

ANALISIS DISTRIBUSI PARTIKEL ENERGETIK MELALUI SATELIT NOAA

NIZAM AHMAD

Bidang Matahari dan Antariksa
Pusat Pemanfaatan Sains dan Antariksa-LAPAN
e-mail: nizam@bdg.lapan.go.id

ABSTRAK. Analisis distribusi partikel energetik menggunakan data satelit NOAA 15 dilakukan dengan memilih rentang waktu sekitar 5 hari pada saat kondisi aktivitas matahari rendah dan tinggi. Analisis ini memberikan informasi bahwa dalam kondisi aktivitas matahari rendah distribusi partikel baik proton maupun elektron cenderung terkonsentrasi di daerah kutub utara dan selatan dan sedikit di daerah ekuator bumi dengan jumlah fluks yang rendah. Pada kondisi aktivitas matahari tinggi sebaran partikel semakin luas hingga mencapai ekuator dengan jumlah fluks yang tinggi. Peningkatan aktivitas matahari pada suatu waktu tertentu dapat dijadikan sebagai rujukan untuk melacak ulang pola sebaran partikel energetik di orbit rendah bumi dan sekaligus memperkirakan pola sebaran pada beberapa waktu setelah peningkatan aktivitas matahari tinggi tersebut. Analisis distribusi ini sangat diperlukan bagi penempatan satelit yang akan diluncurkan menuju orbit dan satelit yang telah beroperasi di orbit.

ABSTRACT. *The analysis of energetic particles distribution using NOAA 15 satellite data was done by selecting time span about 5 days at low and high solar activities. This analysis gives information that at low solar activity condition the particles distribution from proton and electron was concentrated at north and south pole and small amount of them was distributed at equatorial regions with small fluxes of particles. At high solar activity condition the particles distribution reaches the equatorial regions with high fluxes of particles. The solar activity enhancement at particular time can be used as reference for retracking the particles distribution at low earth orbit including predicted those distribution in a few days since solar activity enhancement occurred. This analysis is very important for placing the satellite in orbit including the operating satellite.*

KATA KUNCI: Partikel energetik, satelit NOAA 15.

KEY WORDS: Energetic particles, NOAA 15 satellite.

1. Pendahuluan

Distribusi partikel dapat diukur dengan menggunakan model empiris terutama untuk pengukuran tingkat energi dan fluksnya. Dalam hal ini partikel yang diukur adalah proton dan elektron yang pada umumnya terperangkap dalam garis-garis medan magnet bumi dan sabuk radiasi Van Allen (Barth and Gorsky, 2006). Dalam keadaan tingkat aktivitas matahari minimum, pengukuran partikel ini dapat didekati dengan model distribusi partikel yang cukup baik. Dalam kasus keadaan aktivitas matahari tinggi dan terjadinya badai geomagnet, model ini tidak cukup akurat meski pemodelan telah menggunakan data satelit. Oleh karena itu pengukuran distribusi partikel dalam kondisi aktivitas matahari maksimum memerlukan pengembangan berkelanjutan.

Untuk mengetahui daerah sebaran atau distribusi partikel energetik pada suatu ketinggian tertentu di permukaan bumi merupakan suatu hal yang sulit karena minimnya satelit yang memiliki misi khusus untuk merekam data partikel untuk setiap inklinasi dan setiap ketinggian satelit. Saat ini hanya ada beberapa satelit orbit rendah yang melakukan perekaman data partikel diantaranya adalah satelit TIROS, METOP dan seri satelit NOAA (Seale and Bushnell, 1987). Keseluruhan satelit tersebut merupakan satelit orbit polar yang ditempatkan pada ketinggian sekitar 800 km dari permukaan bumi.

Dalam makalah ini akan dilakukan analisis distribusi partikel melalui data yang diperoleh dari satelit NOAA. Satelit NOAA 15 merupakan salah satu dari sekian satelit orbit rendah yang digunakan untuk misi perekaman data partikel proton dan elektron yang terkait dengan distribusi, fluks dan energinya. Informasi mengenai distribusi partikel merupakan suatu hal yang penting karena hal ini terkait dengan fenomena anomali yang terjadi pada satelit. Salah satu sumber anomali satelit orbit rendah adalah interaksi partikel bermuatan dengan sistem satelit yang dapat merusak salah satu sistem satelit (Hasting and Garret, 1996). Besarnya kerusakan satelit akibat interaksi dengan partikel bergantung pada energi dan fluks partikel tersebut yang terdistribusi acak pada permukaan bumi.

