

IDENTIFIKASI MODEL INDEKS K GEOMAGNET BERDASARKAN SIFAT STOKASTIK

Habirun
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

ABSTRACT

Geomagnetic K Index is the index that expressing magnetic disturbance level at earth's magnetic field as effect of disturbances such as flare activity of the sun as well as from earth's magnetic field activity such as earthquake. Precipitation in the magnetic field causes turbulence i.e. random motion at magnetic field force line. Therefore K index becomes very complex, fluctuated or stochastic. With this condition, identification model has to be made by using the reconstructed K index by smoothing. Reconstructing an index K data through this smoothing represents one of method to clarify data pattern of index to K which still vaguely. Afterwards analysis to identify reconstructed K index model by using time series analysis based on ARMA (Auto Regressive Moving Average). Reconstructed empirical model of K index of geomagnetic follows model of ARMA (2.2) 2 and 2 order of difference. The result of analysis of the model have good enough accuracy with correlation coefficient nearly one, error is 0.133, and model efficiency 99.7 %. The obtained accurate model can be used to predict reconstructed geomagnetic K index some steps foreward.

ABSTRAK

Indeks K geomagnet adalah indeks yang menyatakan tingkat gangguan pada medan magnet bumi (geomagnet) sebagai akibat gangguan diantaranya dari matahari misalnya akibat aktivitas *flare*. Demikian pula dari permukaan bumi antara lain akibat aktivitas gempa bumi dan dari aktivitas medan magnet bumi. Pada medan magnet terjadi presipitasi yang menyebabkan terjadinya turbulensi sehingga menimbulkan gerak acak pada garis-garis gaya magnet. Oleh karena itu deret waktu indeks K menjadi sangat kompleks, berfluktuasi, dan tidak berpola atau mengikuti sifat stokastik. Dengan kondisi yang stokastik ini maka identifikasi model indeks K dilakukan menggunakan data indeks K rekonstruksi melalui pemulusan. Merekonstruksi data indeks K melalui pemulusan ini merupakan salah satu metode untuk memperjelas pola data indeks K yang masih samar-samar. Setelah itu analisis identifikasi model indeks K rekonstruksi dilakukan menggunakan metode *time series analysis* berdasarkan realisasi model ARMA [*Auto Regressive Moving Average*]. Model empiris indeks K geomagnet hasil rekonstruksi mengikuti model ARMA (2.2) 2 dan 2 orde diferensial. Hasil analisis identifikasi model indeks K geomagnet rekonstruksi yang diperoleh mempunyai akurasi dengan koefisien korelasi mendekati satu, galat adalah 0.133, dan efisiensi model 99.7 %. Model yang telah diperoleh tersebut dapat digunakan untuk memprediksi indeks K geomagnet rekonstruksi beberapa langkah waktu kedepan.

Kata kunci : *Deret waktu, Stokastik, Model ARMA, Indeks geomagnet*

1 PENDAHULUAN

Indeks K geomagnet menyatakan tingkat aktivitas gangguan yang mempengaruhi medan magnet bumi (geomagnet) terutama pada daerah permukaan bumi yang tegak lurus dengan

aktivitas gangguan. Oleh karena itu deret waktu indeks K geomagnet terhadap waktu sangat kompleks, berfluktuasi dan tidak berpola. Selain itu indeks K ditentukan dari variasi komponen H dan komponen D dengan

berdasarkan amplitudo maksimum dari kedua komponen. Berarti tinggi rendahnya nilai indeks K tergantung dari tingkat gangguan yang berpengaruh. Nilai indeks K berfluktuasi sebagai dampak berbagai gangguan jangka pendek yang mempengaruhi medan magnet bumi, misalnya gangguan jangka pendek dari matahari akibat *flare*, dan aktivitas dari permukaan bumi, antara lain yang ditimbulkan oleh gempa bumi dan aktivitas medan magnet bumi itu sendiri. Juga pada medan magnet bumi terjadi presipitasi yang menyebabkan terjadinya turbulensi sehingga menimbulkan gerak acak pada garis-garis gaya magnet. Fluktuasi ini juga dipengaruhi oleh radiasi matahari.

