

PENENTUAN MODEL POLA HARI TENANG STASIUN GEOMAGNET TANGERANG MENGGUNAKAN DERET FOURIER

Habirun
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

ABSTRACT

Quiet day pattern depict geomagnetic variation in quiet condition and this condition can be used to determine the geomagnetic field disturbance level. The quiet day pattern generally shows the daily magnetic variation, but if viewed in micro case, in the daily variation pattern the small fluctuations that appeared must be eliminated. In this paper, we discussed determination of the quiet day pattern model using Fourier series with considering the impact of the solar diurnal variation and the moon semi diurnal variation, each of them with 24 and 12 hours period. By using this model, the geomagnetic disturbance level both local and regional can be determined from residual between data and model release. The data which used in this research is H component from Tangerang geomagnetic observatory. From analysis result of the H component quiet day pattern model in January 2002 we obtained that the error of hourly geomagnetic disturbance level is about of 11.35 nT or if implied in percentage is about of 4.5% , and it maximum fluctuation is -74 nT.

ABSTRAK

Pola hari tenang melukiskan variasi geomagnet dalam keadaan tenang dan kondisi ini dapat digunakan untuk menentukan kuantitas tingkat gangguan pada medan magnet bumi. Sedangkan pola hari tenang secara umum menunjukkan pola variasi harian geomagnet, tetapi bila dipandang secara mikro maka pada pola variasi harian itu terlihat fluktuasi-fluktuasi kecil yang dapat dieliminir. Pada uraian ini dibahas penentuan model pola hari tenang menggunakan deret Fourier dengan memperhitungkan dampak variasi diurnal matahari dan variasi semi diurnal oleh bulan, masing-masing berperiode 24 dan 12 jam. Dari hasil analisis model pola hari tenang yang diperoleh maka tingkat gangguan geomagnet lokal maupun regional dapat ditentukan melalui selisih antara data pengamatan terhadap model pola hari tenang. Data yang digunakan dalam analisis penentuan model pola hari tenang adalah data komponen H dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang. Hasil analisis model komponen H pola hari tenang pada bulan Januari 2002 dengan galat sebesar 11,35 nT. Akurasi model tersebut bila dinyatakan dalam bentuk prosentasi maka besarnya sekitar 4,5 %, dengan fluktuasi tingkat gangguan geomagnet jam-an yang maksimum -74 nT ($nT < 74$).

1 PENDAHULUAN

Komponen H geomagnet dibentuk oleh komponen Y utara selatan dan komponen X timur barat, oleh sebab itu sangat peka terhadap gangguan eksternal seperti semburan awan magnet matahari. Apabila gangguan tegak lurus terhadap permukaan bumi maka akan mempengaruhi geomagnet. Selain pengaruh gangguan

awan magnet masih banyak lagi pengaruh-pengaruh gangguan lainnya. Antara lain aktivitas matahari seperti *flare*, permukaan bumi juga seperti gempa bumi dan aktivitas geomagnet itu sendiri misalnya badai magnet (Suhartini, 1999). Sehingga karakteristik komponen H geomagnet sangat kompleks dan berfluktuasi. Kondisi aktivitas gangguan geomagnet seperti itu perlu diketahui

untuk digunakan sebagai informasi tingkat gangguan. Gangguan yang berpengaruh terdiri dari gangguan-gangguan berperiodik seperti dampak variasi diurnal matahari dan semi diurnal oleh bulan, masing-masing berperiode 24 dan 12 jam. Termasuk pula gangguan dari matahari yang periodiknya 27 hari (Zhou and Wei, 1998), juga akibat pengaruh gangguan acak yang sumbernya tidak diketahui. Semua itu mempengaruhi medan magnet bumi. Bila gangguan yang berpengaruh pada medan magnet Bumi adalah periodik maka gangguan itu sifatnya tetap kemudian disebut gangguan regular dan gangguan yang berpengaruh acak merupakan gangguan yang sifatnya tidak tetap.

Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat gangguan geomagnet tidak tetap maka gangguan yang sifatnya regular perlu dieliminasi, dengan menentukan pola hari tenang terlebih dahulu. Penentuan pola hari tenang berdasarkan aturan internasional yaitu dengan mengambil 5 hari yang paling tenang dalam satu bulan. Kemudian pola hari tenang itu dilakukan perata-rataan 5 hari tenang sehingga diperoleh pola hari tenang. Pola hari tenang melukiskan kondisi geomagnet pada bulan itu dalam keadaan tenang tidak terganggu. Tetapi fluktuasi pola hari tenang selama 12 bulan tidak sama karena tergantung pada tingkat gangguan yang mempengaruhi medan magnet bumi. Sehubungan dengan itu, pada uraian ini dibahas penentuan model pola hari tenang menggunakan deret Fourier. Jika model pola hari tenang telah diperoleh maka tingkat gangguan geomagnet lokal maupun gangguan geomagnet regional dapat ditentukan melalui selisih antara data pengamatan terhadap model pola hari tenang.

