

VARIASI UNSUR BERAT BERDASARKAN PENGAMATAN SATELIT ACE/SIS PADA PERISTIWA PARTIKEL MATAHARI TAHUN 2006

NEFLIA

Pusat Sains Antariksa - LAPAN

c-mail: neflia@bdg.lapcm.go.id

Abstrak. Analisis peningkatan fluks dan fluks maksimum dilakukan dalam rangka mempelajari variasi unsur berat yang diperoleh dari ACE/SIS pada saat peristiwa partikel matahari pada 6 Desember 2006 dan 13 Desember 2006. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa peningkatan fluks dan fluks maksimum unsur berat pada peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006 lebih besar 10 kali dibandingkan dengan peningkatan fluks dan fluks maksimum pada peristiwa partikel matahari tanggal 13 Desember 2006. Selain itu selang waktu peningkatan fluks dan penurunan fluks unsur berat pada peristiwa partikel 6 Desember juga lebih lama. Peningkatan fluks dan fluks maksimum ini bergantung pada energi unsur, semakin besar energi unsur semakin kecil peningkatan fluks. kecuali pada kasus besi dan argon.

Kata kunci: peristiwa partikel matahari, peningkatan fluks, fluks maksimum, unsur berat

Abstract. The analysis of the flux enhancement and the maximum flux is done in order to study the heavy element variation during solar particle event on 6 and 13 December 2006. The data used in this analysis are heavy element fluxes from ACE/SIS. The results show that flux enhancements and the maximum fluxes of the heavy elements on 6 December 2006 ten times higher than of those event on 13 December 2006. In addition, the increasing and decreasing of heavy element on 6 December are longer than that on 13 December 2006. These flux enhancements and maximum fluxes depend on the energy of the heavy elements. The higher element energy the smaller flux enhancement, except for Iron and Argon.

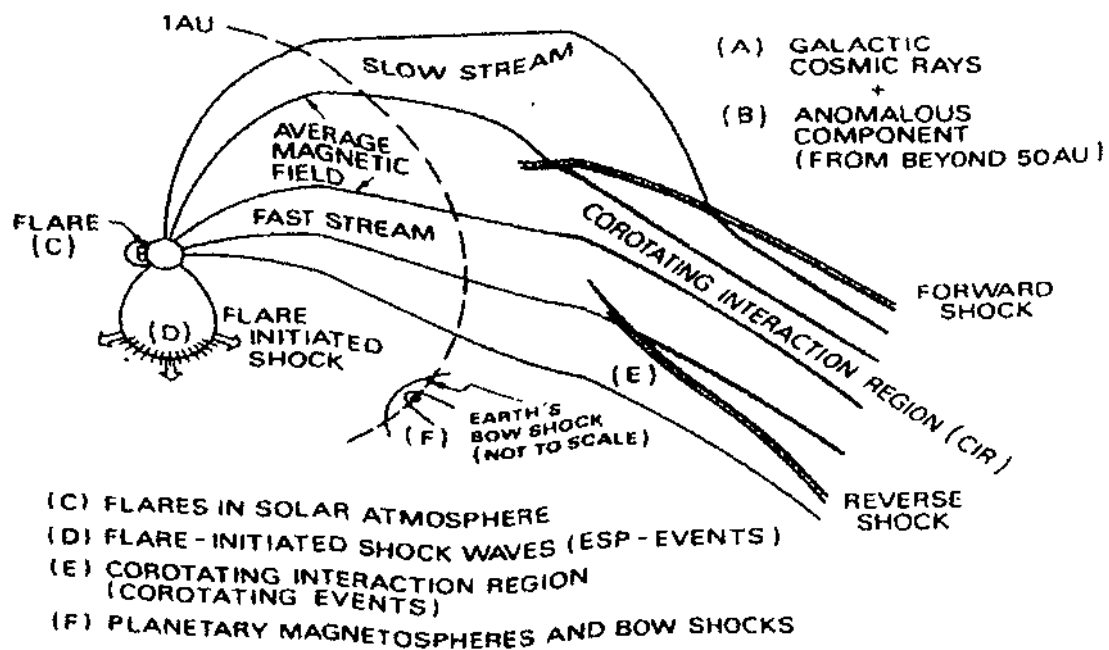
Keywords: solar particle events, flux enhancements, maximum fluxes, heavy elements

1. Pendahuluan

Partikel energetik di ruang antarplanet telah diamati memiliki rentang energi dari supra-thermal (beberapa keV) hingga 10^{17} keV. Partikel yang paling banyak mengisi ruang antarplanet adalah proton, elektron dan partikel alfa. Unsur berat hingga besi juga dapat ditemukan meski dalam jumlah lebih sedikit (Schwenn, 2006 dan Kallenrode, 2004). Populasi partikel ini berasal dari sumber yang berbeda, semuanya memiliki karakteristik spektrum energi, skala waktu dan skala spasial tertentu. Gambar 1-1 menunjukkan populasi partikel energetik di heliosfer. Tabel 1-1 menunjukkan karakteristik populasi partikel di ruang antarplanet (kolom pertama menunjukkan sumber partikel energetik di ruang antarplanet, seperti ditunjukkan pada Gambar 1-1).