Berkaitan dengan kombinasi berbagai gangguan yang disinggung di atas maka fluktuasi deret waktu indeks K medan magnet bumi tidak menunjukkan pola tertentu. Gangguan-gangguan tersebut tidak saling terkait dalam interval waktu jangka pendek seperti dalam durasi waktu dari satu jam hingga hari. Berarti fluktuasi deret berkala indeks K terhadap waktu mengikuti perubahan sifat stokastik yang bebas, karena tinggi rendahnya nilai indeks K pada saat tertentu tergantung dari tingkat gangguan yang berpengaruh pada medan magnet bumi. Walaupun kombinasi berbagai gangguan cukup dominan pada medan magnet bumi, tetapi bila terjadi gangguan yang berpengaruh sangat dahsyat pada saat tertentu maka akan terbentuk pola-pola temporal/ sementara pada medan magnet bumi dalam durasi waktu jam hingga hari. Peristiwa demikian diakibatkan oleh peristiwa badai magnet matahari yang mempengaruhi medan magnet bumi dan lapisan ionosfer, sehingga antara medan magnet bumi dan lapisan ionosfer dalam interval jangka pendek berkorelasi positif (Ruhimat, 2001). Demikian juga gangguan yang lainnya yang mempengaruhi medan magnet bumi dan lapisan ionosfer. Dampak gangguan-gangguan tersebut dapat digunakan sebagai basis identifikasi model deret waktu indeks K geomagnet.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas dalam pembahasan ini dibahas identifikasi model indeks K geomagnet berdasarkan sifat stokastik, sesuai dampak dari berbagai gangguan yang berpengaruh. Identifikasi model indeks K geomagnet menggunakan metode *time series analysis* (Vassiliadis D., Klimas A. J., and Baker D. N., 1996) melalui proses identifikasi model ARMA (*Auto Regressive Moving Average*) orde 2, dan 2 dengan notasi ARMA (2.2). Data indeks K geomagnet, digunakan dari stasiun-stasiun pengamat geomagnet pada regional Indonesia terutama dari stasiun pengamat geomagnet Biak. Karena deret waktu indeks K sangat kompleks, berfluktuasi dan tidak berpola maka analisis identifikasi model indeks K melalui dua tahap analisis. Tahap pertama identifikasi model indeks K dari pengamatan langsung ditentukan dan tahap kedua data indeks K direkonstruksi berdasarkan pemulusan (Habirun, 2005) sehingga pola data indeks K rekonstruksi yang terbentuk lebih jelas. Dengan kondisi data indeks K pemulusan tersebut sehingga model indeks K yang dimuluskan lebih baik dari pada data indeks K yang tidak dimuluskan.

2 DATA DAN IDENTIFIKASI MODEL

2.1 Data Indeks K Geomagnet

Data indeks K geomagnet dari stasiun pengamat geomagnet Biak, yang diamati menggunakan peralatan *Fluxgate Magnetometer*, diantaranya mengamati komponen H dan komponen D pada setiap menit. Dalam interval tiga jam indeks K ditentukan melalui amplitudo maksimum antara komponen H ataupun komponen D yang maksimum. Setelah diperoleh amplitudo maksimum dari salah satu komponen kemudian variasinya ditentukan berdasarkan selisih antara amplitudo maksimum terhadap amplitudo minimum. Variasi-variasi setiap tiga jam diperoleh kemudian dikonversi kedalam bilangan 0, 1,2, sampai dengan 9 dan nilai-nilai inilah menyatakan indeks K

geomagnet lokal, yang tidak mempunyai satuan. Oleh karena itu deret waktu indeks K geomagnet menunjukkan sangat kompleks, berfluktuasi dan tidak berpola, akibat dipengaruhi gangguan temporal yang sifatnya universal misalnya badai magnet matahari. Kondisi fluktuasi data yang demikian salah satu akibat dari gerak acak garis-garis gaya magnet yang disebabkan pengaruh turbulensi dari magnetosfer bumi dan dari gerakan ini memicu munculnya sifat stokastik. Apabila terjadi badai magnet maka deret berkala indeks K menunjukkan pola temporal pada selang waktu tertentu dan pola-pola inilah yang dijadikan basis untuk mengidentifikasi model indeks K.

