

# ANALISIS PERBEDAAN INTENSITAS SOLAR PROTON EVENT

CLARA Y. YATINI  
Pusat Sains Antariksa - LAPAN  
e-mail: [clara@bdg.lapan.go.id](mailto:clara@bdg.lapan.go.id)

Abstrak. Lontaran proton dari matahari (Solar Proton Event/SPE) merupakan peristiwa yang dipicu oleh flare dan lontaran massa korona (Coronal Mass Ejection/CME). SPE ini penting untuk dipahami, karena SPE ini mempunyai dampak pada Bumi dan ruang antarplanet. Intensitas fluks proton yang dilontarkan bergantung pada aktivitas matahari yang mengakibatkan SPE ini. Dua peristiwa SPE dikaji untuk mengetahui penyebab perbedaan intensitas yang dihasilkan, yaitu SPE tanggal 4 November 2001 dan 19 Oktober 2001 yang masing-masing memiliki fluks tertinggi (31700 pfu) dan terendah (11 pfu) selama siklus matahari ke-23. Dengan membandingkan parameter yang terkait dengan munculnya SPE ini diperoleh bahwa CME memegang peranan penting yang menentukan intensitas fluks proton. Kecepatan CME yang lebih tinggi akan mengakibatkan SPE dengan intensitas fluks proton yang lebih tinggi.

Kata kunci: Solar Proton Event, lontaran massa korona, fluks proton

***Abstract.** Solar Proton Events (SPEs) are the phenomena that resulted from flares and Coronal Mass Ejections (CMEs). They are important to be understood since SPEs affect the Earth as well as the interplanetary space. The intensity of erupted proton flux depends on the solar activity which trigger the SPE. We analyzed two SPEs for understanding the source causing the different intensities. They are SPEs on November 4, 2001 and October 19, 2001, which have the highest (31700 pfu) and the lowest (11 pfu) flux during the 23<sup>rd</sup> cycle of solar activity. By comparing the*

## 1. Pendahuluan

Flare dan lontaran masa korona (*coronal mass ejection/CME*) adalah peristiwa yang sangat energetik. Peristiwa ini dapat mengubah energi magnet yang sangat besar (dalam orde  $10^{32}$  erg) menjadi partikel, plasma, dan materi yang dilontarkan dari matahari. Lontaran partikel berenergi tinggi dari matahari ini disebut sebagai peristiwa *Solar Energetic Particle* (SEP). Dalam peristiwa SEP ini proton dan ion dilepaskan oleh matahari ke ruang antarplanet dalam dua fasa. Fasa yang pertama dilepaskan pada fasa impulsif flare, sedangkan fasa kedua terkait dengan CME (Mason et al., 1999; Gopalswamy et al., 2002).

Solar Proton Event (SPE) merupakan bagian dari SEP ini, dan dinamakan demikian karena yang menjadi perhatian adalah partikel proton. SPE ini menjadi perhatian yang sangat penting karena akan mempengaruhi kondisi ruang antarplanet. Naiknya fluks proton dapat mengakibatkan radiasi yang berlebih pada manusia dan

pesawat antariksa di ruang angkasa. Definisi SPE adalah bila fluks proton untuk proton dengan energi  $>10$  MeV lebih besar dari 10 pfu (*particle flux unit*)

Studi mengenai hubungan antara SPE dengan daerah aktif yang terkait sangat diperlukan untuk menjelaskan sifat SPE ini di atmosfer matahari disamping untuk memprediksi terjadinya SPE. Zirin dan Tanaka (1973) mengamati bahwa daerah aktif yang menghasilkan SPE merupakan daerah aktif yang kompleks dengan distribusi Polaritas yang berlawanan dengan sekelilingnya. Naiknya gradien medan magnet di daerah aktif juga merupakan kondisi yang mendukung terjadinya SPE (Warwick, 1966).

Terkait dengan energi flare dan intensitas SPE, Das et al. (1998) memperoleh hubungan linear antara fluks proton dengan indeks flare. Apabila energi flare makin besar, maka SPE yang terkait dengan flare tersebut akan mempunyai energi makin tinggi. Selain dengan indeks flare, SPE juga berasosiasi dengan kenaikan sinar X impulsif dan semburan radio type IV yang dihasilkan oleh radiasi sinkrotron, seperti yang disimpulkan oleh Svestka (1972) dalam Chakravorti et al. (1991).