2 DATA DAN PENGOLAHAN

Data yang mendukung penentuan model pola hari tenang pada uraian ini difokuskan pada data komponen H dari stasiun pengamat geomagnet Tangcrang.

Data ini dipengaruhi berbagai gangguan, oleh sebab itu sangat kompleks dan berfluktuasi. Kalau data-data seperti kondisi demikian maka modelnya dapat dipastikan tidak akan akurat. Supaya modelnya lebih akurat maka dilakukan prosedur pengolahan data sebagai berikut.

2.1 Seleksi Data Komponen H Geomagnet

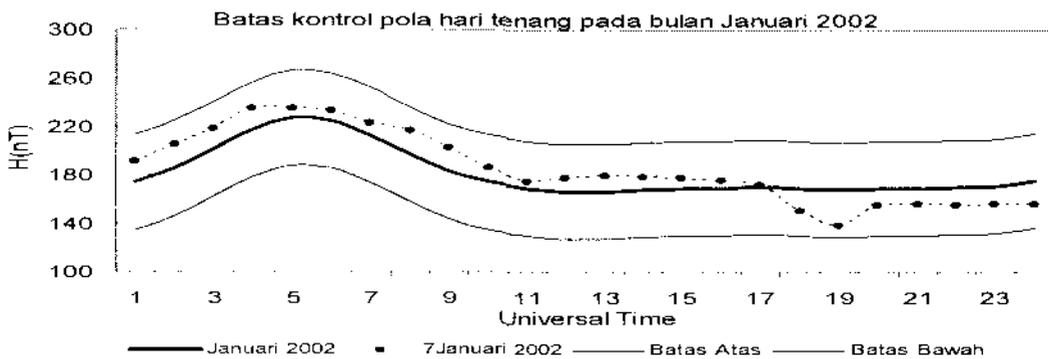
Sebelum menentukan model pola hari tenang komponen H terlebih dahulu dilakukan seleksi data, untuk menghilangkan data ekstrim dari deret berkala (waktu) komponen H geomagnet pengamatan. Apabila tidak dilakukan seleksi data dari deret waktu pola hari tenang komponen H maka model pola hari tenang yang diperoleh akurasi akan menurun atau kurang akurat. Prosedur seleksi data komponen H pada hari-hari tenang yang termasuk dalam deret berkala hari tenang dilakukan menggunakan rumusan matematik melalui rata-rata, deviasi standar dan kemudian dibuat kelas interval data (Thomopoulos, 1980). Data komponen H pola hari tenang yang masuk dalam interval persamaan (2-1) modelnya ditentukan dengan.

$$X_{tenang} = \bar{X}_{tenang} \pm 1.96 \times S_{tenang} \quad (2-1)$$

dengan rata-rata dan deviasi standarnya adalah

$$\bar{X}_{tenang} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n-1} \quad \text{dan} \quad S_{tenang} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n-1}}$$

Sedangkan harga 1.96 diperoleh dari kemiringan kurva distribusi t dengan tingkat kepercayaan yang diambil 95 %. Berdasarkan hasil seleksi ini maka model pola hari tenang ditentukan. Sebelum ditentukan terlebih dahulu dihilangkan variasi sekularnya dan variasi lainnya yang mempengaruhi data deret waktu komponen H geomagnet.



Gambar 2-1: Pola hari tenang komponen H yang masuk dalam interval seleksi data pada bab 2.1 dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang bulan Januari 2002

2.2 Algoritma Penentuan Pola Hari Tenang dan Tingkat Gangguan Geomagnet

- Data komponen H diamati setiap menit, dalam interval satu jam dirata-ratakan sehingga diperoleh 24 data rata-rata dalam sehari.
- Kemudian dalam satu bulan pilih 5 hari yang paling tenang dengan dasar aturan Internasional dan ambil jumlah/sigma 0 - 3 indeks Kp harian.
- Rata-ratakan setiap jam dalam 5 hari tenang itu sehingga diperoleh barisan data pola hari tenang dalam satu bulan tertentu.
- Seleksi data barisan pola hari tenang komponen H geomagnet pom 3 di atas dengan menggunakan aturan statistik pada persamaan (2-1).
- Dengan barisan data seleksi itu tentukan model pola hari tenang $(Sq)_e^A$ lokal menggunakan identifikasi deret Fourier tunggal persamaan (3-1) dengan memproyeksikan dampak variasi diurnal dari matahari dan variasi semi diurnal akibat bulan.
- Setelah itu ambil selisih antara data rata-rata lima hari tenang hasil seleksi terhadap model pola hari tenang sehingga diperoleh variasi hari tenang pada bulan tertentu. Dari variasi itu galat model pola hari tenang diperoleh dan seterusnya disebut akurasi model pola hari tenang.
- Kemudian ambil lagi selisih antara data pengamatan terhadap model pola hari tenang sehingga diperoleh tingkat gangguan geomagnet jam-an. Per-

hitungan tingkat gangguan sekarang umum dihitung sebagai berikut.

