

ARUS CINCIN DAN PENGARUHNYA TERHADAP MEDAN GEOMAGNET DI WILAYAH INDONESIA (RING CURRENT AND ITS EFFECT ON THE GEOMAGNETIC FIELD IN INDONESIA REGION)

Mamat Ruhimat

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia

e-mail: mamat.ruhimat@lapan.go.id

Diterima 22 Juli 2015, Direvisi 24 September 2015, Disetujui 24 Desember 2015

ABSTRACT

The presence of the flowing ring currents at equatorial ionosphere can be traced from the disturbance of geomagnetic field. The magnetic reconnection can lead to energy transfer from the solar wind into the inner of the magnetosphere. This energy recorded as the decrease in the intensity of Earth's magnetic field, known as geomagnetic disturbance. By using the data of the solar wind and the interplanetary magnetic field, its can be estimated energy of the solar wind-magnetosphere coupling, electric field reconnection and the energy injected into the ring current. We analyzed three events on May 3, 2010, May 29, 2010 and June 12, 2010. Two of them (May 3, 2010 and May 29, 2010 events) have the injection energy $Q = 14.8$ nT/h and 21.4 nT/h respectively. Based on hourly geomagnetic disturbances mapping in Indonesia we can see geomagnetic disturbance movement it indicates the field of ring current from east to west. While the June 12, 2010 event result the injection energy very low $Q = 2.9$ nT/h and did not show the existence of a ring current.

Keywords: *Geomagnetic disturbance, Magnetosphere, Solar Wind, Energy Transfer, Ring Current*

ABSTRAK

Arus cincin yang mengalir di ionosfer sekitar ekuator dapat diketahui keberadaannya pada kejadian gangguan geomagnet. Dalam peristiwa rekoneksi magnet terjadi transfer energi dari angin surya menuju magnetosfer bagian dalam. Energi ini diteruskan hingga terekam di permukaan Bumi dan menyebabkan adanya penurunan intensitas medan geomagnet yang dikenal dengan gangguan geomagnet. Dengan menggunakan data angin surya dan medan magnet antarplanet, dapat diperkirakan besarnya energi kopling angin surya magnetosfer, medan listrik merger, dan energi injeksi untuk arus cincin. Dari tiga kejadian yang dianalisis, dua di antaranya yaitu pada 3 Mei 2010 dan 29 Mei 2010 memiliki energi injeksi untuk arus cincin masing-masing $Q = 14,8$ nT/jam dan $21,4$ nT/jam. Berdasarkan hasil pemetaan gangguan geomagnet di wilayah Indonesia terlihat adanya pergeseran gangguan geomagnet dari Timur ke Barat. Hal ini menunjukkan adanya aliran arus cincin yang mengalir dari Timur ke arah Barat. Sedangkan kejadian 12 Juni 2010 menghasilkan energi injeksi yang rendah $Q = 2,9$ nT/jam, dan tidak menunjukkan adanya arus cincin.

Kata Kunci: *Gangguan geomagnet, Magnetosfer, Angin surya, Transfer energi, Arus cincin*

1 PENDAHULUAN

Gangguan geomagnet merupakan fenomena alam yang sering muncul akibat dari interaksi medan geomagnet dengan medan magnet lainnya, yang sumbernya bisa dari dalam Bumi atau dari luar Bumi. Di magnetosfer medan geomagnet dapat berinteraksi dengan medan magnet antar planet. Dalam keadaan normal jarak batas magnetosfer (*magnetopause*) siang hari sekitar 70.000 km ($10-12 R_E$; dengan $1 R_E =$ jari-jari Bumi = 6371 km) dari pusat Bumi, magnetosfer ini sangat dipengaruhi oleh gaya angin surya. Di sisi Bumi bagian malam jarak magnetosfer sekitar $(20-25) R_E$ dan ekornya dapat mencapai lebih dari $200 R_E$ (Magnetosfer Bumi, <http://id.wikkipedia.org>). Ketika medan geomagnet berinteraksi dengan medan magnet matahari yang dibawa oleh angin surya (medan magnet antar planet/*Interplanetary Magnetic Field* (IMF)) dalam peristiwa rekoneksi, maka akan mengakibatkan berlangsungnya transfer energi ke dalam magnetosfer Bumi (Koskinen dan Taskanen., 2002, Burton et al., 1975). Fenomena gangguan magnet seperti badai magnet dan substorm terkait dengan sistem arus. Semua sistem arus mempengaruhi medan geomagnet dan terutama komponen horizontalnya di permukaan Bumi (Zaourar, 2013).

Arus cincin merupakan salah satu dari sistem arus yang terjadi di ekuator dengan ketinggian antara 10.000 km sampai dengan 60.000 km dan puncaknya biasanya terletak antara $3-5 R_E$. Arus cincin ini dipicu oleh terjadinya transfer energi dari angin surya ke magnetosfer hingga ke ionosfer. Arus cincin ini mengalir dari timur ke barat. Arus cincin ditandai dengan indeks Dst atau tingkat gangguan geomagnet di lintang rendah dan menengah, peningkatan arus cincin diikuti dengan penurunan indeks Dst. Pemulihan medan magnet yang terganggu untuk kembali normal sesuai dengan menghilangnya arus cincin (MacMahon dan Llop-Romero, 2008; Van Zele, 2002; Ballatore dan Gonzales, 2003; Le et al., 2004).

Indeks yang umum digunakan dari badai geomagnet atau gangguan geomagnet adalah indeks Dst. Indeks Dst berasal dari gangguan komponen horizontal medan geomagnet yang diukur pada lintang menengah stasiun landas Bumi dan dinyatakan dalam satuan nT (*nano tesla*). Energi arus cincin dibawa oleh ion berenergi masuk ke dalam magnetosfer melalui peristiwa rekoneksi. Rekoneksi terjadi ketika kedua medan magnet memiliki arah yang berlawanan. Hal ini terjadi ketika medan magnet antar planet mengarah ke selatan dan medan geomagnet ke utara. Oleh karena itu masukan energi arus cincin dianggap sebanding dengan parameter *upstream* vB_s , dengan v adalah kecepatan angin surya dan B_s adalah medan magnet antar planet komponen B_z arah selatan (Burton et al., 1975).