Penelitian mengenai SPE dan CME memberikan pengetahuan tentang keterkaitan antara keduanya. Stolpovskii et al. (1998) dan Kahler (2005) melaporkan bahwa CME dengan durasi makin panjang akan menghasilkan SPE dengan durasi dan waktu naik (*rise time*, yaitu waktu sejak mulainya SPE sampai dengan saat intensitasnya maksimum) yang makin panjang juga. Hal ini diperkuat oleh Hwang et al. (2010) yang menunjukkan bahwa durasi SPE yang terjadi pada tahun 1997 sampai 2006 (siklus ke-23) mempunyai korelasi sangat baik dengan kecepatan CME. Korelasi antara kecepatan CME dan durasi SPE ini diperoleh karena CME yang kecepatannya tinggi dapat berlangsung lama dan mengakibatkan *shock* di medium antarplanet selama penjarannya dari Matahari ke Bumi, sehingga CME ini dapat mempercepat partikel secara kontinyu dan menghasilkan SPE kuat. Sheeley et al. (1999) menunjukkan bahwa CME yang mempunyai kecepatan lebih dari 750 km/detik merupakan penyebab utama munculnya shock di ruang antarplanet dan ini merupakan penyebab terjadinya SPE. CME ini umumnya juga berasosiasi dengan flare.

Untuk lebih memahami penyebab perbedaan intensitas dari fluks proton maka dalam makalah ini akan dikaji dua peristiwa SPE yang mempunyai **intensitas** sangat berbeda. Tanggal 4 November 2001 terjadi SPE dengan fluks proton terbesar untuk siklus ke-23, dengan fluks maksimum sebesar 31700 pfu (*proton flux* " " > ^"8 terdeteksi pada 6 November. Sebaliknya fluks proton terendah untuk siklus ini te

t tanggal 19 Oktober 2001 dengan fluks proton sebesar 11 pfu. Kedua SPE ini m k untuk dibandingkan, karena walaupun keduanya terkait dengan halo CME, akan tetapi fluks proton yang dilontarkan sangat berbeda. Oleh karena itu makalah ini menyoroti kedua SPE untuk mengetahui perbedaan yang mengakibatkan intensitas fluks proton berbeda. Perbedaan yang akan dikaji adalah mengenai kondisi CME yang terkait, dan parameter lain, yaitu flare dan daerah aktif terkait dengan CME tersebut. Disamping itu parameter antarplanet dan dampak yang ditimbulkan, yaitu intensitas badai geomagnet j^ga dijadikan bahan kajian.

## 2. Data dan Metode

SPE yang akan dikaji adalah SPE yang mempunyai intensitas fluks proton tertinggi dan terendah dalam rentang siklus ke-23 (tahun 1996 - 2008), yaitu SPE yang terjadi pada tanggal 4 November 2001 dengan fluks proton tertinggi (31700 pfu) dan tanggal 19 Oktober 2001 dengan fluks proton terendah (11 pfu). Kedua SPE tersebut beserta CME, flare, dan daerah aktif yang terkait ditampilkan pada tabel 2-1.

Tabel 2-1.

Solar Proton Event beserta parameter CME, flare, dan daerah aktif yang terkait. (Sumber: NOAA Space Environment Service Center dan SOHO LASCO CME catalog)

SPE			CME			Flare		
Mulai	Maks	Fluks proton (pfu)	Tipe	Mulai	Kecepatan (km/detik)	Kelas	Mulai-Maks-Terakhir Lokasi (UT)	Daerah Aktif
4 Nov/ 17:05	6 Nov/ 02:15	31700	Halo	4 Nov/ 16:35	1810	X1.0/3B	16:03 - N06W18 16:20- 16:57	9684
19 Okt/ 12:25	19 Okt/ 22:35	11	Halo	19 Okt/ 16:50	910	X1.6/2B	16:13- N15W29 16:30- 16:43	9661

Tabel 2-1 memperlihatkan kedua SPE yang dimaksud beserta waktu terjadinya dan intensitas fluks proton yang dihasilkan. Parameter CME dan flare yang terkait juga ditampilkan dalam tabel tersebut. Selanjutnya kajian akan dilakukan dengan melihat citra CME dan flare di matahari, serta parameter antarplanet dan dampak gangguan di geomagnet. Sumber datanya adalah sebagai berikut:

- Citra CME dari Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment (LASCO).
- Fluks proton yang dideteksi oleh satelit GOES8 yang dimuat di Space Weather Prediction Center.
- Indeks gangguan geomagnet Dst dari World Data Center for Geomagnetism Kyoto.
- Parameter angin surya untuk SPE tanggal 19 Oktober 2001 dari Solar Wind Experiment (SWE).
- Kecepatan dan kerapatan angin surya untuk SPE tanggal 4 November 2001 dari Advanced Composition Explorer (ACE).
- Kuat medan magnet antarplanet dari Advanced Composition Explorer

Semua data di atas akan dikaji untuk melihat perbedaan antara SPE yang mempunyai intensitas fluks proton tinggi dan rendah.

