

KAJIAN DAMPAK BADAI GEOMAGNET PADA TRAFU DISTRIBUSI LISTRIK (STUDI KASUS TRAFU DISTRIBUSI DI BEKASI)

Anwar Santoso^{*)}, Sarmoko Saroso^{*)}, Habirun^{*)}, Setyanto Cahyo P.^{*)}, Cucu Eman H.^{*)}, Hendrik Maryono^{**)} dan Priyo W.^{***)}

^{*)} Bidang Aplikasi Geomagnet dan Magnet Antariksa, LAPAN

^{**)} P3JB Jawa-Bali, PT. PLN, Bandung-Indonesia

^{***)} Birusoft, IT Consulting, Bandung-Indonesia

Email : anwar@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Geomagnetic storm is a major natural phenomenon in the space weather system that can cause disturbance to HF communication systems, navigation, satellite operation, and power grid transformer. At high and middle latitudes, studies about GIC have been conducted intensively at high and middle latitudes. While, there are not many at low-equator latitude, especially in Indonesia. This research analyzes the impact of geomagnetic storm at the power grid transformer in Indonesia by harmonic and FFT methods, as the initial effort to understand its behavior. The analysis using H data component around the longitudinal of Biak ground station during 2000 to 2004 was carried out and compared to the result at high and middle latitudes. Moreover, the neutral current froms PLN'S transformer was measured as well. The result shows that during the appearance of geomagnetic storm, the GIC phenomenon is potential to occur in Indonesia. However, to find out the amplitude of GIC occurrence at the geomagnetic storm, advanced researches need to be conducted.

Keywords: *Geomagnetically Induced Current (GIC), Geomagnetic storm*

ABSTRAK

Badai geomagnet merupakan salah satu fenomena alam terpenting dalam sistem cuaca antariksa yang keberadaannya bersifat acak dan dapat menyebabkan gangguan pada sistem komunikasi HF, navigasi, operasional satelit dan jaringan listrik. Di daerah lintang tinggi dan menengah, studi GIC telah banyak dilakukan, sedangkan di lintang rendah-ekuator terutama di Indonesia belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, pada makalah ini dilakukan kajian dampak badai geomagnet pada sistem trafo pendistribusi jaringan listrik di Indonesia dengan metode harmonik dan *Fast Fourier Transform (FFT)*, sebagai langkah awal untuk memahami keberadaannya. Hasil studi secara analitik menggunakan komponen H di sekitar longitudinal stasiun Biak tahun 2000-2004, didukung hasil-hasil kegiatan yang telah dilakukan di lintang tinggi dan menengah serta pengukuran arus netral keluaran trafo PLN diperoleh sebuah kesimpulan bahwa pada saat badai geomagnet, fenomena kemunculan GIC potensial terjadi di Indonesia. Namun demikian, untuk memastikannya dan untuk mengetahui amplitudo kemunculan GIC pada masing-masing kejadian badai geomagnet, masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan dukungan data yang lebih panjang dan lengkap.

Kata kunci: *Arus induksi geomagnet (GIC), Badai geomagnet*

1 PENDAHULUAN

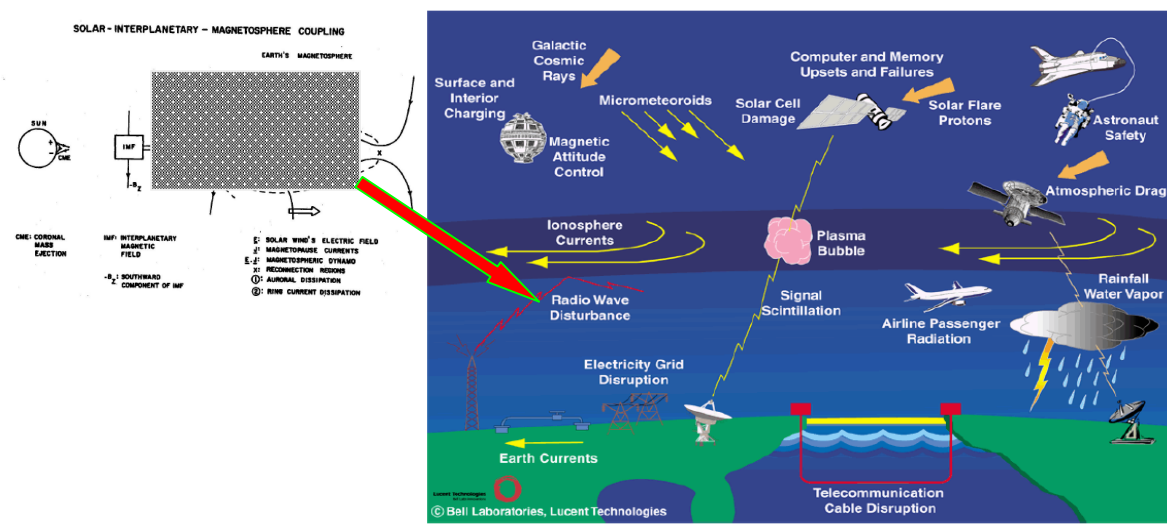
Badai geomagnet merupakan fenomena global utama dalam hubungan Matahari-Bumi. Ketika sebuah *coronal mass ejection (CME)* terjadi di permukaan Matahari maka angin surya akan menginjeksikan partikel bermuatan berkecepatan tinggi menuju Bumi. Pada

saat bertemu dengan magnetosfer Bumi maka terjadi peristiwa *interplanetary shock (IPS)*. Resultan dari IPS mengkompresi magnetosfer Bumi menyebabkan kenaikan mendadak medan magnet di permukaan Bumi. Peristiwa selanjutnya setelah IPS adalah terjadi badai geomagnet dan akan semakin

intens pada saat yang bersamaan medan magnet antar planetnya (*interplanetary magnetic field*, IMF) mengarah ke selatan (Nagatsuma, 2002).

