

# STUDI GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENT (GIC) DI INDONESIA BERDASARKAN VARIASI MEDAN GEOMAGNET DAN DERIVATIFNYA

Anwar Santoso

Bidang Aplikasi Geomagnet dan Magnet Antariksa  
Pusat Pemfaatan Sains Antariksa LAPAN- Bandung  
e-mail : anwar@bdg.lapan.go.id

## ABSTRAK

Salah satu dampak negatif cuaca antariksa pada sistem-sistem teknologi tinggi adalah kejadian induksi arus geomagnet (*Geomagnetically Induced Current*) pada sistem jaringan distribusi listrik selama terjadinya badai geomagnet kuat. Analisis variasi komponen H medan geomagnet dan derivatifnya ( $dH/dt+dD/dt$ ) pada saat badai geomagnet kuat tanggal 31 Maret 2001 dan 6 Nopember 2001 menggunakan data medan geomagnet stasiun Biak (komponen H dan D) menunjukkan bahwa variasi ( $dH/dt + dD/dt$ ) yang cukup besar signifikan terhadap kemunculan GIC.

**Kata Kunci :** Geomagnetically Induced Current, derivatif medan geomagnet.

## ABSTRACT

One of negative impacts of space weather on technological system is the occurrence of geomagnetically induced current (GIC) on electric power grids during large magnetic storm. Analysis of variations of the horizontal component geomagnetic field and its time derivative ( $dH/dt+dD/dt$ ) at the time of intense geomagnetic storm on March 31, 2001 and November 6, 2001 by using Biak station geomagnetic field data (H and D components) shown that the large ( $dH/dt+dD/dt$ ) determining significant to GIC appearing.

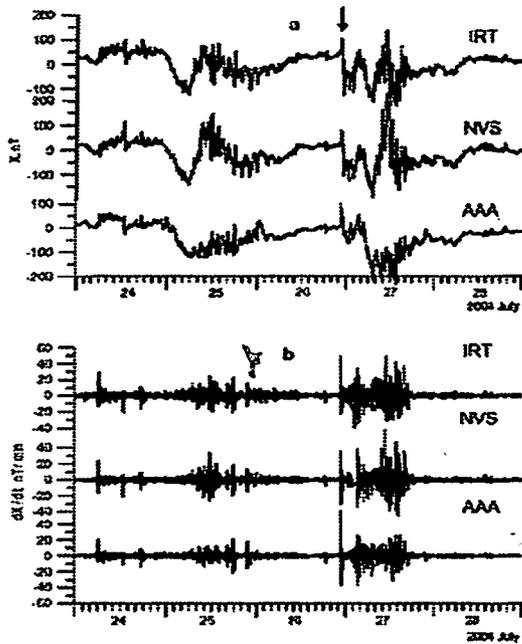
**Keywords:** Geomagnetically Induced Current, time derivative of geomagnetic field

## 1. PENDAHULUAN

Saat badai geomagnet besar, variasi medan geomagnet menimbulkan arus-arus induksi di seluruh permukaan bumi yang dinamakan *Geomagnetically Induced Currents* (GIC). GIC dapat menyebabkan masalah serius pada operasi sistem tenaga listrik, mengganggu operasional *transformer* dan fasilitas lainnya. Masalah-masalah GIC terbesar terjadi pada sistem tenaga listrik di daerah lintang tinggi karena letaknya yang dekat dengan dinamika elektrojet aurora; karenanya, mayoritas studi tentang GIC berada di lintang tinggi. Koen dan Gaunt (2002) telah membuktikan bahwa GIC terdapat di lintang menengah selama badai geomagnet kuat. Koen dan Gaunt melakukan pengukuran  $dH/dt$  secara simultan bersamaan dengan pencatatan GIC pada jaringan aliran listrik Afrika selatan. Perbandingan GIC dan harga  $dH/dt$  telah menunjukkan hasil yang signifikan ketika harga  $\sim dH/dt \sim > 5$  nT/menit (ambang batas). Bahkan, Kappenman (2003) telah menunjukkan bahwa semburan global intensitas medan geomagnet dapat menyebabkan kemunculan GIC yang