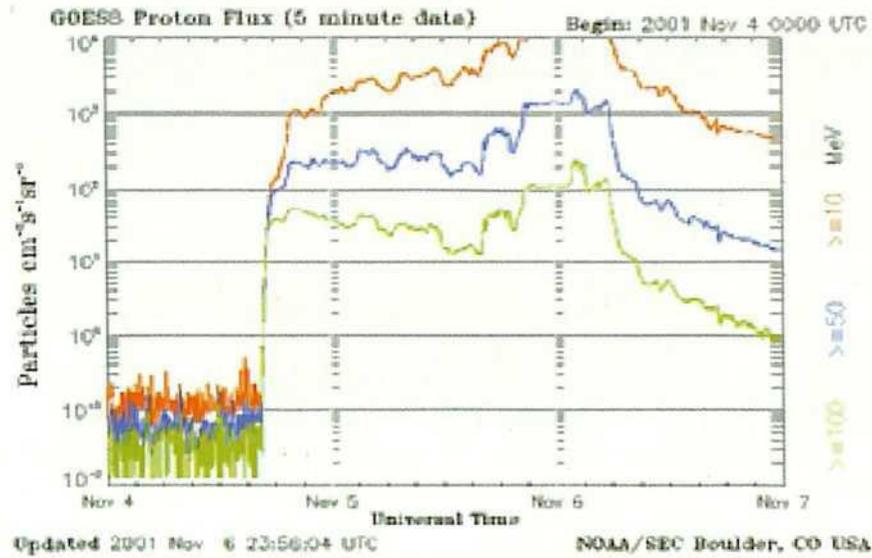
### 3. Hasil dan Analisis

Berikut akan diperlihatkan kajian terhadap dua SPE seperti yang telah diperlihatkan pada Tabel 2-1.

#### 3.1. Solar Proton Event Tanggal 4 November 2001

Pada tanggal 4 November 2001 teramati SPE yang dimulai pada jam 17:05 UT (Gambar 3-1). Fluks proton naik dengan tajam, bertahan cukup lama, dan mencapai puncak sebesar 31700 pfu pada tanggal 6 November jam 02:15 UT. Setelah mencapai puncak fluks proton berangsur-angsur kembali turun dan mencapai intensitas awal setelah tanggal 7 November. SPE ini disebabkan oleh adanya halo CME pada tanggal 4 November jam 16:35 UT dengan kecepatan mencapai 1810 km/detik (Gambar 3-2). Gambar 3-3 menunjukkan intensitas sinar X yang terjadi pada tanggal 4 – 6 November 2001. Pada tanggal 4 November terjadi kenaikan intensitas sinar X yang bersesuaian dengan munculnya flare. Flare yang berasosiasi dengan CME ini adalah flare kelas X1/3B. Tingginya intensitas sinar X yang dideteksi oleh GOES pada panjang gelombang 1- 8 Å menunjukkan bahwa erupsi yang terjadi berada di piringan matahari yang menghadap ke Bumi (*front side*). Lokasi erupsi ini adalah daerah aktif NOAA 9684 pada posisi N06W18. Daerah aktif yang merupakan sumber terjadinya erupsi penyebab CME ini merupakan daerah aktif dengan kelas magnet beta gamma delta dan bilangan sunspot untuk daerah aktif ini adalah sebesar 33.

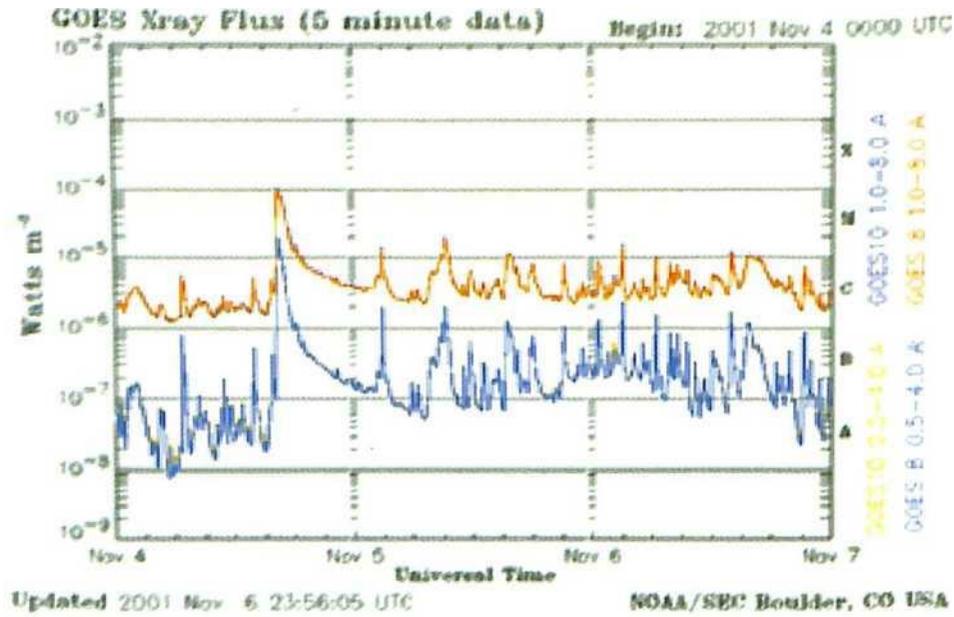
Dengan CME halo dan flare kuat yang berada pada posisi geoeftif atau berdampak pada bumi (Yatini et al., 2008), maka SPE ini mengakibatkan badai geomagnet. Badai geomagnet yang timbul akibat aktivitas matahari ini terjadi tanggal 6 November 2001 dengan indeks gangguan geomagnet Dst = -292 nT. Nilai terendah ini terjadi pada jam 7 UT, sehingga selang waktu antara waktu mulainya CME dengan Dst minimum adalah 38.5 jam. Komponen  $B_z$  (komponen utara selatan medan magnet antarplanet) pada saat badai adalah sebesar -68.10. Data angin surya (kecepatan dan kerapatan) diperoleh dari Advanced Composition Explorer SWICS-SWIMS data. Dari data ini diperoleh bahwa kecepatan angin surya saat badai adalah sebesar 800 km/detik (lihat Gambar 3-4). Pada profil kecepatan angin surya terlihat adanya *shock*, yang ditandai dengan kenaikan tajam dari kecepatan angin surya.