$$HfT) = AH(T) - Sq(t)_{rs} - C$$

Keterangan:

AH(T): variasi komponen H dan

C : pola yang konstan disebut *baseline* atau *trend* sekular dalam interval waktu cukup lama dari 40 hingga 100 tahun.

2.3 Identifikasi Pola Hari Tenang

Dari data hasil seleksi pola hari tenang komponen H geomagnet pada bulan Januari 2002 misalnya komponen H geomagnet diplot terhadap waktu UT $\{Universal\ Time\}$ dengan ditunjukkan Gambar 2-1. Hasil plot identifikasi pola komponen H dilakukan dengan menggunakan deret Fourier tunggal untuk pola pada bulan tertentu. Sesuai hasil identifikasi itu, model pola hari tenang ditentukan. Kemudian hasil itu dikembangkan dengan deret Fourier ganda untuk menentukan model pola hari tenang.

Pada Gambar 2-1 menunjukkan perbandingan antara rata-rata hari tenang (garis tebal) dan data komponen H tanggal 7 Januari 2002 (titik & titik-titik halus) dengan batas kontrol (garis halus) hasil dari persamaan (2-1). Data hari tenang pada tanggal 7 Januari 2002 dari jam 01 sampai dengan jam 24 semuanya masuk dalam keas interval persamaan (2-1). Apabila data rata-rata pola hari tenang keluar dari batas kontrol maka data yang keluar itu perlu dihilangkan

sedemikian rupa sehingga tidak mempengaruhi akurasi model yang diperoleh.

3 IDENTIFIKASI MODEL POLA HARI TENANG MENGGUNAKAN DERET FOURIER

Model pola hari tenang komponen H geomagnet diidentifikasi melalui hasil seleksi data yang diperoleh dari bab 2.1 hingga bab 2.3 dengan menggunakan deret Fourier tunggal (Habirun, 2003) untuk lokasi tertentu yang dinyatakan pada persamaan (3-1) adalah

$$Y_t = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\alpha_n \cos \frac{2n\pi X_t}{\lambda} + \beta_n \sin \frac{2n\pi X_t}{\lambda} \right) \quad (3-1)$$

Konstanta-konstanta persamaan (3-1) di atas dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan hasil penurunannya adalah

$$\alpha_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \cos \frac{2n\pi X_i}{\lambda} \quad \beta_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \sin \frac{2n\pi X_i}{\lambda}$$

$$R_n = \left(\frac{1}{2} \right) \sqrt{\alpha_n^2 + \beta_n^2} \quad \phi_n = \tan^{-1} \frac{-\beta_n}{\alpha_n}, \alpha_n > 0$$

Apabila persamaan (3.1) dikembangkan dalam baris ke-i dan kolom ke-j maka deret Fourier tunggal berubah menjadi deret Fourier ganda yang dinyatakan oleh

$$Y_{ij} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \alpha_{nm} \cos \frac{2n\pi X_{ij}}{\lambda_i} \cos \frac{2m\pi X_{ij}}{\lambda_j} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \beta_{nm} \cos \frac{2n\pi X_{ij}}{\lambda_i} \sin \frac{2m\pi X_{ij}}{\lambda_j}$$

$$+ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \gamma_{nm} \sin \frac{2n\pi X_{ij}}{\lambda_i} \cos \frac{2m\pi X_{ij}}{\lambda_j} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta_{nm} \sin \frac{2n\pi X_{ij}}{\lambda_i} \sin \frac{2m\pi X_{ij}}{\lambda_j} \quad (3-2)$$

Perhitungan konstanta-konstanta Fourier tunggal pada persamaan (3-1) dilakukan dengan prosedur yang sama sehingga konstanta-konstanta deret Fourier ganda persamaan (3-2) dihitung sebagai berikut.

$$\alpha_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Y_{ij} \cos \frac{2n\pi X_{ij}}{N} \cos \frac{2m\pi X_{ij}}{M}$$

$$\beta_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Y_{ij} \cos \frac{2n\pi X_{ij}}{N} \sin \frac{2m\pi X_{ij}}{M}$$

$$\gamma_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Y_{ij} \sin \frac{2n\pi X_{ij}}{N} \cos \frac{2m\pi X_{ij}}{M}$$

$$\delta_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M Y_{ij} \sin \frac{2n\pi X_{ij}}{N} \sin \frac{2m\pi X_{ij}}{M}$$

