

DEKOMPOSISI VARIASI MEDAN MAGNET MENGGUNAKAN ANALISIS FOURIER

Syafrijon¹⁾, L. Muhammad Musafar K.²⁾

¹⁾ Loka Pengamatan Atmosfer Kototabang, Jorong Muaro, Kecamatan Palupuh,
Kab Agam, Sumbar PO.BOX 84 Bkt

²⁾ Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa, Pusat Sains Antariksa, Jl. Dr. Djundjuna No. 133,
Bandung, 40173
Sir_syafri_jon@yahoo.com

Abstract

Magnetic field variations recorded by ground-based magnetometer contain various information that include diurnal variation which represents equivalent ionospheric current. Ionospheric current that associated with diurnal variation is known as Sq (solar quiet) variation. The geomagnetic Sq variation can be obtained by using Fourier analysis to the magnetic field variation where associated to 4-first harmonics of Fourier series. In this paper we show how to apply Fourier analysis to obtain Sq variation from ground-based magnetometer data. We used data of H-component magnetic variations recorded by magnetometer at Kototabang (KTB) during November, 2004. This paper represent our first step on the study of Sq variation during magnetic storm. We also show an example of magnetic field disturbances are calculated from the magnetic variation during magnetic storms in November 2004.

Keywords: *magnetic variation, Fourier analysis, Sq variation, magnetic storm*

Abstrak

Variasi medan geomagnet rekaman magnetometer landas-Bumi mengandung berbagai jenis informasi termasuk diantaranya adalah variasi diurnal yang merepresentasikan arus ionosfer ekuivalen yang mengalir di ionosfer Bumi. Arus ionosfer terkait variasi diurnal dikenal sebagai arus Sq atau variasi hari tenang geomagnet. Variasi Sq geomagnet diperoleh dengan menerapkan analisis Fourier pada data variasi medan magnet rekaman magnetometer. Variasi tersebut terkait dengan 4-harmonik paling rendah dari deret Fourier. Dalam makalah ini ditunjukkan cara untuk mengekstrak pola variasi hari tenang dengan menerapkan analisis Fourier pada komponen H variasi medan geomagnet data rekaman magnetometer Kototabang (KTB) tahun 2004. Kami juga menunjukkan satu contoh gangguan medan magnet terkait badai magnet bulan November 2004.

Kata kunci: variasi medan magnet, analisis Fourier, variasi Sq, badai magnet

1. PENDAHULUAN

Medan magnet Bumi yang dibangkitkan melalui gerak dinamo plasma inti Bumi dikenal sebagai medan utama. Kontribusi lainnya berasal dari gerak dinamo ionosfer dan magnetosfer serta medan magnet antar-planet. Sebagai konsekuensi dari hukum Maxwell bahwa perubahan medan listrik akan menginduksi medan magnet maka variasi medan magnet yang terekam oleh magnetometer permukaan Bumi mengandung informasi tentang kekuatan arus yang mengalir di

permukaan, ionosfer dan magnetosfer Bumi. Arus ekuivalen yang mengalir di ionosfer dapat digambarkan melalui variasi S_q (*solar quiet*) geomagnet.

Variasi S_q merupakan medan magnet *background* yang terekam oleh magnetometer permukaan Bumi maupun satelit. Untuk memisahkan variasi S_q dari variasi medan magnet dapat digunakan metode dekomposisi sinyal. Dalam makalah ini akan dibahas teknik mendekomposisi variasi medan magnet untuk menghitung variasi S_q geomagnet dengan menerapkan analisis Fourier. Studi ini merupakan langkah awal dalam mempelajari karakteristik variasi S_q yang terekam oleh magnetometer di Kototabang.