*Geomagnet dan Magnet Antariksa* (2009), 35-44  
© 2009 Massma Publishing, Jakarta.

signifikan di seluruh lintang geomagnet termasuk di ekuator. Tahun 2007, Vodjannikov *et al.* (2007) juga telah membuktikan bahwa GIC terdapat di lintang menengah-rendah selama badai geomagnetik kuat. Mereka melakukan pengukuran ( $dD/dt + dH/dt$ ) secara simultan menggunakan data medan geomagnet di sekitar Kazakhstan (lihat Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Variasi komponen H (a) derivatifnya ( $dH/dt$ ), (b) dua badai geomagnet kuat berurutan di Kazakhstan

Saat ini, masalah GIC juga merupakan masalah aktual untuk Indonesia mengingat adanya jaringan aliran listrik tegangan tinggi PLN (220-1150kV) yang beroperasi sejauh lebih dari 1000 km (Jawa-Bali). Oleh karena itu studi tentang keberadaan GIC di Indonesia menjadi hal yang penting. Tujuannya adalah mempelajari kemungkinan GIC signifikan terjadi di wilayah Indonesia menggunakan data variasi medan geomagnet stasiun Biak.

## 2. DATA

Data yang digunakan dalam kegiatan ini adalah data medan geomagnet harian dari stasiun Biak (Koordinat geografis  $1.02^{\circ}LS$ ;  $132.65^{\circ}BT$ ). Pemilihan data medan geomagnet stasiun Biak dalam studi ini dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan dan kondisi datanya yang cukup panjang yaitu dari tahun 1992 sampai tahun 2004. Selain data medan geomagnet dari stasiun Biak,

**STUDI GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENT (GIC)  
DI INDONESIA BERDASARKAN VARIASI MEDAN GEOMAGNET DAN  
DERIVATIFNYA**

digunakan data indeks Dst untuk identifikasi keberadaan badai geomagnet. Data indeks Dst diperoleh dari <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>.

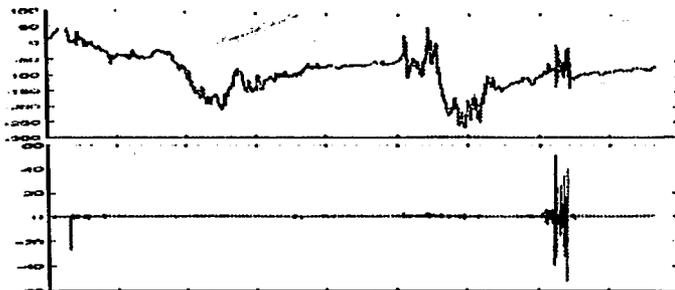
Untuk mempelajari GIC sebenarnya terdapat beberapa metode. Salah satu metode yang umum digunakan adalah berdasarkan linieritas antara GIC yang terukur dari jaringan listrik dan diferensial medan geomagnet ( $dH/dt + dD/dt$ ) sesuai ketetapan hukum Faraday. Validasi metode ini telah dikonfirmasi oleh Bolduc *et al.* (2000) dimana hasil pengukuran yang simultan variasi medan geoelektrik dan  $dH/dt$  medan magnet ortogonal terhadap medan listrik telah diperbandingkan. Perubahan pada komponen H medan geomagnet membangkitkan medan listrik arah timur-barat  $E_y$  dan perubahan komponen D medan geomagnet membangkitkan medan listrik arah utara-selatan  $E_x$ . Arus induksi pada sistem jaringan listrik secara umum dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} I_{GIC} &= c(aE_x + bE_y) & (2-1) \\ E_y &= (H_{t+1} - H_t) / 1 \text{ menit} \\ E_x &= (D_{t+1} - D_t) / 1 \text{ menit} \end{aligned}$$