Bentuk umum persamaan (3-2) dirumuskan sebagai model pola hari tenang (SqJ yang dinyatakan persamaan (3-3) sebagai deret Fourier ganda dalam waktu jam T dan bulan M (McPherron, 2005) sebagai berikut

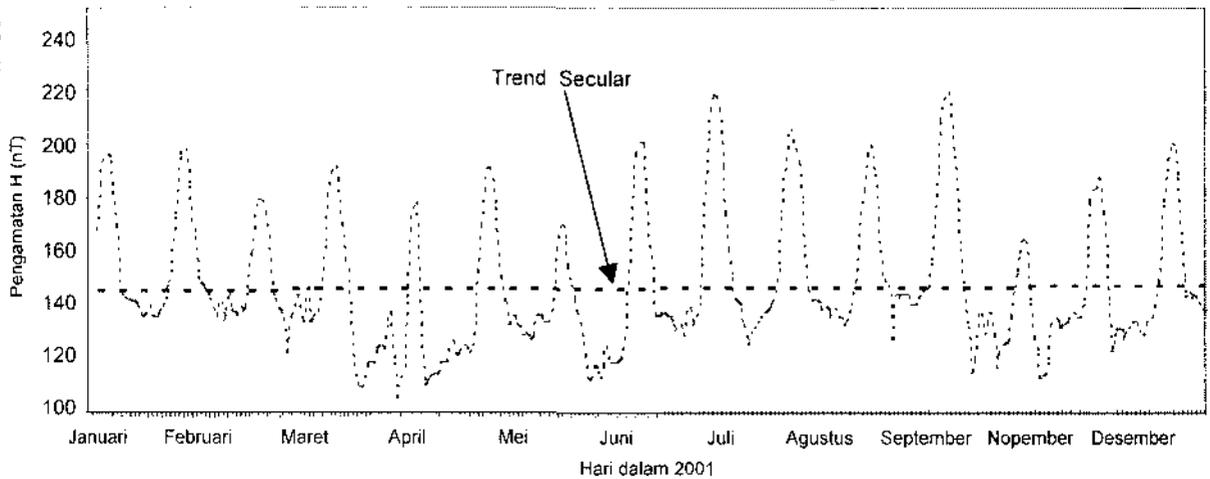
$$\langle S_{ij}(t) \rangle_{est} = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{nm}^m \cos(mT + \alpha_{nm}) \cos(nM + \beta_n) \quad (3-3)$$

Persamaan (3-3) ruas kiri menyatakan barisan data komponen H rata-rata 5 hari tenang dalam satu bulan, yang dikaitkan terhadap perubahan waktu t (t = 1, 2, ..., T) ruas kanan. Apabila pola hari tenang Sq(t) pada persamaan (3-3) dihitung konstanta-konstantanya dengan memperhitungkan dampak variasi diurnal dan semi diurnal dengan masing-masing periode 24 dan 12 jam maka diperoleh model pola hari tenang yang dinyatakan seperti (sqftJ).

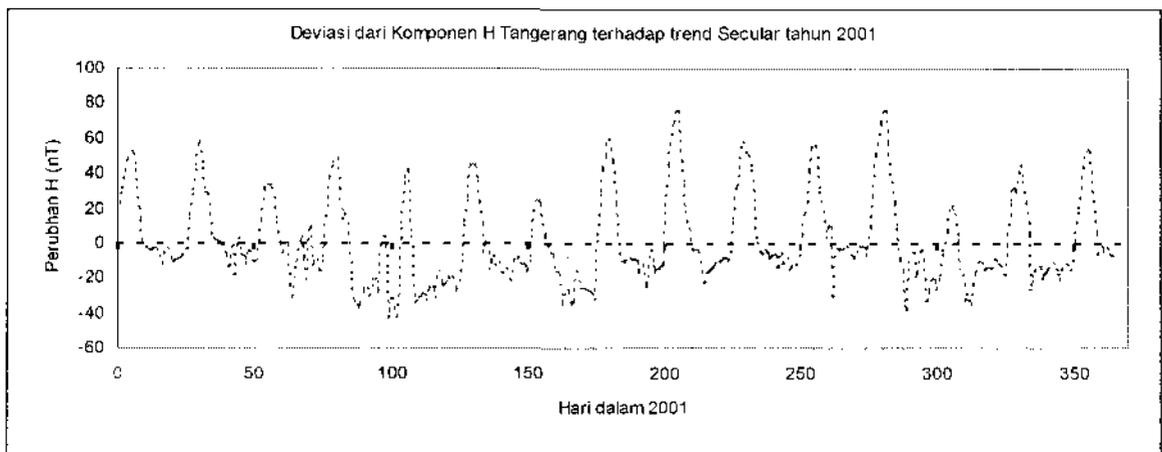
Dengan demikian variasi hari tenang dapat dilihat dari perbedaan antara data komponen H rata-rata 5 hari tenang terhadap model pola hari tenang.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan yang diungkapkan pada uraian ini adalah visualisasi model pola hari tenang Sq(t) pada lokasi tertentu, berdasarkan fluktuasi komponen H geomagnet terhadap waktu dalam satuan UT. Kemudian penggunaan model pola hari tenang regional yang dikaitkan terhadap waktu jam T dan bulan M. Selain itu diungkapkan pula tentang eliminasi atau penghilangan pola regular menggunakan model Sq(t) untuk menentukan tingkat gangguan geomagnet lokal maupun regional. Hasil-hasil analisis yang dikemukakan dalam pembahasan ini difokuskan pada siklus sunspot menurun, karena pada saat itu umumnya badai magnet cukup dominan dari pada siklus sunspot naik. Demikian pula kondisi komponen H pada saat terjadi badai magnet turut pula dibahas, dengan membandingkan fluktuasi komponen H



