

IDENTIFIKASI PERUBAHAN TINGKAT GANGGUAN GEOMAGNET LOKAL MENGGUNAKAN MODEL AUTOREGRESSION INTEGRATED MOVING AVERAGE

Habirun

Peneliti Pusat Sains Antariksa-LAPAN

e-mail : e_habirun@yahoo.com.

Abstrak. Perubahan gangguan geomagnet lokal diidentifikasi melalui data variasi harian komponen H menggunakan model *Auto Regression Integrated Moving Average* (ARIMA). Data variasi harian komponen H horizontal diperoleh dari stasiun pengamat geomagnet Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tangerang. Perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal ditentukan melalui pengurangan antara data pengamatan variasi harian komponen H horizontal dan model pola hari tenang Sq. Model pola hari tenang Sq ditentukan menggunakan metode analisis Harmonik ganda dengan menggunakan data rata-rata jaman variasi harian komponen H lima hari tenang Internasional setiap bulan. Karena perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal sangat berfluktuasi, maka identifikasi model ditentukan dalam dua cara yakni melalui data pengamatan dan rekonstruksi. Hasil identifikasi model yang diperoleh dengan menggunakan model ARIMA (2,0,1) orde 2, 0 dan 1. Akurasi model berdasarkan galat dan korelasi pola, secara berurutan 2.18 nT dan 0.99940 dari data pengamatan, 0.3582 nT dan 0.9988 dari rekonstruksi.

Kata kunci: *gangguan geomagnet, komponen H geomagnet*

Abstract. Fluctuation of geomagnetic disturbances is identified based on daily variation data of H component by using Auto Regression Integrated Moving Average (ARIMA) model. The horizontal daily variation data is obtained from geomagnetic stations of Meteorology and Geophysics Agency Tangerang. The level of local geomagnetic disturbances is determined by subtracting the daily variation of observed H horizontal component on model pattern of a quiet day Sq. Model pattern of a quiet day Sq is determined by using the double harmonic analysis of daily variation H component of the five international quiet days of each month. because changes in the level of disturbances of local geomagnetic fluctuating significantly. Therefore the identification model is done in two ways, by observation and data reconstruction. The results of model identification obtained by using model of ARIMA (2,0,1) of order 2, 0 and 1. Accuracy of the model based on an error and pattern correlation, respectively 2:18 nT and 0.99940 derived from observed data, 0.3582 nT and 0.9988 derived from reconstruction pattern.

Keywords: *geomagnetic disturbance, geomagnetic H component*

1. Pendahuluan

Karakteristik perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal cukup kompleks, berfluktuasi dan dinamis akibat dipengaruhi berbagai aktivitas gangguan jangka pendek, seperti aktivitas *flare* dan CME (*Coronal Mass Ejection*). Akibat peristiwa *flare* di

matahari, partikel-partikel energetik yang dilontarkan selama *flare*, dapat memecah medan magnet bumi secara kuat dalam selang waktu yang sangat singkat (Suhartini, S., 1999). Akibatnya timbul gangguan yang dikenal sebagai badai magnet (*Magnetic Storms*) dan memicu timbulnya badai ionosfer (*ionospheric storm*) melalui sistem kopling magnetosfer-ionosfer-atmosfer (Tsurutani et al., 1990). Badai magnet merupakan salah satu bentuk gangguan geomagnet akibat aktivitas matahari. Sehingga pendekatan tentang kebumihan saat matahari menurun dan minimum, aktivitas matahari dan pengaruhnya terhadap magnetosfer bumi menjadi sangat menarik untuk diteliti. Oleh karena itu, dari dahulu hingga sekarang telah banyak prakiraan-prakiraan saintifik dilakukan dengan tujuan pelayanan. Dengan kondisi yang demikian para ilmuwan di lembaga-lembaga penelitian dan universitas-universitas berusaha keras setiap waktu meningkatkan penelitian (Schwenn, 1986 dan Marubashi, 1989).

Untuk melihat pengaruh aktivitas matahari terhadap magnetosfer bumi dapat dilakukan melalui perubahan tingkat gangguan geomagnet. Pada makalah ini dibahas identifikasi perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal menggunakan metode *time series analysis* melalui model *Autoregression Integrated Moving Average* (ARIMA).