Kelimpahan unsur dan isotop telah terbukti merupakan sumber informasi mengenai asal dan pembentukan populasi partikel energetik di heliosfer. Pada peristiwa

partikel matahari, kelimpahan partikel energetik matahari (SEP – *Solar Energetic Particle*) bervariasi tergantung dari sumber partikel dan posisinya. Biasanya peristiwa partikel matahari dikelompokkan menjadi peristiwa gradual dan peristiwa impulsif berdasarkan mekanisme percepatan dan transportasi partikelnya (Reames, 1999, dan Kallenrode, 2003). Partikel energetik pada peristiwa impulsif biasanya dicirikan dengan peningkatan unsur berat yang dihasilkan dari percepatan akibat interaksi partikel-gelombang resonansi di plasma flare. Sedangkan pada peristiwa gradual biasanya kelimpahan unsur menyerupai kelimpahan unsur korona yang dihasilkan dari percepatan akibat gelombang kejut yang dibawa oleh pelontaran massa korona (CME – *Corona Mass Ejection*) (Reames, 1999). Keberadaan CME selama kedua peristiwa ini juga menunjukkan perbedaan. Pada peristiwa gradual biasanya selalu didahului dengan CME namun tidak demikian dengan peristiwa impulsif. Pada peristiwa impulsif, jika terdapat CME sebelum peristiwa partikel matahari, maka biasanya CME ini memiliki ukuran yang kecil dan berkecepatan rendah (Kallenrode, 2003).



Gambar 1-1. Populasi dan sumber partikel energetik (Kallenrode, 2004)

Tabel 1-1
Karakteristik populasi partikel di ruang antarplanet (Kallenrode, 2004).

	Skala temporal	Skala Spasial	Rentang energi	Mekanisme Percepatan
A	Kontinu	Global	GeV -> TeV	<i>Diffusive shock</i>
B	Kontinu	global	10-100 MeV	<i>Shock?</i>
C	8	5	keV - 100 MeV	<i>Reconnection, stochastic, selective heating, shock</i>
D	Harian	Extended	keV - 10 MeV	<i>Diffusive shock, shock drift, stochastic</i>
E	27 hari	Large-scale	keV - 10 MeV	<i>Diffusive shock</i>
F	Kontinu	lokal	keV - MeV	<i>Diffusive shock, shock drift</i>

Dalam makalah ini akan dibahas mengenai variasi 14 unsur berat (He, C, N, O, Ne, Na, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe, dan Ni) selama peristiwa partikel matahari tahun 2006. Unsur berat sebagai bagian dari angin matahari sangat penting untuk dianalisis dalam rangka untuk mempelajari matahari, angin matahari, terutama efeknya ke lingkungan antariksa dan benda antariksa (wahana antariksa). Selain itu, unsur berat ini (dalam dosis tertentu) dapat mengganggu kinerja satelit yang sedang beroperasi, terutama pada saat terjadi peristiwa partikel matahari (Mewaldt, 2005).²

2. Data yang digunakan

Data yang digunakan dalam analisis ini adalah data unsur berat dari hasil pengamatan dengan menggunakan ACE/SIS (www.srl.caltech.edu/ACE/). ACE (Advanced Composition Explorer) yang diluncurkan pada Agustus 1997 memiliki tujuan utama mempelajari partikel yang datang ke bumi dari matahari, dari ruang antarplanet dan partikel dari galaksi Milky Way. Pada ACE dipasang 9 instrumen yang berfungsi untuk penjejukan (*track*) partikel. Masing-masing instrumen melakukan penjejukan angin matahari yang datang dari matahari. ACE juga melakukan penjejukan sinar kosmik galaksi dari ruang antarplanet diluar heliosfer (yang berarti di luar pengaruh IMF) (www.srl.caltech.edu/ACE/). Solar Isotope Spectrometer (SIS) merupakan salah satu instrumen yang dipasang pada ACE dan digunakan untuk mengukur komposisi unsur dan isotop menggunakan 2 *stacks detector Silicon* identik. SIS ini mampu memisahkan masing-masing isotop untuk tiap unsur dari He hingga Nikel. Pada instrumen SIS, 14 unsur (He, C, N, O, Ne, Na, Mg, Al, Si, S, Ar, Ca, Fe, dan Ni) yang diukur memiliki nomor atom (Z) $2 < Z < 28$, dan memiliki rentang energi 5-150 MeV/nucleon.

Untuk mengetahui variasi unsur berat terutama pada saat peristiwa partikel matahari, digunakan data peristiwa partikel matahari pada tahun 2006 dari National