Dimana  $a$  dan  $b$  bergantung pada geometri dan resistensi saluran listrik. Sedangkan koefisien  $c$  digunakan untuk penyamaan pola GIC antara teori dan pengamatan. Untuk jaringan aliran listrik Finnish di Finlandia yang terbentang tidak terlalu besar (< 300 km), harga  $a$  dan  $b$  masing-masing adalah 10 dan 94 A km/V. Sedangkan untuk Indonesia dengan bentang jaringan listrik yang lebih besar dari Finnish, maka diambil asumsi harga  $a$  dan  $b$  untuk Indonesia masing-masing adalah 1 dan 1 A km/V.

### 3. HASIL

Analisis data dalam kegiatan ini dilakukan pada kejadian badai geomagnet kuat tanggal 25 dan 27 Juli 2004, tanggal 31 Maret 2001 dan tanggal 6 Nopember 2000. Badai geomagnet merupakan fenomena yang terjadi secara global, artinya dampaknya dirasakan oleh seluruh tempat dipermukaan bumi. Kejadian badai geomagnet berurutan tanggal 25 dan 27 Juli 2004, yang menyebabkan gangguan pada komponen H medan geomagnet diKazakhstan (lihat Gambar 1.1) juga dialami oleh komponen H medan geomagnet stasiun Biak di Indonesia, contoh seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



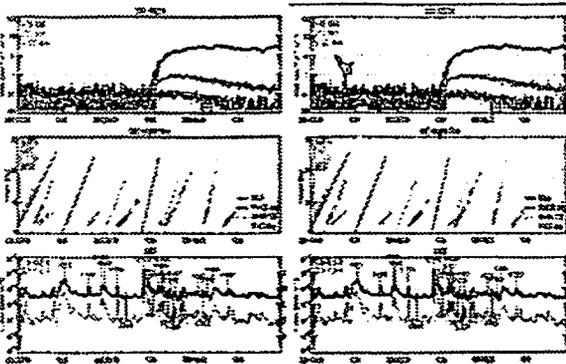
Gambar 3.1. (Atas) Variasi komponen H medan geomagnet di stasiun Biak (Koordinat geografis 1.02°LS; 132.65°BT) dan (Bawah) derivatifnya pada saat badai geomagnet kuat berurutan tanggal 25 dan 27 Juli 2004.

#### 4. PEMBAHASAN

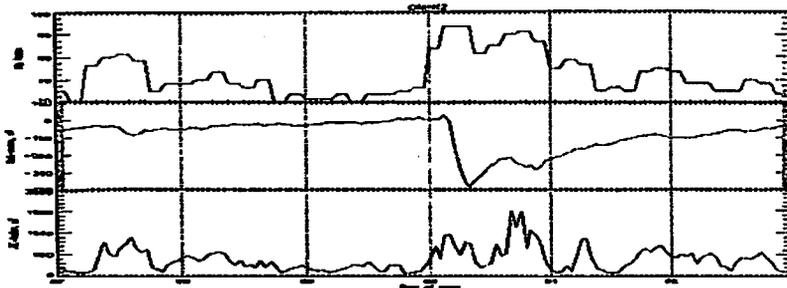
Selain bersifat global, dampak kejadian badai geomagnet yang memicu timbulnya *Geomagnetically Induced Current (GIC)* juga terjadi secara global di seluruh permukaan bumi (lihat Gambar 3-1), namun demikian intensitas  $I_{GIC}$  yang muncul besarnya bergantung pada lokasi dan resistensi masing-masing stasiun pengamatan.