Gangguan badai geomagnet karena CME kadangkala dapat terjadi secara ekstrim. Peristiwa ini sering menyebabkan rusaknya peralatan teknologi tinggi untuk pemantau cuaca antariksa, seperti satelit-satelit, sistem navigasi, komunikasi HF dan juga terbakarnya trafo listrik. Pada saat badai geomagnet besar, fluktuasi medan geomagnet menimbulkan fluktuasi arus ionosfer yang mengalir di permukaan Bumi. Aliran arus ionosfer ini menimbulkan perbedaan potensial di atas permukaan Bumi yang dinamakan *Earth Surface Potential* (ESP). ESP ini bertindak sebagai sumber tegangan yang berlaku di antara 2 ground netral autotransformer yang terletak pada ujung-ujung jaringan panjang transmisi arus (Harada dkk., 2008). ESP juga menghasilkan arus-arus induksi yang diketahui sebagai *Geomagnetically Induced Currents* (GIC), melewati ground netral autotransformer dan mengalir

sepanjang jaringan kabel transmisi. Besarnya kuat arus GIC yang timbul di suatu autotransformer dipengaruhi oleh resistensi tanah di sekitar autotransformer dan intensitas badai geomagnetnya (Koen dan Gaunt, 2002; Babayev dkk., 2005). Selain resistensi dan intensitas badai geomagnet, lintang geomagnet juga berpengaruh pada kuat arus GIC yang ditimbulkannya. Saat ini, di Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, Deputi Bidang Sains, Pengkajian, dan Informasi Kedirgantaraan (Desains), LAPAN sedang dilaksanakan program monitoring cuaca antariksa. Untuk mendukung kegiatan tersebut maka diperlukan sebuah pengetahuan (bisa berupa software) untuk mengidentifikasi kemunculan arus GIC secara cepat dan tepat. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh hasil kajian dampak badai geomagnet pada trafo jaringan listrik di Indonesia untuk menunjang kegiatan terkait berikutnya. Adapun lingkup kegiatan penelitian ini dalam sistem global kopling Matahari-Bumi (Russel, 2006), seperti terlihat pada Gambar 1-1.

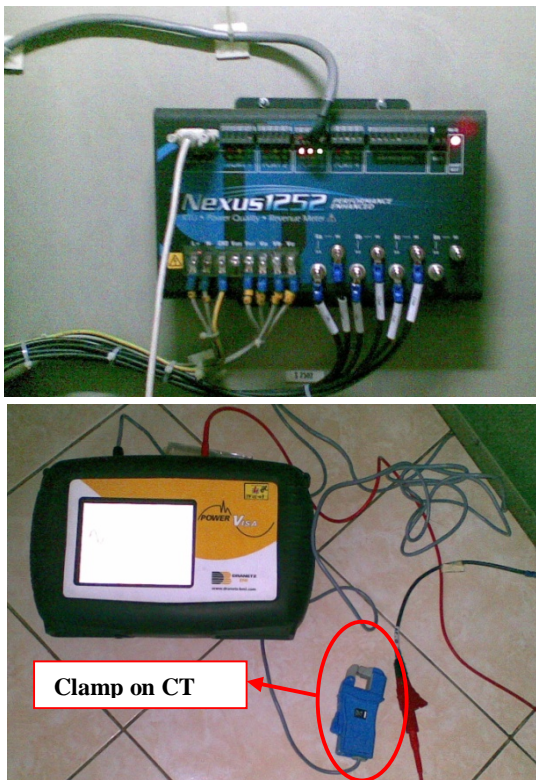


Gambar 1-1: Ilustrasi kedudukan penelitian ini dalam sistem kopling Matahari-Bumi dan efek-efeknya pada cuaca antariksa (tanda panah)

2 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan adalah komponen H stasiun Biak dan indeks Dst. Pengolahan data menggunakan metode harmonik dan FFT. Metodologi penelitian dilakukan melalui: studi literatur mengenai karakteristik GIC, mekanisme kemunculannya, metode pengukurannya serta dampak pada trafo jaringan listrik, terutama jaringan listrik di wilayah Indonesia. Hasil studi literatur ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan kajian guna mencapai tujuan. Kemudian, dilakukan pengumpulan arus netral dari trafo jaringan listrik PLN, terutama yang bertepatan dengan kejadian badai geomagnet. Arus-arus ini kemudian diolah untuk mendapatkan arus GIC. Hasilnya kemudian dikaji dan dianalisis.

Alat ukur yang umumnya digunakan untuk mengukur arus netral PLN ditunjukkan pada Gambar 2-1.