Gambar 4-1: Hasil analisis sebagian *trend* secular yang dibandingkan terhadap data pengamatan komponen H dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang tahun 2001



Gambar 4 2: Hasil analisis perubahan komponen H geomagnet dari data stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang terhadap sebagian *trend* secular pada tahun 2001

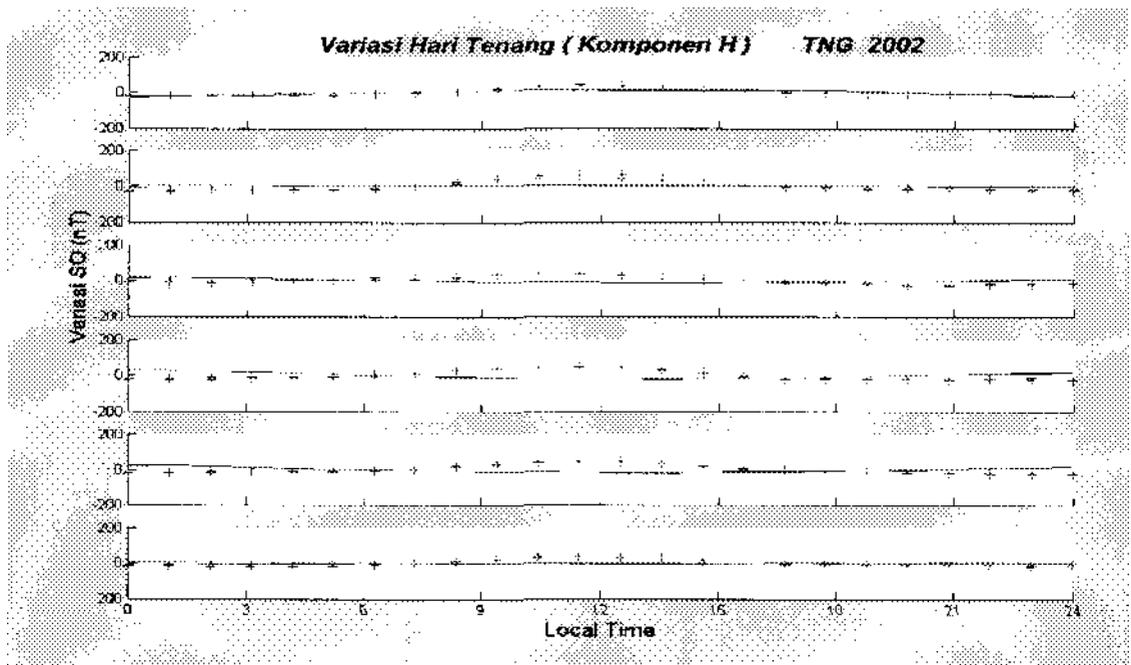
antara stasiun pengamat geomagnet Tangerang dan Kakioka Jepang pada saat badai magnet 18 Agustus 2003. Hal ini dilakukan demi menunjang penelitian model pola hari tenang geomagnet lebih lanjut.