##### 4.1 KASUS BADAI GEOMAGNET KUAT TANGGAL 31 MARET 2001 (SEVERE STORM)

Kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 dicirikan oleh keberadaan flare besar dengan kelas X1.7. Onset flare X1.7 ini terjadi pada 09.52 UT (tercatat oleh GOES-8) dan puncaknya terjadinya pada pukul 10.66 UT. Flare ini terjadi bersamaan dengan daerah aktif area 9393 ( $14^{\circ}\text{N}$ ;  $12^{\circ}\text{W}$ ) yang menghasilkan proton 34 menit setelah onset, tepatnya pukul 10.26 UT. Selanjutnya terjadi kenaikan fluks proton dalam berbagai interval energi. Ilustrasi runtutan kejadiannya dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1. (Atas-tengah) Karakteristik fluks proton dalam berbagai tingkat energi ( $>10\text{MeV}$ ;  $>50\text{MeV}$  dan  $>100\text{MeV}$ ), dan (Bawah) Fluks X-ray pada 2 panjang gelombang yaitu 0.5-4 Å dan 1-8 Å tanggal 28-30 Maret 2001 ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/)).

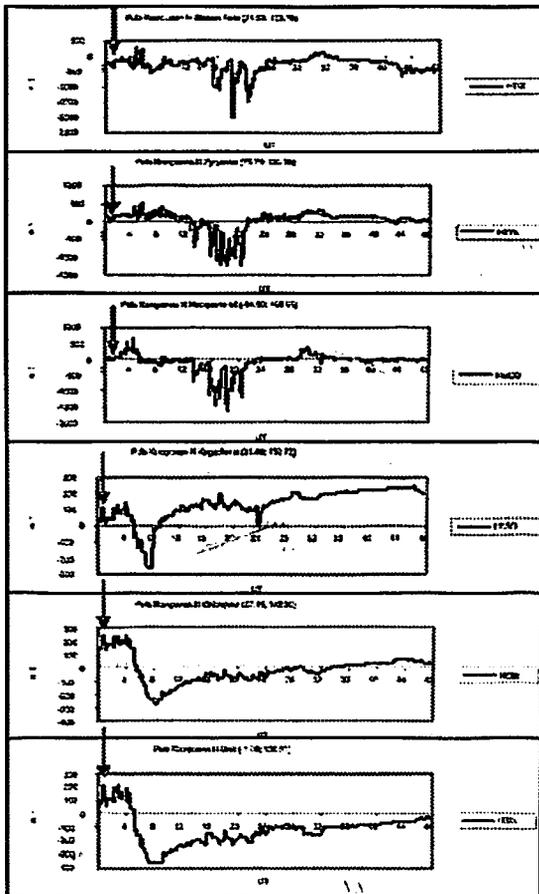


Gambar 4.2. Respon global aktivitas medan geomagnet pada masing-masing area lintang (1) indeks AE yang menyatakan tingkat aktivitas medan geomagnet global di area lintang tinggi ( $60^{\circ}\text{-}90^{\circ}$  kutub-kutub), (2) indeks Kp yang menyatakan tingkat aktivitas medan geomagnet global di area lintang menengah ( $45^{\circ}\text{-}60^{\circ}$  LU/LS) dan indeks Dst yang menyatakan tingkat aktivitas medan geomagnet global di area lintang rendah-ekuator ( $<45^{\circ}$  LU/LS) terhadap kejadian SPE (Solar Proton Events) kelas X1.7 tanggal 29 Maret 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>).

**STUDI GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENT (GIC)  
DI INDONESIA BERDASARKAN VARIASI MEDAN GEOMAGNET DAN  
DERIVATIFNYA**

Kejadian badai geomagnet pada tanggal 31 Maret 2001 ini menyebabkan terjadinya gangguan medan geomagnet secara global. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan indeks tingkat aktivitas medan geomagnet pada 3 area bumi yaitu zona lintang tinggi geografis ( $> 60^\circ$  LU/LS) dengan indeks AE (mencapai harga AE  $> 1500$  nT), zona lintang menengah geografis ( $45^\circ$ - $60^\circ$  LU/LS) dengan indeks Kp (mencapai harga Kp  $> 8$ ) dan zona lintang rendah-ekuator geografis ( $< 45^\circ$  LU/LS) dengan indeks Dst (mencapai harga Dst  $< 400$  nT), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.