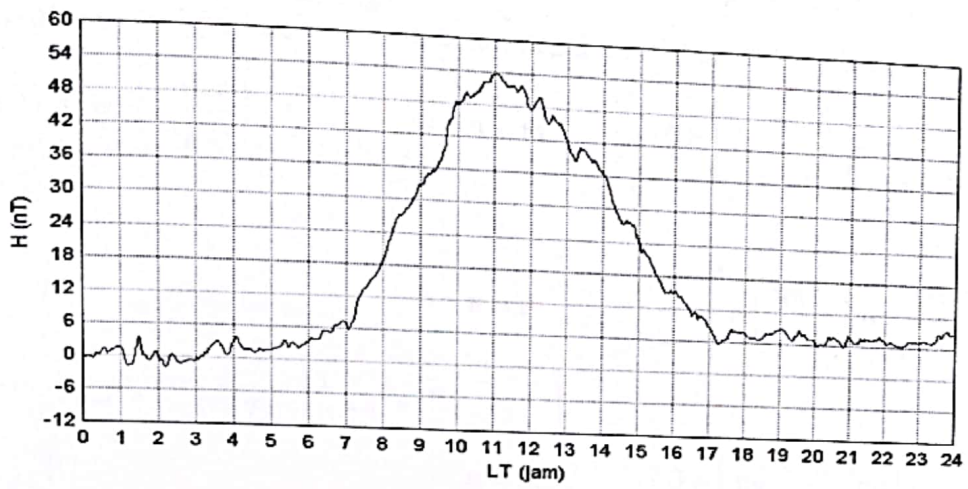
2. DATA

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data variasi medan magnet rekaman magnetometer di Kototabang (100,32 BT, 0,20 LS) selama November, 2004. Magnetometer merekam data untuk tiga komponen variasi medan magnet yaitu komponen H, D dan Z. Dalam hal ini ungkapan variasi medan magnet berarti perubahan kekuatan komponen vektor medan magnet total terhadap komponen medan magnet utama Bumi yang dihitung berdasarkan model *International Geomagnetic Field Reference* (IGRF) tahun 2000. Sedangkan variasi komponen medan H, D, dan Z merepresentasikan variasi medan magnet dalam arah utara-selatan, timur-barat dan atas bawah dalam sistem koordinat dipol.

Magnetometer di Kototabang merekam data variasi medan magnet Bumi dengan resolusi waktu 1-detik. Oleh variasi S_q medan magnet dalam representasi waktu lokal (LT) terkait dengan arus ionosfer yang dibangkitkan akibat rotasi Bumi maka data magnetometer yang direkam dalam waktu universal (UT) terlebih dahulu ditulis kembali menjadi data harian dalam waktu lokal. Dalam hal ini waktu lokal stasiun Kototabang terpaut 7 jam dari waktu GMT. Setelah konversi waktu perekaman data dilakukan sampling ulang data dari resolusi 1-detik menjadi resolusi 1-menit. Karena dalam data resolusi 1-detik terkandung gangguan geomagnet yang sifatnya transien yang berasal dari interaksi antara angin surya dan medan magnet Bumi, diantaranya gelombang ULF di magnetosfer maka dilakukan perata-rataan data setiap 1-menit.

Dianalisis data komponen H variasi medan magnet oleh karena arus ionosferik ekuivalen pada daerah lintang rendah mengalir dari pagi menuju sore hari (timur-barat) dan sebagai dari hukum Maxwell maka arus tersebut akan menginduksi medan magnet tambahan pada arah utara-selatan dalam sistem koordinat dipol. Selain itu, proses dekomposisi dapat digunakan untuk medan magnet yang timbul akibat arus ionosferik ekuivalen dan medan magnet induksi akibat interaksi angin-surya dan medan magnet Bumi dimana gangguan dominan terjadi pada arah utara-selatan

yaitu pada komponen H medan magnet Bumi. Hasil sampling ulang variasi medan magnet dan konversi data ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Hasil sampling ulang data komponen-H variasi medan magnet dari data magnetometer di Kototabang tanggal 15 November 2000.

3. METODE

Dalam studi ini digunakan metode analisis Fourier untuk menghitung variasi hari tenang geomagnet. Untuk data variasi medan magnet $y(t)$ maka data deret waktu tersebut dapat direkonstruksi menggunakan deret Fourier sebagai berikut^[1,2,3],

$$y(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + b_m \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \quad (1)$$

dalam hal ini a dan b menyatakan koefisien Fourier sedangkan m , t dan T secara berturut-turut menyatakan harmonik dari deret Fourier, waktu dan periode variasi medan magnet dimana $T = 24$ jam.