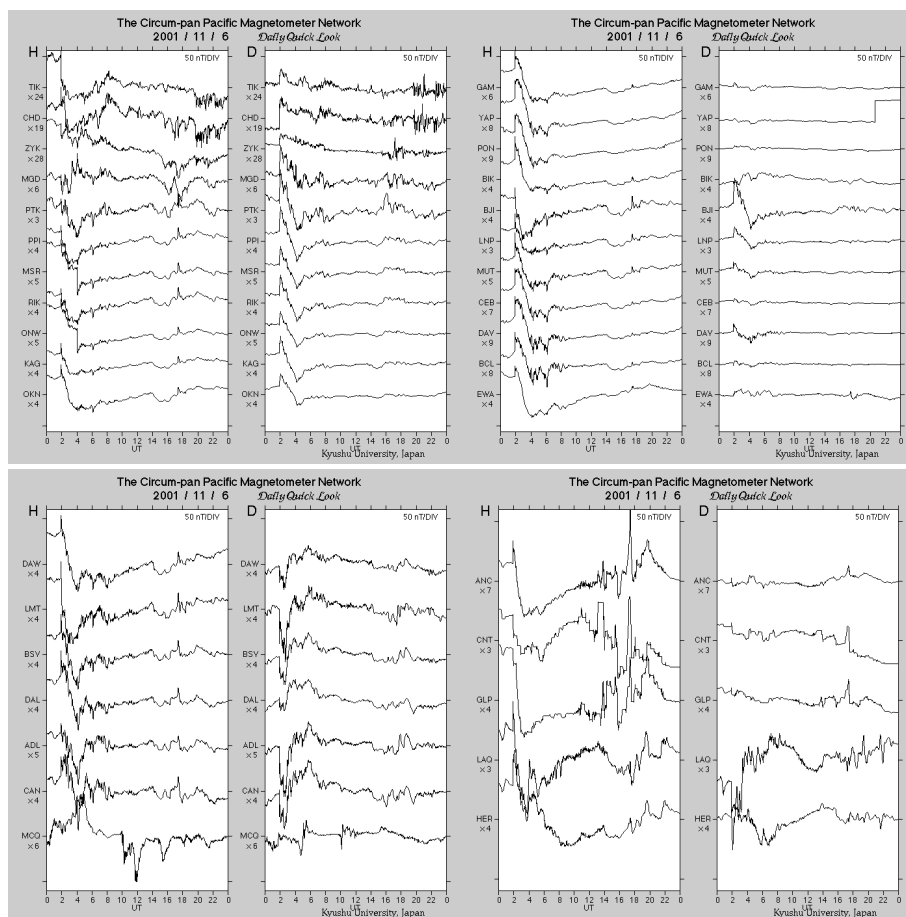
Gambar 2-1: Contoh tampilan alat ukur arus di trafo PLN (kiri) PQM Nexus, dan (kanan) PQM power visa 400

PQM Nexus dan Power Visa digunakan untuk mengukur arus yang keluar melalui sistem *grounding*. Profil dan setting pemasangan PQM Nexus ini sedikit berbeda dengan PQM Power Visa. PQM Nexus dirangkai secara seri pada *wiring* sekunder CT *Switchyard* untuk pengukuran arus, sedangkan PQM Power Visa menggunakan *clamp on* pada *wiring* sekunder CT *switchyard* untuk mengukur arus.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa arus induksi magnet (*Geomagnetically Induced Current*) muncul sebagai dampak kejadian badai geomagnet pada trafo jaringan listrik. Dari literatur juga diperoleh bahwa arus GIC mempunyai frekuensi yang berada di bawah frekuensi normal arus distribusi yaitu dalam mHz. Sebagai dampak dari kejadian badai geomagnet maka diyakini bahwa keberadaan arus GIC juga bersifat global. Hal ini merujuk pada sifat kejadian badai geomagnet yang bersifat global (untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3-1 untuk kejadian badai geomagnet tanggal 6 November 2001). Namun demikian, amplitudo arus tersebut di permukaan Bumi berbeda-beda bergantung karakteristik lapisan tanahnya.

Untuk mengetahui bagaimana respon pola komponen H masing-masing lintang dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan pada masing-masing kejadian badai geomagnet maka dilakukan plotting harga komponen H minimum saat badai geomagnet sepanjang tahun 2000-2004. Hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2. Dengan menggunakan pola respon ini, kemudian dilakukan analisis statistik untuk mengestimasi besarnya GIC.



