

**ANALISIS KONDISI FLUKS ELEKTRON DI SABUK RADIASI
ELEKTRON LUAR BERDASARKAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET
(BZ) DAN KECEPATAN ANGIN MATAHARI
(ANALYSIS OF ELECTRON FLUX CONDITION IN OUTER ELECTRON
RADIATION BELT BASED ON INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD
(BZ) AND SOLAR WIND SPEED)**

Siska Filawati

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djunjunan 133 Bandung 40173 Indonesia

e-mail: siska.filawati@lapan.go.id

Diterima 11 Agustus 2017; Direvisi 10 Januari 2018; Disetujui 10 Januari 2018

ABSTRACT

Interplanetary space is a hazard precursor for solar eruption toward earth. The solar eruptions enhance electron flux that can lead to anomalies, shifts, and permanent damage to spacecraft, e.g. satellites. The data used in this paper are interplanetary space data represented by interplanetary magnetic field (Bz) and solar wind speed, as well as Dst and AE indexes as comparison indicating disturbance has reached Earth's poles and equator during 2011-2012. The method used is to determine the value of maximum and minimum Bz in the year 2011-2012 which is taken five days before and after. Analysis and calculation of correlation is done to data of Bz-electron flux and solar wind velocity-electron flux. Clarification of disturbance in interplanetary space and outer electron radiation belt is using index data Dst and AE indexes are used to clarify interplanetary space and outer electron radiation belt disturbances. The aim of this study is to determine the characteristics of interplanetary space that can increase the electron flux so that the space weather early warning can be done. It was found that the period of electron flux enhancement after decrease and increase of Bz was 2 to 3 days. The electron flux would enhance when interplanetary space was in its normal condition at solar wind speed 500 km/sec and Bz is -5 nT to +5 nT. Electron flux correlation with solar wind velocity was better than with Bz.

Keywords: *interplanetary space, electron flux, interplanetary magnetic field (Bz), solar wind speed, Dst index, AE index*

ABSTRAK

Kondisi ruang antarplanet merupakan prekursor bahaya erupsi matahari terhadap bumi. Erupsi matahari dapat menyebabkan peningkatan fluks elektron. Tingginya fluks elektron dapat menyebabkan anomali, pergeseran, dan kerusakan permanen pada wahana antariksa, misal satelit. Data yang digunakan pada makalah ini adalah data ruang antarplanet yang diwakili oleh kondisi medan magnet antarplanet (B_z) dan kecepatan angin matahari yang merupakan prekursor peningkatan fluks elektron serta data indeks Dst dan indeks AE sebagai pembanding bahwa gangguan telah mencapai kutub dan ekuator bumi selama rentang waktu 2011-2012. Metode yang digunakan adalah menentukan nilai B_z maksimum dan minimum dalam tahun 2011-2012 yang selanjutnya dari penanggalan data tersebut diambil data lima hari sebelum dan sesudah. Analisis dan perhitungan korelasi dilakukan terhadap data B_z -fluks elektron dan kecepatan angin matahari-fluks elektron. Klarifikasi gangguan yang terjadi di ruang antarplanet dan sabuk radiasi elektron luar menggunakan data indeks Dst dan indeks AE. Tujuan ditulisnya makalah ini adalah untuk mengetahui karakteristik kondisi ruang antarplanet yang dapat meningkatkan fluks elektron agar peringatan dini cuaca antariksa dapat dilakukan. Hasil yang didapatkan adalah waktu yang dibutuhkan fluks elektron setelah terjadi penurunan dan peningkatan B_z adalah 2 hingga 3 hari, fluks elektron akan meningkat saat kondisi ruang antarplanet normal yaitu pada kecepatan 500 km/detik dan B_z -5 nT hingga +5 nT, korelasi fluks elektron dengan kecepatan angin matahari lebih baik dibanding fluks elektron dengan B_z .

Kata kunci: Ruang antarplanet, fluks elektron, medan magnet antar-planet (B_z), fluks elektron, kecepatan angin matahari, indeks Dst, indeks AE

1 PENDAHULUAN

Mengetahui kondisi peningkatan fluks elektron di sabuk radiasi elektron bagian luar merupakan suatu keharusan dalam penelitian cuaca antariksa karena elektron dapat menyebabkan anomali pada *spacecraft* (satelit, stasiun antariksa) yang menyajikan data observasi cuaca, komunikasi, dan layanan penting lainnya (Baker *et al.*, 1987; Kataoka dan Miyoshi, 2006; Miyoshi dan Kataoka, 2008). Peningkatan fluks elektron di sabuk radiasi elektron bagian luar disebabkan oleh aktivitas matahari seperti *Coronal Mass Ejection* (CME), *Corotating Interaction Region* (CIR) (Kataoka dan Miyoshi, 2006; Filawati dan Nuraeni, 2017), dan *High Intensity, Long Duration, Continuous AE Activity* (HILDCAA) (Hajra *et al.*, 2014).

Sabuk radiasi elektron luar merupakan wilayah populasi elektron dengan energi di atas 0,1 MeV (NOAA) yang berpusat pada jarak 4 dan 5 R_E (Li dan Temerin, 2001). R_E merupakan jari-jari Bumi yang bernilai 6371 km. CME

atau lontaran massa korona merupakan erupsi matahari yang paling berdampak terhadap Bumi dibanding dengan yang lain, namun pengaruhnya terhadap fluks elektron di sabuk radiasi elektron bagian luar tidak terlalu besar karena CME akan meningkatkan fluks elektron di sabuk radiasi elektron bagian dalam (Kataoka dan Miyoshi, 2006). CIR merupakan peristiwa yang terjadi di ruang antarplanet yang diakibatkan oleh angin matahari berkecepatan tinggi berinteraksi dengan angin matahari berkecepatan rendah (Heber *et al.*, 1999). HILDCAA merupakan peristiwa yang terjadi di wilayah polar (kutub magnet bumi) yang diidentifikasi oleh indeks AE lebih besar dari 1000 nT yang terjadi selama minimal dua hari (Hajra *et al.*, 2014; Hajra *et al.*, 2013).

CME dan CIR bergantung pada siklus matahari. CME akan sering terjadi saat siklus matahari naik hingga menuju turun, CIR dan HILDCAA sering terjadi saat siklus matahari minimum, sehingga

fluks elektron juga memiliki karakteristik tertentu (Kataoka dan Miyoshi, 2006; Filawati dan Nuraeni, 2017; Hajra *et al.*, 2014).

Sebelum partikel berenergi dari matahari mencapai sabuk radiasi elektron bagian luar, partikel tersebut akan terlebih dahulu melewati ruang antarplanet (*Interplanetary Space/IS*). Parameter IS yang dijadikan pedoman adalah kecepatan angin matahari, kerapatan plasma, medan magnet antarplanet arah Utara-Selatan (Bz), dan temperatur angin matahari (Miyoshi dan Kataoka, 2008; Li dan Temerin, 2001). Diketahui bahwa sabuk radiasi elektron bagian luar berkorelasi dengan kecepatan angin matahari (Paulikas dan Blake, 1979; O'Brien *et al.*, 2001; Kataoka dan Miyoshi, 2006; Weigel *et al.*, 2003). Beberapa kasus menunjukkan bahwa Bz negatif dapat meningkatkan kecepatan angin matahari (Iles *et al.*, 2002; Miyoshi *et al.*, 2007; Miyoshi dan Kataoka, 2008; Blake *et al.*, 1997).