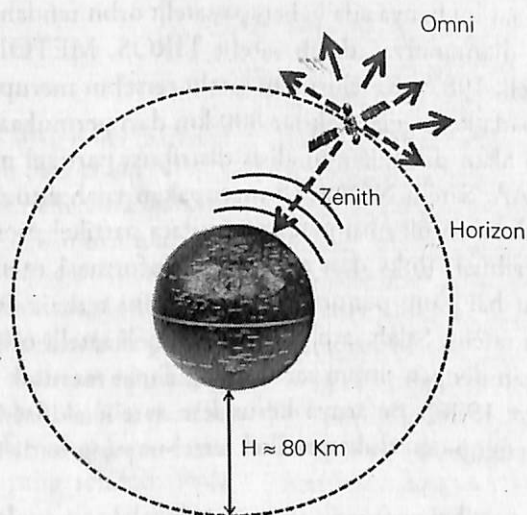
Informasi distribusi partikel energetik ini menjadi salah satu rujukan utama bagi penempatan satelit di orbit (Koons, 2000). Saat ini telah diketahui dengan baik sebaran partikel energetik pada beberapa wilayah tertentu di permukaan bumi seperti daerah SAA (South Atlantic Anomaly) yang merupakan daerah-rawan bagi kerusakan satelit. Daerah SAA ini merentang pada lintang -50° - 0° (lintang selatan) dan bujur -90° (bujur barat) - 40° (bujur timur) (http://en.wikipedia.org/wiki/South_Atlantic_Anomaly). Selain daerah SAA partikel energetik juga diketahui menyebar pada dua daerah kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan, terlihat jelas saat terjadi fenomena aurora yang pada umumnya tersebar pada wilayah 60° - 70° lintang utara dan selatan bumi (www.sec.noaa.gov). Selain kedua daerah tersebut, partikel energetik juga tersebar di wilayah ekuator bumi, terlihat pada beberapa kasus anomali satelit rendah yang terjadi di wilayah ekuator akibat pengaruh partikel energetik tersebut. Hal ini juga didukung oleh data yang diperoleh dari satelit NOAA 15. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi partikel energetik di wilayah orbit rendah bumi dari data satelit

NOAA 15 dengan harapan diperoleh informasi distribusi partikel energetik sebagai rujukan bagi penempatan satelit- satelit di orbit terutama wilayah orbit rendah bumi.

2. Data dan Metode

Data yang digunakan dalam menganalisis distribusi partikel energetik terdiri dari data partikel proton dan elektron dari satelit NOAA 15. Satelit ini ditempatkan pada ketinggian 800 km dengan inklinasi polar ($i \approx 99^\circ$) dan dilengkapi dengan sensor POES.

MEPED (*Polar Orbiting Environmental Satellite Medium Energy Proton and Electron Detector*) (Seale and Bushnell, 1987). Satelit NOAA 15 merekam data partikel proton dan elektron setiap 16 detik sehingga dalam satu hari data yang terekam berjumlah sekitar 5400 data. Ilustrasi teknik perekaman satelit NOAA 15 ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Teknik perekaman data partikel oleh satelit NOAA 15

Sensor POES MEPED satelit NOAA 15 melakukan perekaman data pada tiga arah yaitu arah permukaan bumi (zenith), tegak lurus permukaan bumi (horizon) dan segala arah (omni) pada kanal energi yang bervariasi, mulai dari orde keV hingga MeV, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kanal energi satelit NOAA 15

Partikel	Kanal	Energi
Elektron	E1	> 30 keV
	E2	> 100 keV
	E3	> 300 keV
Proton	P1	30 – 80 keV
	P2	80 – 250 keV

Partikel	Kanal	Energi
	P3	250 – 800 keV
	P4	800 – 2500 keV
	P5	> 2500 keV
	P6	> 16 MeV