2. Data Dan Metode

Sebelum dilakukan identifikasi model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal akibat pengaruh berbagai aktivitas gangguan, terlebih dahulu dijelaskan perolehan data pengamatan variasi harian komponen geomagnet. Perolehan data pengamatan tingkat gangguan geomagnet secara matematis diuraikan pada subbab 2.2. Perlu diketahui bahwa data variasi harian komponen geomagnet dari pengamatan dipengaruhi berbagai aktivitas gangguan, langsung dari external dan internal medan magnet bumi, akibatnya variasi harian komponen geomagnet berfluktuasi, kompleks dan dinamis.

Identifikasi pola karakteristik perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal menggunakan model ARIMA (p,d,q) p, d dan q orde diferensial. Penentuan perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dilakukan melalui variasi harian komponen H horizontal dan atau yang diperoleh berdasarkan model pola hari tenang (Sq). Model Sq ditentukan dari rata-rata variasi harian komponen H lima hari tenang internasional menggunakan metode analisis harmonik ganda. Data variasi harian komponen H geomagnet yang digunakan sebagai bahan analisis diperoleh dari stasiun pengamat geomagnet Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tangerang. Variasi harian komponen H rata-rata per-jam-an diperoleh dari data per-detik hingga per-menit, sehingga dalam sehari diperoleh 24 titik data. Karakteristik perubahan variasi harian komponen H rata-rata per-jam-an inilah yang diidentifikasi modelnya. Model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal ini dibangun untuk mendapatkan informasi tingkat aktivitas gangguan geomagnet.

2.1. Model hari tenang (Sq) Variasi Harian Komponen H Geomagnet

Data pengamatan variasi harian komponen horizontal $H(t)$ dengan medan magnet utama $H_0(t)$, hari tenang $Sq(t)$ dan berbagai aktivitas gangguan $D(t)$. Secara matematis dijabarkan McPherron (2005) sebagai berikut :

$$H(t) = H_o(t) + Sq(t) + D(t) \quad 2-1$$

Variasi harian komponen $H(t)$ adalah $\Delta H(t) = H(t) - H_o(t)$ dan ditulis menjadi

$$\Delta H(t) = Sq(t) + D(t) \quad 2-2$$

Kemudian dampak gangguan berpola dieliminasi sehingga ditulis dalam persamaan 2-3

$$\Delta H(t) - Sq(t) = D(t) \quad 2-3$$

Pola hari tenang $Sq(t)$ yang berperiode dan modelnya McPherron (2005) dan Ruhimat M. (2001) menggunakan metode analisis Harmonik ganda dan dijabarkan sebagai

$$Sq(T, M) = \sum_{m=1}^6 \sum_{n=1}^6 A_{m,n} \cos(mT + \alpha_m) \cos(nM + \beta_n) \quad 2-4$$

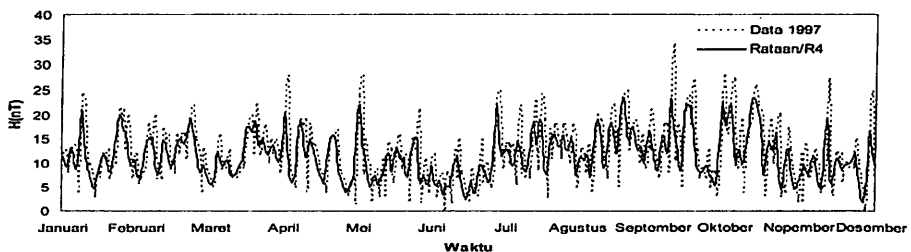
dengan $T =$ Waktu dan $M =$ bulan serta sudut fasa α dan β ke- m dan n yang dikaitkan terhadap periode variasi harian berperiode (24, 12 dan 6) jam. Hasil analisis akibat dampak gangguan geomagnet lokal (lihat gambar 2.1). Kemudian dampak gangguan tersebut modelnya diidentifikasi menggunakan metode *time series analysis* diuraikan pada subbab 2.3.