2.2 Analisis Identifikasi Model Indeks K

Deret waktu indeks K geomagnet yang diperoleh sangat kompleks, berfluktuasi dan tidak berpola karena merupakan indikasi tingkat gangguan yang berpengaruh pada medan magnet bumi. Walaupun demikian identifikasi model deret waktu indeks K sangat diperlukan untuk memonitor tingkat gangguan pada saat tertentu. Apabila deret waktu tidak mempunyai pola maka model dari deret tersebut tidak bisa ditentukan. Sehubungan data indeks K tidak mempunyai pola maka data itu direkonstruksi dengan menggunakan pemulusan sehingga diperoleh pola deret indeks K yang lebih jelas. Hasil dari pemulusan tersebut kemudian modelnya diidentifikasi dengan menggunakan fungsi autokorelasi (FAK) dan fungsi parsial auto korelasi (FPAK) menurut George, et al. (1994). Analisis berdasarkan data pengamatan menggunakan FAK dan FPAK sehingga diperoleh deret waktu indeks K yang mengikuti memori jangka pendek, berarti pengamatan yang jauh terpisah tidak ada kaitan sehingga pembeda $d = 0$ dalam realisasi proses ARMA (*Auto Regressive Moving Average*). Fluktuasi deret berkala indeks K geomagnet direkonstruksi melalui pemulusan, dan pola yang diperoleh dari pemulusan itu

setelah dianalisis mengikuti model ARMA (2.2) 2 dan 2 orde diferensial.

2.3 Akurasi Model Indeks K Geomagnet Rekonstruksi

Deret waktu indeks K geomagnet rekonstruksi, sesuai hasil analisis identifikasi model pada bab 2.2 di atas mengikuti model ARMA (2,2) dan akurasi model akan dikaji pada bab 2.3 ini. Kajian akurasi model indeks K rekonstruksi pada bagian ini menggunakan statistik yang dinyatakan dengan R, St dan PE. Penggunaan R, St dan PE adalah untuk melukiskan ketelitian suatu hasil prediksi (Habirun, 2004). Koefisien korelasi data pengamatan terhadap model didefinisikan sebagai berikut.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\} \{\hat{X}_i - \bar{\hat{X}}\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{X}_i - \bar{\hat{X}})^2}} \quad (2-1)$$

maka deviasi standar adalah

$$St = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-2)$$

Efisiensi prediksi PE = 1 - ARV, ARV adalah variasi rata-rata relatif dan didefinisikan sebagai

$$ARV = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-3)$$

dengan X_i dan \bar{X}_i pengamatan dan rata-ratanya, \hat{X}_i dan $\bar{\hat{X}}_i$ prediksi dan rata-ratanya.

Tiga parameter ini merupakan pelengkap yang melukiskan ketelitian secara keseluruhan dari hasil prediksi. R adalah koefisien korelasi antara data pengamatan dan prediksi. Tetapi peristiwa dari sebuah prediksi dikorelasikan sempurna, apabila $R = 1$. Yang menjadi kekhawatiran adalah ketika terjadi ketidaksesuaian antara pengamatan terhadap prediksi. Untuk contoh, dengan dua kurva variasi sama ($R = 1$) dapat dinyatakan