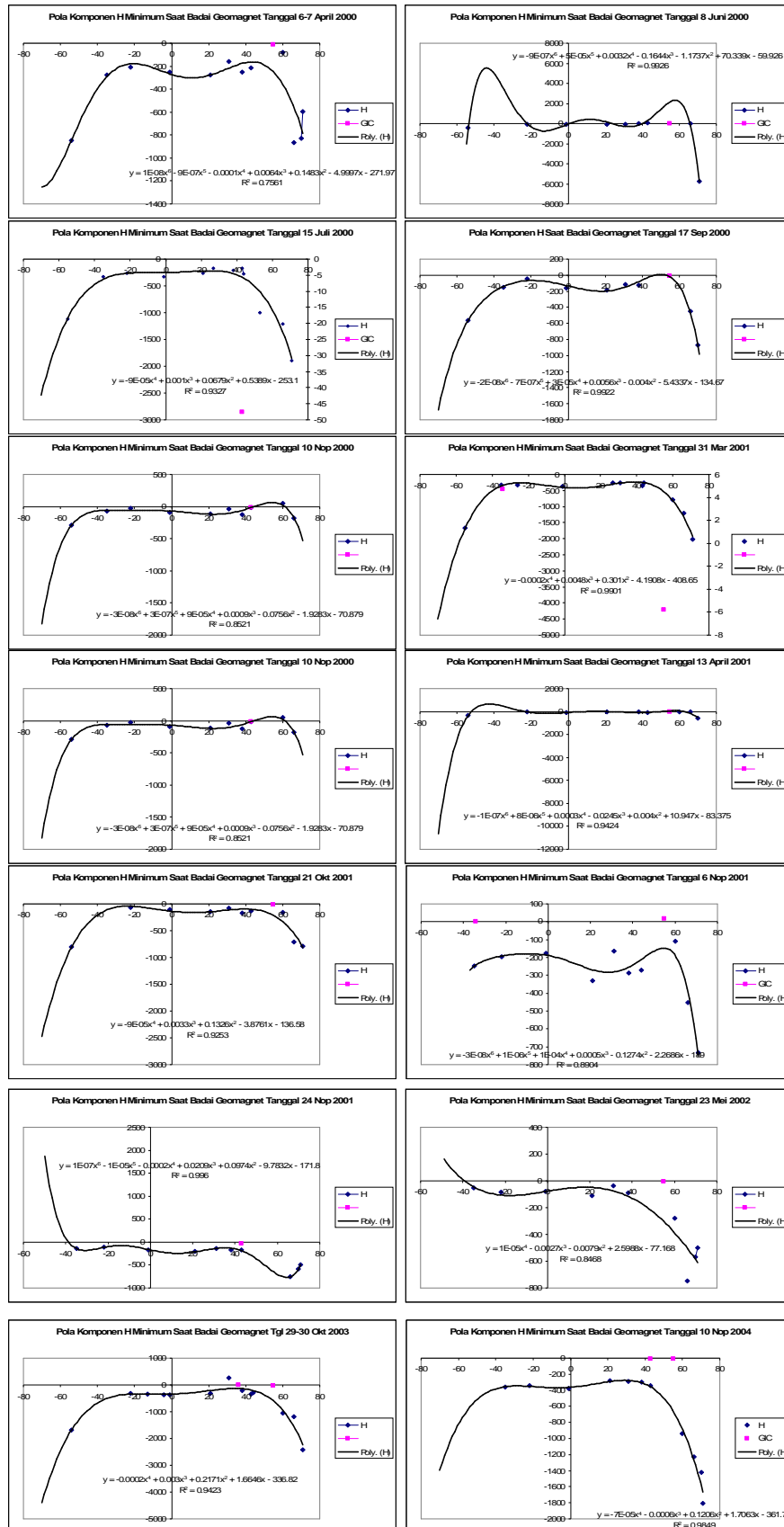
Gambar 3-1: Contoh ilustrasi respon serentak medan geomagnet di seluruh permukaan (zona Rusia-Jepang, zona Asia-Pasifik, zona Australia dan zona Eropa, Amerika serta Afrika) saat badai geomagnet tanggal 6 November 2001

Pada Gambar 3-2, tampak jelas bahwa pola respon/intensitas badai geomagnet terbesar berada di area lintang tinggi dan kemudian menurun secara eksponensial di lintang menengah-rendah $40^{\circ}\text{LU} - 40^{\circ}\text{LS}$ (koordinat geografis). Wilayah-wilayah yang terletak pada rentang lintang $40^{\circ}\text{LU} - 40^{\circ}\text{LS}$ meliputi sebagian besar Jepang, Indonesia dan bagian utara Australia. Analisis pada rentang lintang $40^{\circ}\text{LU} - 40^{\circ}\text{LS}$ mempunyai respon yang hampir sama dengan badai geomagnet. Namun, beberapa kejadian badai geomagnet (6-7 April 2000, 17 September 2000, 31 Maret 2001 dan 10 November 2004), respon/intensitas badai geomagnet di sekitar lintang $35^{\circ}\text{LU} - 35^{\circ}\text{LS}$ (koordinat geografis) mempunyai respon terkecil. Hal ini berarti bahwa apabila GIC dapat teramati di sekitar Jepang maka keberadaannya juga akan dapat teramati di Indonesia (diwakili oleh Stasiun Biak

$1.08^{\circ}\text{LS}, 136.19^{\circ}\text{BT}$). Fenomena ini membuktikan bahwa GIC dapat terjadi di Indonesia, namun demikian, amplitudo kemunculannya belum bisa dipastikan. Hal ini diakibatkan oleh bervariasinya intensitas badai geomagnet yang terjadi. Alasan lain adalah belum adanya alat ukur untuk mengukur keberadaan arus GIC di Indonesia sehingga pengukuran arus GIC belum pernah dilakukan.