Erupsi matahari yang telah mencapai Bumi dapat dilihat dari kondisi indeks *Auroral Electrojet* (AE) yang merupakan indeks gangguan di wilayah polar/kutub Bumi dan indeks *Disturbance Storm Time* (Dst) merupakan indeks gangguan di wilayah ekuator dan lintang rendah Bumi. Untuk sumber erupsi matahari yang berbeda, dampak yang teramati di indeks AE dan indeks Dst juga berbeda.

Pada makalah ini akan dipaparkan kondisi fluks elektron saat Bz mengalami penurunan maupun peningkatan dan akan dianalisis kondisinya berdasarkan kondisi Bz dan kecepatan angin matahari. Perubahan kondisi di IS tentunya akan mempengaruhi kondisi magnetosfer bumi terutama sabuk radiasi elektron bagian luar.

Masalah yang ditimbulkan dari besarnya fluks elektron adalah terkait dengan *deep dielectric charging* pada satelit yang dapat menyebabkan anomali hingga kerusakan pada satelit (Kataoka dan Miyoshi, 2006). *Deep dielectric charging*

terjadi ketika elektron energi tinggi menembus komponen satelit dan menghasilkan penumpukan muatan di dalam material. Hal ini dapat menyebabkan anomali pada satelit dan dapat mengakibatkan disfungsi sementara atau permanen. Tercatat bahwa beberapa satelit pernah mengalami kerusakan fatal seperti Galaxy VII, Solidaridad 1, dan ASCA (Astro-D) pada tahun 2000 (Allen, 2002). Oleh karena dampaknya sangat signifikan terhadap benda antariksa, kondisi fluks elektron merupakan salah satu parameter yang diperhitungkan dalam mengetahui kondisi cuaca antariksa.

Dalam hal antisipasi bahaya besar fluks elektron terhadap satelit, hal ini perlu pengkajian lebih dalam lagi terkait kondisi satelit dan dalam makalah ilmiah ini tidak dibahas terkait hal tersebut. Namun, dalam praktiknya analisis dampak negatif kondisi fluks elektron terhadap satelit dapat dijadikan sebagai pertimbangan perlakuan terhadap satelit saat fluks elektron tinggi, yang selama ini dilakukan adalah mematikan sistem elektroniknya saat terdapat peningkatan fluks elektron diatas 10^4 partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$ dan sebagai bahan pertimbangan material dan sistem kerja satelit agar bisa bertahan pada kondisi cuaca antariksa yang ekstrem (Allen, 2002).

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kondisi ruang antarplanet yang dapat meningkatkan fluks elektron agar peringatan dini cuaca antariksa dapat dilakukan.

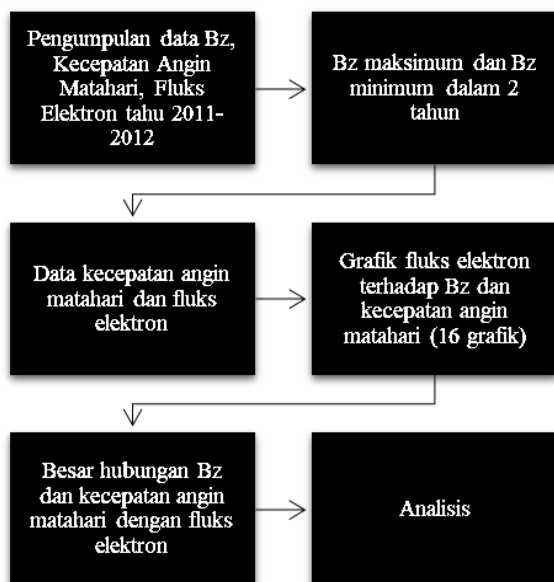
2 METODOLOGI

Data yang digunakan adalah data kecepatan angin matahari, Bz koordinat GSM, fluks elektron, indeks AE, dan indeks Dst tahun 2011 hingga 2012. Data kecepatan angin matahari dan Bz diperoleh dari arsip *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) <ftp://sohoftp.nascom.nasa.gov/sdb/goes/ace/monthly/>. Data yang digunakan adalah data per jam. Data kecepatan angin

matahari yang digunakan adalah dalam satuan km/detik dan data Bz dalam satuan nT. Kedua variabel tersebut merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kondisi ruang antarplanet.

Data fluks elektron dari NOAA https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new_avg/. Data tersebut merupakan data satelit GOES13 dengan energi ≥ 2 MeV. Berdasarkan klasifikasi NOAA, fluks elektron dengan energi ≥ 2 MeV dikategorikan sebagai fluks elektron energi tinggi yang dapat menyebabkan gangguan pada satelit yang mengorbit di wilayah tersebut. Fluks elektron berenergi tinggi dikaitkan sebagai penyebab *deep dielectric charging* (NOAA, 2017). Data awal fluks elektron merupakan data rata-rata setiap 5 menit yang kemudian diolah menjadi data rata-rata setiap jam dalam satuan partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$.

Data indeks AE dan indeks Dst dari *World Data Center* (WDC) Kyoto <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstae/index.html>. Gangguan di IS yang telah sampai di Bumi dikonfirmasi menggunakan data indeks AE dan indeks Dst.



Gambar 2-1: Diagram Alir Penelitian

Gambar 2-1 menunjukkan proses pengolahan data hingga analisis. Proses awal pengolahan data adalah identifikasi dilakukan terhadap nilai Bz. Dalam tahun 2011 hingga 2012 dicari nilai Bz

maksimum dan Bz minimum. Diambil empat data Bz maksimum dan Bz minimum yang teridentifikasi. Waktu pada delapan data Bz maksimum dan minimum tersebut akan digunakan sebagai waktu pada data kecepatan angin matahari, fluks elektron, indeks AE, dan indeks Dst. Klasifikasi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kondisi ruang antarplanet terhadap fluks elektron serta pengaruhnya di wilayah kutub (*auroral zone*) berdasarkan indeks AE dan indeks Dst untuk wilayah ekuator dan lintang rendah. Dari identifikasi Bz maksimum dan minimum akan dilakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan fluks elektron dengan kondisi IMF Bz dan kecepatan angin matahari secara kuantitatif.

3 PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini berupa hasil kualitatif dan kuantitatif. Hasil kualitatif berupa grafik yang menunjukkan pola fluks elektron terhadap kondisi Bz dan kecepatan angin matahari. Hasil kuantitatif berupa nilai signifikansi dan koefisien korelasi fluks elektron dilihat dari kondisi ruang antarplanet, Bz dan kecepatan angin matahari.