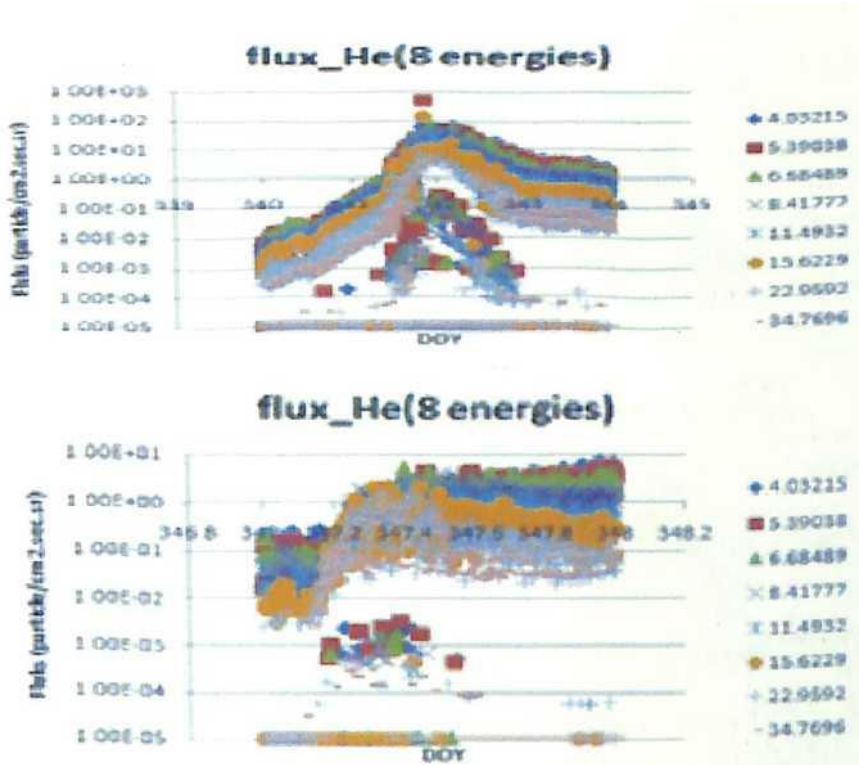
Geophysical Data Center (www.ngd.noaa.gov). Peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006 yang dimulai tanggal 6 Desember 2006 jam 15:55 UT dan berakhir tanggal 7 Desember 2006 berhubungan dengan flare kelas X9,0 pada posisi E79° dengan emisi puncak sinar-X pada 20:35 UT dan flare kelas X6,5 pada posisi E63° dengan emisi puncak sinar-X pada 18:47 UT. Peristiwa partikel matahari tanggal 13 Desember 2006 berhubungan dengan flare kelas X3,4 pada posisi W23° dengan emisi puncak sinar-X pada 02:40 UT. CME halo juga teramati pada kedua peristiwa partikel matahari ini oleh LASCO coronagraph. Pada peristiwa partikel tanggal 13 Desember 2006, terjadi CME halo tanggal 13 Desember 2006 jam 02:54 UT dengan kecepatan 1774 km/s sedangkan tanggal 6 Desember 2006 terjadi CME halo tanggal 6 Desember 2006 jam 20:12 UT, tetapi tidak terdapat informasi kecepatan CME disebabkan oleh adanya kekosongan data di SOHO/LASCO.

Unsur berat ini akan dianalisis berdasarkan fluks maksimum dan peningkatan fluks unsur pada saat terjadinya peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006 dan 13 Desember 2006 dalam 8 tingkat energi. Energi yang akan digunakan pada grafik merupakan akar kuadrat dari perkalian energi maksimum dengan energi minimum unsur yang ditinjau ($\sqrt{E_{\min} \cdot E_{\max}}$). Tiap unsur berat ini memiliki rentang energi (energi maksimum dan minimum) yang berbeda-beda. Rentang energi tiap unsur dapat dilihat di situs caltech (http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/sis_energy_levels/SIS_ebands.txt).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006 memperlihatkan peningkatan cukup signifikan dari awal terjadinya peristiwa partikel matahari pada pukul 15.55 UT dengan waktu puncak pada tanggal 7 Desember 2006 pukul 19.30 UT. Dalam rentang waktu 27 jam 35 menit, peningkatan partikel Helium maksimum mencapai -1000 kali. Fluks Helium maksimum mencapai 10^2 partikel/cm².sec.sr. Peningkatan ini terjadi pada semua rentang energi (Gambar 3-1, atas). Sedangkan peningkatan Helium pada peristiwa partikel yang dimulai pada tanggal 13 Desember pukul 03.10 dan puncak pada pukul 09.25 tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Dalam rentang 6 jam 15 menit, fluks helium maksimum tidak mencapai 10 partikel/cm .sec.sr, dengan peningkatan maksimum mencapai 100 kali.