tumpah tindih, apabila tidak mempunyai jarak antara ($St = 0$). Bila keduanya (pengamatan dan prediksi) pada suatu waktu diratakan maka kondisi itu akan mempunyai jarak antara ($St > 0$). St lebih kecil berarti prediksi lebih baik. PE memperlihatkan kemampuan prakiraan terhadap perubahan data pengamatan. Prediksi terbaik akan mempunyai PE = 100 % atau mendekati nilai ini. Pengujian prediksi yang diungkapkan di atas dapat pula digunakan dalam pengujian model identifikasi terhadap data pengamatan ataupun data yang telah dilakukan rekonstruksi dari data aslinya. Dalam uraian ini hasil analisis yang diperoleh akan berdasarkan teknik-teknik pengujian prediksi yang tertera dalam uraian bagian ini.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sehubungan data indeks K geomagnet merupakan dampak kombinasi berbagai tingkat gangguan maka sifat dari data itu identik dengan sifat acak yang stokastik. Karena masing-masing data pertama, kedua dan seterusnya tidak saling terkait maka data yang demikian secara umum tidak beresilasi, tetapi sangat kompleks, berfluktuasi, dan tidak berpola seperti yang dinyatakan data pada Gambar 3-1.

Analisis identifikasi model indeks K geomagnet harian yang mengikuti sifat stokastik ini menggunakan data tahun 1996 yang tertera pada Gambar 3-1. Dari data yang demikian sangat sulit menentukan modelnya secara langsung karena tidak mempunyai pola. Oleh sebab itu dengan pemulusan atau rekonstruksi untuk memperoleh pola yang lebih jelas. Pemulusan itu dilakukan berdasarkan perata-rataan setiap empat titik data guna menentukan pola deret waktu indeks K yang terkandung didalamnya. Data hasil rekonstruksi kemudian dibandingkan terhadap pengamatan (dinyatakan pada Gambar 3-1 bagian bawah). Dari pola data rekonstruksi ini model indeks K diidentifikasi melalui model ARMA dan

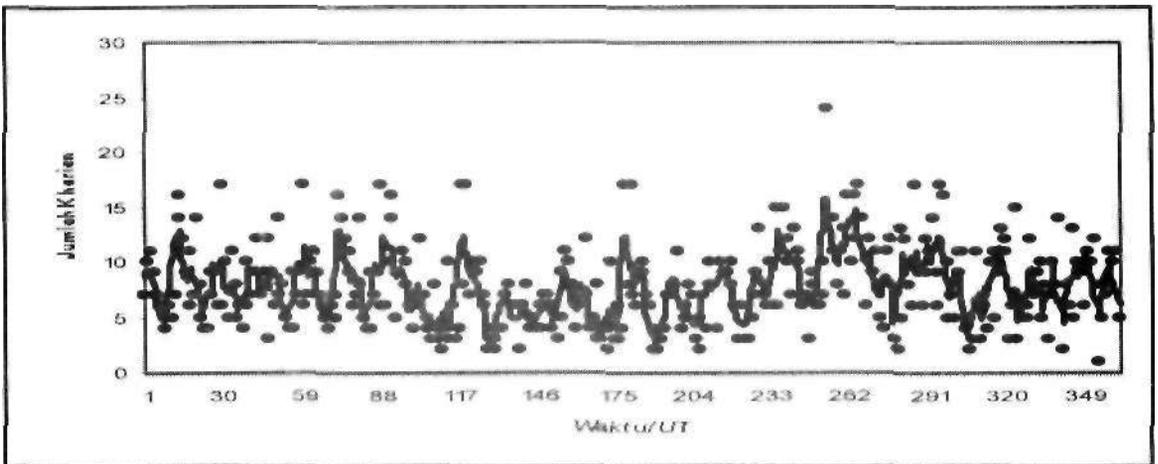
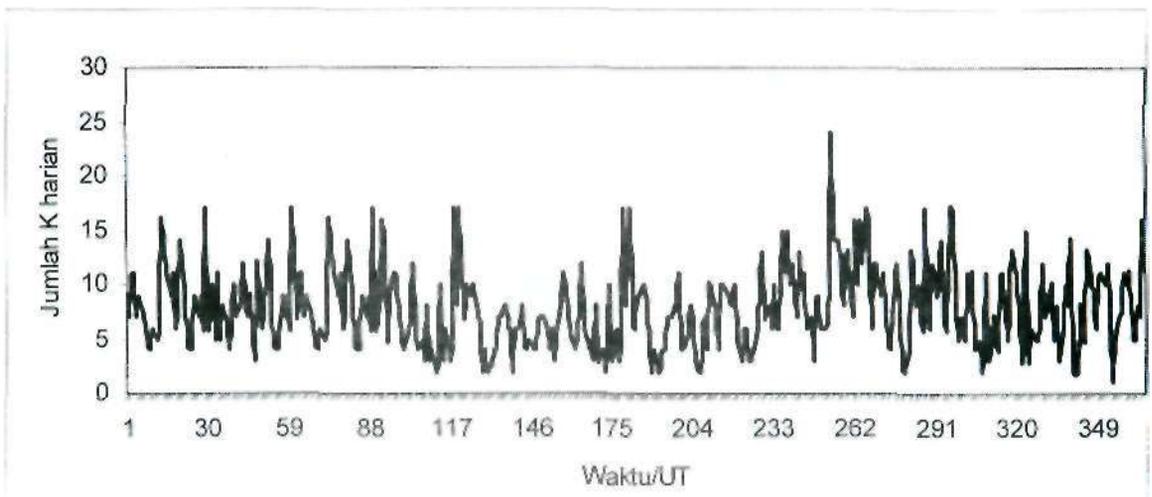
hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3-2. Akurasi model secara kualitatif telah ditunjukkan pada Gambar 3-2, tetapi akurasi secara kuantitas perlu diuji kembali dengan data pengamatan. Pengujian itu dilakukan dengan menggunakan korelasi antara model terhadap data rekonstruksi yang korelasinya cukup besar (0.999) dan hasil itu ditunjukkan pada Gambar 3-3.