Data partikel proton dan elektron dari satelit NOAA 15 dapat diakses melalui situs <http://poes.ngdc.noaa.gov/data/full/>. Data partikel tersebut mengandung informasi tentang waktu dan lokasi satelit ketika melakukan perekaman data dan jumlah fluks dari berbagai arah pengukuran. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Data partikel satelit NOAA 15

year	mo	dy	hr	mi	second	sslat	sslon	mep0e1	→	mep90p6	mepomp6	mepomp7	mepomp8	mepomp9
2000	7	15	0	0	14,5	-63,2	309,42	2,125	...	0,625	1	0,625	0,625	0,625
2000	7	15	0	0	30,5	-62,31	308,68	4,125	...	0,375	0,5	0,5625	0,875	0,9375
2000	7	15	0	0	46,5	-61,42	307,98	5	...	0,25	0,375	0,25	0,1875	0,5625
2000	7	15	0	1	2,5	-60,52	307,32	7,75	...	0,375	0,3125	0,25	0,625	0,5
2000	7	15	0	1	18,5	-59,62	306,68	4,375	...	0,375	0,375	0,3125	0,375	0,6875
2000	7	15	0	1	34,5	-58,72	306,08	6,75	...	0,125	0,5625	0,3125	0,1875	0,625
2000	7	15	0	1	50,5	-57,82	305,51	9,25	...	0,125	0,25	0,625	0,5625	0,5625
2000	7	15	0	2	6,5	-56,91	304,96	7,5	...	0,125	0,75	0,125	0,375	0,625
2000	7	15	0	2	22,5	-56	304,43	10,625	...	0,75	0,875	0,5625	0,3125	0,625
2000	7	15	0	2	38,5	-55,09	303,92	12,75	...	1,5	0,6875	0,4375	0,5	0,3125
2000	7	15	0	2	54,5	-54,18	303,43	11,75	...	1,125	0,5	0,5	0,5625	0,4375
2000	7	15	0	3	10,5	-53,27	302,97	15,75	...	0,625	1,0625	0,5625	0,625	0,75
2000	7	15	0	3	26,5	-52,35	302,51	18,625	...	0,875	2,4375	1,75	1,125	0,75
2000	7	15	0	3	42,5	-51,44	302,08	19,25	...	2	3,6875	4,4375	1,3125	0,4375
...														

Pada Tabel 2.2 jumlah baris bergantung pada jumlah data yang direkam oleh satelit NOAA 15 setiap harinya sedangkan jumlah kolom ada sebanyak 31 buah. Kolom 1 hingga kolom 6 menyatakan waktu perekaman data partikel yang dinyatakan dalam tahun (year), bulan (mo), hari (dy), jam (hr), menit (mi) dan detik (second). Kolom 7 dan 8 merupakan posisi satelit NOAA 15 ketika melakukan perekaman data dalam lintang dan bujur. Lintang utara dan bujur timur dinyatakan dalam angka positif serta lintang selatan dan bujur barat dinyatakan dalam angka negatif. Pada kolom 9 hingga 31 berisi informasi tentang jumlah fluks partikel proton dan elektron dengan berbagai arah pengukuran dan berbagai tingkat energi mengikuti kanal energi pada Tabel 2.1. Jumlah fluks yang direkam diberi inisial *mep* menyatakan perekaman sensor MEPED, 0, 90 dan om menyatakan sudut pengukuran dimana 0 untuk arah zenith, 90 untuk arah horizon dan om untuk omni (segala arah). Dalam hal ini, inisial *e* atau *p* menyatakan jenis partikel yang direkam pada kanal energi tertentu. Sebagai contoh pada kolom 9 dapat