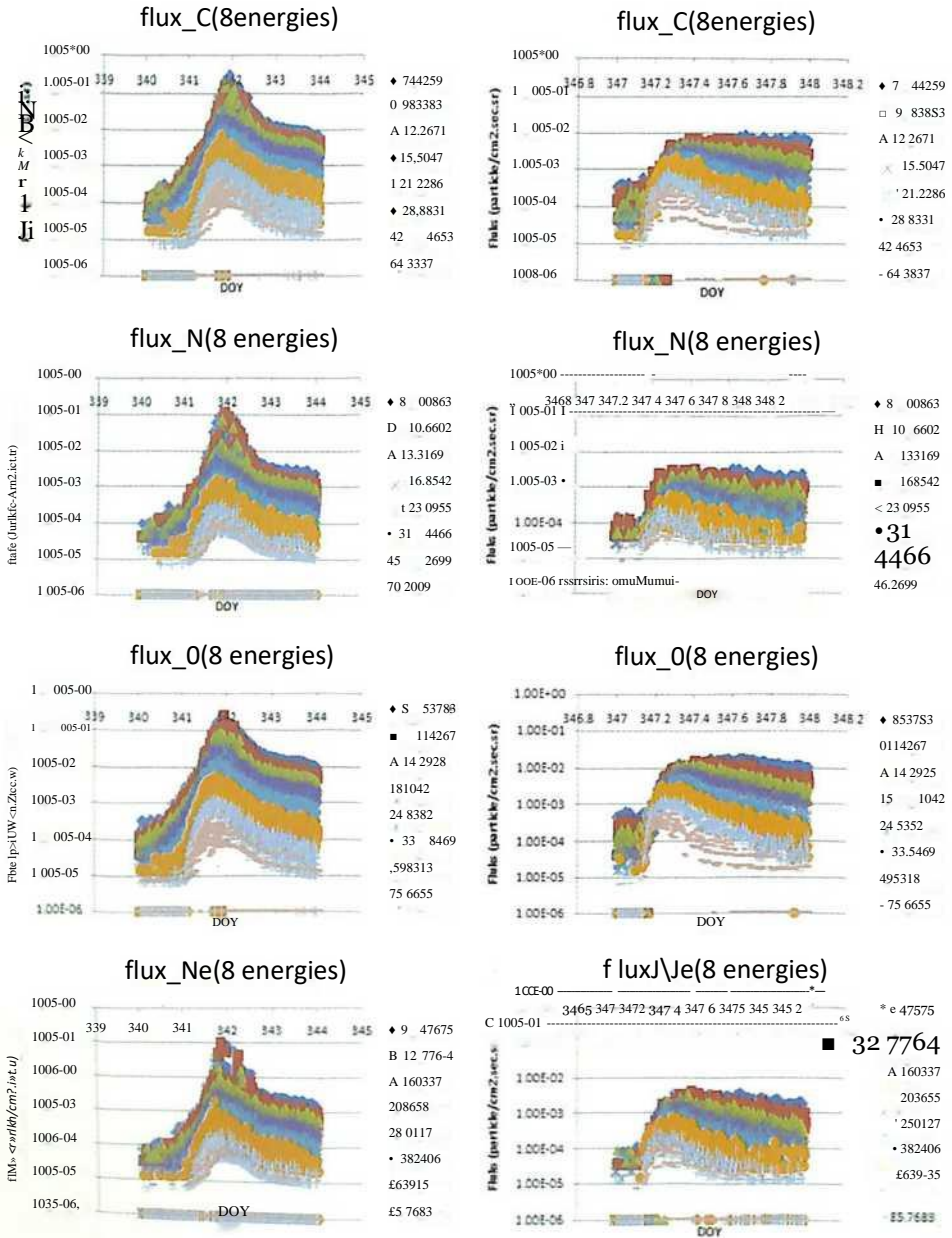
Perbedaan juga terletak pada penurunan partikel setelah masa puncak peristiwa partikel matahari. Pada peristiwa tanggal 6 Desember 2006, seperti halnya dengan peningkatan partikel yang cukup besar, penurunan fluks helium juga cukup signifikan dalam selang waktu sekitar 2 hari, sedangkan pada peristiwa tanggal 13 Desember 2006 penurunan fluks helium berlangsung perlahan dalam selang waktu 1 hari (Gambar 3-1, bawah).



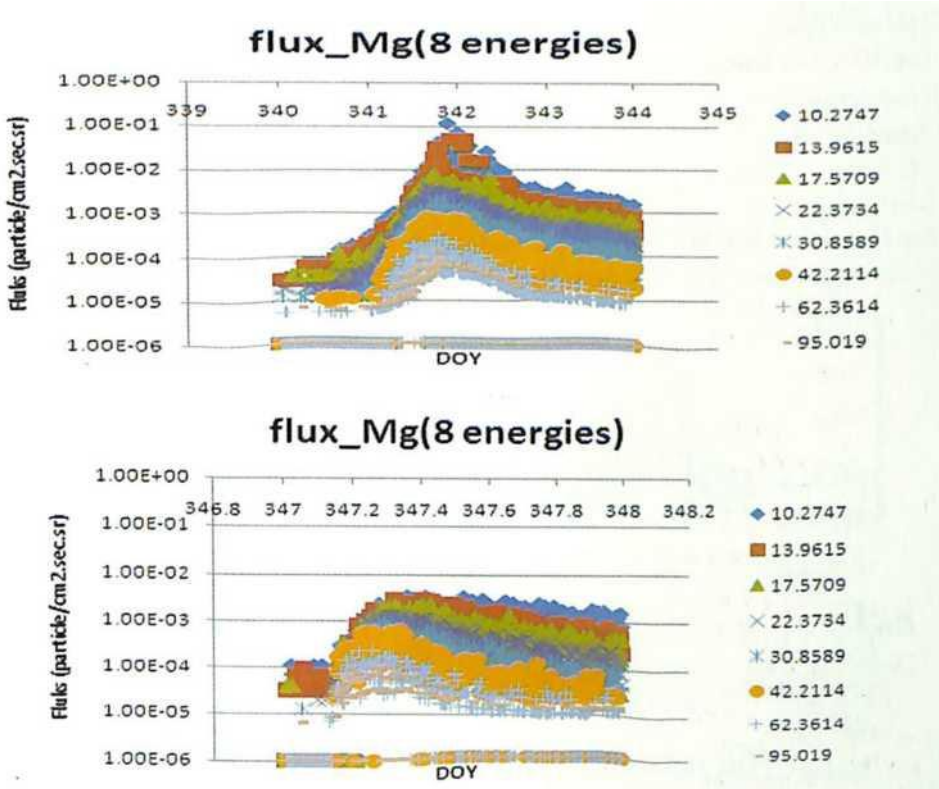
Gambar 3-1. Flux Helium pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (atas) dan 13 Desember 2006 (bawah)