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) memiliki beberapa stasiun geomagnet yang tersebar di wilayah Indonesia untuk mengamati variasi geomagnet, baik milik sendiri maupun hasil kerja sama dengan instansi lain. Tujuan pengamatan ini adalah untuk memantau kondisi lingkungan antariksa dan cuaca antariksa khususnya di atas Indonesia. Di sisi lain dengan pemetaan gangguan geomagnet di wilayah Indonesia diharapkan dapat diketahui keberadaan arus cincin yang diduga terkait dengan fase utama gangguan geomagnet (Van Zele, 2002). Dengan mempelajari proses dari interaksi yang terjadi di magnetosfer dan di ionosfer diharapkan dapat dipahami dan diketahui sumber gangguan geomagnet yang sampai di permukaan Bumi, khususnya di lintang rendah ini terkait dengan dinamika magnetosfer. Sehingga dengan penelitian arus cincin dan pengaruhnya terhadap medan geomagnet di wilayah Indonesia ini, melalui pemantauan gangguan geomagnet dapat mengetahui keberadaan arus cincin yang ada di ionosfer kemudian energi *input* di magnetosfer dan medan listrik merger saat terjadi rekoneksi magnet.

2 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa variasi harian geomagnet komponen H pada 3 Mei 2010, 29 Mei 2010, dan 12 Juni 2010 dari 7 stasiun geomagnet di Kototabang, Sumedang, Pontianak, Parepare, Manado, Kupang dan Biak, lokasi masing-masing stasiun tercantum dalam Tabel 2-1. Sedangkan data angin surya dan medan magnet antar planet diperoleh dari alamat omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html.

Pengolahan data mulai dari perata-rataan dilakukan untuk mendapatkan data jam-an dan dilakukan pemisahan gangguan geomagnet dari variasi hari tenangnya, hingga pemetaan gangguan geomagnet di Indonesia menggunakan data dari 7 stasiun. Model empirik hari tenang geomagnet yang digunakan bergantung pada aktivitas matahari, usia bulan, hari dalam tahun dan waktu lokal (Ruhimat *et al.*, 2013; Yamazaki *et al.*, 2011; Kakinami *et al.*, 2009). Langkah ini dilakukan untuk memisahkan gangguan geomagnet dari data variasi harian geomagnet untuk masing-masing stasiun. Tingkat gangguan geomagnet dihitung menggunakan persamaan (2-1) (Habirun, 2007).

$$D(t) = H(t) - H_0(t) - Sq(t, m) \quad (2-1)$$

atau

$$D(t) = \Delta H(t) - Sq(t, m) \quad (2-2)$$

dengan D(t) tingkat gangguan geomagnet, H(t) medan magnet komponen horizontal, $H_0(t)$ base line medan magnet komponen horizontal, $\Delta H(t)$ variasi medan magnet komponen horizontal, Sq(t,m) variasi hari tenang pada waktu t dan bulan m.

Tabel 2-1: KOORDINAT LOKASI STASIUN GEOMAGNET

No.	Nama Stasiun	Kode	Lintang	Bujur
1.	Stasiun Pemantau Atmosfer Global Kototabang BMKG	KTB	0,23° LS	100,32° BT
2.	Balai Pengamatan Dirgantara Pontianak, LAPAN	PTN	0,05° LU	109,54° BT
3.	Loka Pengamatan Dirgantara Sumedang, LAPAN	TJS	6,91° LS	107,83° BT
4.	Stasiun Geofisika Manado, BMKG	MND	1,30° LU	124,93° BT
5.	Balai Pengindraan Jauh Parepare, LAPAN	PRP	3,98° LS	119,65° BT
6.	Stasiun Geofisika Kupang, BMKG	KPG	10,21° LS	123,65° BT
7.	Balai Penjejukan dan Wahana Kendali Antariksa Biak, LAPAN	BIK	1,18° LS	136,10° BT

Gangguan geomagnet tiap jam yang diperoleh dari 7 stasiun tersebut kemudian dipetakan dengan menggunakan metode *Kriging* (Ruhimat, 2014).

Parameter masukan energi dalam peristiwa transfer energi dari angin surya ke magnetosfer yaitu parameter epsilon (ϵ) (Koskinen dan Taskanen, 2002; Kan dan Lee, 1979). Parameter energi tersebut ditentukan dengan persamaan (2-3).

$$\epsilon = \frac{4\pi}{\mu_0} vB^2 \sin^4\left(\frac{\phi}{2}\right) r_0^2 \quad (2-3)$$

dengan v adalah kecepatan angin surya, B adalah medan magnet antar planet, $\tan \phi = |B_y|/B_z$, r_0 adalah jarak Bumi ke *magnetopause* dan nilai numerik dari $4\pi/\mu_0 = 10^7$. Shue et al.,(2000), Nagatsuma et al.,(2015), menghitung r_0 dengan menggunakan persamaan (2-4).

$$r_0 = (10,22 + 1,29 \tanh(B_z + 8,24)) P_{sw}^{(-1/6,6)} \quad (2-4)$$

dengan B_z adalah medan magnet antar planet arah selatan dan P_{sw} adalah tekanan dinamik angin surya di *magnetopause*.

Mengitung medan listrik ekuatorial pada saat rekoneksi atau merger (Saiz et al.,2013; Ballatore dan Gonzales, 2003; Kan dan Lee,1979) dengan persamaan (2-5):

$$E_m = vB_t \sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2-5)$$

dengan B_t adalah proyeksi dari medan magnet antar planet pada bidang YZ, $B_t = \sqrt{(B_y^2 + B_z^2)}$ dan ϕ adalah sudut antara B_y dan B_z , $\tan(\phi) = |B_y|/B_z$.

Dari kopling magnetosfer-ionosfer akan diperoleh persamaan keseimbangan energi arus cincin yakni persamaan (2-6).

$$\frac{\Delta Dst^*}{\Delta t} = Q - \frac{Dst^*}{\tau} \quad (2-6)$$

dengan τ adalah waktu peluruhan Dst yang konstan dan Q adalah energi injeksi arus cincin yang dinyatakan sebagai fungsi linear dari vB_s (Burton et al., 1975; O'Brien dan McPherron, 2000; Nagatsuma et al., 2015). Q diperoleh melalui persamaan empirik (2-7).

$$Q = -4,4(vB_s - 0,49) \quad (2-7)$$

Dalam Persamaan. (2-6), Dst^* adalah Dst yang dikoreksi oleh efek dari tekanan angin surya (atau terkait arus *magnetopause*) dan arus cincin waktu tenang, yang perumusannya seperti persamaan (2-8) (Nogatsuma et al., 2015; O'Brien dan McPherron, 2000).

$$Dst^* = Dst - bP_{sw}^{1/2} + c \quad (2-8)$$

dengan P_{sw} adalah tekanan dinamik angin surya dan b serta c adalah konstanta.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