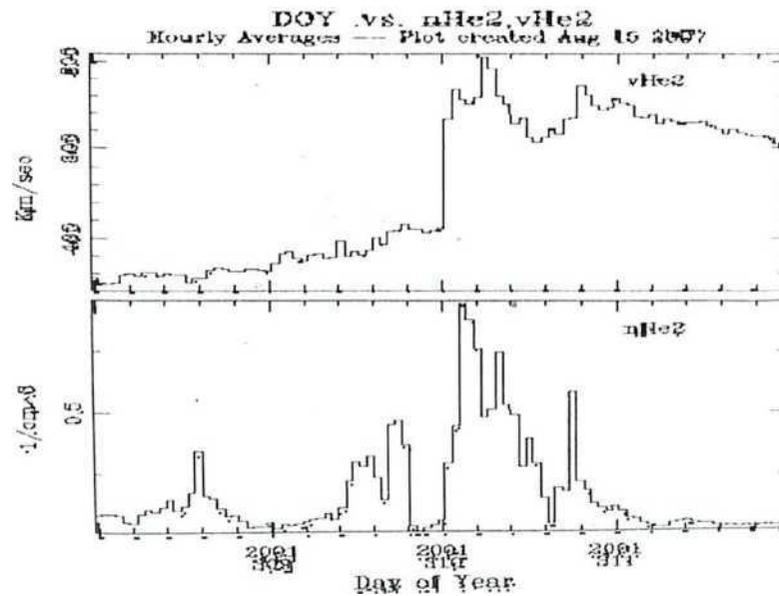
Gambar 3-1. Fluks proton dari tanggal 4-6 November 2001. Plot menggambarkan jumlah proton terhadap waktu, (dari atas ke bawah) masing-masing untuk proton dengan energi  $> 10$  MeV,  $> 50$  MeV, dan  $> 100$  MeV



Gambar 3-2. CME pada tanggal 4 November 2001 yang mengakibatkan Solar Proton Event (sumber: Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment LASCO).



Gambar 3-3. Intensitas sinar X pada tanggal 4 — 6 November 2001 yang dideteksi oleh satelit GOES (Sumber: Space Weather Prediction Center)



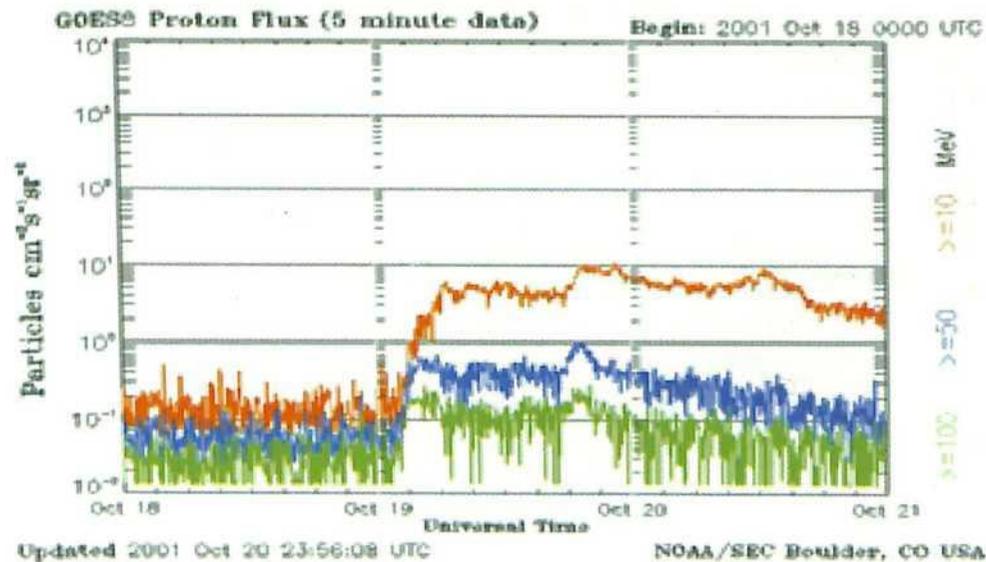
Gambar 3-4. Plot kecepatan (atas) dan kerapatan angin surya (bawah) pada tanggal 4 — 7 November 2001 atau DOY 308 - 311 (Sumber: Advanced Composition Explorer).