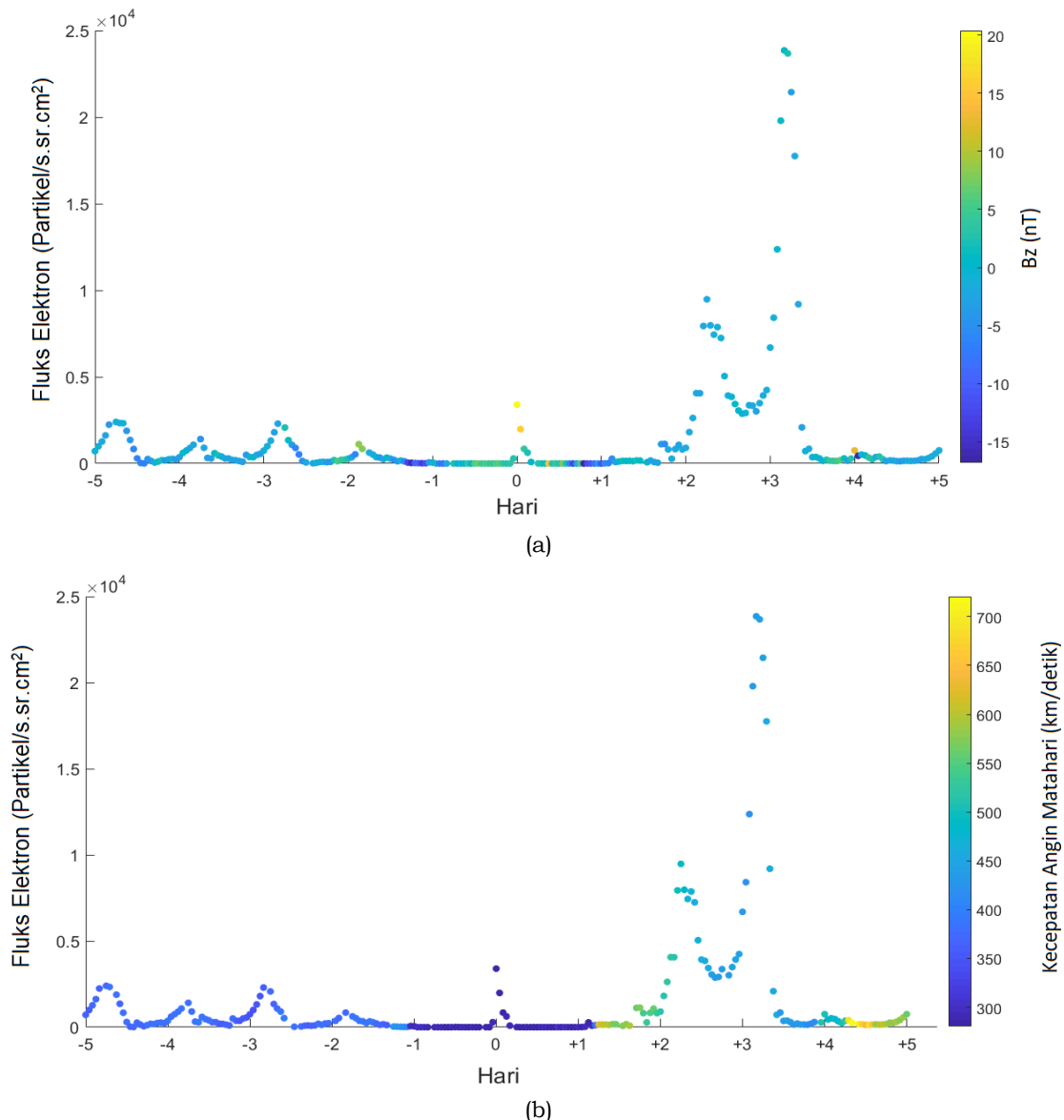
Klasifikasi Bz maksimum terjadi pada tanggal 5 Agustus 2011, 26 September 2011, 15 Juli 2012, dan 14 November 2012. Bz minimum terjadi pada tanggal 18 Februari 2011, 22 Januari 2012, 8 Maret 2012, dan 16 Juni 2012.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat tiga pemicu peningkatan fluks elektron yaitu CME, CIR (Kataoka dan Miyoshi, 2006) dan HILDCAA (*High Intensity, Long Duration, Continuous AE Activity*) (Hajra *et al.*, 2014). Hasil pengolahan data Bz maksimum dan Bz minimum tahun 2011-2012 menunjukkan perilaku fluks elektron yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh sumber gangguan yang berbeda. Selain itu, ketiga pemicu tersebut akan efektif meningkatkan fluks elektron jika terjadi pada musim semi

dan gugur (STFA/*Spring Toward Fall Away*) yaitu di bulan musim semi Februari, Maret, April, Mei dan bulan musim gugur Agustus, September, Oktober, dan November (Miyoshi dan Kataoka, 2008).

Pola fluks elektron terhadap B_z dan kecepatan angin matahari menunjukkan bahwa saat gangguan di ruang antarplanet yang ditandai dengan kondisi B_z lebih dari +10 nT atau kurang dari -10 nT serta kecepatan angin matahari lebih dari 500 km/detik, fluks

elektron mengalami penurunan. Fluks elektron akan meningkat saat kondisi B_z dan kecepatan angin matahari pada kondisi normal, yaitu -5 nT hingga +5 nT dan 300 km/detik hingga 400 km/detik. Kenaikan fluks elektron terjadi pada 2-3 hari setelah B_z mengalami kondisi maksimum atau minimum dengan besar fluks yang bergantung dari sumber gangguan.