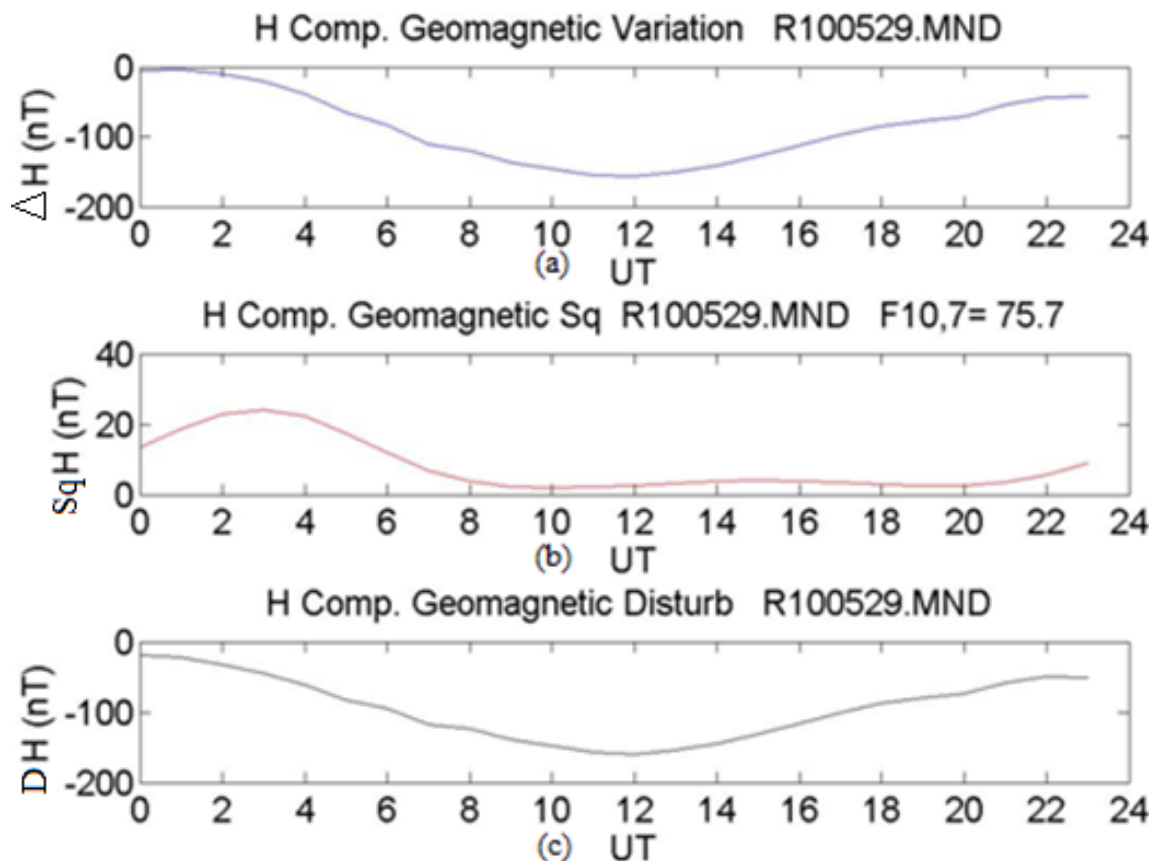
Dalam studi kasus ini digunakan tiga set data, dengan 2 set terkait dengan kejadian gangguan geomagnet dan 1 set data tidak terkait dengan gangguan geomagnet. Rincian analisisnya sebagai berikut.

3.1 Analisis Data Geomagnet 29 Mei 2010

Pada 29 Mei 2010 di wilayah Indonesia, salah satunya di stasiun geomagnet Manado, rekaman data geomagnet seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-1. Kurva

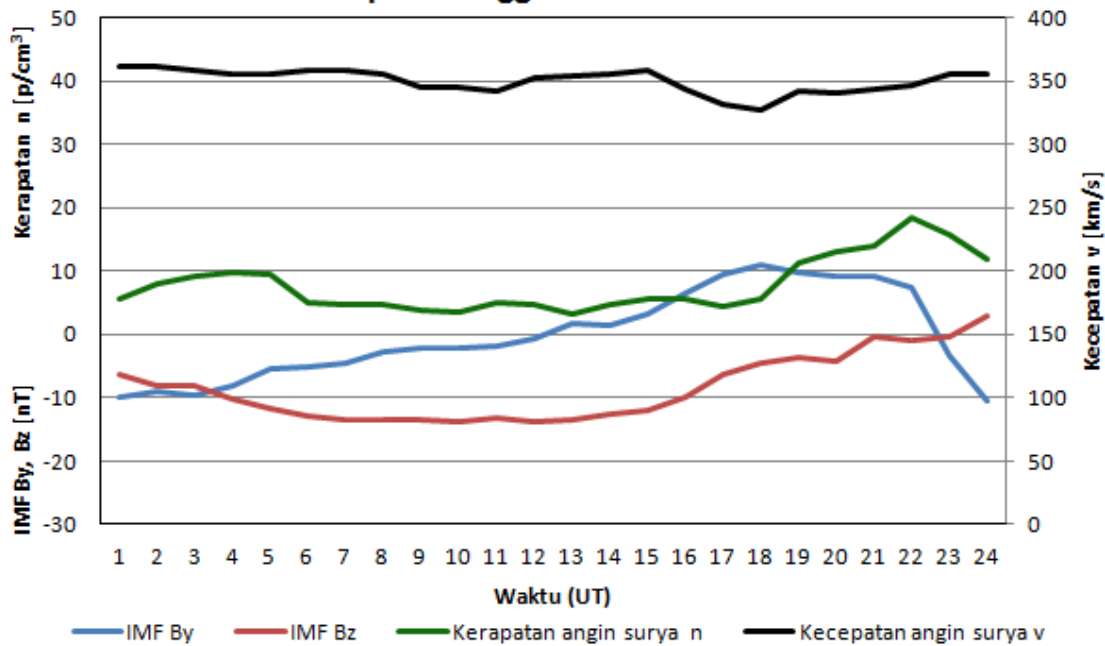
bagian atas Gambar 3-1(a) menunjukkan variasi harian geomagnet (ΔH) komponen H (komponen horizontal magnet arah utara-selatan). Kurva bagian tengah Gambar 3-1(b) menunjukkan variasi hari tenang geomagnet (SqH) pada 29 Mei 2010. Kurva dari Gambar 3-1(c) menunjukkan gangguan geomagnet (DH) yang merupakan pengurangan variasi harian geomagnet oleh variasi hari tenangnya. Adanya gangguan geomagnet dapat diketahui melalui penurunan kurva gangguan geomagnet komponen H ini mulai pukul 00:00 UT sampai pukul 12:00 UT dan kembali menuju kondisi normal setelah pukul 12:00 UT.