Seperti halnya pada Helium, peningkatan Karbon, Nitrogen, Oksigen, Neon Magnesium terjadi hingga 1000 kali pada puncak peristiwa partikel tanggal 7 Desember 2006. Akan tetapi peningkatan ini tidak terjadi pada semua rentang energi. Peningkatan fluks hingga 100 kali terjadi pada karbon dengan energi rata-rata 42.465-1 dan 64.38 MeV, Nitrogen dengan energi rata-rata 46.2699 dan 70.2009 MeV, Oksigen dengan energi rata-rata 49.8318 dan 75.6655 MeV, Neon dengan energi rata-rata 56.3915 dan 85.7683 dan Magnesium dengan energi rata-rata 62.3614 dan 95.019 MeV (2 energi terbesar untuk tiap Unsur). Fluks maksimum pada peristiwa ini adalah partikel/cm².sec.sr untuk 2 energi terkecil tiap Unsur (Gambar 3-2 dan Gambar kiri)

Pada peristiwa partikel tanggal 13 Desember 2006, peningkatan fluks maksimum unsur berat mencapai 100 kali. Seperti pada peristiwa partikel pada tanggal 6 Desember, peningkatan fluks ini juga tidak terjadi pada semua rentang energi. Untuk 2 energi terbesar, peningkatan unsur berat hanya sekitar 10 kali. Fluks maksimum pada peristiwa ini adalah partikel/cm².sec.sr untuk Karbon dan Oksigen dan 10 partikel/cm².sec.sr untuk Nitrogen, Neon dan Magnesium untuk 2 energi terkecil (Gambar 3-2 dan Gambar 3-2 bawah)



Gambar 3-2. Flux Karbon Nitrogen. Oksigen dan Neon pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (kiri) dan 13 Desember 2006 (kanan)



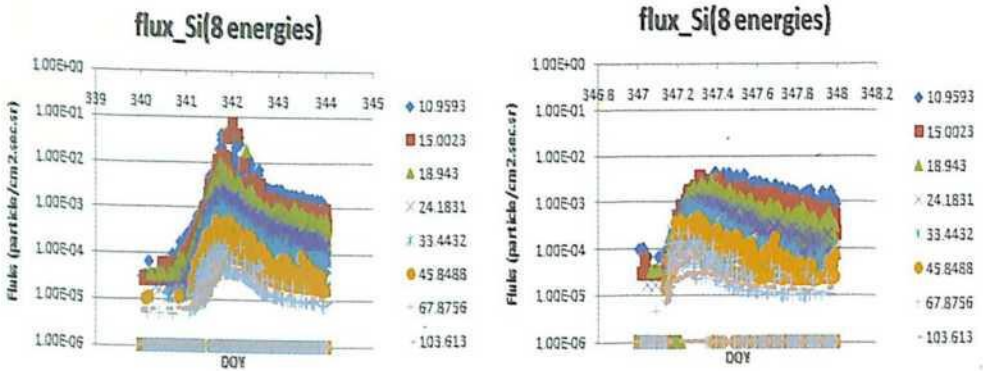
Gambar 3-3. Flux Magnesium pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (atas) dan 13 Desember 2006 (bawah)

Pada peristiwa partikel matahari tanggal 6 Desember 2006, peningkatan fluks Silikon dan Besi dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu peningkatan fluks hingga 1000 kali yang terjadi pada besi dengan energi rata-rata 13,0021 hingga 23,7958 MeV dan Silikon dengan energi rata-rata 10,9593 hingga 18,943 MeV. Selanjutnya peningkatan fluks hingga 100 kali terjadi pada Besi dengan energi rata-rata 30.9023MeV dan Silikon dengan energi rata-rata 24,183 dan 33,4432 MeV. Yang terakhir peningkatan fluks dibawah 100 kali terjadi pada besi dengan energi rata-rata 43,5443 hingga 140,375 MeV dan silikon dengan energi rata-rata 45,8488 hingga 103,613 MeV (Gambar 3 4, kirO Fluks maksimum Besi dan Silikon pada peristiwa partikel ini mencapai partikel/cirr.sec.sr, yang terjadi pada energi 13,0021 hingga 23.7958 MeV (Besi)

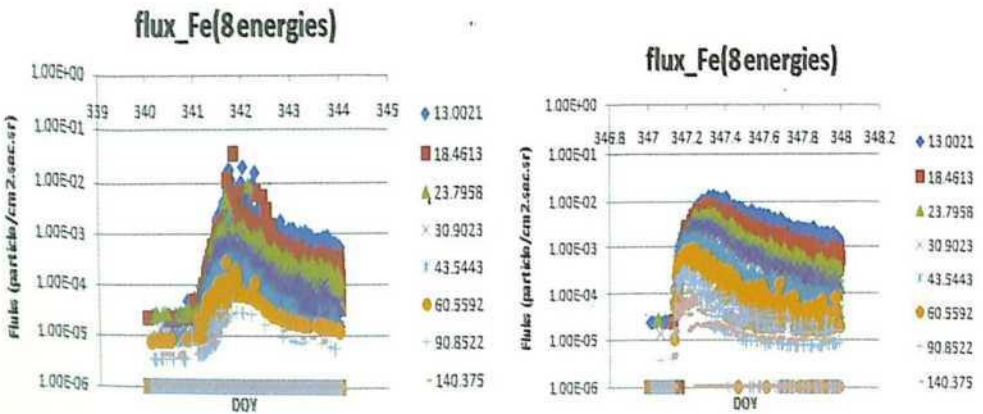
10,9593 hingga 18,943 MeV (Silikon) (Gambar 3-4 dan Gambar 3-5, kiri)