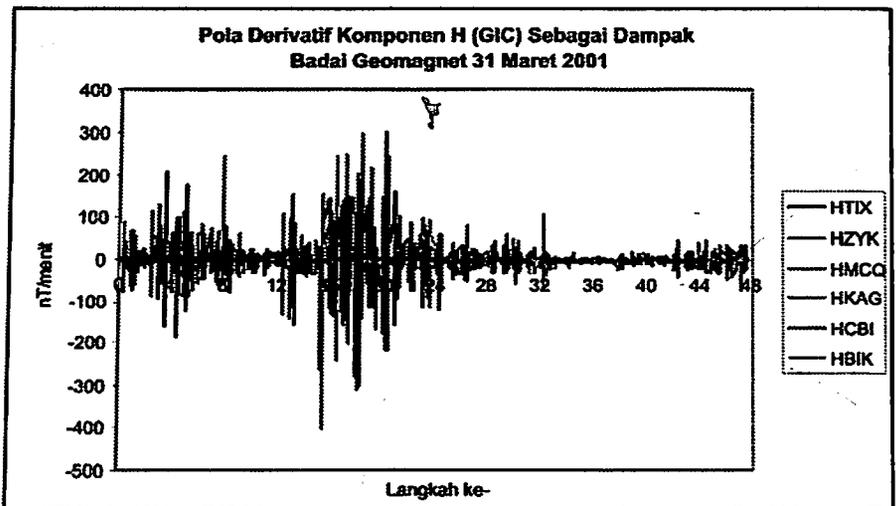
Sedangkan respon komponen H medan geomagnet di seluruh permukaan bumi juga menunjukkan fluktuasi yang berbeda berdasarkan perbedaan lintang. Fenomena ini tampak jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3:



Gambar 4.3. Respon global medan geomagnet (komponen H) pada masing-masing area lintang terhadap kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 (2 gambar atas) Stasiun Tixie dan Zyryanka (stasiun di lintang tinggi), (3 gambar tengah) Stasiun Macquarie Isl., Kagoshima dan Chichijima (stasiun lintang menengah, Macquarie adalah stasiun di lintang tengah belasan selatan) dan (terbawah) stasiun Biak (stasiun di lintang rendah) Indonesia. Keterangan : tanda panah adalah onset SC dari badai geomagnet tersebut.  
<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/210proj/stations.html>

Gambar 4.3. menunjukkan contoh respon global medan geomagnet dari stasiun yang terletak di lintang tinggi baik belahan bumi utara maupun selatan sampai lintang rendah-ekuator. Namun demikian, walaupun respon badai geomagnet diterima secara serempak dan berskala global tetapi intensitas (kekuatan) responnya berbeda-beda berdasarkan lintang. Semakin ke arah ekuator maka intensitas badai geomagnet tersebut semakin kecil / melemah.

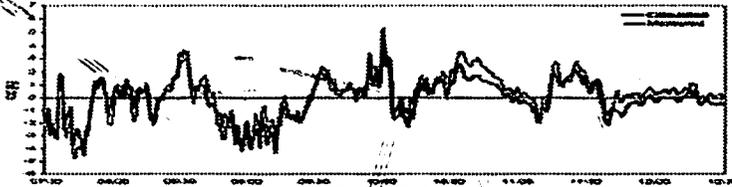
Hal yang hampir sama terjadi pada kemunculan *Geomagnetic Induced Current* (GIC) sebagai dampak dari keberadaan badai geomagnet pada tanggal 31 Maret 2001. Keberadaan GIC tersebut berskala global dan serempak namun dengan intensitas yang semakin lemah ke arah ekuator. Fenomena ini terlihat jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pola derivatif komponen H ( $dH/dt$ ) yang dianalogikan sebagai GIC dampak dari keberadaan badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 muncul secara serempak dan berskala global. Keterangan : tanda panah adalah onset SC dari badai geomagnet tersebut. (<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/210proj/>)