Peristiwa gangguan geomagnet pada 29 Mei 2010 ini tidak terlepas dari adanya aktivitas angin surya dan medan magnet antar planet di magnetosfer yaitu adanya peningkatan kerapatan partikel dan terutama peningkatan medan magnet antar planet arah Selatan. Kondisi angin surya pada 29 Mei 2010 ditunjukkan dalam Gambar 3-2. Dalam Gambar tampak kecepatan angin surya berada di kisaran 350 km/s. Adanya peningkatan kecepatan angin surya dapat merenggangkan kerapatan partikel atau menurunkan kerapatannya dan demikian pula sebaliknya pada saat kecepatan angin surya menurun secara perlahan akan diikuti peningkatan kerapatan partikel angin surya. Pada kejadian ini kondisi medan magnet antar planet dalam B_z mengarah ke Selatan. B_z memiliki nilai negatif. Pada kondisi arah medan magnet antar planet ke Selatan berlawanan arah dengan garis gaya medan geomagnet yang selalu mengarah ke utara, maka terjadilah peristiwa rekoneksi magnet. Dalam peristiwa ini terjadi proses transfer energi dari angin surya ke magnetosfer.



Gambar 3-1: Masing-masing dari gambar atas ke bawah menunjukkan a) variasi harian geomagnet komponen horizontal (ΔH) pada 29 Mei 2010, b) variasi hari tenang geomagnet (SqH) dan c) gangguan geomagnet (DH) dari stasiun geomagnet Manado. Puncak gangguan geomagnet terlihat sekitar pukul 12 UT

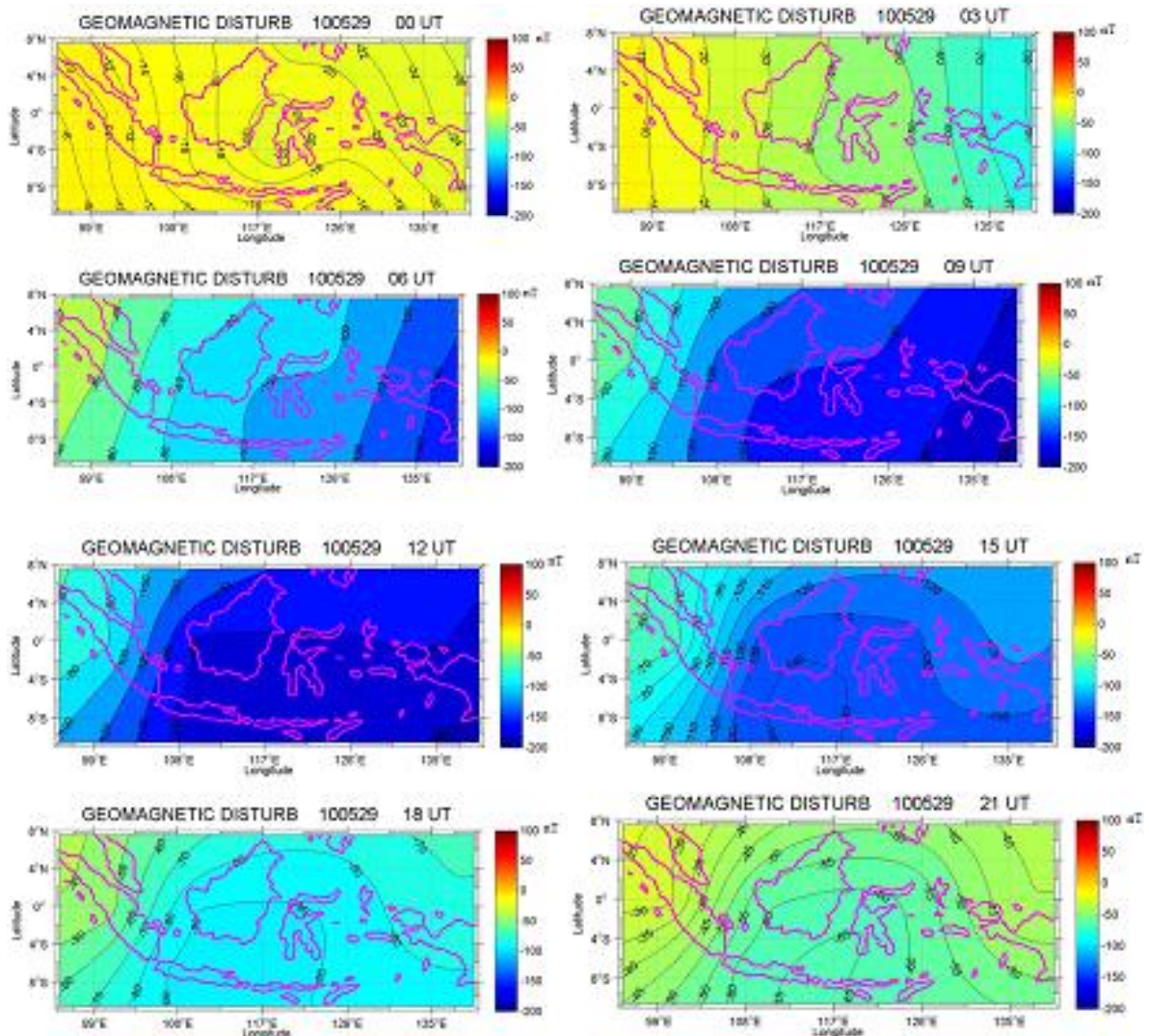
Kondisi angin surya (kecepatan, kerapatan dan medan magnet antarplanet /IMF) pada tanggal 29 Mei 2010



Gambar 3-2: Kondisi kecepatan dan kerapatan partikel angin surya serta medan magnet antar planet pada 29 Mei 2010 dari *Goddard Space Flight Center, Space Physics Data Facility*, <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>

Kecepatan angin surya relatif rendah, dan tidak banyak bergejolak, sementara terjadi peningkatan kerapatan sekitar 9 partikel/cm³ pada pukul 01:00 UT sampai dengan pukul 04:00 UT. Puncak Gangguan geomagnet terjadi pada pukul 12:00 UT ditunjukkan dalam Gambar 3-2. Untuk mengetahui kondisi di magnetosfer pada satu jam sebelumnya, yaitu pada pukul 11:00 UT, kerapatan angin surya 4,6 partikel/cm³ dan kecepatannya 352 km/s. Sedangkan medan magnet antar planet mengarah ke Selatan mencapai -13,8 nT. Dengan kondisi angin surya dan medan magnet antar planet seperti itu dapat diketahui energi masukannya. Energi kopling antara angin surya dan magnetosfer dihitung menggunakan persamaan (2-3) dan hasilnya energi mencapai $2,12 \times 10^{12}$ Joule pada pukul 11:00 UT. Dalam hal ini nilai $r_0 = 8,9 R_E$, ditentukan berdasarkan persamaan (2-4). Medan listrik merger E_m ditentukan berdasarkan persamaan (2-5) dan diperoleh nilainya sebesar 4,8 mV/m. Gangguan geomagnet di lintang rendah ini disebabkan oleh arus cincin dan arus *magnetopause* yang berasal dari tekanan dinamik angin surya. Kontribusi tekanan dinamik angin surya terhadap gangguan geomagnet dihitung menggunakan persamaan (2-8) dengan konstanta $b = 7,26$ dan $c = 11$ (Nagatsuma *et al.*, 2015), sehingga gangguan geomagnet terbebas dari efek *magnetopause*. Gangguan geomagnet ini dinyatakan dalam indeks Dst^* dan berdasarkan persamaan (2-8) diperoleh nilai $Dst^* = -73$ nT. Nilai ini menunjukkan gangguan geomagnet yang ditimbulkan oleh arus cincin.