Model indeks K rekonstruksi di atas yang cukup akurat dibandingkan terhadap data rekonstruksinya sendiri. Apabila model itu dibandingkan data aslinya sebelum dilakukan rekonstruksi maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3-4 dan hasil pengujian dengan menggunakan korelasi pola sebesar 0.64 (Gambar 3-5). Berarti antara deret waktu indeks K terhadap data rekonstruksi yang dinyatakan model indeks K rekonstruksi memperlihatkan suatu pola perubahan yang hampir sama. Dengan pergerakan perata-rataan setiap empat data yang telah dilakukan sebelumnya membuat pola deret waktu indeks K yang lebih jelas. Jadi model indeks K dengan identifikasi ini dapat memonitor tingkat gangguan aktivitas geomagnet pada saat tertentu melalui Gambar 3-3.

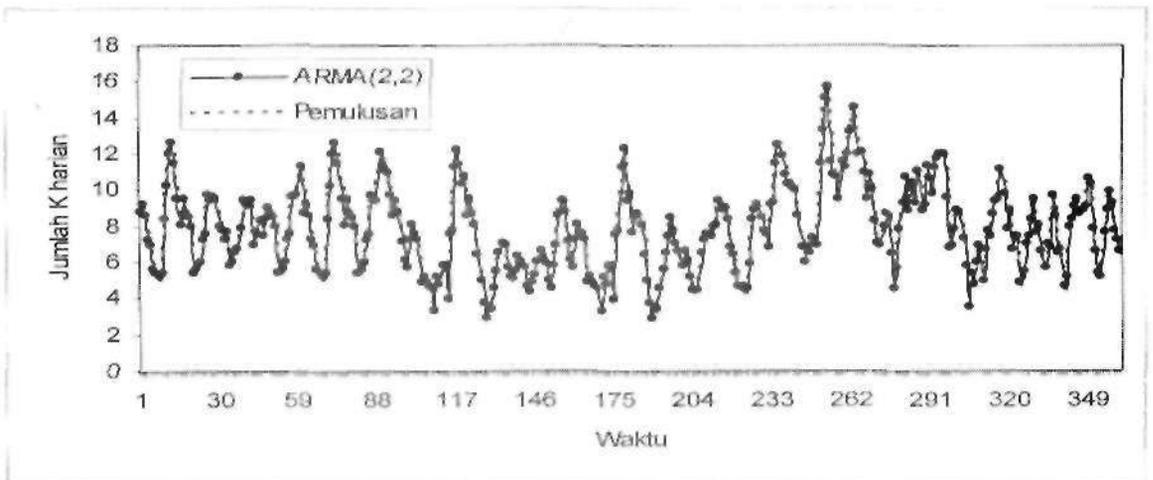
Variansi perubahan karakteristik model indeks K rekonstruksi terhadap data rekonstruksi pada Gambar 3-3 dan juga perubahan karakteristik model indeks K rekonstruksi terhadap data asli yang belum direkonstruksi pada Gambar 3-5 secara berurutan masing-masing sebesar 0,0176 dan 7,962. Hubungan empiris model indeks K rekonstruksi terhadap data rekonstruksi dan data asli yang belum direkonstruksi masing-masing mengikuti model linear yang dinyatakan pada persamaan 3-1 dan persamaan 3-2 sebagai berikut:

$$Y_{\text{rekonst}} = (1.0375 \pm 0.0000164)X - (0.2895 \pm 0.00109) \quad \text{dan} \quad (3-1)$$

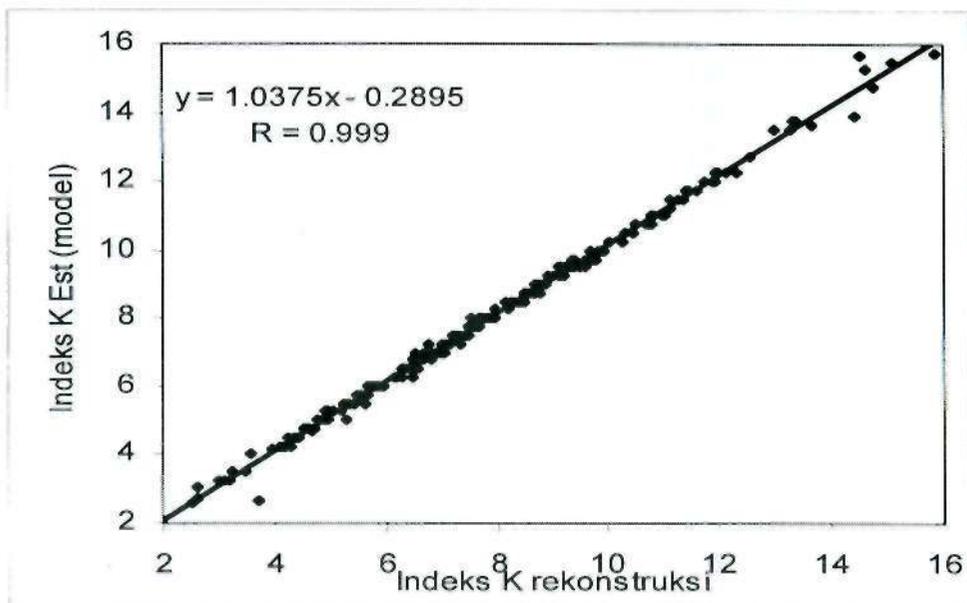
$$Y_{\text{data}} = (0.4056 \pm 0.0032)X + (4.6265 \pm 0.2382) \quad (3-2)$$