3.1 Analisis Kemunculan GIC Saat Badai Geomagnet

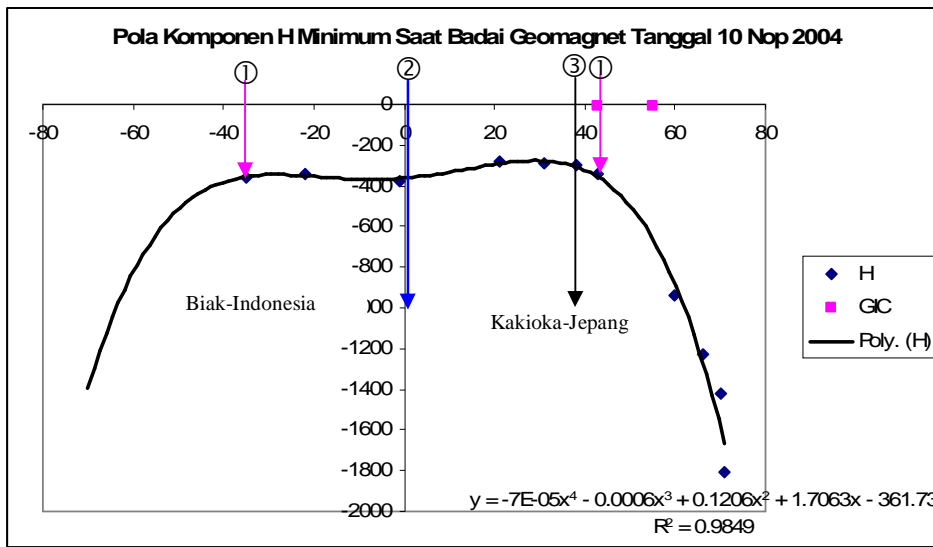
Secara analitik, keberadaan GIC sebagai dampak badai geomagnet berpotensi terjadi di semua lintang. Sebagai studi kasus dapat dilihat pada kejadian badai geomagnet tanggal 10 November 2004 (Santoso, 2009). Pada Gambar 3-3 berikut ini, ditunjukkan bagaimana respon masing-masing lintang terhadap badai tersebut.



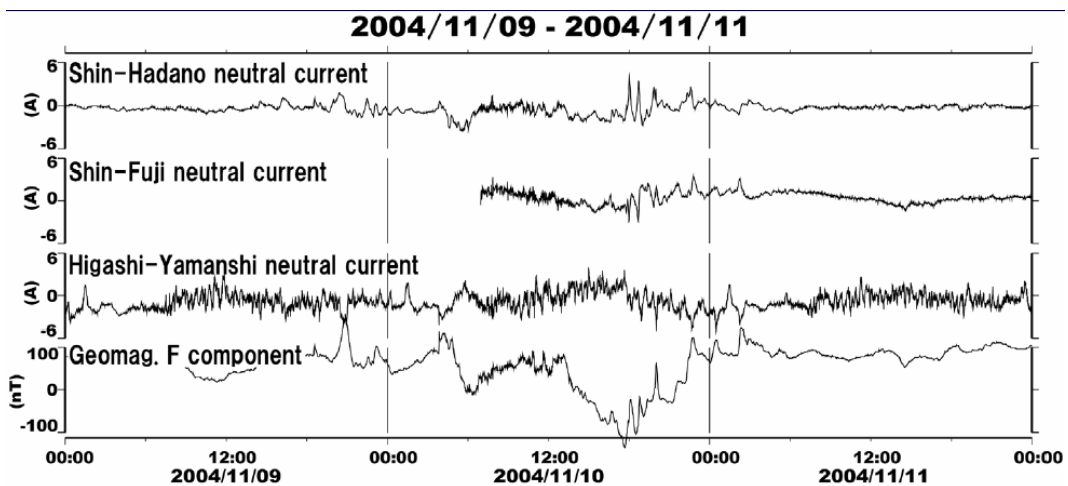
Gambar 3-2: Pola respon (atenuasi) komponen H longitudinal (di sekitar bukur Biak) dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan pada saat badai geomagnet tahun 2000 – 2004. Keterangan gambar : sumbu absis adalah lintang dan sumbu ordinat adalah harga H minimum (nT)

Berdasarkan analisis terhadap Gambar 3-3, tampak jelas bahwa pola respon badai geomagnet terbesar berada di area lintang tinggi dan kemudian menurun secara eksponensial di area lintang menengah-rendah (40°LU-40° LS geografis, panah 1). Negara-negara yang terletak di rentang lintang tersebut (40°LU - 40° LS) meliputi sebagian besar wilayah Jepang, Indonesia dan bagian utara wilayah Australia. Pada area

rentang ini, respon badai geomagnet bisa dikatakan hampir sama. Bila diuraikan lebih detail terlihat bahwa respon di Biak-Indonesia (panah 2, intensitas-Hmin = -373 nT) sedikit lebih tinggi dibandingkan di Kakioka-Jepang (panah 3, intensitas-Hmin = -345.3 nT). Dampak badai geomagnet tanggal 10 November 2004 ini menyebabkan timbulnya GIC di beberapa trafo di sekitar Kakioka-Jepang, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-3: Pola respon (atenuasi) komponen H longitudinal (di sekitar bujur Biak) dari lintang tinggi utara sampai lintang tinggi selatan pada saat badai geomagnet tanggal 10 November 2004. (Koordinat, Kakioka 139.13°LU; 140.40°BT dan Biak 1.08°LS; 136.19°BT)