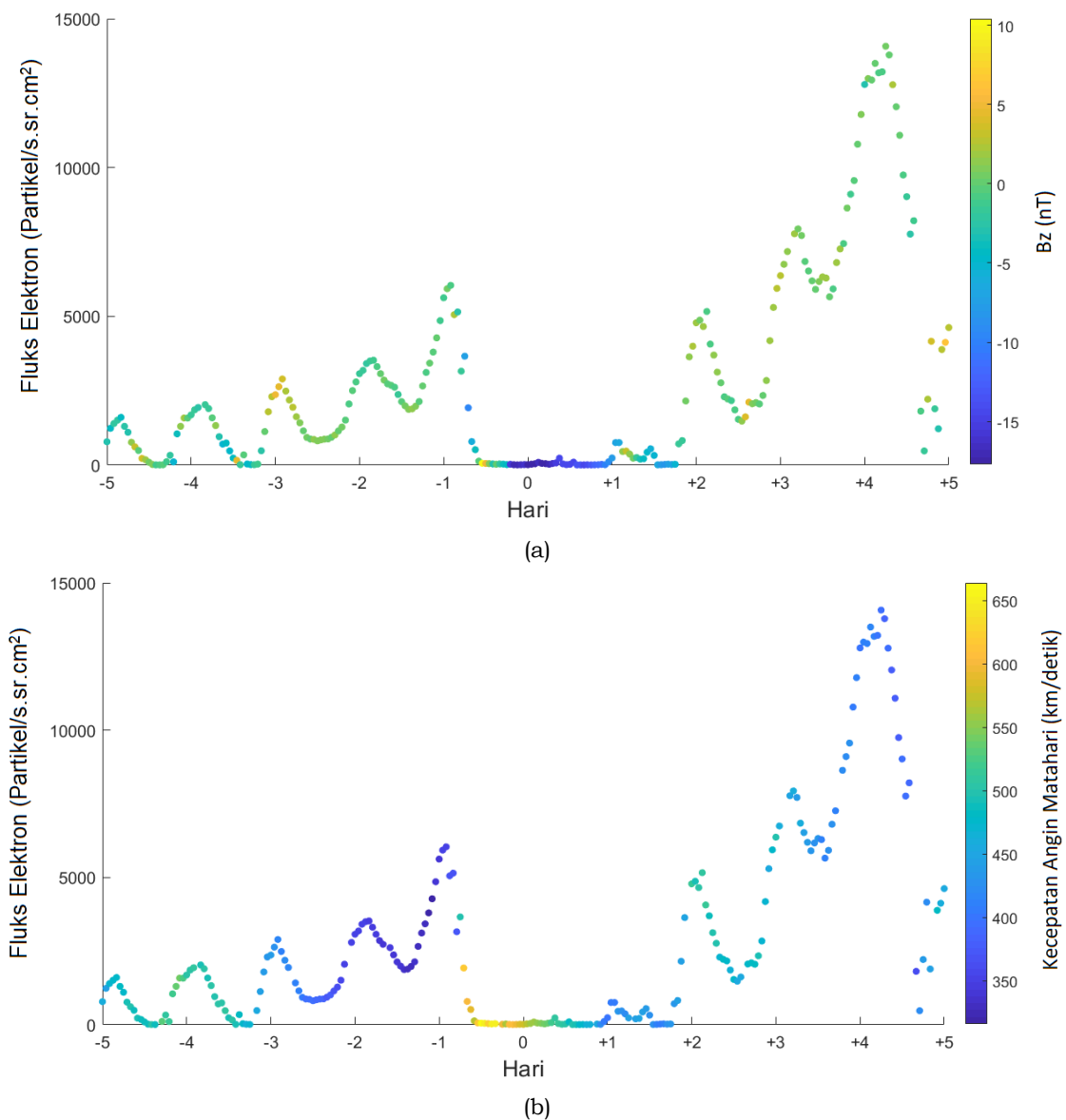
Gambar 3-1: Kondisi Fluks Elektron 8 Maret 2012 dengan kondisi (a) B_z (b) Kecepatan angin matahari

Kenaikan fluks elektron bervariasi bergantung pada sumber gangguan di Matahari. Pada tanggal 8 Maret 2012 dan 15 Juli 2012 yang ditunjukkan Gambar

3-1 dan Gambar 3-2, fluks elektron lebih dari 10^4 partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$. Sedangkan yang lain kurang dari 10^4 partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$. Hal ini disebabkan oleh CME yang terjadi

tidak terlalu besar, kecepatan CME yang rendah, dan tidak geoeftif. Kegeoeftifan CME dilihat dari arah erupsinya yang mengarah ke barat menuju Bumi (Kim *et al.*, 2008). Sedangkan CME yang terjadi sebelum tanggal 8 Maret 2012 dan 15 Juli 2012 adalah CME yang tidak geoeftif, namun CME berulang kali terjadi bahkan dalam satu hari terjadi beberapa CME. Oleh karena itu, peristiwa ini di wilayah ruang antarplanet menyebabkan CIR, yaitu adanya dorongan kecepatan angin matahari yang berinteraksi dengan

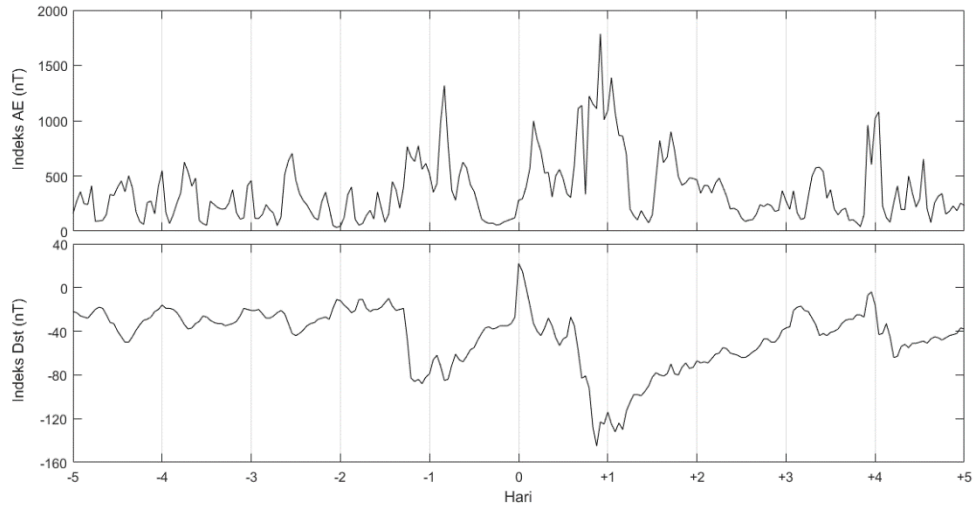
kecepatan plasma yang lebih rendah di ruang antarplanet. Hasilnya magnetosfer akan dihantam oleh partikel dari ruang antarplanet bertubi-tubi, terus menerus sehingga partikel yang mengarah ke kutub magnet utara semakin banyak. Akibatnya indeks AE yang terpantau akan menunjukkan nilai yang besar lebih dari 1000 nT selama beberapa hari berturut-turut dan menyebabkan terjadinya HILDCAA. Peristiwa HILDCAA tanggal 8 Maret 2012 dapat dilihat dari nilai indeks AE Gambar 3-3.



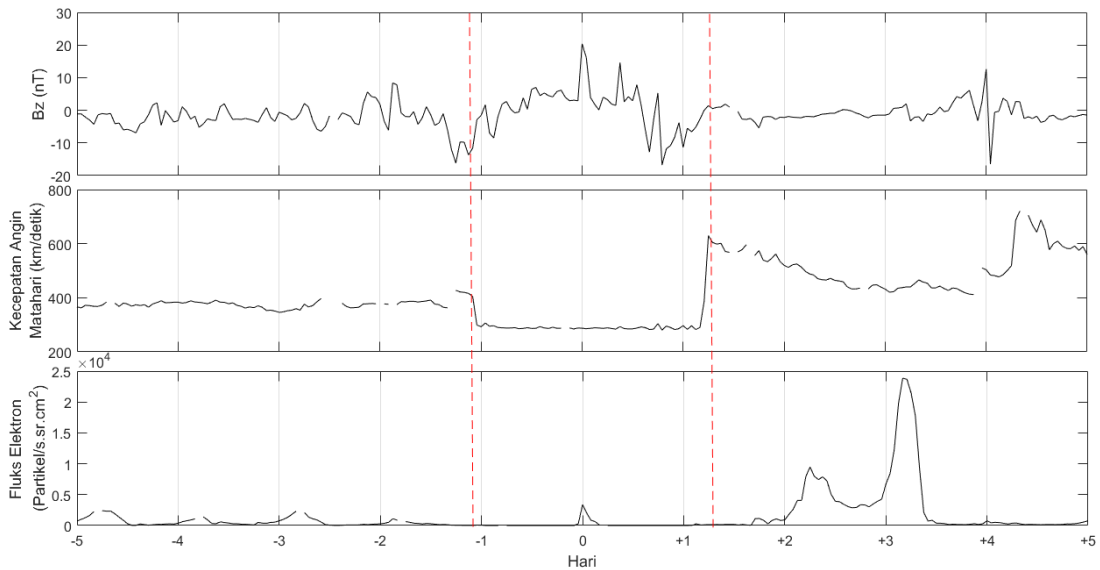
Gambar 3-2:Kondisi Fluks Elektron 15 Juli 2012 dengan kondisi (a) Bz (b) Kecepatan angin matahari