### 3.2. Solar Proton Event Tanggal 19 Oktober 2001

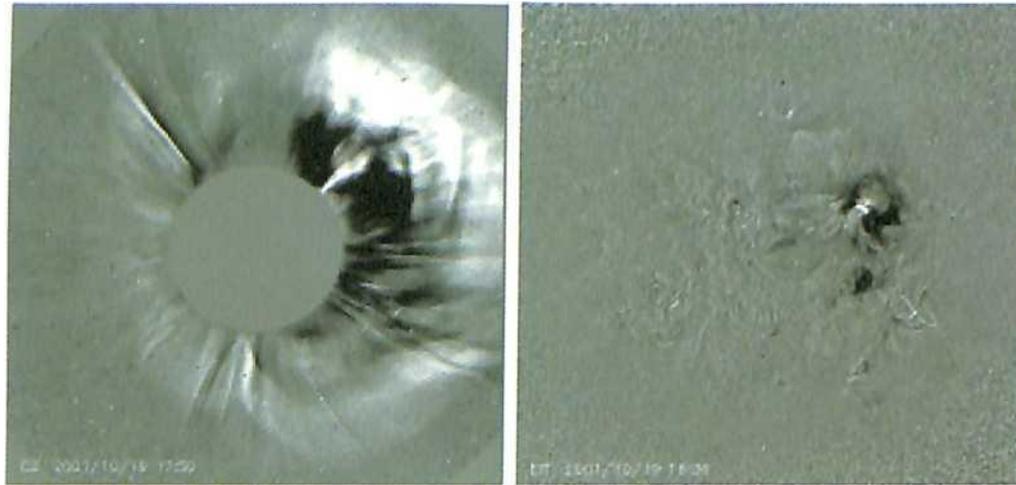
Gambar 3-5 menunjukkan fluks proton yang terjadi tanggal 19 Oktober. SPE ini dimulai sekitar jam 12 UT (karena yang dimaksud dengan SPE adalah fluks proton energi  $> 10\text{MeV}$  yang lebih besar dari 10 pfu). Fluks proton yang diamati tidak menunjukkan kenaikan intensitas yang tajam, dan tidak mempunyai intensitas yang tinggi. SPE ini disebabkan oleh halo CME (Gambar 3-6). muncul di daerah aktif NOAA 9661 pada posisi N15W29. Seperti halnya CME dan flare yang terjadi pada tanggal 4 November 2001 di atas, flare ini terjadi di bagian depan matahari (*front sicle*) karena intensitas sinar X yang diamati cukup tinggi (Gambar 3-7). Posisi ini juga merupakan posisi yang geoeftif sehingga dapat mengakibatkan badai geomagnet. Daerah aktif NOAA 9661 yang terkait dengan flare dan CME yang mengakibatkan SPE ini mempunyai kelas magnet beta gamma delta dengan bilangan sunspotnya sebesar 21.

Badai geomagnet terjadi pada 21 Oktober dan mempunyai Dst minimum sebesar -187 nT (sumber: World Data Center for Geomagnetism, Kyoto). Badai ini mencapai puncaknya pada jam 22 UT. Komponen Bz mencapai intensitas -25.94. Dengan mengetahui saat munculnya CME maka waktu tunda, yaitu selang waktu sejak terjadinya CME sampai Dst minimum adalah 53 jam.