Dari peta dalam Gambar 3-3, nampak adanya pergeseran gangguan geomagnet dari timur ke arah barat dengan kecepatan sekitar 55 km/jam. Hal ini menunjukkan keberadaan arus cincin. Dengan menggunakan persamaan (2-7) diperoleh estimasi energi injeksi untuk arus cincin (Q) pada tanggal 29 Mei 2010 pukul 11:00 UT adalah sebesar $Q = 21,4$ nT/jam.



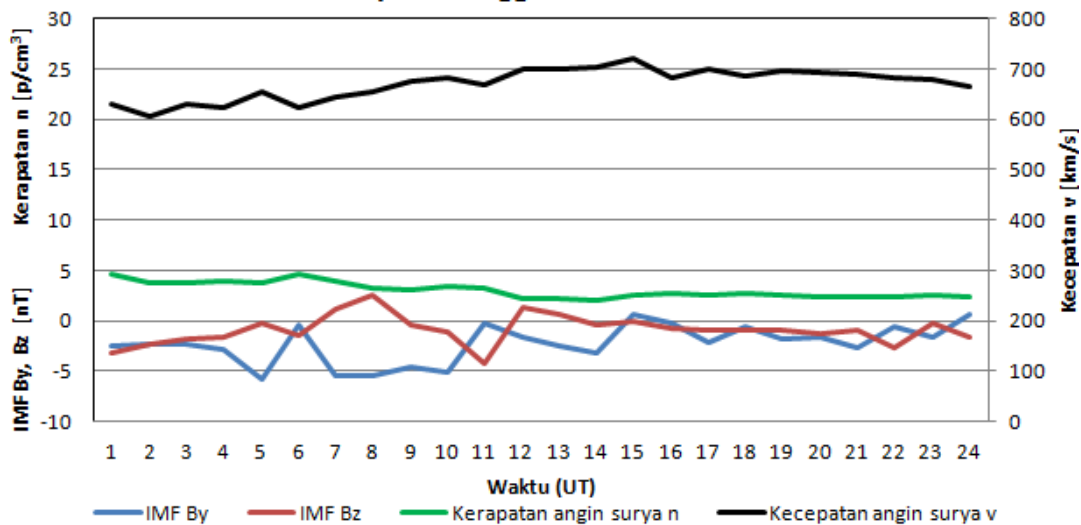
Gambar 3-3: Peta gangguan geomagnet wilayah Indonesia 29 Mei 2010 dari pukul 00:00 UT sampai dengan pukul 21:00 UT

3.2 Analisis Data Geomagnet 3 Mei 2010

Dengan cara yang sama seperti pada bab 3.1 diketahui munculnya gangguan geomagnet pada 3 Mei 2010. Gambar 3-4 masing-masing menunjukkan parameter angin surya (kerapatan partikel dengan kecepatan) dan intensitas medan magnet antar planet (B_y dan B_z). Angin surya mempunyai kecepatan maksimum lebih dari 700 km/s. Pada pukul 6:00 UT kecepatan angin surya mulai naik, sedangkan kerapatan mulai turun. Setelah itu medan magnet antar planet B_z mulai negatif (ke Selatan). Pada pukul 10:00 UT medan magnet antar planet mengarah ke Selatan dengan nilai $B_z = -4,3$ nT, sehingga kondisi seperti ini diperkirakan akan terjadi proses rekoneksi. Setelah kecepatan angin surya sebesar 670 km/s, kerapatan partikelnya sekitar 3,2 partikel/cm³.

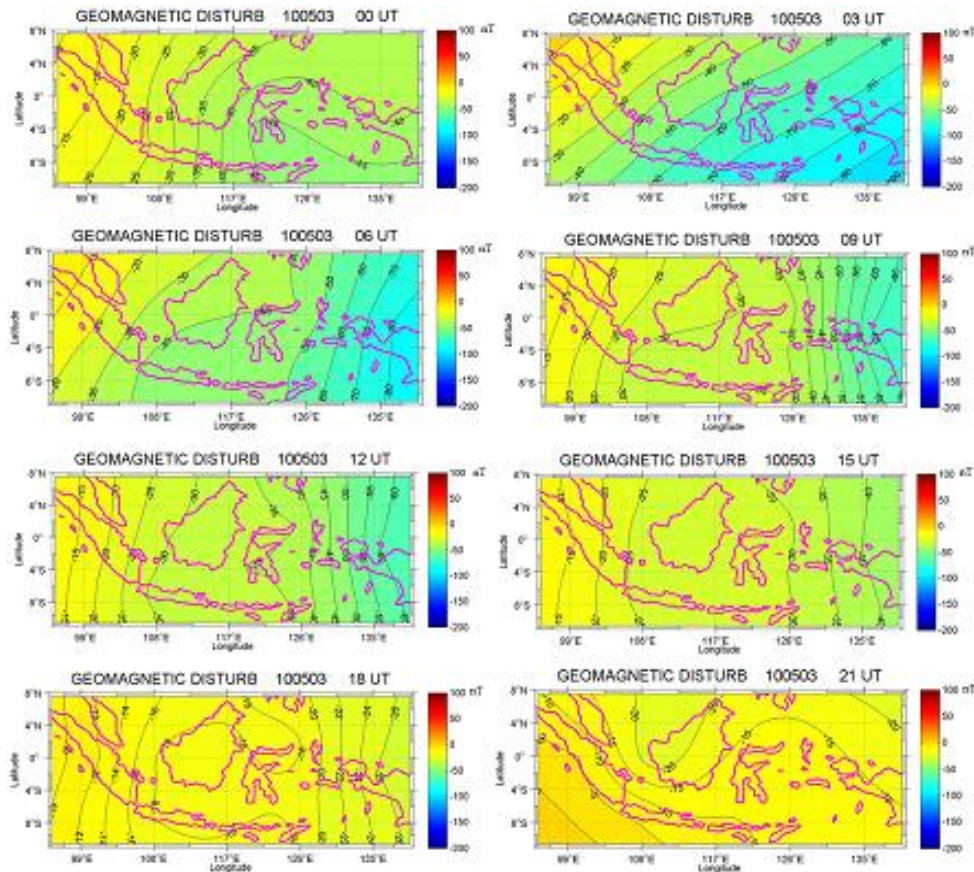
Dengan kondisi angin surya dan medan magnet antar planet seperti itu kemudian dihitung energi masukannya berdasarkan persamaan (2-3) dan diperoleh $\epsilon = 3,09 \cdot 10^{11}$ joule dengan perhitungan r_0 dari persamaan (2-4) sebesar 9,43 R_E . Medan listrik merger E_m hasil perhitungan berdasarkan persamaan (2-5) diperoleh sebesar 2,4 mV/m. Indeks Dst^* dari persamaan (2-8) yang terkoreksi tekanan dinamik *magnetopause* diperoleh sebesar -37 nT. Besarnya energi injeksi untuk arus cincin hasil perhitungan berdasarkan persamaan (2-7) diestimasikan sebesar $Q = 14,8$ nT/jam. Fenomena ini menunjukkan bahwa arus cincin dapat menyebabkan gangguan geomagnet.