4.1 Mengeliminasi Pengaruh Gangguan Regular

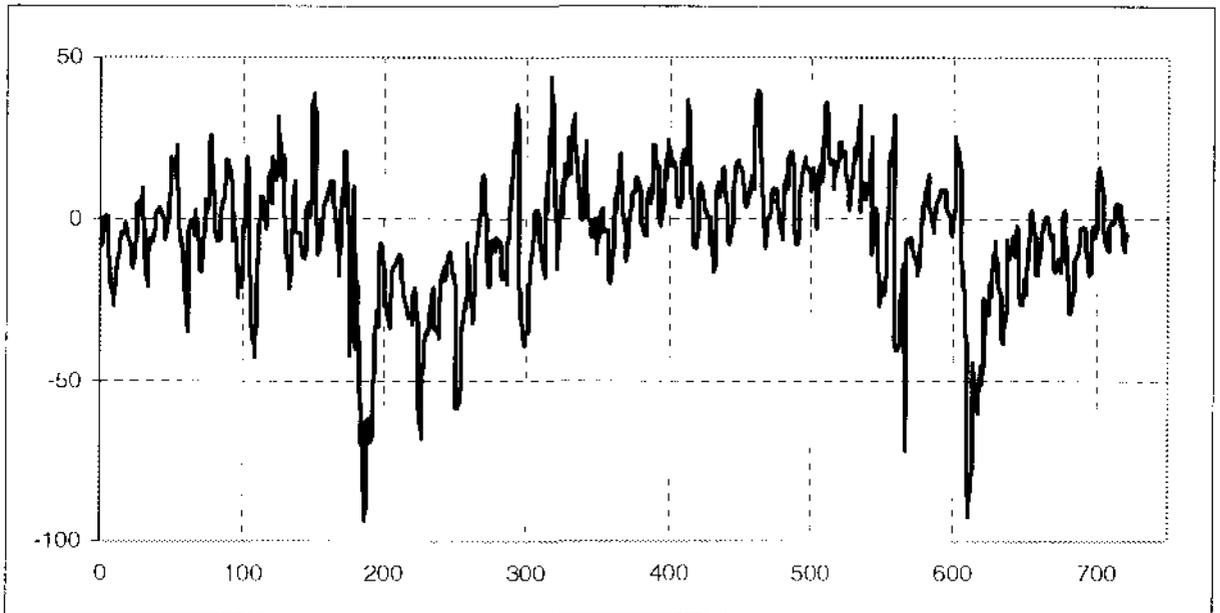
Gangguan-gangguan regular yang mempengaruhi medan magnet bumi terlebih dahulu dihilangkan sebelum menentukan modelnya. Untuk menghilangkan dampak gangguan regular, digunakan metode yang dikemukakan

McPherron (2005) melalui pengurangan antara data pengamatan terhadap *trend* secular. Sebagian *trend* secular komponen H pada tahun 2001 dibandingkan terhadap komponen H dari stasiun pengamat geomagnet Tangerang yang dinyatakan pada Gambar 4-1.

Pada Gambar 4-1 perbandingan antara data pengamatan komponen H dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang tahun 2001 terhadap trend secular. Demikian pula yang dinyatakan pada Gambar 4-2 menunjukkan perubahan komponen H dengan *trend* secular telah dihilangkan.



Gambar 4-4: Perbandingan data komponen H pola hari tenang terhadap model pola hari tenang dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember tahun 2002 dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang



Gambar 4-5: Tingkat gangguan geomagnet jam-an dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang pada bulan Juni tahun 2002

4.2 Model Pola Hari Tenang

Pola hari tenang ditentukan sesuai algoritma pada bab 2.2 dan dilakukan setiap bulan dengan berdasarkan jumlah atau sigma nilai indeks K_p harian terkecil, yang diambil paling besar 3 atau $K_p < 3$. Penentuan pola hari tenang telah disinggung di atas bahwa ditentukan

melalui 5 hari yang paling tenang dalam satu bulan sesuai aturan internasional. Dari data 5 hari tenang kemudian dilakukan perata-rataan setiap jam tertentu sehingga diperoleh 24 data rata-rata setiap bulan sehingga diperoleh pola hari tenang dari masing-masing bulan. Profil barisan data pola hari tenang tersebut tergantung