Gambar 3-4: Respon komponen medan geomagnet stasiun Kakioka-Jepang dan kemunculan GIC di beberapa lokasi sekitarnya sebagai dampak badai geomagnet tanggal 10 November 2004 (Harada dkk., 2008)

Fenomena di atas menunjukkan bahwa GIC berpotensi juga terjadi di sekitar Biak, walaupun dengan amplitudo yang kemungkinan lebih kecil dibandingkan dengan yang tampak di trafo sekitar Kakioka-Jepang. Selain dipengaruhi oleh intensitas badai geomagnet yang terjadi, sifat geolistrik tanah dan posisi juga mempengaruhi kuat-kecilnya GIC yang ditimbulkannya. Sebagai ilustrasi cara penentuan estimasi analitik maksimum GIC di Indonesia saat badai geomagnet, maka diberikan 1 contoh metode estimasi analitik GIC menggunakan data medan geomagnet komponen H stasiun Biak (1.08° LS; 136.19° BT).

Analisis statistik terhadap pola distribusi H minimum longitudinal stasiun Biak saat badai geomagnet tanggal 10 November diperoleh bahwa pola distribusinya berupa polinomial orde-4 yaitu :

$$H_{\min}(L) = -7E^{-05}(L)^4 - 0.0006(L)^3 + 0.1206(L)^2 + 1.7063(L) - 361.73$$

dengan harga korelasi 99.24% dan L adalah notasi untuk lintang geografis. Penetapan orde-4 polinomial dilakukan berdasarkan harga korelasinya yang paling tinggi. Pada Gambar 3-4, telah teramati kejadian GIC di trafo Higashi-Yamashi (sekitar stasiun pengamat geomagnet Kakioka-Jepang koordinat 39.13° LU, 140.40° BT) sebesar 4.5 A dan di trafo Neilston (sekitar stasiun pengamat geomagnet Eksdalemuir koordinat 55.19° LU, 356.48° BT, Inggris) sebesar 10 A. Selanjutnya, dilakukan penentuan secara analitik GIC di daerah lintang rendah. Pada kegiatan ini digunakan komponen H stasiun Biak-Indonesia sebagai analisisnya.

Langkah 1

Tentukan besar Hmin di sekitar stasiun Eksdalemuir dan stasiun Hermanus dapat dihitung menggunakan pendekatan persamaan polinomial orde-4 di atas sebagai berikut,

$$\begin{aligned} H_{\min}(\text{Eksd}) &= -7E^{-05}(L)^4 - 0.0006(L)^3 + \\ & 0.1206(L)^2 + 1.7063(L) - \\ & 361.73 \\ &= -7E^{-05}(55.19)^4 - \\ & 0.0006(55.19)^3 + \\ & 0.1206(55.19)^2 + \\ & 1.7063(55.19) - 361.73 \\ &= -650.523 \approx 10 \text{ A} \\ &= -28.04 \approx 15.2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\min}(\text{Kak}) &= -7E^{-05}(L)^4 - 0.0006(L)^3 + \\ & 0.1206(L)^2 + 1.7063(L) - \\ & 361.73 \\ &= -7E^{-05}(39.19)^4 - \\ & 0.0006(39.19)^3 + \\ & 0.1206(39.19)^2 + \\ & 1.7063(39.19) - 361.73 \\ &= -310.87 \approx 4.5 \text{ A} \end{aligned}$$

Gabungan dari kedua Hmin dan amplitudo GIC, diperoleh $1 \text{ A} \approx -66.303 \text{ nT}$.

Langkah 2

Tentukan Hmin di sekitar stasiun Biak (-1.08° LS, 136.54° BT) menggunakan pendekatan persamaan polinomial orde-4 di atas yaitu,

$$\begin{aligned} H(\text{BIK}) &= -7E^{-05}(L)^4 - 0.0006(L)^3 + \\ & 0.1206(L)^2 + 1.7063(L) - \\ & 361.73 \\ &= -7E^{-05}(-1.08)^4 - 0.0006 \\ & (-1.08)^3 + 0.1206(-1.08)^2 + \\ & 1.7063(-1.08) - 361.73 \\ &= -363.431 \end{aligned}$$

Dari langkah 1 diketahui bahwa $-66.303 \text{ nT} \approx 1 \text{ A}$ maka jika H(BIK) minimum saat itu adalah -363.431 nT akan diperoleh $(-363.431/-66.303) \approx 5.48 \text{ A}$.

Dengan metode yang sama maka dilakukan estimasi terhadap kejadian badai geomagnet lainnya.