Kondisi angin surya (kecepatan, kerapatan dan medan magnet antarplanet/IMF) pada tanggal 3 Mei 2010



Gambar 3-4: Kondisi kecepatan dan kerapatan partikel angin surya serta medan magnet antar planet komponen By dan Bz pada 3 Mei 2010 dari *Goddard Space Flight Center, Space Physics Data Facility*, <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>

Gambar 3-5 merupakan peta gangguan geomagnet wilayah Indonesia. Dari perubahan gangguan geomagnet memperlihatkan adanya pergeseran gangguan geomagnet dari timur ke barat sama seperti gangguan geomagnet 29 Maret 2010. Pergeseran gangguan geomagnet sebesar 37 km/jam. Hal ini menunjukkan aliran arus cincin dengan arah ke barat.

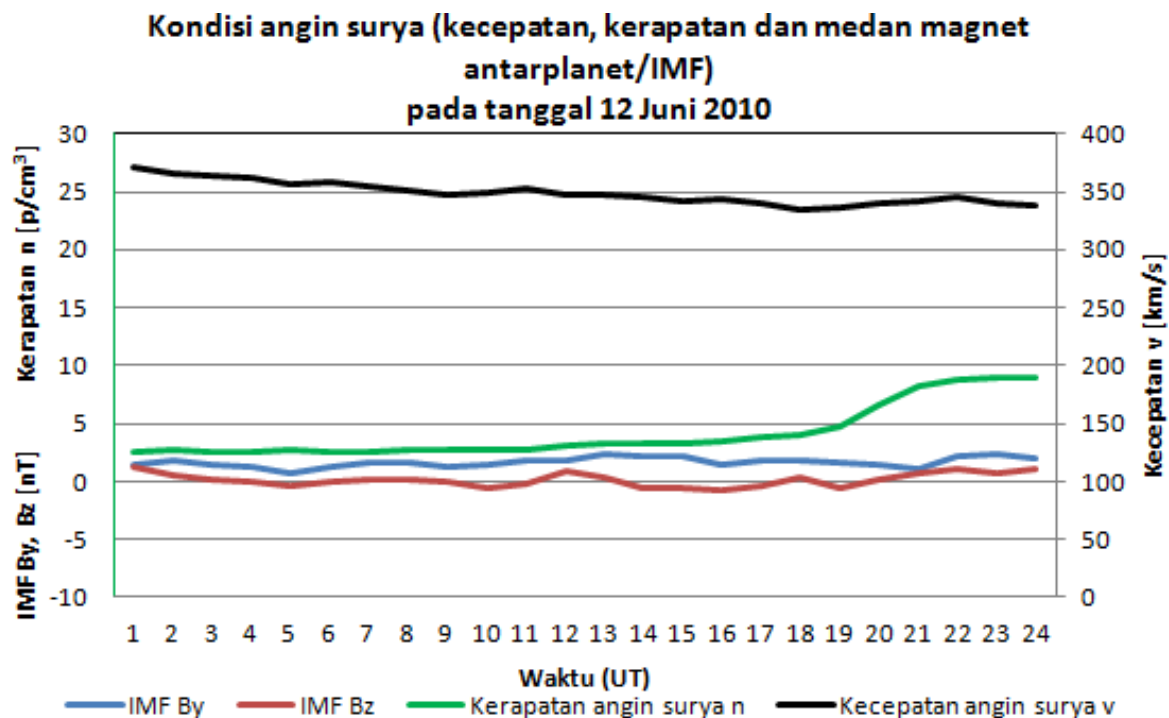


Gambar 3-5: Peta gangguan geomagnet wilayah Indonesia 3 Mei 2010 dari pukul 00:00 UT sampai dengan pukul 21:00 UT