Perhitungan koefisien Fourier a_m dan b_m dilakukan dengan mengalikan persamaan (1) oleh $\cos(2\pi mt/T)$ dan $\sin(2\pi mt/T)$ dan menerapkan syarat ortogonalitas

$$\int_0^T \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = \int_0^T \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = 0 \quad (2)$$

$$\int_0^T \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = \frac{T}{2} \quad m = n \quad (3)$$

$$\int_0^T \left[\sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \right] = 0 \quad m \neq n \quad (4)$$

$$\int_0^T \left[\cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \right] = 0 \quad m = n = 0 \quad (5)$$

$$\int_0^T \left[\cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \right] = \frac{T}{2} \quad m = n \neq 0 \quad (6)$$

$$\int_0^T \left[\sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \right] = 0 \quad m \neq n \quad (7)$$

maka diperoleh

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \quad (8)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (9)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt \quad (10)$$

Oleh karena data variasi medan magnet bersifat diskrit maka koefisien Fourier dapat dituliskan sebagai berikut :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y(t) \quad (11)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = \frac{2}{T} \sum_{i=0}^{N-1} y(t) \cos\left(\frac{2\pi nt}{N}\right) \quad (12)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) dt = \frac{2}{T} \sum_{i=0}^{N-1} y(t) \sin\left(\frac{2\pi nt}{N}\right) \quad (13)$$

Oleh karena variasi harian geomagnet memiliki perioda dominan 24-, 12, 8, dan 6- jam yang mana bersesuaian dengan harmonik 1 hingga 4 dari koefisien Fourier maka dengan menggunakan representasi Fourier variasi hari tenang geomagnet dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y(t) = \sum_{m=0}^4 a_m \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + b_m \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \quad (14)$$

atau

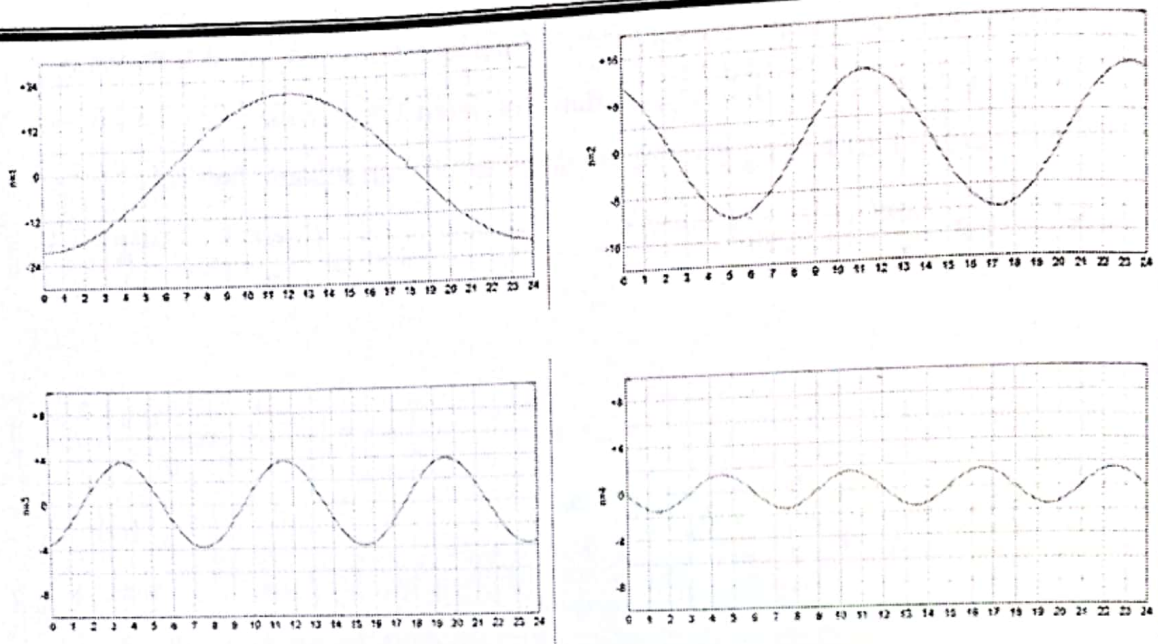
$$y(t) = a_0 + \sum_{m=1}^4 a_m \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + \sum_{m=1}^4 b_m \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) \quad (15)$$

dimana nilai dari a_0 , a_m dan b_m secara berturut-turut diberikan dalam persamaan (11), (12) dan (13) dimana $T = 24$ jam.