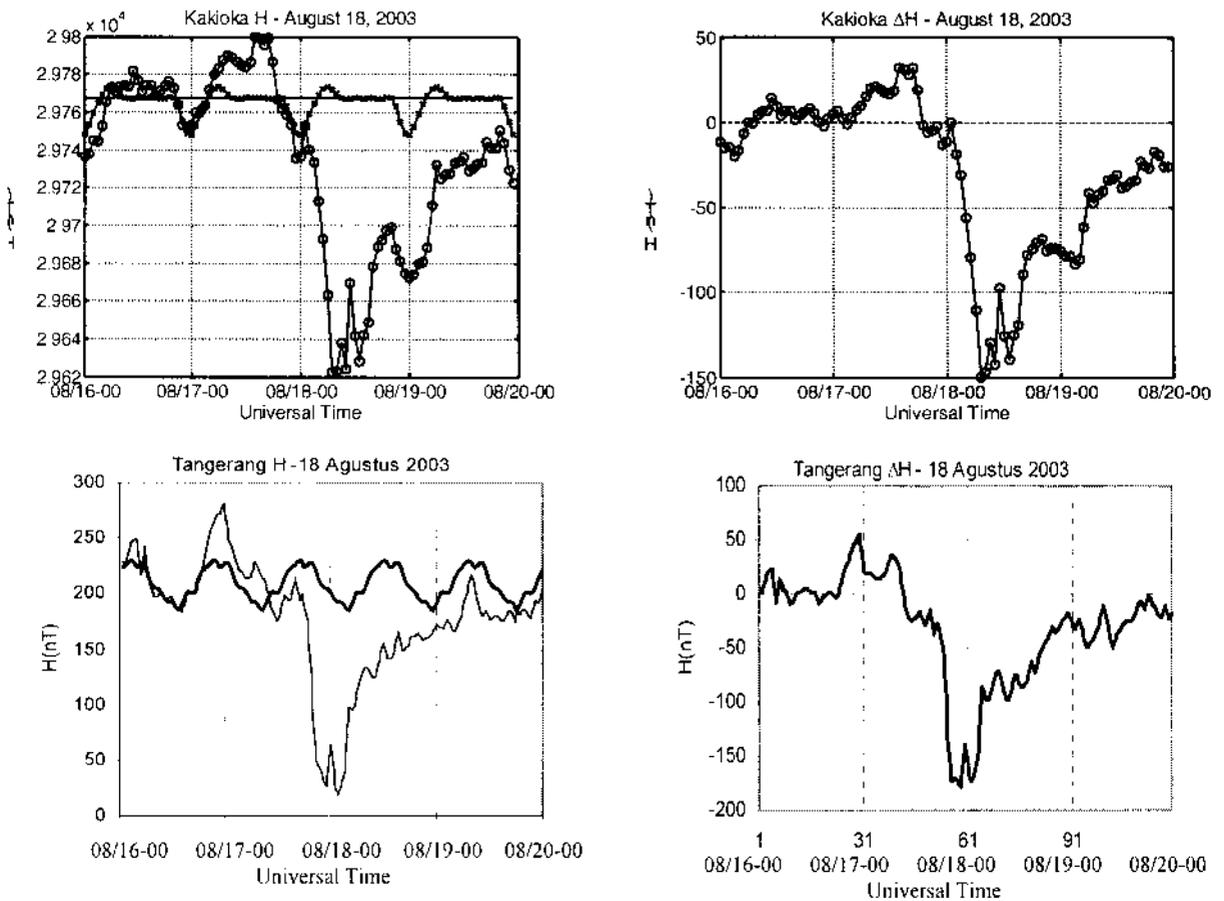
gangguan yang mempengaruhi medan magnet bumi setiap bulan. Berarti pola hari tenang masing-masing bulan menunjukkan pola yang bervariasi dari bulan ke bulan karena tergantung gangguan yang berpengaruh. Dengan kondisi pola hari tenang yang *trend* sekular telah dihilangkan, maka modelnya diidentifikasi menggunakan deret Fourier tunggal pada stasiun/tempat tertentu dengan memperhitungkan dampak bulan dan matahari. Sedangkan untuk area yang meliputi regional tertentu digunakan deret Fourier ganda yang dikaitkan terhadap lintang dan bujur. Untuk kondisi yang demikian saat ini belum bisa dilakukan analisis karena kelengkapan data belum memadai dan model pola hari tenang yang dianalisis hanya terhadap jam dan bulan. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4-4.

Hasil analisis model pola hari tenang dengan menggunakan deret Fourier tunggal dari persamaan (3-1) menggunakan data dari stasiun pengamat geomagnet Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Tangerang bulan Januari tahun 2002. Data itu hanya diambil sebagai contoh analisis model pola hari tenang dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4-3. Akurasi model yang dinyatakan dengan galat sebesar 11.35 nT atau dalam bentuk prosentasi sebesar 4.5 %, serta fluktuasi tingkat gangguan pada komponen H geomagnet jam-an paling besar 74 nT ($nT < 74$). Sedangkan model pola hari tenang dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember 2002 dapat dilihat pada Gambar 4-4. Akurasi model pada tahun 2002 dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember Gambar 4-4 dinyatakan dengan galat terkecil 6.78 nT dan terbesar 34.2 nT atau dinyatakan dalam bentuk prosentasi, terkecil sebesar 2.7 % dan terbesar 13.7 %. Melalui model pola hari tenang yang diperoleh maka tingkat gangguan geomagnet dapat ditentukan berdasarkan

algoritma pada bab 2.2 dengan berdasarkan selisih antara data pengamatan terhadap model pola hari tenang dari masing-masing bulan.