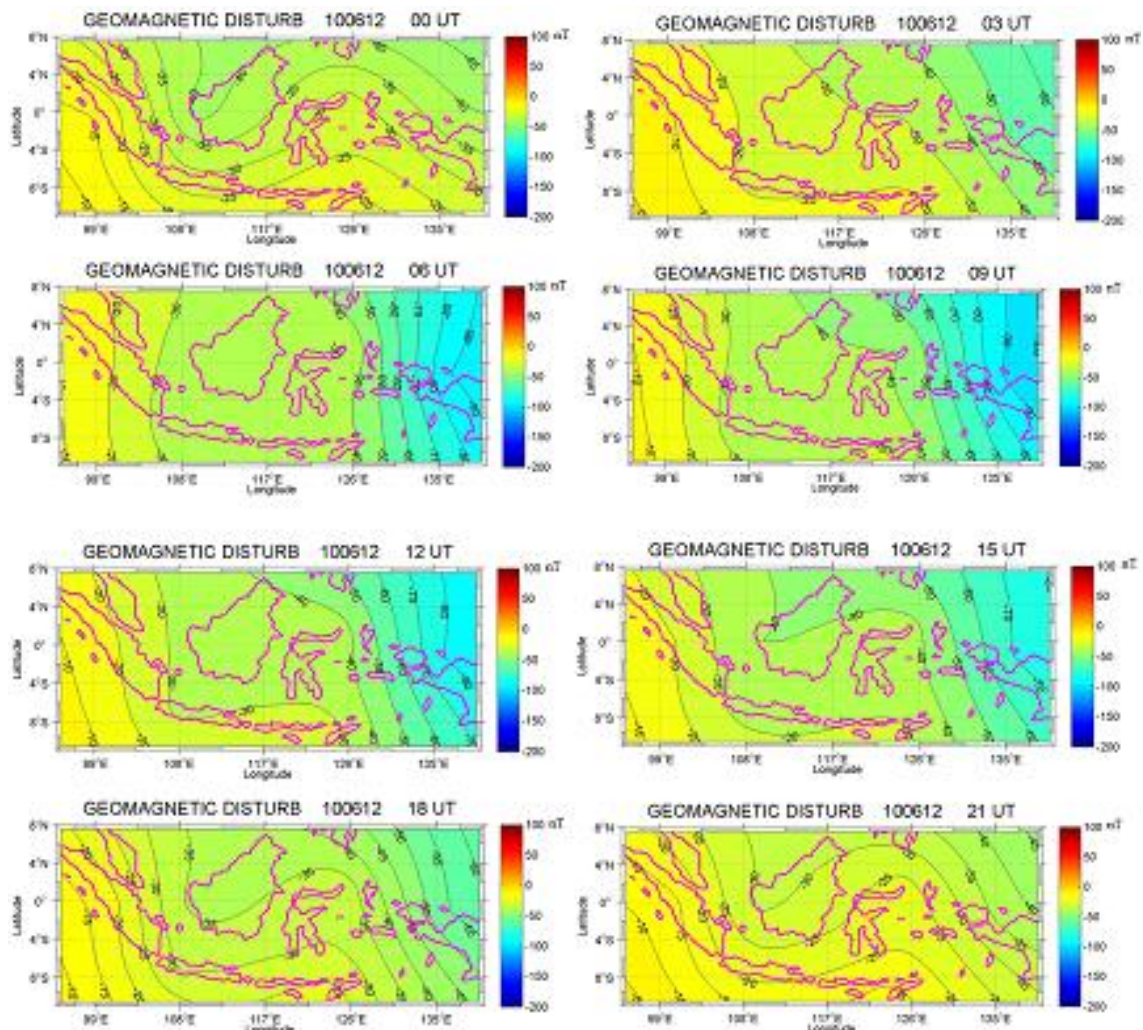
3.3 Analisis Data Geomagnet 12 Juni 2010

Variasi geomagnet yang terjadi pada 12 Juni 2010 merupakan tinjauan pada kondisi hampir tenang. Kondisi angin surya dan medan magnet antar planet pada 12 Juni 2010 ditunjukkan dalam Gambar 3-6. Kecepatan angin surya berkisar 370 km/s hingga 340 km/s, dan tergolong dalam kecepatan rendah. Kerapatan partikel angin surya berkisar 3 partikel/cm³ dan secara berangsur-angsur naik dengan menurunnya kecepatan. Kondisi Bz sekitar nol atau lebih besar dari -1 nT. Walaupun Bz mengarah ke Selatan (Bz negatif) tetapi nilainya kecil, sehingga energi yang ditransfer dari angin surya ke magnetosfer relatif kecil. Kondisi magnetosfer pada pukul 9:00 UT, tercatat medan magnet antar planetnya sebesar -0,5 nT dan kecepatan angin suryanya sebesar 349 km/s serta kerapatan partikelnya 2,7 partikel/cm³. Dari persamaan (2-3) energi masukannya diperoleh $\varepsilon = 4,2 \cdot 10^{10}$ joule dengan $r_0 = 12,3 R_E$. Medan listrik merger E_m dari persamaan (2-5) diperoleh $E_m = 0,49$ mV/m. Indeks Dst* dari persamaan (2-8) yang terbebas dari tekanan dinamik *magnetopause* sebesar $Dst^* = -2$ nT dan energi injeksi untuk arus cincin Q dari persamaan (2-7) sebesar 2,9 nT/jam. Menurut O'Brien dan McPerron (2000) ambang batas E_c untuk terjadinya arus cincin adalah 0,49 mV/m dan menurut Burton *et al.* (1975) $E_c = 0,5$ mV/m. Dengan medan listrik merger hampir sama dengan ambang batasnya sekitar 0,49 mV/m dan energi Q sebesar 2,9 nT/jam mendekati energi ambang batas $Q = 2,2$ nT/jam, maka dapat dikatakan bahwa pada 12 Juni 2010 hampir tidak terjadi aliran arus cincin sehingga gangguan geomagnetnya sangat lemah $Dst^* = -2$ nT atau tidak terjadi gangguan geomagnet.

Berdasarkan peta gangguan geomagnet ditunjukkan dalam Gambar 3-7, pada 12 Juni 2010 tidak terlihat adanya pergeseran gangguan geomagnet, artinya tidak terjadi aliran arus cincin.



Gambar 3-6: Kondisi kecepatan, kerapatan angin surya dan medan magnet antar planet By dan Bz pada 12 Juni 2010 dari *Goddard Space Flight Center, Space Physics Data Facility*, <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>.



Gambar 3-7: Peta gangguan geomagnet wilayah Indonesia tanggal 12 Juni 2010 dari pukul 00:00 UT sampai dengan pukul 21:00 UT

3.4 Analisis Energi Pada Gangguan Geomagnet

Dari tiga kejadian gangguan geomagnet yang dianalisis dapat ditabelkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: ANALISIS ENERGI GANGGUAN GEOMAGNET

Tanggal	Bz (nT)	v (km/s)	N (/cm ³)	L ₀ (R _E)	ε (x10 ¹¹ J)	Em (mV/m)	Dst* (nT)	Q (nT/jam)
3 Mei'10	-4,3	670	3,2	9,4	3,1	2,4	-37	14,8
29 Mei'10	-13,8	352	4,6	8,9	21,2	4,8	-73	21,4
12 Jun'10	-0,5	349	2,7	12,3	0,42	0,49	-2	2,9

Arah medan magnet antar planet Bz memegang peranan penting dalam proses gangguan geomagnet. Terjadinya proses rekoneksi diawali dengan arah medan magnet antar planet Bz ke arah selatan, berlawanan dengan arah garis gaya medan geomagnet di magnetosfer yang mengarah utara, sehingga partikel angin surya masuk ke magnetosfer bagian dalam. Pada peristiwa ini terjadilah transfer energi dari angin surya ke magnetosfer. Selain itu besaran medan magnet antar planet ini juga mempengaruhi besarnya energi yang ditransfer sehingga gangguan geomagnet menjalar sampai ke Bumi. Tabel 3-1 menunjukkan bahwa pada 29 Mei 2010, kuat medan magnet antar planet Bz = -13,8 nT dan kecepatan angin surya v = 352 km/dt, masukan energinya sebesar 2,12 x10¹² Joule, medan listrik merger Em = 4,8 mV/m dan gangguan geomagnet arus cincin dinyatakan dengan indeks Dst* = -73 nT dengan injeksi energi ke arus cincin sebesar Q= 21,4 nT/jam.