Pada peristiwa partikel matahari tanggal 13 Desember 2006, peningkatan flu's Besi lebih besar dibandingkan dengan fluks silikon. Peningkatan fluks besi pada

peristiwa partikel ini hampir mencapai 1000 kali, yaitu pada energi 13.0021 dan 1846 L» MeV. Sedangkan peningkatan maksimum fluks silikon hanya mencapai 100 kali, yaitu pada energi 10.9593 hingga 18.943 MeV. Fluks maksimum Besi dan Silikon pada saat puncak peristiwa partikel ini mencapai 10" partikel/cirr.sec.sr (Gambar 3-4 dap Gambar 3-5, kanan).



Gambar 3-4. Flux Silikon pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (kiri) dan 13 Desember 2006 (kanan)

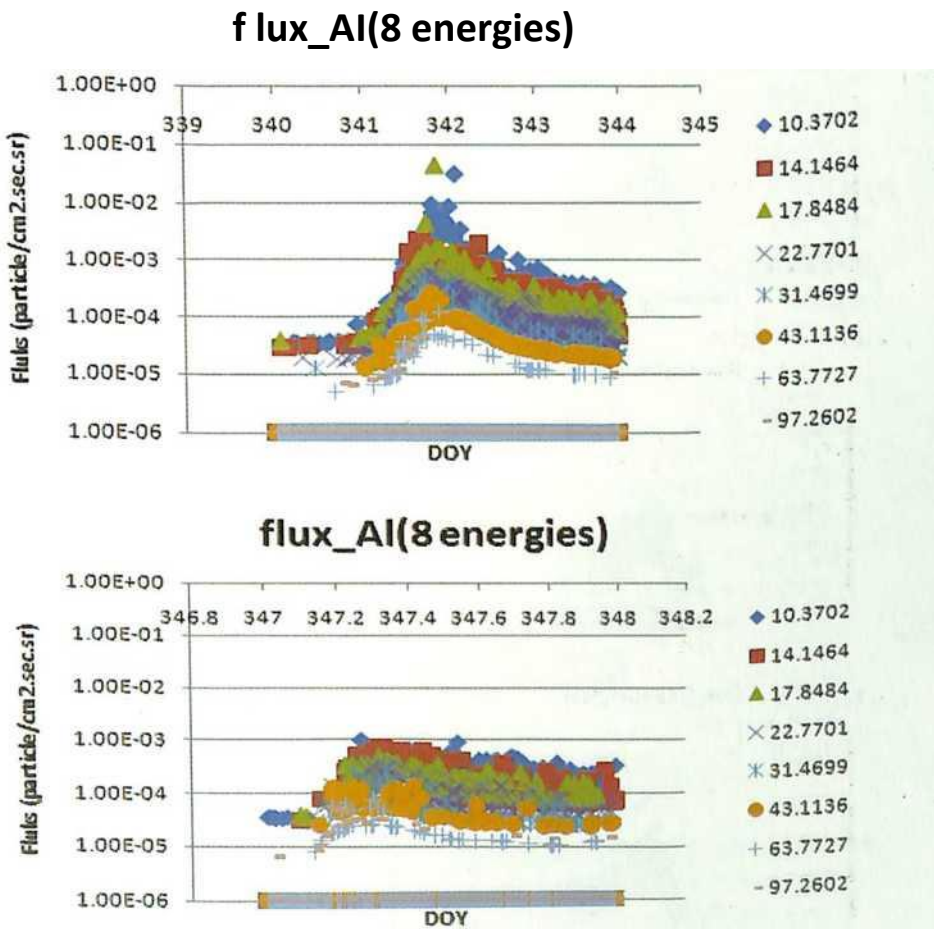


Gambar 3-5. Flux Besi pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (kiri) dan 13 Desember 2006 (kanan)