Peristiwa 8 Maret 2012 menjadi perhatian tersendiri karena sebelum badai geomagnet akibat CME datang, indeks AE dan indeks Dst sudah terganggu dan Bz menunjukkan nilai positif hingga +20,4 nT, yang artinya arah medan magnet antarplanet yang menuju Bumi bergerak/bergeser ke utara sehingga akan terjadi penguatan

medan magnet bumi, hal ini dapat dilihat dengan nilai indeks Dst meningkat hingga +22 nT karena adanya penguatan. Gambar 3-4 menunjukkan bahwa terjadi anomali pada Bz dan kecepatan angin matahari seperti terlihat pada garis putus-putus warna merah.



Gambar 3-3: Kondisi Indeks AE dan Indeks Dst Tanggal 8 Maret 2012

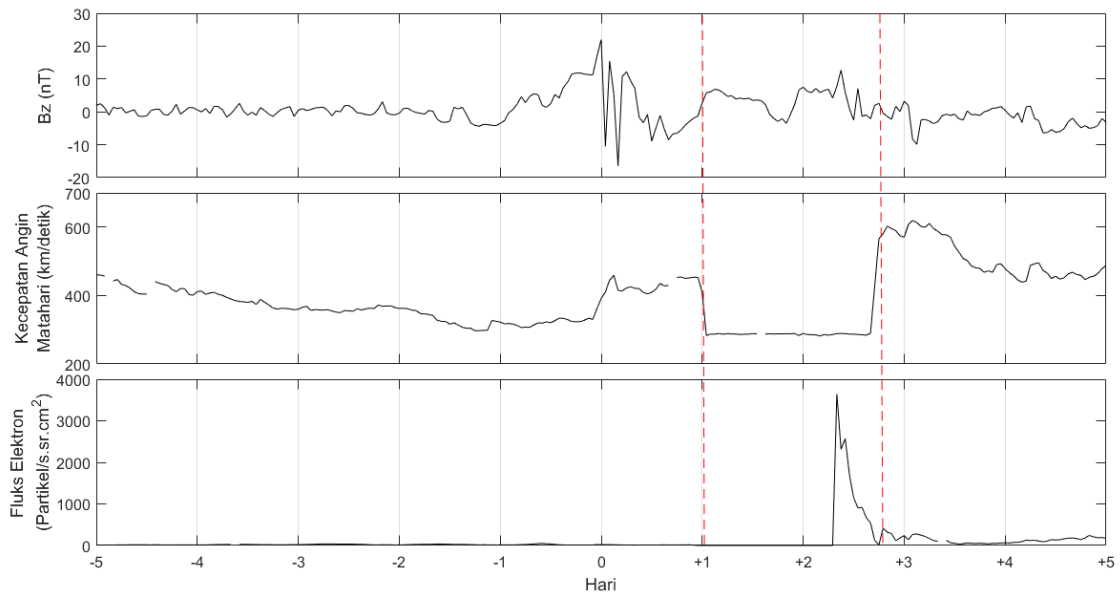


Gambar 3-4: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 8 Maret 2012

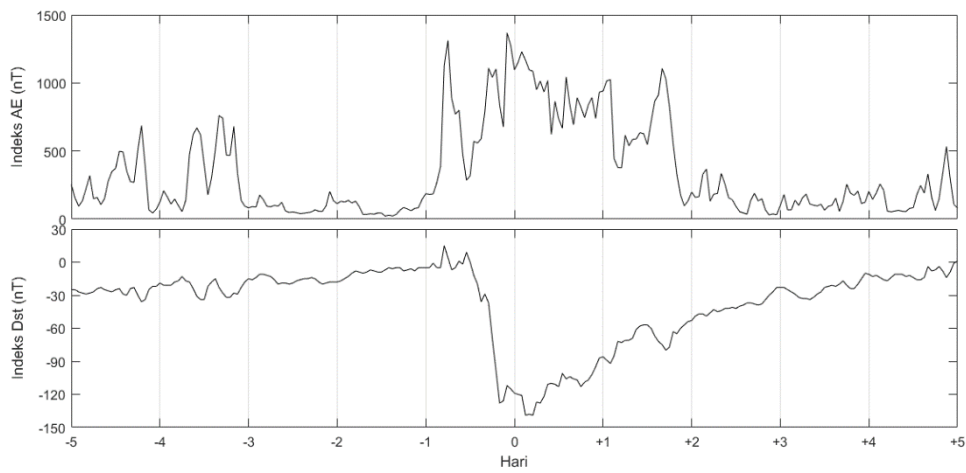
Seharusnya saat terjadi kenaikan atau penurunan Bz kecepatan angin matahari naik. Saat Bz naik maksimum sebesar +20,4 nT, indeks Dst tanggal 8 Maret 2012 pada Gambar 3-3 memperlihatkan penguatan yaitu sebesar +20 nT dengan kecepatan di

sekitar 300 km/detik. Setelah dilakukan konfirmasi melalui *File Transfer Protocol* (FTP), diketahui bahwa data kecepatan angin matahari pada 8 Maret 2012 perekamannya tidak bagus. Hal serupa juga terjadi pada kondisi kecepatan