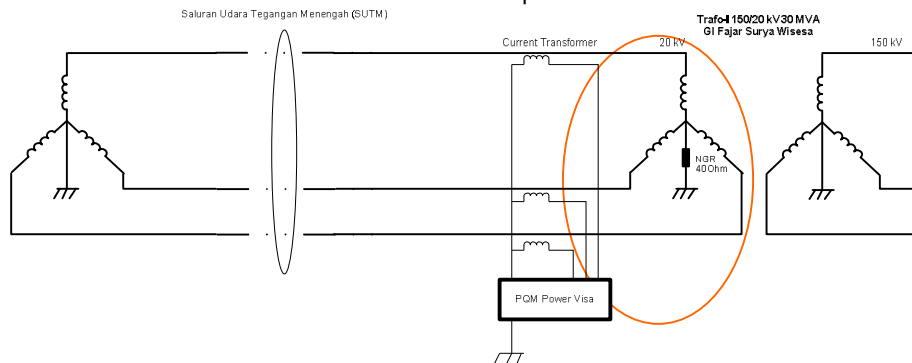
3.2 Hasil Studi terhadap Sistem Distribusi Jaringan Listrik di Indonesia

Hasil studi sistem distribusi jaringan listrik di Indonesia, dilakukan pada Trafo-I 150/20 kV 30 MVA di GI Fajar Surya Wisesa daerah Bekasi. Dari studi tersebut diperoleh bahwa tipe trafo distribusi jaringan listrik PLN di Indonesia adalah tipe Y. Artinya, seluruh trafo distribusi jaringan listrik PLN mempunyai arus netral. Skematik sistem distribusinya seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5.

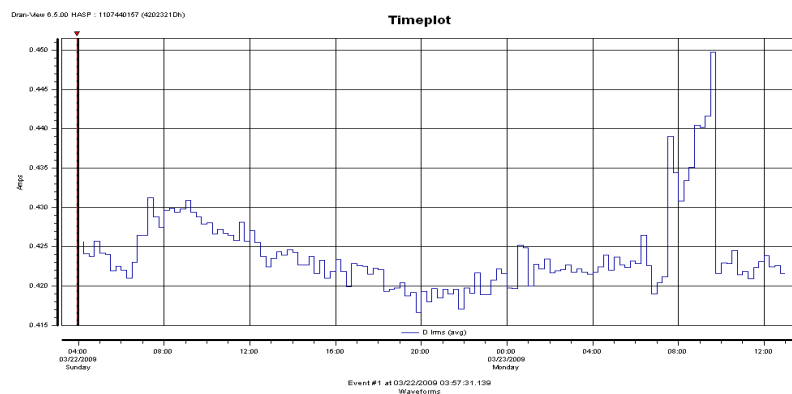
Pada Gambar 3-6, ditunjukkan contoh nilai rata-rata arus yang mengalir pada netral trafo di sekunder Trafo-I GI Fajar Surya Wisesa, Bekasi pukul 04.00 WIB tanggal 22 Maret 2009 s.d pukul 12.00 WIB tanggal 23 Maret 2009 oleh PQM power visa. Arus instan ini mengandung banyak komponen frekuensi, yaitu frekuensi sistem (50Hz), frekuensi

harmonisa (kelipatan dari 50 Hz) dan frekuensi lainnya.

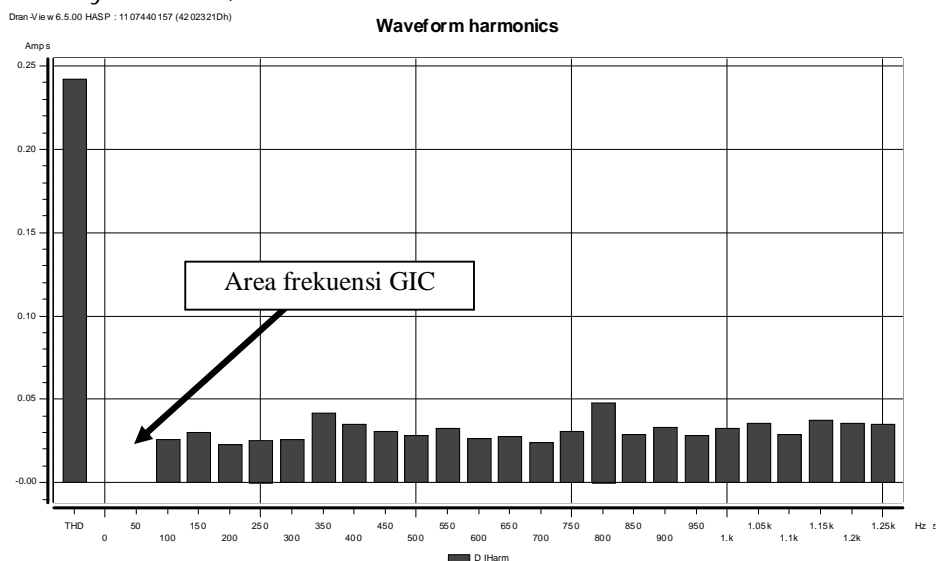
Hasil pengolahan arus netral yang mengalir trafo di sekunder Trafo-I GI Fajar Surya Wisesa, Bekasi pada pukul 04.00 WIB tanggal 22 Maret 2009 s.d pukul 12.00 WIB tanggal 23 Maret 2009 oleh PQM power visa menggunakan analisis spektrum frekuensi ditunjukkan pada Gambar 3-7.