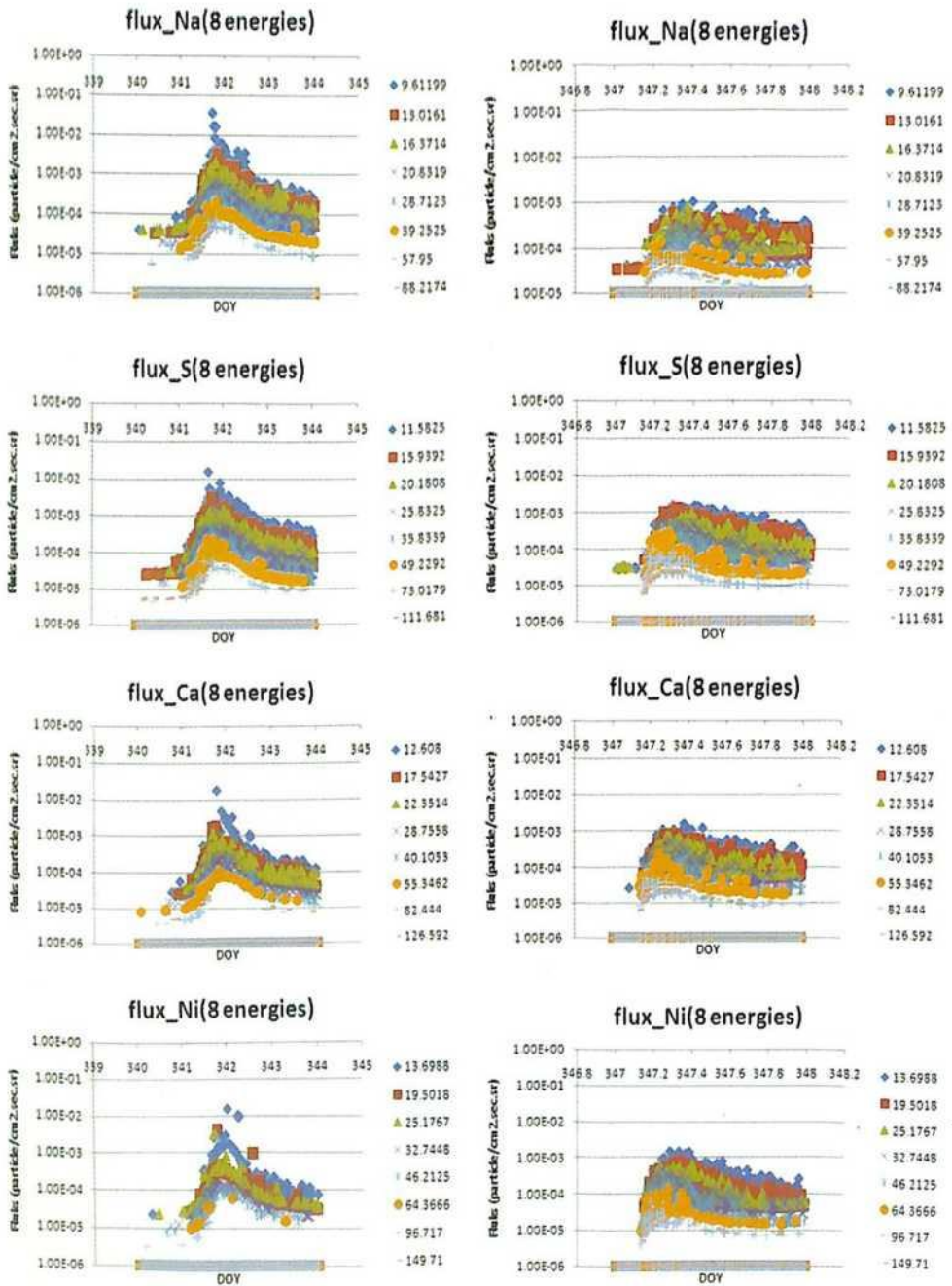
Secara umum peningkatan maksimum fluks Aluminium, Natrium, Sulfur, Kalsium dan Nikel pada peristiwa partikel matahari pada tanggal 6 Desember 2006 sebesar 100 kali terjadi pada unsur dengan energi 10,3702 hingga 17,8484 MeV

(Aluminium), 9,61199 dan 16.3714 MeV (Natrium), 11,5825 dan 15.9393 MeV (Sulfur), 12.608 dan 17.5427 MeV (kalsium) dan 13,6988 dan 19,5018 MeV (Nikel). Huks maksimum unsur ini secara umum mencapai 10^3 partikel/cnr.sec.sr (Gambar 3-6 dan Gambar 3-7, atas), walaupun pada waktu tertentu terlihat fluks unsur mencapai 10^1 partikel/cnr.sec.sr.

Peningkatan fluks unsur fluks Aluminium. Natrium, Sulfur. Kalsium dan Nikel Pada peristiwa partikel matahari pada tanggal 13 Desember 2006 hanya sekitar 10 kali Pada hampir semua tingkat energi. Fluks maksimum mencapai 10^3 partikel/cnr.sec.sr (Gambar 3-6 dan Gambar 3-7. kanan).