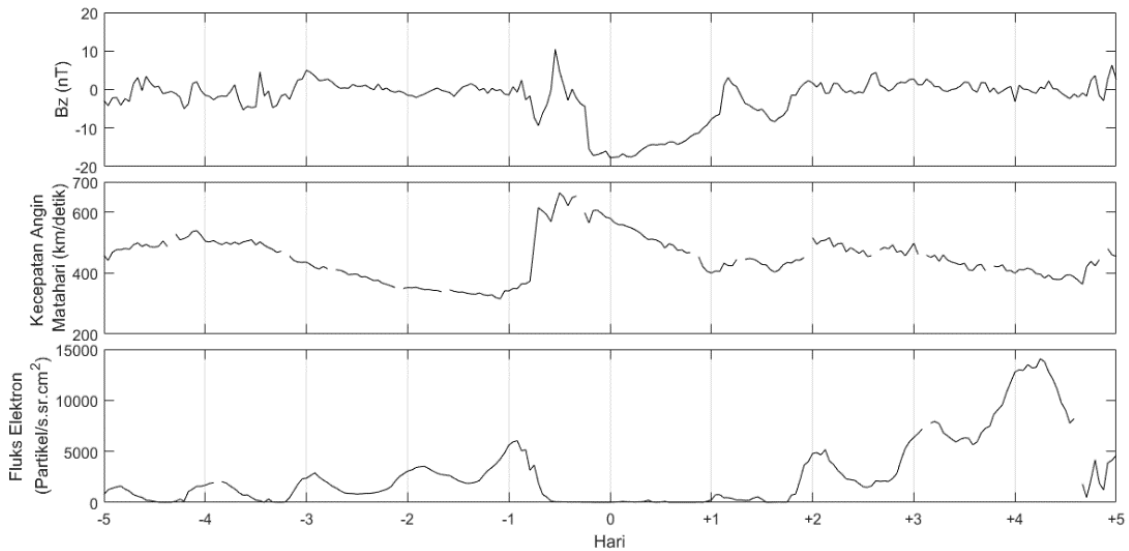
angin matahari tanggal 22 Januari 2012 yang ditunjukkan Gambar 3-5.



Gambar 3-5: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 22 Januari 2012



Gambar 3-6: Kondisi Indeks AE dan Indeks Dst Tanggal 15 Juli 2012



Gambar 3-7: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 15 Juli 2012

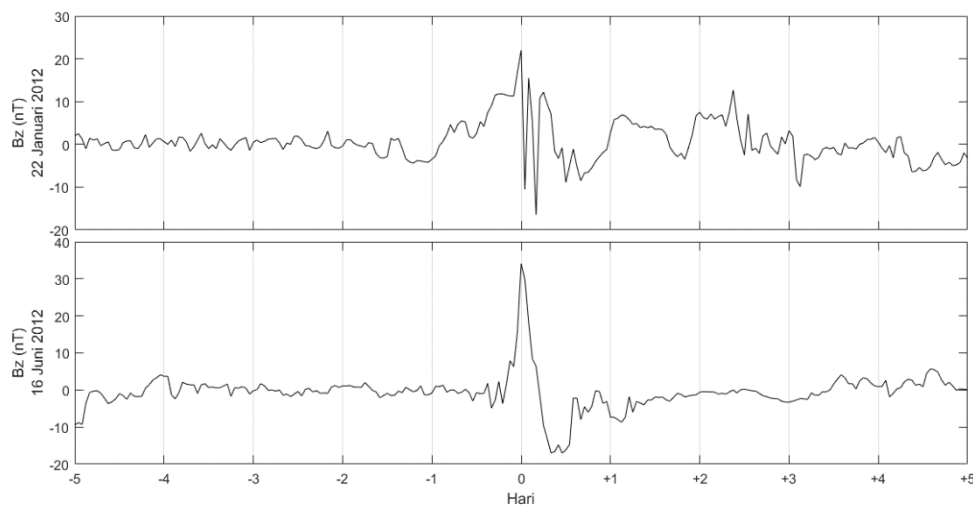
Kondisi Bz pada 15 Juli 2012 pada Gambar 3-7, menunjukkan nilai negatif di -17,7 nT dan kecepatan angin matahari mendekati nilai 700 km/detik serta menghasilkan kenaikan fluks elektron sebesar $1,4 \times 10^4$ partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$. Berdasarkan penelitian Miyoshi dan Kataoka (2007), parameter yang paling efektif untuk meningkatkan nilai fluks elektron adalah kecepatan angin matahari yang tinggi dan Bz negatif di bulan musim semi dan musim gugur. Hasil dari makalah ini juga menunjukkan hasil yang sama, nilai Bz maksimum dan minimum dalam dua tahun terdapat pada kejadian yang dipaparkan dalam makalah ini.

Tabel 3-1: HASIL KORELASI

No	Tanggal	Bz & Fluks Elektron (a)		Kecepatan Angin Matahari & Fluks Elektron (b)	
		Signifi kansi	Koef korelasi	Signifi kansi	Koef korelasi
1	18-Feb-11	0,877	0,014	0	-0,688
2	22-Jan-12	0	-0,364	0	0,548
3	08-Mar-12	0,78	0,026	0,058	-0,173
4	16-Jun-12	0	0,66	0	-0,572
5	05-Agu-11	0,245	0,106	0,004	0,26
6	26-Sep-11	0	0,416	0	-0,33
7	15-Jul-12	0	0,602	0	-0,404
8	14-Nov-12	0,777	-0,026	0	-0,316

Hasil korelasi (a) menunjukkan besar hubungan fluks elektron dengan Bz dan (b) merupakan besar hubungan fluks elektron dengan kecepatan angin matahari. Tabel 3-1 nomor 1 hingga 4 merupakan kejadian saat Bz maksimum dan nomor 5 hingga 8 saat Bz minimum. Tabel 3-1 menunjukkan bahwa terdapat korelasi untuk beberapa data fluks elektron dengan Bz dan kecepatan angin matahari. Hasil korelasi antara fluks elektron dan kecepatan angin matahari lebih baik dibanding dengan fluks elektron dengan Bz yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi lebih dari 0,05 pada perhitungan kolom (b).

Hasil korelasi Bz maksimum dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05 terjadi pada tanggal 22 Januari 2012 dan 16 Juni 2012. Sumber gangguan pada tanggal tersebut disebabkan oleh beberapa CME yang terjadi selama empat hingga lima hari sebelumnya dengan luas erupsi CME mencapai 360° . Tanggal 22 Januari 2012 hubungan antara Bz dan fluks elektron adalah berbanding terbalik, hal ini dikarenakan kondisi Bz yang terjadi pada 22 Januari 2012 fluktuatif, sedangkan pada 16 Juni 2012 hanya mengalami peningkatan hingga +34,1 nT kemudian kembali normal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3-8.



Gambar 3-8: Kondisi Bz 22 Januari 2012 dan 16 Juni 2012

Saat Bz maksimum, hubungan kecepatan angin matahari dan fluks

elektron berbanding terbalik, yang artinya saat kondisi kecepatan angin

matahari menurun, fluks elektron naik. Hasil signifikansi lebih dari 0,05 ditemukan pada tanggal 8 Maret 2012. Berdasarkan analisis sebelumnya, pada tanggal tersebut kualitas data kecepatan angin matahari tidak bagus. Kejadian serupa juga terjadi pada tanggal 22 Januari 2012.