Sebagai ilustrasi nyata kemunculan GIC, adalah yang dilakukan oleh Koen dan Gaunt (2002) saat kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 adalah kemunculan arus GIC sebesar  $\pm 6$  A pada trafo tegangan 400kV di Grassridge, Afrika, Selatan. Bahkan, mereka juga telah melakukan konversi pola dan besar derivatif medan geomagnet stasiun Hermanus (Hermanus Magnetic Observatory, koordinat geografis  $34.40^\circ$  LS;  $19.22^\circ$  BT) terhadap pola arus GIC tersebut. Ilustrasinya seperti ditunjukkan pada Gambar 4-5 di bawah ini.

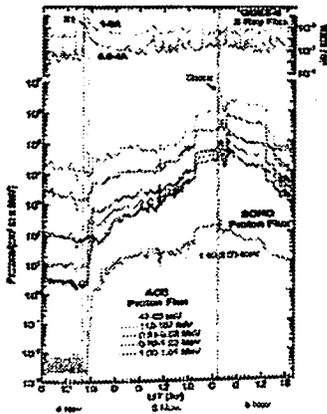
**STUDI GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENT (GIC)  
DI INDONESIA BERDASARKAN VARIASI MEDAN GEOMAGNET DAN  
DERIVATIFNYA**



Gambar 4.5. Pola arus GIC hasil pengamatan yang muncul di Grassridge-Afrika Selatan sebagai dampak badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 serta hasil konversi pola derivatif medan geomagnet stasiun Hermanus (Koordinat geografis 34.40° LS; 19.22° BT) terhadap arus GIC terukur (Koent dan Gaunt, 2002).

**4.2 KASUS BADAI GEOMAGNET KUAT TANGGAL 6 NOPEMBER 2001**

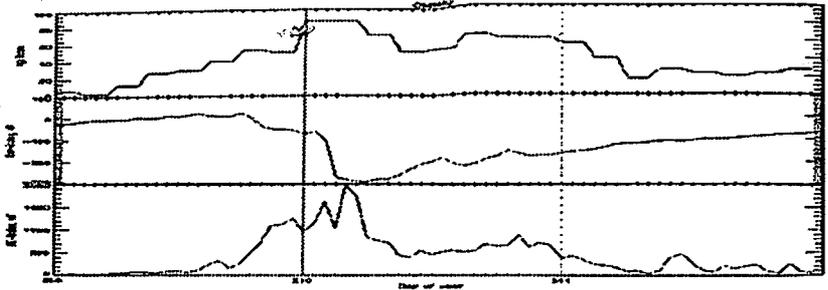
Peristiwa *Solar Proton Event* (SPE) tanggal 4 Nopember 2001 merupakan kejadian semburan partikel-partikel berenergi yang paling kuat dengan kelas flare X1.0 sebagai hasil letusan pada daerah aktif di permukaan matahari nomor 9684 terletak pada koordinat (6° LU; 18° BB) dimulai pukul 16.03 UT dan mencapai maksimum pukul 16.20 UT. Selanjutnya ± 45 setelah maksimum flare, fluks proton disebarkan dari permukaan matahari dengan kecepatan ~1810 km/s (LASCO/SOHO). SSC badai geomagnet teramati pada medan geomagnet di permukaan bumi, 33 jam setelah CME, tepatnya pukul 01.20 UT tanggal 6 Nopember 2001 dan selanjutnya terjadi badai geomagnet yang ditunjukkan dengan adanya depresi pada medan geomagnet yang mencapai titik terendahnya pada harga HBIK ~ -200 nT pukul 04.18 UT (sekitar 178 menit) tanggal 6 Nopember 2001. Ilustrasinya kejadian dan intensitas SPE ditunjukkan pada Gambar 4-6.