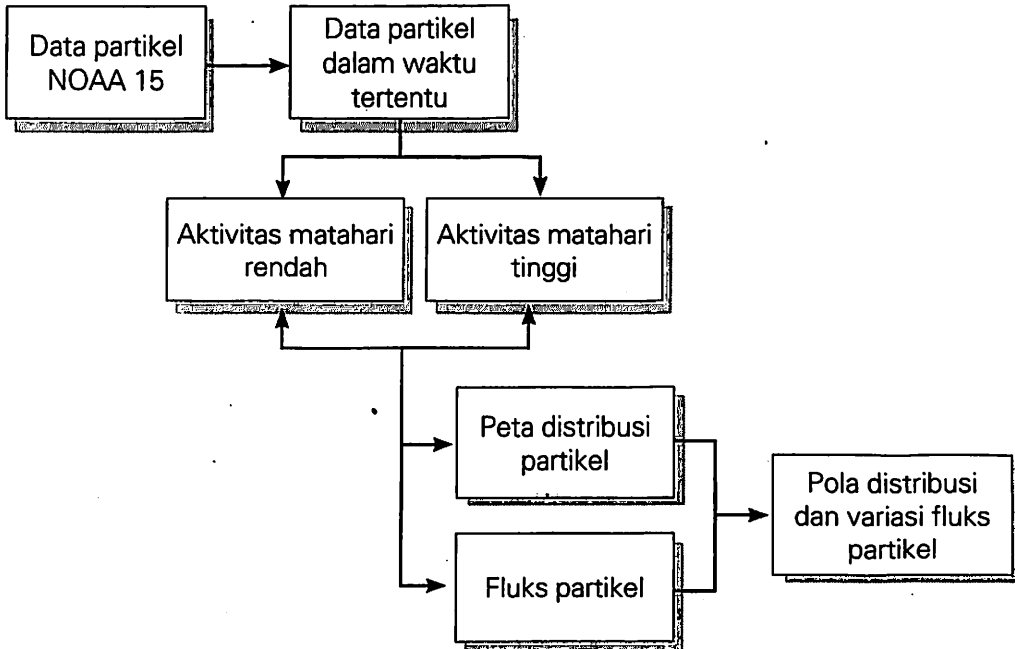
dilihat bahwa inisial *mep0e1* menyatakan perekaman sensor MEPED pada arah zenith untuk partikel elektron dengan tingkat energi diatas 30 keV. Penjelasan lebih lanjut mengenai inisial untuk masing-masing pengukuran fluks dapat dilihat pada Tabel 2.3. (http://www.ngdc.noaa.gov/stp/NOAA/noaa_poes.html).

Tabel 2.3. Inisial pengukuran fluks oleh sensor MEPED satelit NOAA 15

No	Inisial Fluks	Keterangan
1	mep0e1	MEPED-0 ; > 30 keV electrons
2	mep0e2	MEPED-0 ; > 100 keV electrons
3	mep0e3	MEPED-0 ; > 300 keV electrons
4	mep0p1	MEPED-0 ; 30 keV to 80 keV protons
5	mep0p2	MEPED-0 ; 80 keV to 240 keV protons
6	mep0p3	MEPED-0 ; 240 keV to 800 keV protons
7	mep0p4	MEPED-0 ; 800 keV to 2500 keV protons
8	mep0p5	MEPED-0 ; 2500 keV to 6900 keV protons
9	mep0p6	MEPED-0 ; > 6900 keV protons
10	mep90e1	MEPED-90 ; > 30 keV electrons
11	mep90e2	MEPED-90 ; > 100 keV electrons
12	mep90e3	MEPED-90 ; > 300 keV electrons
13	mep90p1	MEPED-90 ; 30 keV to 80 keV protons
14	mep90p2	MEPED-90 ; 80 keV to 240 keV protons
15	mep90p3	MEPED-90 ; 240 keV to 800 keV protons
16	mep90p4	MEPED-90 ; 800 keV to 2500 keV protons
17	mep90p5	MEPED-90 ; 2500 keV to 6900 keV protons
18	mep90p6	MEPED-90 ; > 6900 keV protons
19	mepomp6	MEPED omni-directional ; > 16 MeV protons
20	mepomp7	MEPED omni-directional ; > 36 MeV protons
21	mepomp8	MEPED omni-directional ; > 70 MeV protons
22	mepomp9	MEPED omni-directional ; \geq 140 MeV protons

Metode yang digunakan dalam analisis ini dapat digambarkan dalam diagram pada Gambar 2.2. Data partikel dari satelit NOAA 15 diambil sebagai rujukan dan kajian dalam menganalisis distribusi partikel. Data NOAA 15 dalam satu bulan berjumlah sekitar 162000 data sehingga harus diseleksi dengan mengambil data dalam rentang waktu tertentu yaitu sekitar 5 hari. Dari rentang waktu ini dilihat apakah pada dalam kurun waktu 5 hari tersebut terjadi peningkatan aktivitas matahari atau tidak karena hal ini akan mempengaruhi peta distribusi dan fluks partikel. Dari peta distribusi dan fluks partikel baik dalam kondisi aktivitas matahari tinggi maupun rendah diperoleh

analisis mengenai pola distribusi dan variasi fluks partikel pada waktu tertentu. Hal ini bermanfaat untuk melihat sebaran partikel energetik pada suatu wilayah tertentu di permukaan bumi sehingga diperoleh informasi yang berguna bagi masukan untuk penempatan satelit di orbit.