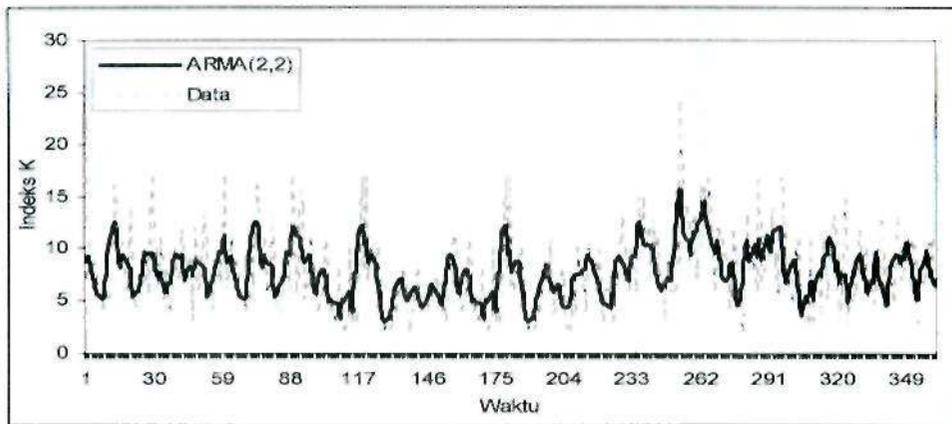
Gambar 3-1: Data indeks K geomagnet tahun 1996 mengikuti sifat stokastik; data pengamatan (panel atas), perbandingan antara data pengamatan titik-titik dan garis data rekonstruksi (panel bawah)



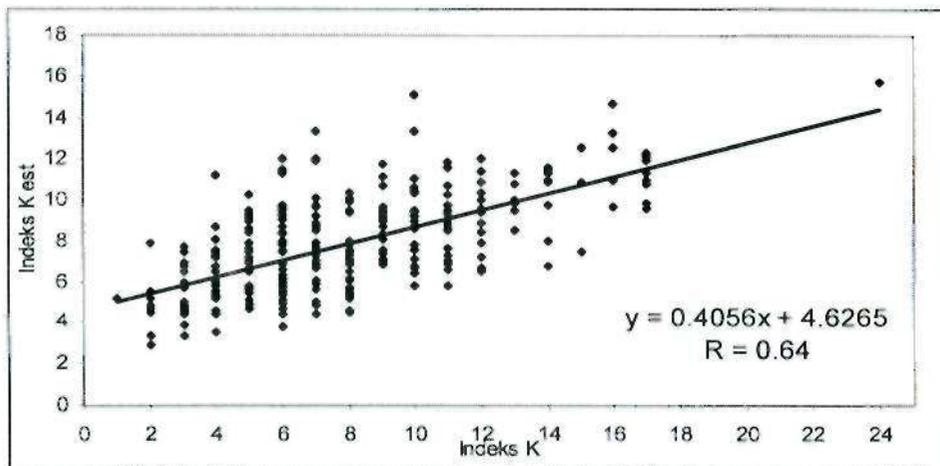
Gambar 3-2: Perbandingan antara model indeks K harian dengan rekonstruksi diidentifikasi melalui model ARMA (2,2) (garis) dibandingkan terhadap data rekonstruksi (garis putus-putus)



Gambar 3-3: Korelasi model indeks K harian rekonstruksi melalui model ARMA(2,2) terhadap data indeks K rekonstruksi



Gambar 3-4: Model indeks K harian rekonstruksi diidentifikasi melalui model ARMA (2,2) (dengan garis) dibandingkan terhadap data indeks K asli (dengan titik-titik halus)



Gambar 3-5: Korelasi model indeks K harian rekonstruksi melalui model ARMA(2,2) terhadap data indeks K asli

Pada persamaan 3-1 dan persamaan 3-2 masing-masing X menyatakan data rekonstruksi dan data asli yang belum direkonstruksi, sedangkan Y adalah menunjukkan model indeks K geomagnet rekonstruksi. Interval perubahan konstanta-konstanta model pada persamaan 3-1 dan persamaan 3-2 ditentukan melalui variansi konstanta-konstanta tersebut kemudian dikalikan dengan 1,96. Nilai 1,96 diperoleh dari kemiringan distribusi Gauss dengan toleransi yang diambil 5 % sesuai aturan analisis menggunakan statistik. Dengan interval rata-rata perubahan indeks K harian selama tahun 1996 khususnya di atas stasiun pengamat geomagnet Biak dari persamaan 3-1 dan persamaan 3-2 secara umum dapat dirumuskan pada persamaan 3-3.

$$Y = \bar{Y} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3-3)$$

dengan σ adalah deviasi standar dan n adalah jumlah data. Dengan demikian berdasarkan persamaan 3-3 maka perubahan model indeks K geomagnet rekonstruksi terhadap data rekonstruksi tidak lebih dari 0.03 (7.7799 sampai dengan 7.8073) dan perubahan model indeks K geomagnet rekonstruksi terhadap data asli yang belum direkonstruksi juga tidak lebih dari 0.58 (7.5122 sampai dengan 8.0944).