Pada kejadian 3 Mei 2010, walaupun kecepatannya tinggi tetapi kuat medan magnet antar planetnya rendah sehingga hasil perhitungan gangguan geomagnetnya tidak terlalu tinggi $Dst^* = -37$ nT. Bahkan untuk kejadian 12 Juni 2010 dengan Bz yang rendah dan kecepatan angin suryanyapun rendah, sehingga gangguan geomagnet yang terjadi tergolong sangat lemah. Hal ini dikarenakan energi injeksi untuk arus cincin masih hampir sama dengan ambang batasnya, dan indeks Dst^* asal arus cincin hanya mencapai -2 nT. Dalam kondisi seperti ini aliran arus cincin tidak terjadi. Dalam kopling angin surya - magnetosfer - ionosfer, kecepatan dan medan magnet antar planet arah selatan memegang peranan penting dalam memicu terjadinya gangguan geomagnet. Jika kedua parameter itu besar maka akan terjadi gangguan geomagnet di permukaan Bumi.

4 KESIMPULAN

Dengan menganalisis data parameter angin surya dan medan magnet antar planet dapat dipahami proses terjadinya rekoneksi magnet di magnetosfer. Dalam proses tersebut besarnya energi *input* dari angin surya, medan listrik merger dan energi injeksi untuk arus cincin dapat diperkirakan. Dalam kopling angin surya-magnetosfer-ionosfer peranan kecepatan dan medan magnet antar planet arah selatan sangat penting dalam mengestimasi transfer energi sehingga dapat mengetahui gangguan geomagnet yang terjadi. Dari hasil analisis data diperoleh energi injeksi untuk arus cincin Q masing-masing 14,8 nT/jam, 21,4 nT/jam dan 2,9 nT/jam, berturut-turut untuk kejadian 3 Mei, 29 Mei dan 12 Juni 2010. Dua kejadian 3 dan 29 Mei 2010 memiliki energi yang cukup besar untuk membentuk aliran arus cincin. Berdasarkan hasil analisis peta gangguan geomagnet di wilayah Indonesia, terlihat adanya pergeseran gangguan geomagnet dari timur ke arah barat, hal ini menunjukkan adanya aliran arus cincin yang mengalir dari timur ke arah barat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), *Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL) Nagoya University* dan *International Center for Space Weather Science and Education (ICSWSE) Kyushu University* yang telah bekerja sama dalam pengamatan geomagnet di Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Ballatore P., and W. D. Gonzalez, 2003. *On the Estimates of the Ring Current Injection and Decay*, Earth Planets Space, 58, 427-435.
- Burton R. K., R. I. McPherron, C. T. Russell, 1975. *An Empirical Relationship Between Interplanetary Conditions and Dst*, J. Geophys. Res., 80(31), 4204-4214.
- Habirun, Rachyany S., Santoso A., Wellyanita V., 2007. *Penentuan Pola Hari Tenang untuk Mendapatkan Tingkat Gangguan Geomagnet di Tangerang*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, LAPAN, Vol 2 No 1, 25-33.
- Kakinami Y., Chen CH., Liu JY., Oyama KL., Yang WH., Abe S., 2009. *Empirical Models of Total Electron Content Based on Functional Fitting over Taiwan During Geomagnetic Quiet Condition*, Ann. Geophys., 27, 3321-3333.
- Kan J R. and L C Lee, 1979. *Energy Coupling Function and Solar Wind - Magnetosphere Dynamo*, Geophysical Research Letters, 6, 7, 577-580.
- Koskinen H E J. And E I. Taskanen, 2002. *Magnetospheric Energy Budget and The Epsilon parameter*, J. Geophys Res., Vol. 107, A11, 1415, SMP 42.1-10.
- Le G., C. T. Russell, K. Takahashi, 2004. *Morphology of the Ring Current Derived from Magnetic Field Observations*, Ann. Geophys., 22, 1267-1295.

- MacMahon R M., and Llop-Romero C., 2008. *Ring Current Decay Time Model During Geomagnetic Storm: A Simple Analytical Approach*, Ann. Geophys.,26, 2543-2550.
- O'Brien T P.,R L. McPherron, 2000. *Forecasting the Ring Current Index Dst in Real Time*, J of Atmospheric and Solar-Terr. Physics, 62, 1295-1299.
- Ruhimat M., 2014. *Pemetaan Gangguan Geomagnet di Indonesia Menggunakan Metode Kriging*, Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya, LAPAN.
- Ruhimat M., M. A. Aris, C. Y. Yatini, 2013. *Model Empirik Hari Tenang Geomagnet di Regional Indonesia*, Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa, Lapan, 308-316.
- Saiz E., Y. Cerrato, C Cid, V. Dobrica, P. Hejda, P. Nenovski, P. Stauning, J. Bochnicek, D. Danov, C. Demetrescu, W D. Gonzalez, G. Maris, D. Teodosiev, F. Valach, 2013. *Geomagnetic Responce to Solar and Interplanetary Disturbances*, J. Space Weather Space Clim. 3, A26,1-20.
- Shue JH., Song P., Russeli CT., Chao JK., Yang YH., 2000. *Toward Predicting the Position of the Magnetopause within Geosynchronous Orbit*, Journal Geophysics Research, 105 (A2) :2641-2656.
- Van Zele M. A., 2002. *Contributions to The Ring Current Energy during Geomagnetic Storms*, Stud. geophys. geod., 46 (2002), 33–41.
- Yamazaki Y., K. Yumoto, G. Cardinal, B.J. Fraser, P M. Hattori, Y. Kakinami, J.Y. Liu, K.J.W. Lynn, R. Marshall, D.Mc. Namara, T. Nagatsuma, V.M. Nikiforov, R.E. Otadoy, M. Ruhimat, B.M. Shevtsov, K. Shiokawa, S. Abe, T. Uozumi, A. Yoshikawa, 2011. *An Empirical Model of the Quiet Daily Geomagnetic Field Variation*, J. Geophys. Res. Vol 116, A10312, 1-21.
- Zaourar N., M. Hamoudi, M. Manda, G. Balasis, and M. Holschneider, 2013. *Wavelet-Based Multiscale Analysis of Geomagnetic Disturbance*, Earth Planets Space, 65, 1525–1540.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/magnetosfer>. diunduh tanggal 29 September 2015.
- <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>. diunduh tanggal 6 Maret 2015.