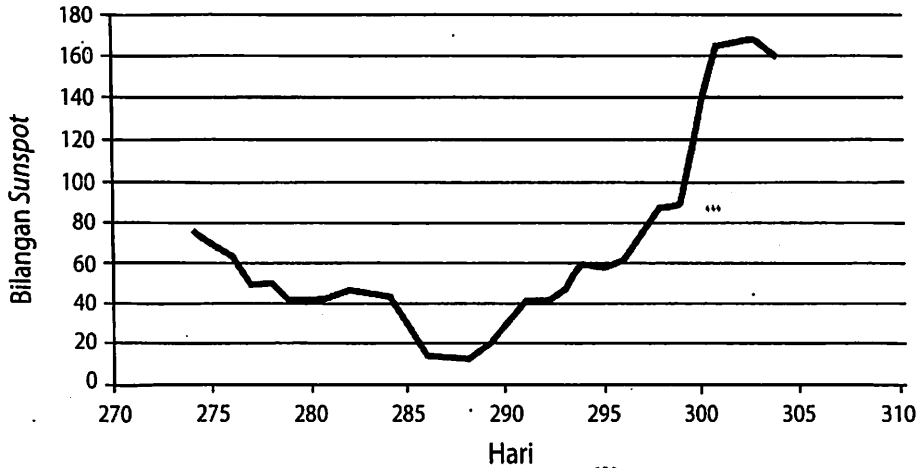


Gambar 2.2. Diagram metodologi analisis distribusi partikel satelit NOAA 15

3. Hasil dan Pembahasan

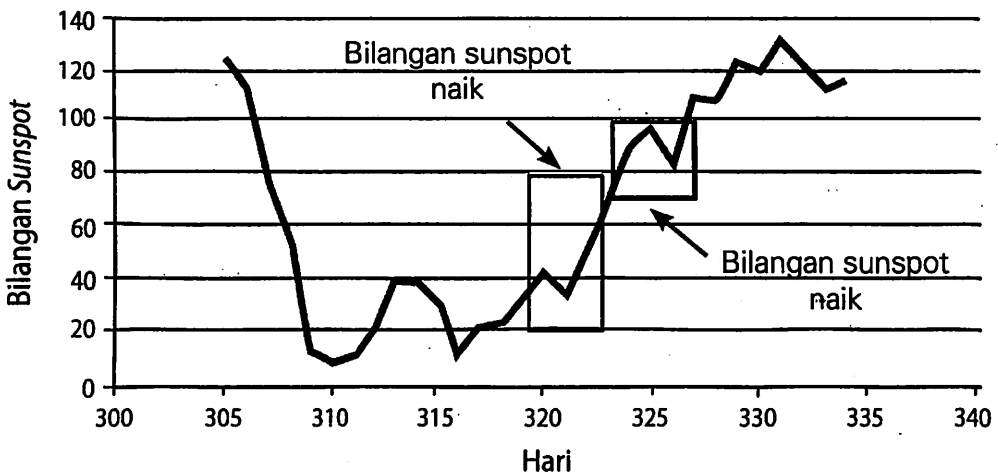
Dalam analisis ini akan diambil contoh distribusi partikel energetik yang ada pada tahun 2003 dengan mengambil durasi waktu ketika aktivitas matahari tinggi dengan aktivitas matahari rendah pada tingkat energi >30 keV untuk elektron dan 30 keV- 80 keV untuk proton. Pada tahun 2003 dilaporkan terjadi peningkatan aktivitas matahari yang mempengaruhi operasional satelit baik di orbit rendah maupun orbit tinggi. Pada tahun tersebut dilaporkan terdapat kasus anomali satelit sebanyak 18 buah satelit (www.sat-nd.com). Peningkatan aktivitas matahari ini berlangsung dari tanggal 18 Oktober hingga 20 November tahun 2003 (Sinambela, 2009). Adapun data partikel yang ditampilkan sebagai contoh penggunaan analisis distribusi ini diambil dari tanggal 12 - 17 Oktober 2003 dan 21 - 26 November 2003 sebagai representasi distribusi partikel pada saat kondisi aktivitas matahari rendah dan tanggal 18-23 Oktober 2003 dan 15-20 November 2003 sebagai representasi distribusi partikel pada saat kondisi aktivitas matahari tinggi. Aktivitas matahari rendah dan tinggi dalam hal ini berdasarkan perbandingan dengan selang waktu analisis yang digunakan, bukan berdasarkan kriteria aktivitas matahari rendah dan tinggi seperti pada siklus matahari 11 tahun-an, atau