Akurasi model indeks K geomagnet rekonstruksi menggunakan model ARMA (2,2) terhadap data rekonstruksi efisiensi modelnya sebesar 99,7 % dan data asli yang tidak direkonstruksi efisiensi modelnya sebesar 41,02 %. Sedangkan akurasi model berdasarkan galat masing-masing sebesar 0.133 dan 2.822. Berarti model indeks K menggunakan data rekonstruksi atas perata-rataan empat data dapat digunakan untuk memprediksi deret waktu indeks K beberapa langkah waktu kedepan. Dengan persyaratan bahwa data indeks K yang sangat kompleks, berfluktuasi dan tidak berpola itu sebelum ditentukan modelnya terlebih dahulu harus direkonstruksi. Persyaratan rekonstruksi hanya dilakukan pemulusan ber-

dasarkan perata-rataan bergerak setiap empat data.

4 KESIMPULAN

Data indeks K geomagnet yang mengikuti sifat stokastik ternyata dapat diidentifikasi modelnya menggunakan model ARMA (2,2) orde 2 dan 2 dengan menggunakan prosedur rekonstruksi melalui pemulusan berdasarkan perata-rataan empat data. Akurasi model indeks K rekonstruksi dibandingkan terhadap data rekonstruksinya dengan koefisien korelasi mendekati satu, galat model 0.133 dan efisiensi model 99,7 %. Kemudian model indeks K geomagnet rekonstruksi dibandingkan pula terhadap data asli yang tidak dilakukan rekonstruksi dengan koefisien korelasi 0,64 galat model 2,822 dan efisiensi model hanya 41,02 %. Berarti dalam pengambilan sampling pergerakan perata-rataan empat data itu dapat memperjelas pola indeks K yang masih samar-samar. Selain itu hubungan antara model indeks K geomagnet rekonstruksi terhadap data rekonstruksi dan data aslinya mengikuti model linear yang dapat digunakan untuk memprediksi maupun memonitor tingkat aktivitas gangguan geomagnet pada saat tertentu. Perubahan model indeks K geomagnet rekonstruksi terhadap data rekonstruksi tidak lebih dari 0.03 (7.7799 sampai dengan 7.8073) dan perubahan model indeks K geomagnet rekonstruksi terhadap data asli yang belum direkonstruksi juga tidak lebih dari 0.58 (7.5122 sampai dengan 8.0944).

DAFTAR RUJUKAN

- George, E. P. Box G.P., Jenkins, G. M., dan Reinsel, G. C., 1994. *Time Series Analysis Forecasting and Control*, Edisi ketiga. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Habirun, 2005. *Identifikasi Model Fluktuasi Indeks K Harian Menggunakan Model ARMA (2.0.1)*, Journal of Aerospace Sciences. Vol.2 No.2 Him. 100, LAPAN Jakarta.

Habirun, 2004. *Penentuan Model Prediksi Aktivitas Geomagnet Menggunakan Proses ARMA*, Prosiding Seminar Nasional Matematika, Jurusan Matematika, FMIPA-Universitas Diponegoro. Hal. 89 - 94 Semarang.

Ruhimat, M.; Jiyo; Eddy; I. S., Dodi, S., 2001. *Dampak Aktivitas Geomagnet Terhadap Lapisan Ionosfer*, Warta LAPAN No. 1 Vol. 3, hal, 15 - 18.

Vassiliadis D.; Klimas A. J.; and Baker D. N., 1996. *Non Linear ARMA Models for the Dst Index and their Physics Interpretation*. Paper presented at the third Int. Conf. On Substorms (ICS-3), Versailles-France, May 12 - 17.