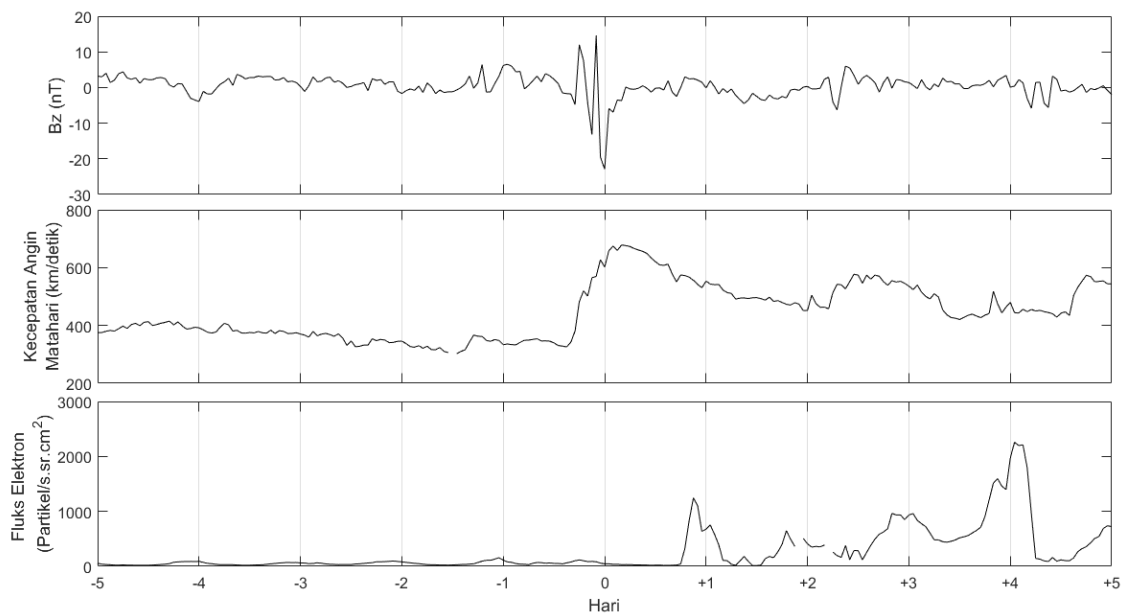
Hasil koefisien korelasi Tabel 3-1 nomor 5 hingga 8 merupakan identifikasi saat Bz minimum. Nilai signifikansi kurang dari 0,05 terjadi pada tanggal 26 September 2011 yang disebabkan oleh CME dan 15 Juli 2012 disebabkan oleh HILDCAA, sedangkan pada perhitungan (b), semua perhitungan signifikansi menunjukkan nilai kurang dari 0,05.

Pada 26 September 2011 nilai Bz minimum di -22,9 nT dengan koefisien korelasi 0,416 (a) dan -0,33 (b), seperti yang ditunjukkan Gambar 3-9, kecepatan angin matahari kurang dari 700 km/detik dan sumber gangguannya adalah CME geoeftif dan luasan erupsinya besar hingga mencapai 360°. Fluks elektron bernilai kurang dari 2500 partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$. Rendahnya nilai fluks elektron karena CME akan meningkatkan fluks elektron tidak di

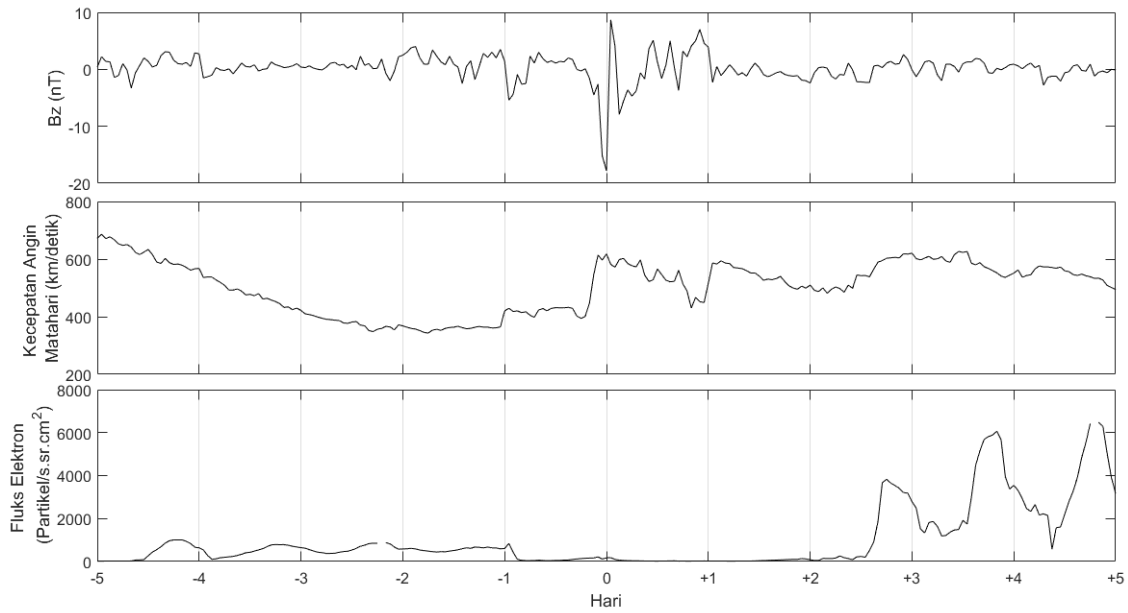
sabuk radiasi elektron bagian luar melainkan di sabuk elektron bagian dalam (Kataoka dan Miyoshi, 2006).

CIR merupakan penyebab terjadinya gangguan pada tanggal 15 Juli 2012. Seperti yang dijelaskan sebelumnya yaitu pada Gambar 3-2 (a) dan (b) dengan peningkatan fluks elektron mencapai $1,4 \times 10^4$ partikel $\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$, kondisi Bz pada 15 Juli 2012 pada Gambar 3-7, menunjukkan nilai negatif di -17,7 nT dan kecepatan angin matahari mendekati nilai 700 km/detik.

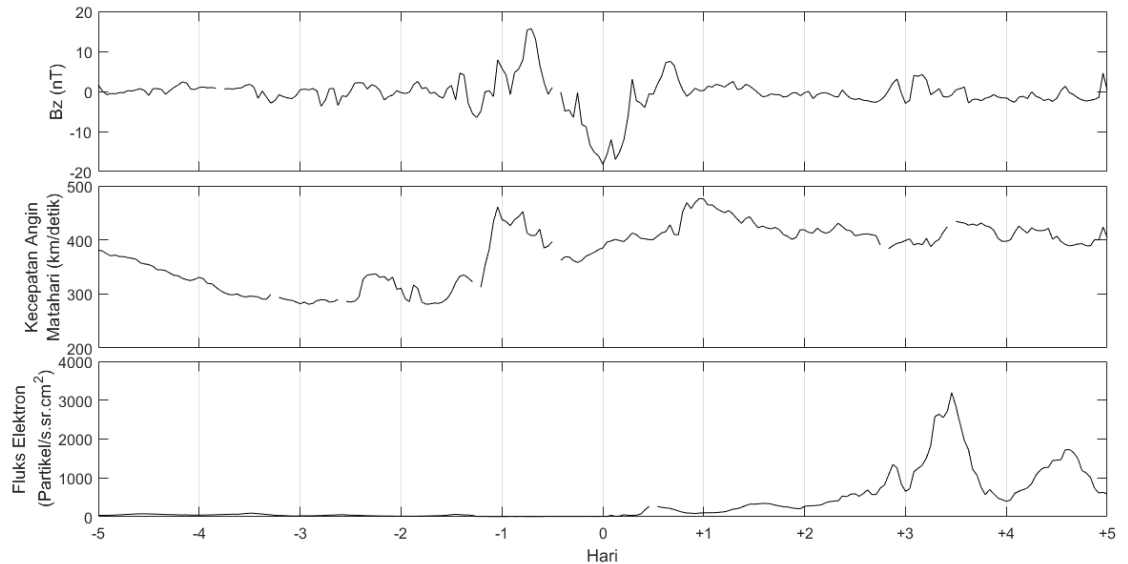
Gangguan yang terjadi pada tanggal 5 Agustus 2011 disebabkan oleh CME. Bz mencapai -17,8 nT dan kecepatan angin matahari meningkat lebih dari 600 km/detik. Perhitungan koefisien korelasi tanggal 5 Agustus 2011 antara kecepatan angin matahari dan fluks elektron menunjukkan nilai negatif yang berbeda dengan ketiga perhitungan lain. Hal ini dikarenakan sebelum tanggal 5 Agustus 2011, yaitu tanggal 31 Juli 2011 terjadi CIR yang ditandai dengan peningkatan kecepatan angin matahari hingga mencapai lebih dari 700 km/detik seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3-10.