dengan kata lain dilihat dari kenaikan dan penurunan gradien bilangan *sunspot* dalam selang waktu analisis. Variasi aktivitas matahari melalui bilangan *sunspot* pada selang analisis dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 sedangkan peta distribusi partikel proton dan elektron dapat dilihat pada Gambar 3.3 hingga Gambar 3.6.



Gambar 3.1. Variasi bilangan sunspot pada bulan Oktober 2003

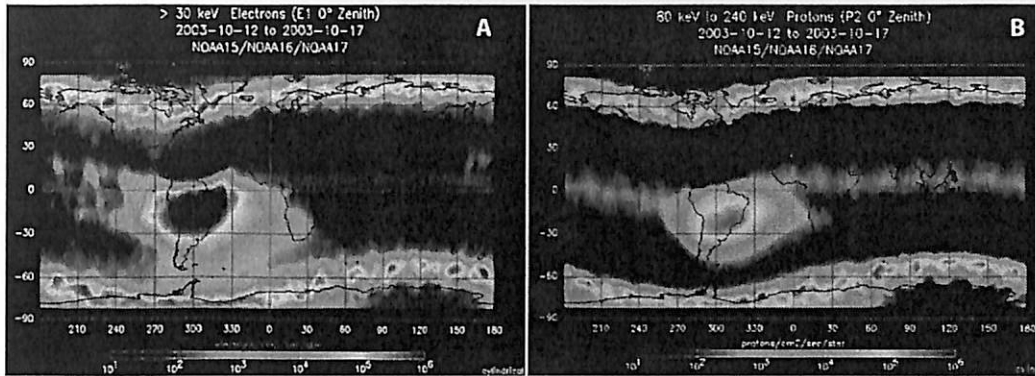
Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa pada selang waktu analisis tanggal 12-17 Oktober 2003 (hari ke-285 hingga hari ke-290) bilangan *sunspot* berkisar pada 10 hingga 30, namun pada selang waktu analisis berikutnya yaitu tanggal 18-23 Oktober 2003 (hari ke-291 hingga hari ke-296) terjadi peningkatan bilangan *sunspot* mencapai 60 sebagai indikator peningkatan aktivitas matahari.



Gambar 3.2. Variasi bilangan sunspot pada bulan November 2003.

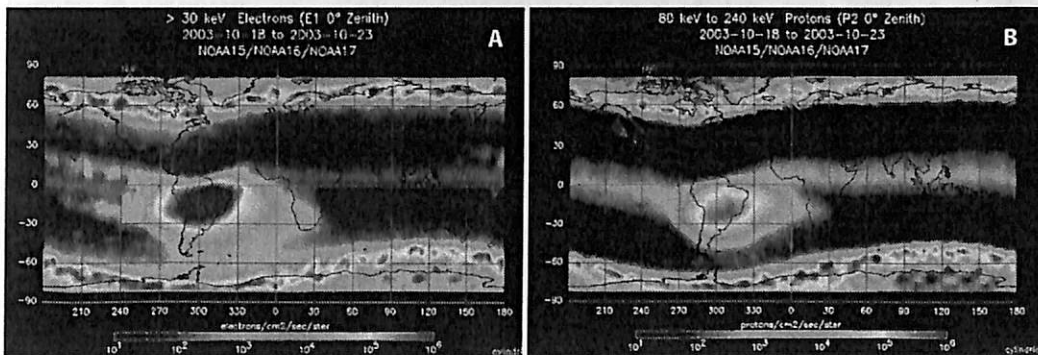
Pada Gambar 3.2 bilangan *sunspot* memang terlihat naik pada dua selang waktu analisis, yaitu pada tanggal 21-26 November 2003 (hari ke-325 hingga hari ke-330) dan tanggal 15-20 November 2003 (hari ke-319 hingga hari ke-324), namun gradien

kenaikan bilangan *sunspot* pada selang waktu 15-20 November 2003 lebih tinggi dibandingkan dengan pada tanggal 21-26 November 2003.