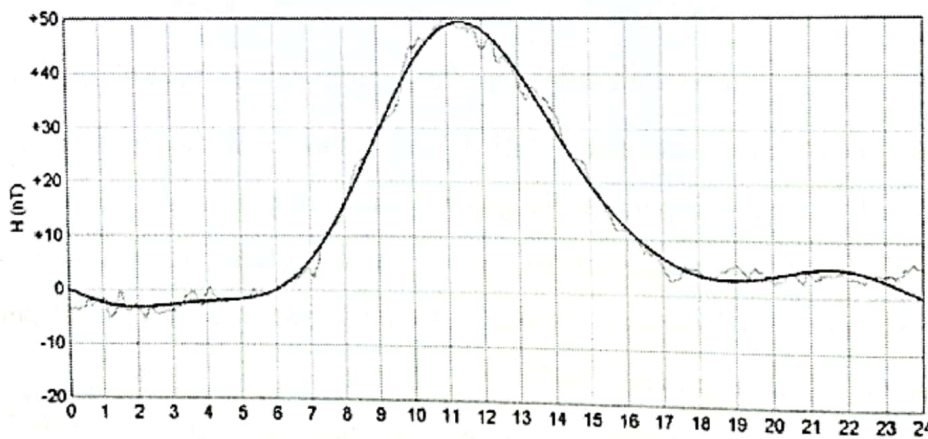
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari persamaan (11) diperoleh nilai a_0 dari komponen H variasi medan magnet yaitu sebagai nilai rata-rata variasi geomagnet 1-hari dalam waktu lokal. Sedangkan koefisien Fourier terkait harmonik ke 1 hingga 4 diperoleh dengan menerapkan persamaan (12) dan (13) terhadap data komponen-H variasi medan magnet. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diperoleh variasi Sq geomagnet. Hasil perhitungan harmonik 1 hingga 4 data variasi medan magnet pada tanggal 15 November 2004 ditunjukkan dalam Gambar 2.

Harmonik ke-1 dari variasi Sq merupakan gelombang dengan periode 24 jam dimana puncak dari gelombang terjadi pada sekitar tengah hari sebagaimana ditunjukkan pada panel atas bagian kiri dalam Gambar 2. Harmonik ke-1 ini memberi kontribusi paling besar pada variasi Sq geomagnet. Hal ini dapat memberi indikasi bahwa kontribusi utama dari variasi Sq berasal dari fluks radiasi matahari apabila tidak ada peningkatan fluks radiasi elektromagnet di matahari. Meskipun demikian, apabila terjadi gangguan geomagnet akibat tibanya CME (coronal mass ejection) dari matahari ke lingkungan magnetosfer Bumi maka akan terjadi pergeseran dari puncak gelombang tersebut. Sedangkan panel atas bagian kanan menyatakan harmonik ke-2 dari variasi medan magnet. Dan panel bawah masing-masing menyatakan harmonik ke-3 dan ke-4 dari variasi medan magnet.