Gambar 4.6. (Atas) Fluks X-ray pada 2 panjang gelombang berbeda 0.5-4 A dan 1-8 A. (Bawah) Karakteristik fluks proton dalam bermacam tingkat energi (Rawat et al., 2006)

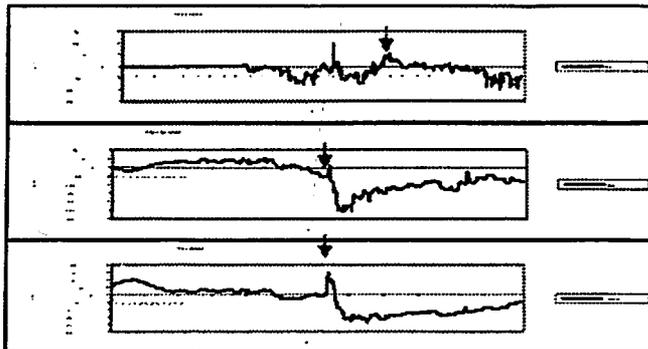
Sama seperti kejadian badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001, kejadian badai geomagnet pada tanggal 6 Nopember 2001 ini juga menyebabkan terjadinya gangguan medan geomagnet secara global. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan indeks tingkat aktivitas medan geomagnet pada 3 area-bumi yaitu zona

lintang tinggi geografis ( $> 60^\circ$  LU/LS) dengan indeks AE (mencapai harga AE  $\pm 2000$  nT), zona lintang menengah geografis ( $45^\circ$ - $60^\circ$  LU/LS) dengan indeks Kp (mencapai harga Kp  $> 8$ ) dan zona lintang rendah geografis ( $< 45^\circ$  LU/LS) dengan indeks Dst (mencapai harga Dst  $\pm 300$  nT), seperti ditunjukkan pada Gambar 4-7.



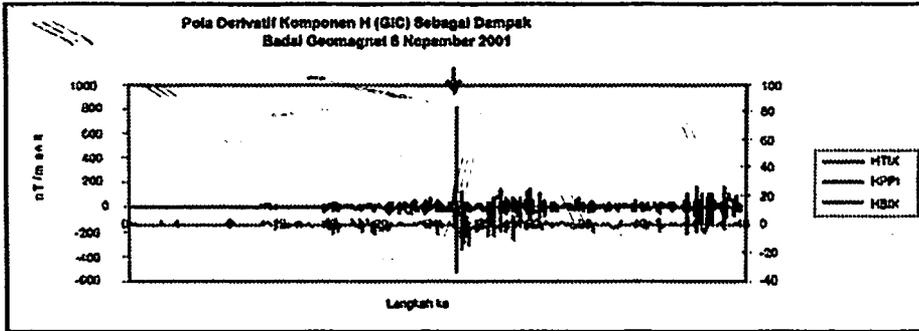
Gambar 4.7. Respon global aktivitas medan geomagnet pada masing-masing area lintang (1) indeks AE, (2) indeks Kp dan (3) indeks Dst terhadap kejadian SPE (Solar Proton Events) kelas X1.0 tanggal 4 Nopember 2001 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>).

Sedangkan respon komponen H medan geomagnet di seluruh permukaan bumi juga menunjukkan fluktuasi yang berbeda berdasarkan perbedaan lintang. Fenomena ini tampak jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 4-8. Seperti halnya kemunculan GIC saat badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001, GIC juga muncul pada saat badai geomagnet yang terjadi pada tanggal 6 Nopember 2001. Fenomena ini terlihat jelas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9.

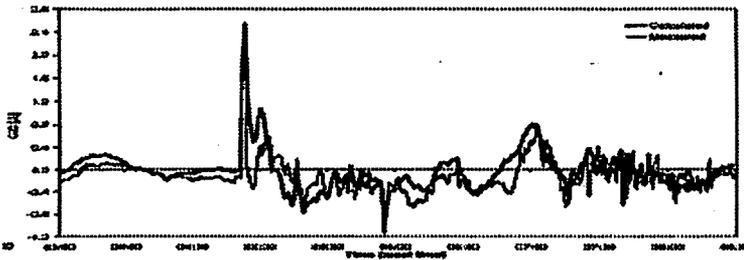


Gambar 4.8. Respon global medan geomagnet (komponen H) pada masing-masing lintang terhadap kejadian badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2001. (Atas) Tixie (stasiun lintang tinggi), (Tengah) St. Paramutoka (stasiun lintang tengah) dan (bawah) Biak Indonesia (stasiun lintang rendah). Tanda panah adalah onset SC (<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/210/proj/stations.html>)