Gambar 3.3. Peta distribusi partikel elektron (A) dan proton (B) pada 12- 17 Oktober 2003.

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa distribusi partikel baik elektron maupun proton mencapai wilayah ekuator bumi meskipun pada tingkat fluks yang rendah yaitu sekitar orde 10³ partikel/cm². Pada Gambar 3.3, partikel elektron dan proton tersebar pada lintang 40°- 80° utara dan selatan dengan orde fluks sekitar 10⁴ hingga 10⁶ partikel/cm². Pada Gambar 3.3B juga dapat dilihat bahwa proton lebih banyak tersebar di daerah ekuator dibandingkan elektron (Gambar 3.3A) meskipun pada tingkat fluks dan rentang waktu yang sama.

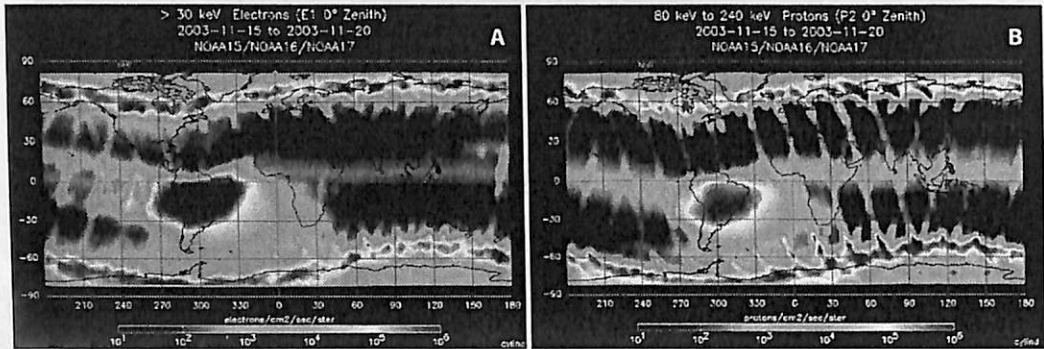


Gambar 3.4. Peta distribusi partikel elektron (A) dan proton (B) pada 18-23 Oktober 2003.

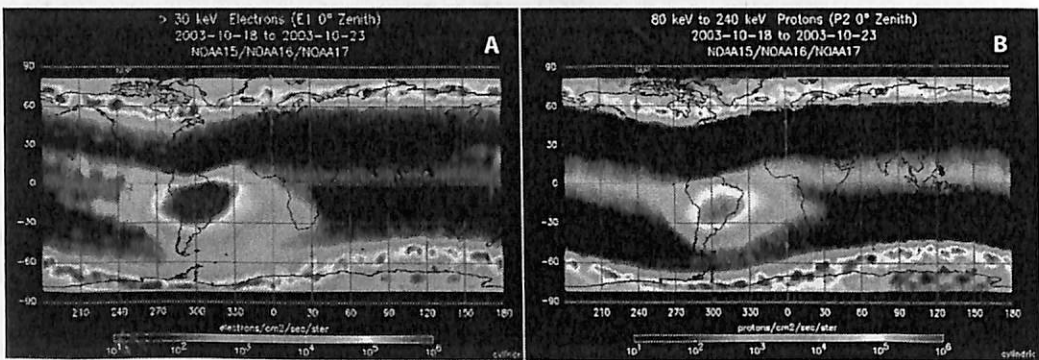
Pada Gambar 3.4, partikel proton dan elektron masih tetap tersebar pada lintang 40°- 80° utara dan selatan dengan orde fluks sekitar 10⁴ hingga 10⁶ partikel/cm² namun sebaran kedua partikel tersebut pada daerah ekuator kelihatan lebih jelas dan lebih banyak dibandingkan sebaran partikel pada Gambar 3.3. Hal ini menjadi salah satu indikator terjadinya peningkatan aktivitas matahari di orbit rendah yang mempengaruhi distribusi dan fluks partikel elektron dan proton di permukaan bumi.

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa aktivitas matahari yang tinggi menyebabkan distribusi partikel hampir memenuhi wilayah ekuator bumi dengan tingkat fluks maksimum mencapai orde 10⁵ partikel/cm². Distribusi partikel dan fluks

pada Gambar 3.5 kelihatan lebih jelas dan lebih luas dibandingkan distribusi dan fluks pada Gambar 3.4. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh aktivitas matahari pada orbit rendah dalam rentang waktu 15-20 November 2003 lebih besar dibandingkan pada rentang waktu 18-23 Oktober 2003.