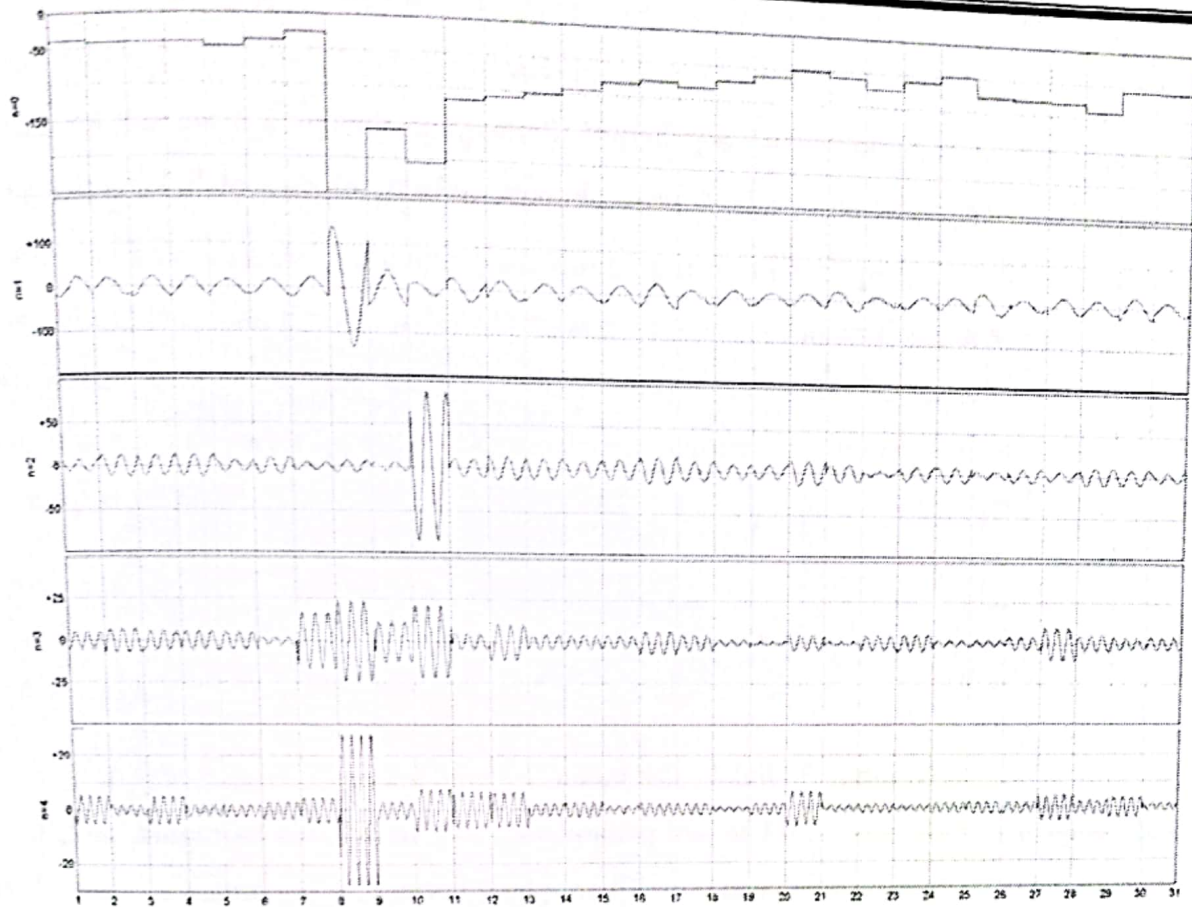


Gambar 2. Harmonik Fourier dari komponen H variasi medan magnet pada tanggal 15 November 2004.



Gambar 3. Hasil dekomposisi komponen H variasi medan magnet pada tanggal 15 November 2004.

Variasi S_q diperoleh dengan menerapkan persamaan (15) yaitu penjumlahan harmonik variasi medan magnet yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Variasi S_q geomagnet pada tanggal 15 November 2004 ditunjukkan dalam Gambar 3. Grafik dengan garis tebal menyatakan grafik variasi S_q sedangkan grafik dengan garis lebih tipis merupakan variasi harian geomagnet yang terekam oleh magnetometer. Dari gambar 3 diketahui bahwa puncak dari variasi S_q terjadi sekitar tengah hari waktu lokal sedangkan nilai minimumnya terjadi pada malam hari. Kondisi ini terjadi karena pada siang-hari jumlah fluks radiasi elektromagnetik yang datang dari matahari jauh lebih besar dibanding malam hari dan mencapai nilai maksimumnya di sekitar tengah hari waktu lokal.