Sebagai contoh hasil perhitungan tingkat gangguan geomagnet dalam uraian ini berdasarkan data bulan Juni 2002 dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang dapat dilihat pada Gambar 4-5. Besar tingkat gangguan jam-an dari stasiun pengamat geomagnet BMG Tangerang pada bulan Juni 2002 tidak lebih dari 100 nT.

Selanjutnya, pada Gambar 4-6 menunjukkan perbandingan model pola hari tenang Sq_{est} dibandingkan terhadap komponen H dari pengamatan pada saat badai magnet tanggal 18 Agustus 2003 dari dua stasiun pengamat geomagnet Kakioka dan Tangerang. Perubahan komponen geomagnet masing-masing stasiun dihitung berdasarkan selisih antara model pola hari tenang komponen H terhadap data komponen H pada saat badai. Dari hasil perubahan komponen H geomagnet stasiun Tangerang dan Kakioka boleh dikatakan kurang lebih 95 % menunjukkan pola perubahan yang sama dari sebelum, sedang, dan sesudah peristiwa badai. Kondisi perubahan komponen H dari stasiun pengamat geomagnet Tangerang pada saat terjadi badai dihitung tingkat gangguan medan magnet bumi kurang lebih -178 nT di bawah model pola hari tenang. Sedangkan perubahan komponen H pada stasiun pengamat geomagnet Kakioka pada saat terjadi badai magnet tersebut dihitung tingkat gangguan medan magnet bumi sekitar -150 nT. Perbedaan tingkat gangguan medan magnet bumi dari kedua stasiun masing-masing titik tergantung dari titik potensial magnetnya. Berarti setiap titik potensial magnet dari semua permukaan bumi menunjukkan kuantitas yang berbeda.



Gambar 4-6: Perubahan komponen H geomagnet pada saat badai magnet 18 Agustus 2003 dari stasiun geomagnet Tangerang (panel bawah) dibandingkan stasiun geomagnet Kakioka (panel atas), masing-masing bagian kiri komponen geomagnet dan kanan perubahan komponen geomagnet

5 KESIMPULAN

Penentuan model pola hari tenang dilakukan berdasarkan seleksi data, mengeliminasi gangguan reguler dan pembuatan rekonstruksi model hingga penentuan tingkat gangguan geomagnet lokal sampai dengan tingkat gangguan regional. Dengan ilustrasi menggunakan data komponen H geomagnet 2001 dan tahun 2002 dapat disimpulkan bahwa pada model pola hari tenang yang menggunakan deret Fourier, dinamika komponen H dapat diidentifikasi dengan memperhitungkan dampak variasi diurnal dan variasi semi diurnal. Akurasi model pola hari tenang sesuai data bulan Januari tahun 2002 dinyatakan dengan galat sebesar 11.35 nT atau ditulis dalam bentuk prosentasi sebesar 4.5 %, serta fluktuasi tingkat gangguan pada komponen H geomagnet BMG Tangerang

jam-an paling besar -74 nT ($nT < 74$) di bawah model pola hari tenang. Selain itu akurasi model pola hari tenang pada tahun 2002 yang ditunjukkan tingkat gangguan jam-an dari stasiun pengamat geomagnet yang sama pada bulan Juni 2002 tidak lebih dari 100 nT. Kemudian akurasi model pada tahun 2002 dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember dinyatakan dengan galat terkecil 6.78 nT dan terbesar 34.2 nT atau dalam bentuk prosentasi, terkecil sebesar 2.7 % dan terbesar 13.7 %. Hasil itu menunjukkan bahwa akurasi model semakin tinggi berarti tingkat gangguan geomagnet yang berpengaruh semakin rendah, demikian pula sebaliknya bila akurasi model semakin rendah maka tingkat gangguan geomagnet yang berpengaruh semakin tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- Habirun, 2003. *Model Variasi H Medan Magnet Bumi Menggunakan Analisis Deret Fourier*, Proceedings Forum Teori dan Aplikasi Statistika, Jurusan Statistika FMIPA UNISBA, Vol. 3.
- R.L McPherron, 2005. *Calculation of the Dst index. Presentation at LWS CDAW Workshop Fairfax, Virginia.* Email: rmcpherron@igpp.ucla.edu.
- Suhartini, S., 1999. *Dampak Flare Tanggal 21 dan 25 Agustus 1998 Pada Medan Magnet Bumi Dan Lapisan Ionosfer*, Majalah LAPAN No. 2 Vol. 1 April, Hal. 34-43.
- Thomopaulas, N.T., 1980. *Applied forecasting methods.* Harold leonsrd. School of Management and Finance lleirois Institute of Technology.
- Zhou X.Y. and F.S. Wei., 1998. *Prediction of recurrent geomagnetic disturbance by using adaptive filtering.* Earth Planets Space, 50. 839 - 845.