Gambar 3-9: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 26 September 2011



Gambar 3-10: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 5 Agustus 2011



Gambar 3-11: Kondisi Bz, Kecepatan Angin Matahari, dan Fluks Elektron Tanggal 14 November 2012

Bz pada tanggal 14 November 2012 mencapai -18,2 nT dan kecepatan angin matahari lebih dari 450 km/detik yang disebabkan oleh beberapa CME geoeftif sejak tanggal 7 November 2012 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3-11.

Koefisien korelasi bersifat negatif pada perhitungan fluks elektron dengan kecepatan angin matahari, yang artinya berbanding terbalik yaitu saat kecepatan angin matahari naik, maka fluks elektron akan turun dan sebaliknya.

4 KESIMPULAN

Besar peningkatan fluks elektron di sabuk radiasi elektron luar dipengaruhi oleh sumber gangguan. Sumber gangguan CIR yang dapat memicu HILDCAA memiliki peningkatan fluks elektron lebih besar dibanding dengan sumber gangguan dari CME. Fluks elektron akan meningkat saat kondisi Bz dan kecepatan angin matahari berada di kondisi normal, yaitu -5 nT hingga +5 nT dan 300 km/detik hingga 400 km/detik. Kenaikan fluks elektron terjadi pada 2-3 hari setelah Bz mengalami kondisi maksimum atau

minimum dengan besar fluks yang bergantung dari sumber gangguan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada NOAA atas ketersediaan data fluks elektron, Bz, dan kecepatan angin matahari serta kepada WDC Kyoto atas data indeks Dst dan indeks AE. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Andika Widya Pramono selaku Pembimbing di Pusbindiklat Peneliti LIPI dan Ibu Fitri Nuraeni selaku teman diskusi untuk makalah ini serta penelaah yang memberikan masukan dalam makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Allen, J. H., 2002. Historical and Recent Solar Activity and Geomagnetic Storms Affecting Spacecraft Operations. Government Microcircuit and Applications Conference, Monterey, California.
- Baker, D. N., R. D. Belian, P. R. Higbie, R. W. Klebesadel, and J. B. Blake, 1987. Deep Dielectric Charging Effects due to High-Energy Electrons in Earth's Outer Magnetosphere, *Journal of Electrostatics*, 20 (1): 3–19.
- Blake, J. B., D. N. Baker, N. Turner, K. W. Ogilive, and R. P. Lepping, 1997. Correlation of Changes in the Outer-zone Relativistic-electron Population with Upstream Solar Wind and Magnetic Field Measurements, *Geophysics Research Letter*, 24, 927-929.
- Filawati, S., dan F. Nuraeni, 2017. Pengaruh CIR dan CME Terhadap Fluks Elektron Sepanjang Tahun 2011, *Prosiding Seminar Nasional Sains Antariksa*. Bandung, 22 November 2016.
- Hajra, R., E. Echer, B. T. Tsurutani, and W. D. Gonzalez, 2013. Solar Cycle Dependence of High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity (HILDCAA) events, relativistic electron predictors?, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol118.
- Hajra, R., B. T. Tsurutani, E. Echer, and W. D. Gonzalez, 2014. Relativistic Electron Acceleration during High-Intensity, Long-Duration, Continuous AE Activity (HILDCAA) Events: Solar Cycle Phase Dependences, *Geophysical Research Letters*, 41 (6): 1876–81.
- Heber, B., T. R. Sanderson, and M. Zhang, 1999. Corotating Interaction Regions, *Advances in Space Research*, 23 (3): 567–79.
- Iles, R., A. N. Fazakerley, A. D. Johnstone, N. P. Meredith, and P. Buhler, 2002. The Relativistic Electron Response in the Outer Radiation Belt during Magnetic Storms, *Annales Geophysicae*, no. March 2002: 957–65.
- Kataoka, R., and Y. Miyoshi, 2006. Flux Enhancement of Radiation Belt Electrons during Geomagnetic Storms Driven by Coronal Mass Ejections and Corotating Interaction Regions, *Space Weather* 4 (9):1542-7390.
- Kim, R. S., K. S. Cho, K. H. Kim, Y. D. Park, Y. J. Moon, Y. Yi, J. Lee, H. Wang, H. Song, and M. Dryer, 2008. CME Earthward Direction as an Important Geoeffectiveness Indicator, *The Astrophysical Journal*, 677 (2): 1378–84.
- Li, X., and M. A. Temerin, 2001. The Electron Radiation Belt, *Space Science Reviews*, Volume 95, 1–2, 569–580.
- Miyoshi, Y., A. Morioka, R. Kataoka, Y. Kasahara, and T. Mukai, 2007. Evolution of the Outer Radiation Belt during the November 1993 Storms Driven by Corotating Interaction Regions, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 112 (5).
- Miyoshi, Y., and R. Kataoka, 2008. Flux Enhancement of the Outer Radiation Belt Electrons after the Arrival of Stream Interaction Regions, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. 113.
- O'Brien, T. P., R. L. McPherron, D. Sornette, G. D. Reeves, R. Friedel, and H. J. Singer, 2001. Which Magnetic Storms Produce Relativistic Electrons at Geosynchronous Orbit?, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 106 (A8): 15533–44.
- Paulikas, G. A., and J. B. Blake, 1979. Effects of the Solar Wind on Magnetospheric Dynamics: Energetic Electrons at the Synchronous Orbit, *Geophys. Monogr. Ser.* 21: 180–202.
- Weigel, R. S., A. J. Klimans, and D. Vassiliadis, 2003. Precursor Analysis and Prediction of Large-amplitude Relativistic Electron Fluxes, *Space Weather Journal* (3). 1014.
- Zell, H., 2017. Earth's Magnetosphere and Plasmasheet, diakses https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/magnetosphere2.html, Agustus 2017.