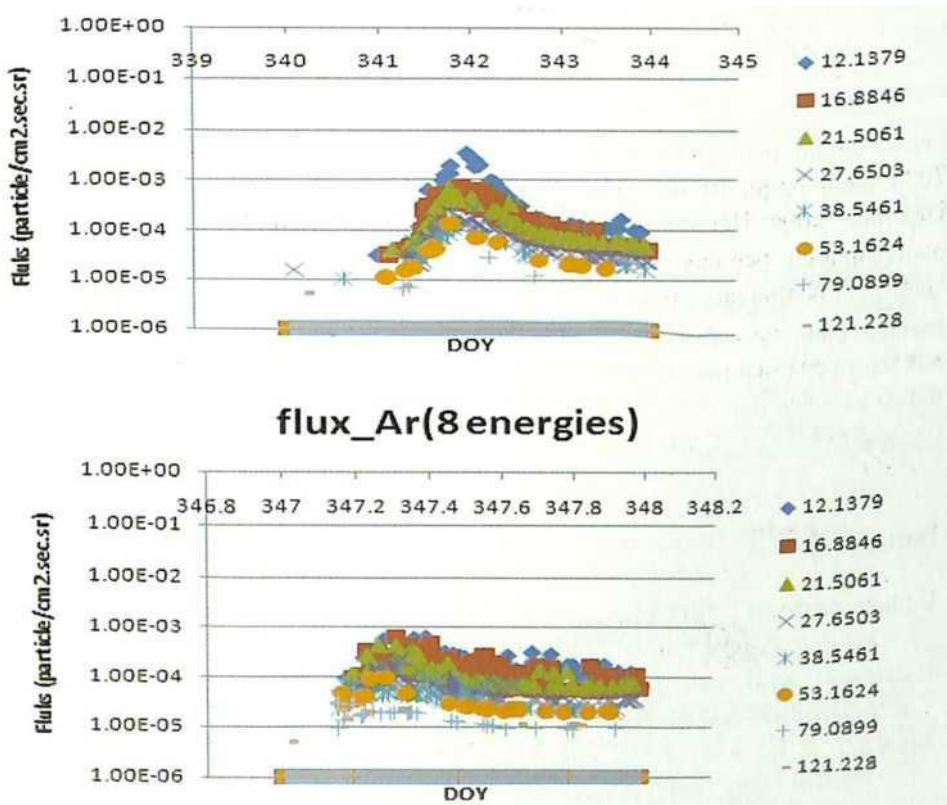


Gambar 3-6. Flux Aluminium, Natrium dan Sulfur pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (atas) dan 13 Desember 2006 (bawah)



Gambar 3-7. Flux Kalsium dan Nikel pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (kiri) dan 13 Desember 2006 (kanan)

I peningkatan maksimum t luks Argon pada peristiwa partikel tanggal 6 Desember 2006 mencapai 100 kali yang terjadi argon dengan energi 12,1379 MeV. Fluks maksimum Argon mencapai 10 ' partikel/cirr.sec.sr juga terjadi pada energi yang sama. Pada energi yang lain, peningkatan fluks berkisar 10 kalinya (Gambar 3-8, atas). Sedangkan pada peristiwa partikel tanggal 13 Desember 2006, peningkatan fluks argon tidak mencapai 100 kali dengan fluks maksimum hampir mencapai 10' partikel/cirr.sec.sr (Gambar 3-8. bawah).



Gambar 3-8. Flux argon pada 8 tingkat energi tanggal 6 Desember 2006 (atas) dan 13 desember 2006 (bawah)

Walaupun semua unsur berat mengalami peningkatan pada kedua peristiwa partikel ini, tetapi besarnya fluks tiap unsur berbeda. Peningkatan ini terutama bergantung pada tingkat energi dan unsurnya. Secara umum semakin besar tingkat energinya semakin kecil peningkatan fluks dan fluks maksimumnya, walaupun hal ini tidak berlaku untuk besi dan argon. Besi yang memiliki energi terkecil 13,0021 MeV

memiliki peningkatan fluks dan fluks maksimum lebih besar dibandingkan dengan Aluminium (10,372 MeV), Natrium (9,61199 MeV), Sulfur (11,5825 MeV) dan kalsium (12,608). Kebalikan dari Besi, peningkatan fluks dan fluks maksimum argon, yang memiliki energi terkecil 12,1379 MeV, lebih kecil dibandingkan dengan kalsium (12,608 MeV) dan nikel (13,9688 MeV). Variasi fluks unsur berdasarkan energi dan durasi kejadian tiap peristiwa partikel matahari ini erat hubungannya dengan posisi flare dan waktu kejadian CME pada kedua peristiwa partikel ini. Selain itu variasi fluks unsur berat ini kemungkinan juga berhubungan dengan mekanisme percepatan dan transportasi partikel dari matahari (Reames dan Ng, 2004).

4. Kesimpulan

Secara umum, peningkatan fluks unsur berat pada peristiwa partikel tanggal 6 desember 2006 lebih besar 10 kali dibandingkan dengan peristiwa partikel pada tanggal 13 Desember 2006. Hal yang sama juga terjadi pada fluks maksimum unsur. Energi juga mempengaruhi peningkatan fluks unsur berat ini, semakin tinggi energi unsur semakin kecil pula peningkatan fluks serta fluks maksimum unsur berat, walaupun hal ini tidak berlaku pada besi dan argon yang kemungkinan disebabkan oleh komposisi angin matahari pada saat peristiwa partikel terjadi. Variasi fluks unsur berdasarkan energi dan durasi kejadian tiap peristiwa partikel matahari ini erat hubungannya dengan posisi flare dan waktu kejadian CME pada kedua peristiwa partikel ini.

Daftar Rujukan

- Kallenrode, M. B., 2003, *Current Views on Impulsive and Gradual Solar Energetic Particle Events*, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics.
- Kallenrode, M.B., 2004, *Space Physics: An Introduction to plasma particles in the heliosphere and magnetosphere*, Springer, Jerman
- Mewaldt, R.A., et.al., 2005, *The Cosmic Ray Radiation in Interplanetary Space – Present Day and Worst-Case Evaluations*, 29th International Cosmic Ray Conference Pune.
- Reames, D.V., 1999, *Particle Acceleration at the Sun and in the Heliosphere*, Space Science Revs. 90, 413.
- Reames, D.V., 2001, *Energetic particle Composition*, AIP Conf. Proc. 598, 153.
- Schwenn, 2006, *Space Weather: The Solar Perspective*, Living Reviews in Solar Physics, Max Planck Institute for Solar System Research, Germany, ISSN 1614-496.
- Tylka, A.J., et al, *Wind/EPACT Observations of Temporal evolution in elemental composition during large solar particle events*