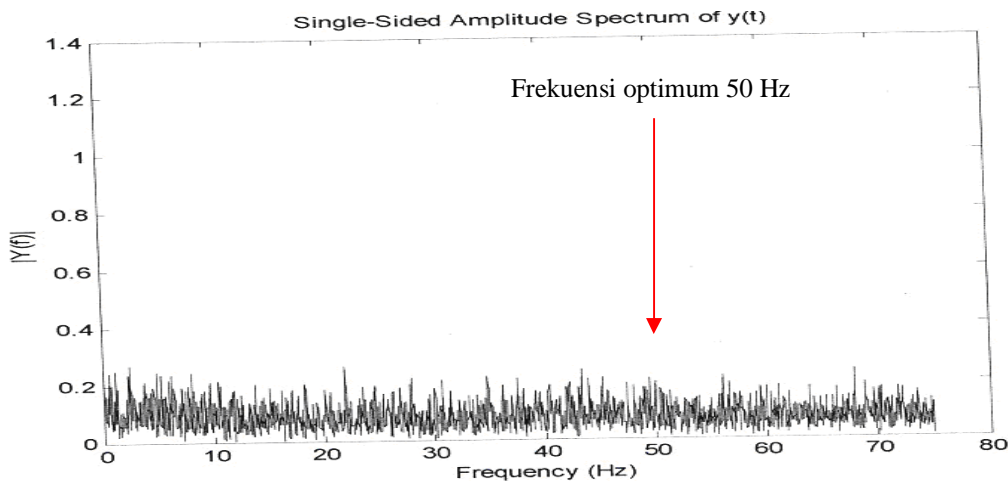
Gambar 3-5: Skema distribusi jaringan listrik di Indonesia tepatnya di GI Fajar Surya Wisesa, Bekasi. Keterangan, yang dilingkari adalah trafo listrik



Gambar 3-6: Nilai arus netral rata-rata (rms) tanggal 22 Maret 2009 pukul 04.00 WIB s.d tanggal 23 Maret 2009 pukul 12.00 WIB di trafo step down GI Fajar Surya Wisesa, Bekasi



Gambar 3-7: Spektrum frekuensi arus netral di GI FS Wisesa, Bekasi



Gambar 3-8: Contoh hasil olahan FFT arus netral di GI FS Wisesa, Bekasi

Arus netral selain mengandung frekuensi 50 Hz juga mengandung frekuensi lebih tinggi 100 Hz, 150 Hz dan seterusnya dengan amplitudo tidak lebih dari 0.05 A. Analisa dengan software Dranview ini (software untuk analisa hasil ukur PQM power visa) masih terbatas untuk frekuensi di atas fundamental. Sehingga masih diperlukan metode lainnya yang lebih tepat. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan metode FFT (Gambar 3-8).

Berdasarkan Gambar 3-8, seharusnya muncul amplitudo dominan untuk frekuensi jaringan listrik yaitu 50 Hz (listrik mode AC), namun kenyataannya, tidak ditemukan frekuensi 50 Hz secara jelas. Hal ini diduga disebabkan oleh prosedur penghitungan FFTnya yang kurang tepat. Untuk membuktikan dugaan tersebut, perlu dilakukan penelitian/analisis lebih lanjut. Secara teori FFT seharusnya dapat memisahkan sinyal listrik ke dalam beberapa frekuensi sehingga frekuensi GIC akan teridentifikasi.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari kegiatan ini adalah bahwa fenomena dampak badai geomagnet pada trafo jaringan listrik berpotensi terjadi di Indonesia. Hal ini merujuk dari hasil studi analitik pada kejadian badai geomagnet tanggal 10 November 2004 dan juga dari keserempakan respon badai geomagnet pada masing-masing

lintang sebagai sumber pemicunya. Namun demikian, masih sulit untuk menentukan magnitudenya. Karena itu disarankan untuk dilaksanakan penelitian lanjutan untuk memastikan fenomena tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kepala Bidang dan seluruh staf Bidang Apgeomagsa-Pusfatsainsa, LAPAN atas ijin penggunaan data-data serta dukungannya yang menunjang kelancaran kegiatan ini. Selain itu, juga disampaikan terima kasih untuk seluruh tim Program RIK LAPAN 2009.

DAFTAR RUJUKAN

- C. T. Russell, 2006. *The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: Tutorial*, Department of Earth and space sciences and Institute of Geophysics and Space Physics of University of California, Los Angeles.
- E. S. Babayev, A. M. Hashimov, N. A. Yusifbeyli, Z. G. Rasulov, A. B. Asgarov, 2005. *Geomagnetic Storm Risk to Electric Power Distribution and Supply Systems at Mid-latitude Locations and Their Vulnerability from Space Weather*,, Azerbaijan.
- Koen J. and C. T. Gaunt, 2002. *Geomagnetically Induced Currents at Mid-Latitudes*, Abs. The 27 General Assembly of URSI, 17-24 August, Netherland, Maastrich, 177.

Makoto Harada, Jun Izutsu, T. Uetake, T. Terayama dan T. Nagao, 2008. *The observation of Natural Current of 500kV Power Line and the Application to The Monitoring of the Underground Electrical Conductivity,*

EMSEV-DEMETER Joint Workshop, Romania.

Nagatsuma T., 2002. 3-5 Geomagnetic storms, Journal of the Communications Research Laboratory, Vol. 49 No.3.