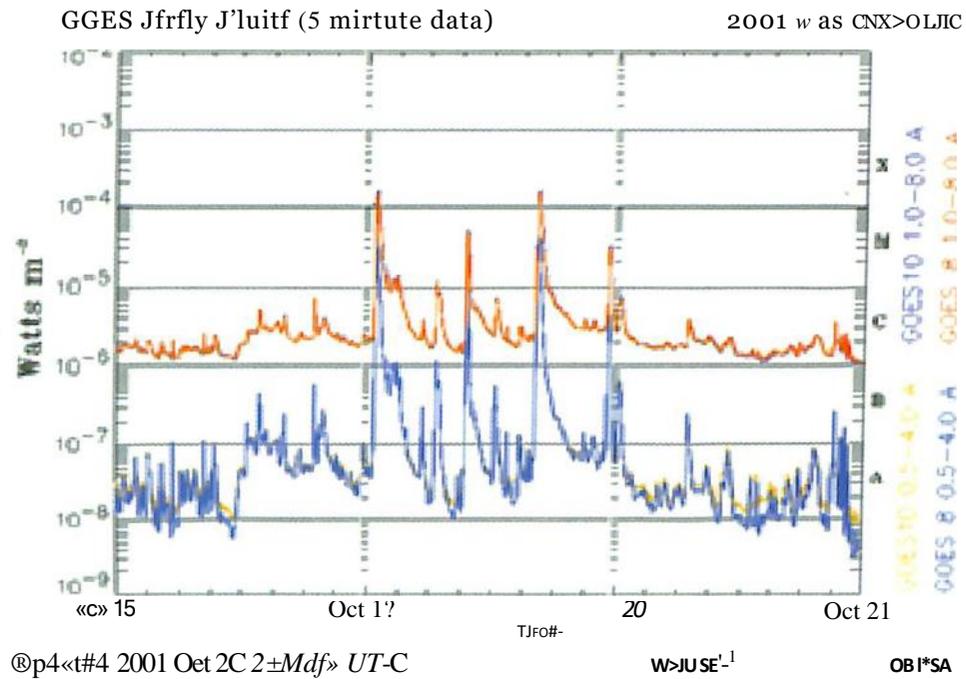
Profil angin surya diperlihatkan pada gambar 3-8. Pada tanggal 21 Oktober jam 16 UT terlihat adanya profil *shock* dan mulai naiknya kerapatan plasma. Kecepatan plasma mencapai 540 km/detik.



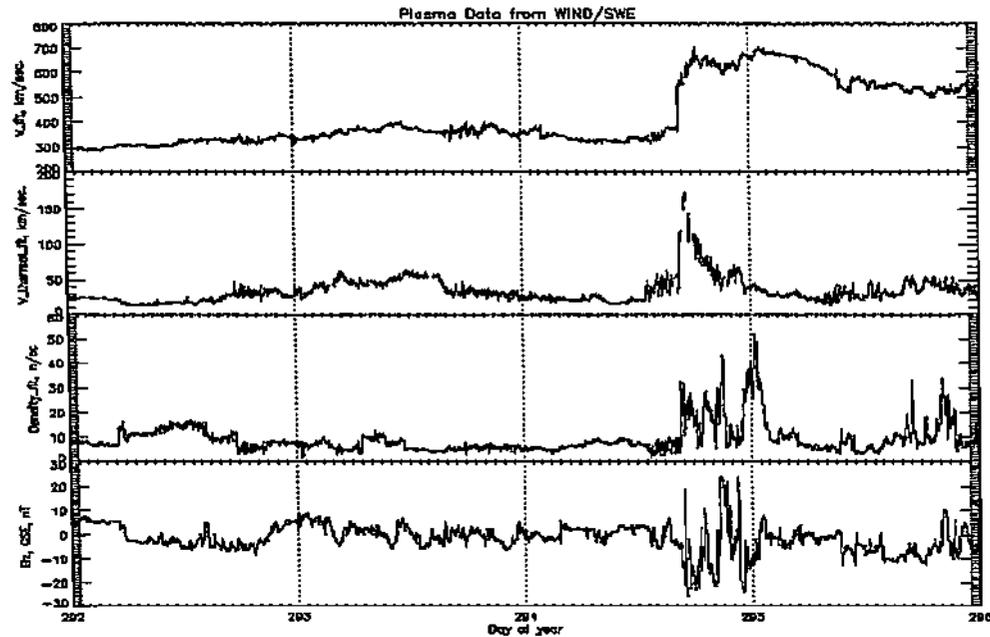
Gambar 3-5. Fluks proton dari tanggal 18 - 20 Oktober 2001. Plot menggambarkan jumlah proton terhadap waktu, (dari atas ke bawah) masing-masing untuk proton dengan energi  $> 10\text{ MeV}$ ,  $> 50\text{ MeV}$ . dan  $> 100\text{ MeV}$



Gambar 3-6. CME tanggal 19 Oktober 2001 (kiri) yang mengakibatkan SPE (sumber: Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment LASCO). CME in berkaitan dengan flare XI.6 yang terjadi di NOAA 9661 (posisi N15 W29)



Gambar 3-7. Intensitas sinar X dari matahari pada tanggal 18-20 Oktober 2001 yang diamati oleh satelit GOES (Sumber: Space Weather Prediction Center)



Gambar 3-8. Profil angin surya, yaitu masing-masing dari atas ke bawah: kecepatan, temperatur ion, kerapatan plasma, dan medan magnet antarplanet utara selatan ( $B_z$ ) pada tanggal 19-22 Oktober 2001 (sumber: Solar Wind Experiment). Pada tanggal 21 Oktober 2001 (DOY:294) sekitar jam 16 UT terlihat adanya profil *shock*.

### 2.1. Perbedaan Intensitas Solar Proton Event dan Fenomena yang Terkait

Tabel 3-1 memperlihatkan perbedaan antara SPE yang terjadi pada tanggal 4 November dan 19 Oktober 2001.

Tabel 3-1.

Beberapa parameter yang berasosiasi dengan Solar Proton Event yang terjadi tanggal 4 November dan 19 Oktober 2001.