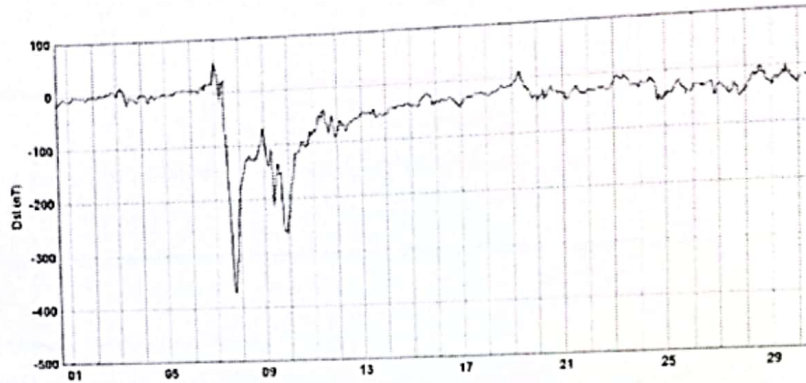


Gambar 4. Harmonik dari variasi medan magnet sampai dengan harmonik ke-4 dihitung dari komponen H variasi medan magnet selama bulan November 2004. Sumbu horisontal pada masing-masing panel menyatakan hari-ke dalam bulan dan sumbu vertikal menyatakan harmonik dari komponen-H (nT).

Gambar 4 menunjukkan harmonik Fourier dari komponen variasi medan magnet selama bulan November 2004. Panel atas menyatakan rata-rata variasi medan magnet, dan sedangkan panel ke-2 hingga bawah merupakan harmonik ke-1 hingga 4 dari deret Fourier. Variasi S_q paling tenang dalam bulan November dapat ditentukan melalui kondisi masing-masing harmonik Fourier yang tenang. Lima hari S_q paling tenang yang dihitung pada data magnetometer di Kototabang selama bulan November 2004 yaitu pada tanggal 4, 14, 15, 16, dan 18 November 2004 dimana masing-masing harmoniknya memiliki nilai maksimum lebih kecil dibandingkan hari lainnya selama bulan November 2004.

Sedangkan hari paling terganggu terjadi antara rentang tanggal 8 hingga 12 November 2004. Dari masing-masing panel dapat terlihat bahwa tanggal 8 November rata-rata harian medan magnet <math>< -250 \text{ nT}</math> dan harmonik pertamanya menunjukkan adanya osilasi dengan amplitudo besar mencapai 80 nT. Hal ini terkait dengan fase ekspansi badai magnet sebagaimana ditunjukkan melalui indeks

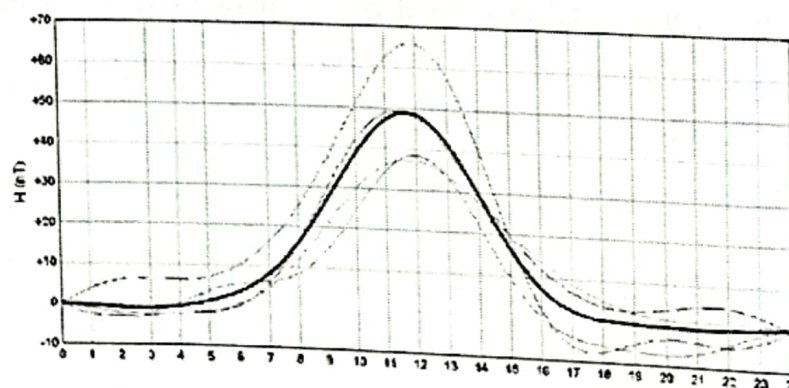
Dst yang diberikan dalam Gambar 5. Selain itu, pada tanggal 8 November juga terjadi peningkatan amplitudo dari harmonik ke-3 dan ke-4. Akan tetapi, harmonik ke-2 dari variasi medan magnet tidak menunjukkan adanya peningkatan yang berarti. Pertanyaan mengapa harmonik kedua tidak menunjukkan adanya peningkatan berada diluar cakupan makala ini dan oleh karena itu tidak dibahas dalam makalah ini.



Gambar 5. Indeks Dst bulan November 2004.

