahan data diperoleh bahwa spektrum energi kumulatif dari *fluens* proton dalam satu siklus matahari berbentuk fungsi eksponensial negatif energi. Spektrum energi *fluens* proton diperlukan untuk merancang pelindung sistem elektronika terhadap gangguan dari proton energi tinggi dari matahari.

Spektrum energi proton bergantung pada siklus matahari. Hal ini terlihat dari spektrum energi yang diperoleh King (1974, 1975), Feynman et al. (1993). Oleh karena itu, untuk mengetahui spektrum energi pada siklus yang akan datang diperlukan prediksi siklus aktivitas matahari dan amplitudo maksimumnya.

4 KESIMPULAN

Fluks proton atau *fluens* proton sangat bergantung pada energi. *Fluks* proton energi rendah selalu lebih tinggi dari *fluks* proton energi tinggi. Spektrum energi proton setiap siklus adalah fungsi eksponensial dari energi. Amplitudo spektrum energi *fluens* proton diperkirakan bergantung pada amplitudo dari siklus matahari.

DAFTAR RUJUKAN

- Feynman, J.; G. Spitale; J. Wang; and S. Gabriel, 1993. *Interplanetary Proton Fluence Model*: JPL 1991, J. Geophys. Res., 98, 13, 281-13, 294.
- King, J. H., 1974. *Solar Proton Fluences for 1977-1983*. Space Missions, J. Spacecraft Rockets, 11,401.
- King J. H.; and E. G. 1975. *Stassinopoulos, Energetic Solar Protons vs. Terrestrially Trapped Proton Fluxes for the Active Years 1977-1983*, J. Spacecraft Rockets 12, 122, (B20337).
- Marvin, D. C, 2000. *Assessment of Multijunction Solar Cell Performance in Radiation Environments*, Aerospace Report No. TOR-2000(1210)-1.