Gambar 3.5. Peta distribusi partikel elektron (A) dan proton (B) pada 15-20 November 2003.



Gambar 3.6. Peta distribusi partikel elektron (A) dan proton (B) pada 21-26 November 2003.

Pada Gambar 3.6 terlihat bahwa distribusi partikel masih memenuhi wilayah kutub dan ekuator namun terjadi penurunan jumlah fluks yang berkisar pada orde 10^4 hingga 10^5 partikel/cm². Sebaran partikel proton dan elektron kelihatan lebih jelas, namun dengan jumlah fluks yang lebih rendah dibandingkan dengan jumlah fluks yang terdapat pada Gambar 3.5. Hal ini mengindikasikan penurunan aktivitas matahari mempengaruhi jumlah fluks partikel di orbit rendah.

Contoh analisis distribusi partikel seperti pada Gambar 3.3 hingga Gambar 3.6 dapat dilakukan pada data partikel yang diambil satelit NOAA 15 setiap tahun dan pada setiap tingkat energi dengan menggunakan metoda yang sama. Metoda ini memberikan gambaran mengenai pola distribusi partikel energetik di orbit rendah bumi pada durasi waktu tertentu. Durasi waktu ini bersifat fleksibel yang bergantung pada pemilihan rentang waktu analisis partikel yang diinginkan. Namun pemilihan rentang waktu analisis bila dikaitkan dengan kasus anomali satelit maka pemilihan rentang waktu

3-5 hari sudah cukup untuk melihat pola distribusi serta variasi tingkat fluks partikel energetik tersebut.

4. Kesimpulan

Data partikel yang diperoleh dari satelit NOAA 15 dapat digunakan untuk menganalisis distribusi partikel energetik di orbit rendah bumi. Analisis ini menggunakan data partikel pada saat kondisi aktivitas matahari rendah dan kondisi aktivitas matahari tinggi. Pada kondisi aktivitas matahari rendah diambil rentang waktu analisis sekitar 5 hari untuk melihat pola sebaran partikel proton dan elektron termasuk variasi fluksnya untuk kemudian dibandingkan dengan pola sebaran partikel dan variasi fluks pada rentang waktu aktivitas matahari tinggi. Analisis ini memberikan informasi bahwa meskipun aktivitas matahari rendah, sebaran partikel selain memenuhi wilayah kutub juga mencapai wilayah ekuator bumi namun dengan jumlah fluks yang rendah. Pada kondisi aktivitas matahari tinggi sebaran ini semakin banyak mencapai ekuator dan kelihatan lebih jelas akibat peningkatan jumlah fluks. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas matahari pada suatu waktu tertentu dapat dijadikan sebagai rujukan untuk melacak ulang pola sebaran partikel energetik di orbit rendah bumi dan sekaligus memperkirakan pola sebaran pada beberapa waktu setelah peningkatan aktivitas matahari tinggi tersebut. Analisis distribusi ini sangat diperlukan bagi penempatan satelit yang akan diluncurkan menuju orbit dan satelit yang telah beroperasi di orbit sebagai bagian dari upaya mengurangi resiko kerusakan (anomali) satelit yang dapat mengurangi performansi kinerja satelit.

Daftar Pustaka

- Barth, J.L and Gorsky, C.D (2006), *Variations in the Radiation Environment*, NASA/ Goddard Space Flight Center Cabrera L (2006),
 Hasting, D and Garret, H (1996), *Spacecraft Environment Interaction*, Cambridge University Press, 1996
 Koons, H.C., Fennel, J.F, Blake, J.B (2000), The Impact Of The Space Environment On Space System, 6th Spacecraft Charging Technology Conference, AFRL-VS-TR-20001578.
 Seale, R.A. and Bushnell, R.H (1987), *The Tiros-N/NOAA A-J Space Environment Monitor Subsystem*, NOAA Technical Memorandum ERL SEL-75, Space Environment Laboratory, Boulder, Colorado.
 Sinambela, W (2009), *Pengaruh Cuaca Antariksa Jangka Panjang dan Jangka Pendek Pada Parameter ionosfer di Atas indonesia*, buku matahari dan Lingkungan Antariksa bidang Matsa, Massima Publishing.