Pada tanggal 10 November 2011 terjadi peningkatan amplitudo pada harmonik ke-2, 3, dan 4, akan tetapi tidak terjadi peningkatan signifikan pada harmonik pertamanya. Peningkatan amplitudo tersebut dapat terkait dengan fase ekspansi badai magnet ke dua yang terjadi pada tanggal 10 November 2004. Pembahasan mengenai mengapa harmonik pertama dari variasi geomagnet tidak mengalami peningkatan juga berada diluar cakupan makala ini dan akan dibahas pada makalah lainnya.

Dari lima hari tenang selama bulan November 2004 sebagaimana yang disebutkan di atas terjadi pada tanggal 4, 14, 15, 16, dan 18 dilakukan perhitungan rata-rata dari ke-5 variasi Sq tersebut. Rata-rata variasi Sq ini merupakan representasi dari variasi Sq paling tenang dalam bulan November 2004 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6. Pola representatif dari Sq paling tenang dinyatakan oleh grafik dengan garis tebal dalam gambar tersebut.



Gambar 6. Pola 5 hari paling tenang dari variasi Sq pada bulan November tahun 2004.

Perhitungan gangguan medan magnet dilakukan dengan mengurangi variasi medan magnet hasil pengukuran oleh magnetometer dan variasi Sq paling tenang dalam bulan yang ditinjau. Hasil perhitungan gangguan medan magnet selama bulan November 2004 ditunjukkan dalam Gambar 7. Perbandingan antara variasi gangguan yang dihitung melalui hasil pengukuran magnetometer lokal menunjukkan kemiripan dengan indeks Dst yang merupakan indeks gangguan geomagnet global di daerah lintang rendah. Ini menunjukkan bahwa proses dekomposisi variasi medan magnet hasil pengukuran magnetometer lokal dapat digunakan untuk mengamati gangguan medan magnet terkait badai magnet.



Gambar 7. Gangguan medan magnet lokal pada selama bulan November 2004.

5. KESIMPULAN

Telah dibahas dekomposisi variasi medan magnet menggunakan analisis Fourier, dimana hanya ditinjau sampai dengan harmonik ke-4 dari deret Fourier. Dari hasil dekomposisi tersebut teramati bahwa harmonik pertama dari deret Fourier memberi kontribusi paling besar terhadap variasi Sq geomagnet. Hasil perhitungan gangguan medan magnet relatif terhadap variasi Sq paling tenang menunjukkan kemiripan dengan indeks Dst. Hal ini dapat berarti bahwa teknik dekomposisi variasi medan magnet dapat diterapkan untuk mengekstrak gangguan terkait badai magnet menggunakan data medan magnet hasil pengukuran magnetometer lokal.

Selain hal tersebut, gangguan medan magnet dapat teramati melalui peningkatan amplitudo pada harmonik dari variasi medan magnet. Dalam studi ini teramati dua kasus gangguan medan magnet berbeda yaitu pada fase ekspansi badai magnet yang terjadi pada tanggal 8 November diikuti oleh peningkatan amplitudo dari harmonik pertama, ke 3 dan ke-4 sedangkan pada harmonik ke-2 tidak teramati adanya peningkatan gangguan. Hal sebaliknya, terkait fase ekspansi badai magnet pada tanggal 10 November 2004 terjadi peningkatan amplitudo pada harmonik ke 2, ke-3

dan ke-4, akan tetapi pada harmonik pertama tidak ada peningkatan signifikan. Permasalahan ini mungkin terkait dengan sifat-sifat partikel energetik yang diinjeksi selama badai, dan merupakan pertanyaan yang akan dipelajari selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Kazuo Shiokawa yang telah menginstal magnetometer di Kototabang melalui perjanjian kolaborasi riset antara STELab Universitas Nagoya, Jepang dengan LAPAN.

DAFTAR PUSKATA

Baggers, A., and F. J. Narcotic, *A First Course in Wavelets with Fourier Analysis*, Prentice Hall, 2001.

Bloomfield, P., *Fourier Analysis of Time Series*, 2nd Edition, John-Wiley & Sons, 2000.

Boas, M. L., *Mathematical Methods in the Physical Sciences*, 3rd Edition, John-Wiley & Sons, 2006.