	4 November	19 Oktober
Fluks proton	31700 pfu	11 pfu
Kecepatan CME	1810 km/detik	910 km/detik
Waktu naik (rise time)	33 jam 10 menit	10 jam 10 menit
Kelas Flare	X1.0/3B	X1.6/2B
Kelas daerah aktif	Beta gamma delta	Beta gamma delta
Posisi sumber	N06W18	N15 W29
Kecepatan angin surya	800 km/detik	540 km/detik

Jelas terlihat bahwa fluks proton pada tanggal 4 November (selanjutnya disebut SPE I) jauh lebih tinggi dibandingkan fluks tanggal 19 Oktober (SPE II). Kedua SPE ini diakibatkan oleh halo CME, namun dengan kecepatan yang berbeda. SPE I diakibatkan oleh CME dengan kecepatan tinggi, 2 kali kecepatan CME yang terkait dengan SPE II. Dari keduanya terlihat bahwa CME dengan kecepatan tinggi seperti ini dapat mengakibatkan munculnya SPE, seperti yang dikatakan oleh Sheeley et al. (1999) bahwa penyebab SPE adalah CME yang kecepatannya tinggi (lebih dari 750 km/detik). CME dengan kecepatan tinggi akan menghasilkan *shock* kuat dan dapat mempercepat partikel secara terus menerus dan menghasilkan SPE kuat (Hwang et al., 2010). CME yang menyebabkan SPE umumnya juga berasosiasi dengan flare. Kedua SPE yang dikaji di sini juga diakibatkan oleh CME yang berasosiasi dengan flare. Flare yang berasosiasi dengan SPE ini mempunyai intensitas sinar X cukup tinggi, yaitu kelas X. Kelas flare seperti ini memang dapat menimbulkan SPE (Das et al., 1998). Percepatan partikel dengan energi tinggi terkait dengan adanya *shock* di flare.

Bila dilihat dari waktunya, terlihat bahwa waktu naik (*rise time*) dari SPE I lebih lama dari SPE II. Dengan *rise time* yang lebih lama, SPE I mempunyai intensitas fluks proton yang lebih tinggi. Walaupun korelasinya tidak terlalu baik, menurut Hwang et al. (2010) waktu naik dari SPE mempunyai korelasi dengan kecepatan CME. Akibatnya, seperti yang telah dijelaskan di atas, dengan kecepatan CME yang lebih tinggi maka intensitas SPE juga makin kuat. Sayangnya durasi dari SPE yang dikaji disini tidak diketahui dengan pasti, sehingga tidak dapat diketahui apakah durasi ked ini mempengaruhi intensitas SPE yang dihasilkan, walaupun sebenarnya keterkaitan antara durasi dengan intensitas SPE telah dibuktikan oleh Hwang et al. (2010).

**Flare yang mengakibatkan SPE I dan SPE II tidak jauh berbeda, yaitu kelas X. Keduanya berasal dari daerah aktif yang mempunyai kelas magnet beta-gamma-delta, yaitu kelas magnet yang sangat kompleks. Tampaknya kelas flare atau intensitas flare tidak berkaitan dengan intensitas fluks proton, walaupun diperlukan flare yang kuat untuk menghasilkan SPE (Das et al., 1998) serta kelas magnet yang cukup kompleks (Zirin dan Tanaka, 1973).**

Melihat posisi sumber erupsi di matahari yang berada pada zona geoeftif (Yatini et al., 2008), kedua SPE mengakibatkan munculnya gangguan di geomagnet. SPE I mengakibatkan badai geomagnet dengan intensitas Dst mencapai -292 nT, yang lebih kuat daripada badai yang ditimbulkan oleh SPE II dengan intensitas Dst mencapai -187 nT. Kecepatan angin surya yang terkait dengan badai ini juga cukup tinggi, masing-masing mencapai 800 km/detik dan 540 km/detik.

Dari beberapa parameter yang dikaji di atas, tampaknya kecepatan CME merupakan faktor yang sangat menentukan pada intensitas fluks proton dalam SPE yang dikaji disini, disamping waktu naik (*rise time*) dari intensitasnya. Sedangkan parameter lain tampaknya tidak dapat dipakai sebagai alat untuk memprakirakan perbedaan intensitas fluks proton.

### 3. Kesimpulan

Peristiwa lontaran proton dari matahari yang disebut sebagai SPE (Solar Proton Event) merupakan peristiwa yang sangat penting dalam konteks cuaca antariksa, karena munculnya SPE dapat menyebabkan berbagai gangguan, misalnya pada geomagnet dan ruang antarplanet. SPE yang terjadi mempunyai intensitas yang berbeda-beda, tergantung pada pemicunya di matahari.