**STUDI GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENT (GIC)  
DI INDONESIA BERDASARKAN VARIASI MEDAN GEOMAGNET DAN  
DERIVATIFNYA**



Gambar 4.9. Pola derivatif komponen H ( $dH/dt$ ) yang dianalogikan sebagai GIC dampak dari keberadaan badai geomagnet tanggal 31 Maret 2001 muncul secara serempak dan berskala global. Keterangan : tanda panah adalah onset SC dari badai geomagnet tersebut. (<http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/210proi/stations.html>)



Gambar 4.10. Pola arus GIC hasil pengamatan yang muncul di trafo Hydra-Afrika Selatan sebagai dampak badai geomagnet tanggal 6 Nopember 2001 serta hasil konversi pola derivatif medan geomagnet dari stasiun Hermanus (Koordinat geografis  $34.40^{\circ}$  LS;  $19.22^{\circ}$  BT) terhadap arus GIC yang telah terukur tersebut (Koent dan Gaunt, 2002).

Untuk lebih jelasnya, Koent dan Gaunt tahun 2002 juga telah membuktikan kemunculan arus GIC sebesar  $\pm 2.8$  A pada trafo tegangan 400kV di Hydra, Afrika Selatan. Bahkan, mereka juga telah melakukan konversi pola dan besar derivatif medan geomagnet dari stasiun Hermanus (Hermanus Magnetic Observatory, koordinat geografis  $34.40^{\circ}$  LS;  $19.22^{\circ}$  BT) terhadap pola arus GIC tersebut. Ilustrasinya seperti ditunjukkan pada Gambar 4-10 di atas.

**5. KESIMPULAN**

Variasi medan geomagnet saat badai geomagnet kuat menyebabkan induksi medan listrik pada jaringan listrik transmisi tegangan tinggi. Sebenarnya, GIC adalah sebuah masalah di daerah lintang tinggi tetapi hasil analisis di atas ternyata GIC juga

muncul di lintang rendah, Indonesia. Walaupun keberadaan GIC di Indonesia (lintang rendah) telah teramati, namun konversi derivatif medan geomagnetnya terhadap arus GIC yang muncul belum dilakukan dan akan dilakukan selanjutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- VV. Vodjannikov, GI. Gordienko, SA. Nechaev, OI. Sokolova, SJ. Homutov and AF. Yakovets, 2007, *Study of geomagnetically induced current from time derivative of Earth's magnetic field*, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., C-99* (398).
- Bolduc L., P. Langlois, D. Boteier and R. Pirjola, 2000, *A study of geoelectromagnetic disturbances in Quebec 2. Detailed analysis of a large event*, *IEE Trans. Power Delivery*, 15, 272-285.
- Koen J. and CT Gaunt, 2002, *Geomagnetically induced currents at mid-latitudes*, *Abs. The 27 General Assembly of URSI, 17-24 August, Netherland, Maastrich*, 177.
- Kappenman JG., 2003, *Storm sudden commencement events and associated geomagnetically induced current risks to ground-based system at low-latitude and mid-latitude locations*, *Space weather*, 1, 3, 1016, doi:10.1029/2003SW000009.
- <http://denji102.geo.kyushu-u.ac.jp/denji/obs/210proj/stations.html>, is Prof. K. Yumoto website in 210MM Project.
- <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>, world data center for geophysical data center support.
- R. Rawat, S. Alex and GS. Lakhina, 2006, *Low-latitude geomagnetic signatures during major solar energetic particle events of solar cycle-23*, *Ann. Geophys.*, 24, 3569-3583, EGU.