SPE tanggal 4 November dan 19 Oktober 2001 mempunyai intensitas fluks proton sangat berbeda. Berbagai parameter telah dikaji, yaitu kecepatan CME, waktu naik (*rise time*) intensitas fluks proton, kelas flare, kelas daerah aktif yang terkait, posisi sumber erupsi di matahari, dan kecepatan angin surya serta tingkat gangguan geomagnet yang ditimbulkannya. Diperoleh bahwa SPE dihasilkan karena CME berkecepatan tinggi dengan pola intensitas yang mempunyai waktu naik (*rise time*) yang panjang. CME ini juga berasosiasi dengan flare. Flare itu sendiri berada pada posisi geoeftif dan mempunyai intensitas sinar X yang kuat.

Dari berbagai parameter ini ternyata diperoleh bahwa perbedaan intensitas fluks proton ini tergantung terutama pada kecepatan CME yang menjadi pemicunya. SPE yang mempunyai intensitas lebih tinggi (31700 pfu) disebabkan oleh CME yang kecepataannya 1810 km/detik, sedangkan SPE yang lain (11 pfu) disebabkan oleh CME dengan kecepatan 910 km/detik. CME dengan kecepatan lebih tinggi akan menghasilkan *shock* lebih kuat dan dapat mempercepat partikel secara terus menerus dan menghasilkan SPE yang juga lebih kuat. Kecepatan CME ini juga berpengaruh pada kecepatan angin surya yang juga berdampak pada intensitas badai geomagnet yang ditimbulkan. CME yang lebih cepat mengakibatkan kecepatan angin surya juga lebih besar dan intensitas badai geomagnet yang lebih kuat.

Dalam kajian ini dibahas hanya dua SPE yang mempunyai intensitas yang jauh berbeda. Kajian dan penelitian terhadap seluruh SPE yang terjadi tentunya dapat memberikan pemahaman lebih menyeluruh tentang penyebab perbedaan intensitas fluks proton yang terjadi akibat CME. Pemahaman mengenai SPE berdasarkan pengamatan terhadap daerah aktif dan parameter yang lain diharapkan dapat memperoleh aspek penting untuk mendapatkan karakteristik daerah aktif yang menghasilkan SPE.

#### Daftar Rujukan

- Chakravorti, T.B., Das, T.K., Sen, A.K., Das Gupta, M.K., 1991, Some studies of solar proton events in relation to active region characteristics, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 42, 165
- Das, T.K., Nag, T.K., Dutta, A.K., 1998, Solar proton events in relation to H-alpha flares, *Bui L Astr. Soc. India* 26, 311

- Gopalswamy, N., Yashiro, S., Michael, G., Kaiser, M.I., Howard, R.A., Reames, D.V., Leske, R., von Rosenvinge, T., 2002, Interacting coronal mass ejections and solar energetic particles, *Astrophys. J.* **572**, L103
- Hwang, J., Cho, K.-S., Moon, Y.-J., Kim, R.-S., Park, Y.-D., 2010, Solar proton events during the solar cycle 23 and their association with CME parameters, *Acta Astronomica* **67**, 353
- Kahler, S.W., 2005, Characteristic times of gradual solar energetic particle events and their dependence on associated coronal mass ejection properties, *Astrophys. J.*, **628**, 1014
- Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment LASCO, <http://www.nrl.navy.mil/>
- Mason, G.M., Nazur, J.E., Dwyer, J.M., 1999, 3He enhancement in large solar energetic particle events, *Astrophys. J.* **525**, L133
- NOAA Space Environment Service Center, <http://umbra.nascom.nasa.gov/SEP/>
- Sheeley, N.R., Walters, J.H., Wang, Y.-M., Howard, R.A., 1999, Continuous tracking of coronal outflows: Two kinds of coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.* **104**, 24739
- SOHO-LASCO CME catalog, [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/)
- Solar Heliospheric Observatory, <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
- Solar Wind Experiment (WIND/SWE), Massachusetts Institute of Technology, <http://web.mit.edu/afs/athena/org/s/space/www/wind.html>
- Space Weather Prediction Center, <http://www.swpc.noaa.gov/>
- Stolpovskii, V.G., Daibog, E.I., Kahler, S.W., Erdos, G., 1998, CME-driven shocks as a possible source of the electron component in SEP events, *Adv. Space Res.* **21**, 543
- Warwick, C.S., 1966, Sunspot Configurations and Proton Flares, *Astrophys. J.* **145**, 215
- World Data Center for Geomagnetism Kyoto, [http://www.ngdc.noaa.gov/wdc/datalists/geomag\\_kyoto.html](http://www.ngdc.noaa.gov/wdc/datalists/geomag_kyoto.html)
- Yatini, C.Y., Suratno, Admiranto, A.G., Suryana, N., 2008, Karakteristik Lontaran Massa Korona (CME) yang Menyebabkan Badai Geomagnet, *Jurnal Sains Dirgantara* Vol.6 No.1, 47
- Zirin, H., Tanaka, J., 1973, The Flares of August 1972, *Solar Phys.* **32**, 173