2.2. Identifikasi Model Gangguan Geomagnet Lokal Tidak Berpola

Karakteristik perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dari persamaan 2-3 diidentifikasi menggunakan model *Auto Regression Integrated Moving Average* (ARIMA). Karena perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal pada saat badai magnet saling terkait dan berfluktuasi sesuai urutan waktu Box (1994), maka secara umum dapat dirumuskan melalui model ARIMA (p.d.q) dengan p , d , dan q orde difensial adalah

$$\psi(B)Z_t = \phi(B)\nabla^d W_t = \theta(B)a_t \quad 2-5$$

5



Gambar 2-1. Perbandingan antara perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal tidak berpola (titik-titik) tahun 1997 terhadap rata-rata/rekonstruksi (garis)

Dengan Z_t , W_t , dan a_t secara berurutan masing-masing menyatakan barisan pengamatan, transformasi, dan galat model waktu ke-t. Sedangkan $\psi(B)$ menyatakan operator AR yang diperluas orde p dan q, $\phi(B)$ menyatakan operator AR (*Auto Regression*) yang stasioner orde p dan $\theta(B)$ menyatakan operator MA (*Moving Average*) orde q. Perlu diketahui bahwa model ARIMA yang dinyatakan pada persamaan 2-5 merupakan model *time series analysis non linear* yang digunakan untuk mengidentifikasi model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal jangka pendek pada saat terjadi badai magnet.

Data gangguan tidak mempunyai pola $d \neq 0$ dan transformasinya $W_t = (1 - B)\nabla^d Z_t$. Akhirnya model dari persamaan 2-5 secara umum (Habirun et al., 2007) dinyatakan oleh

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \phi_2 W_{t-2} + \dots + \phi_p W_{t-p} + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q} + a_t \tag{2-6}$$

galat a_t mengikuti distribusi normal $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$ yaitu dengan rata-rata nol dan σ_a^2 variansi galat. Konstanta model AR (*Auto Regression*) adalah ϕ dan konstanta model MA (*Moving Average*) adalah θ pada persamaan 2-6 masing-masing konstanta dihitung menggunakan matriks korelasi melalui persamaan Yule-Walker adalah

$$\rho_{q+j} = \sum_{i=1}^p \phi_i \rho_{q+j-i}, \quad i = 1, 2, \dots, p \tag{2-7}$$

2.3. Identifikasi Model Gangguan Geomagnet Lokal Berpola

Karakteristik perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal persamaan 2-6, yang tidak mempunyai pola diubah menjadi mempunyai pola dengan $d = 0$ menggunakan transformasi $W_t = Z_t - \bar{Z}$ dengan Z_t adalah data pengamatan tingkat gangguan dan \bar{Z} adalah rata-rata. Pola karakteristik data tingkat gangguan diidentifikasi menggunakan model ARIMA (2,0,2) $p = 2$ dan $q = 2$ order difrensial yang dinyatakan persamaan 2-8 adalah

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \phi_2 W_{t-2} + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + a_t \tag{2-8}$$

Konstanta-konstanta model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal persamaan 2-8 dihitung menggunakan metode kuadrat terkecil sehingga diperoleh

$$\left. \begin{aligned} \phi_2 &= \frac{\sum W_t W_{t-1} \sum W_{t-1} W_{t-2} - \sum W_t W_{t-2} \sum W_{t-1}^2}{(\sum W_{t-1} W_{t-1})^2 - \sum W_{t-1}^2 \sum W_{t-2}^2} \\ \phi_1 &= \frac{\sum W_t W_{t-1} - \phi_2 \sum W_{t-1} W_{t-2}}{\sum W_{t-2}^2} \end{aligned} \right\} \tag{2-9}$$

Demikian pula konstanta θ_1 dan θ_2 dapat pula dihitung dengan prosedur yang sama terhadap konstanta-konstanta ϕ_1 dan ϕ_2 . Sedangkan galat model ARIMA persamaan 2-8 dihitung sesuai prosedur yang dinyatakan persamaan 2-10 sebagai berikut

$$a_t = Z_{data} - Z_{model} \quad 2-10$$

Kemudian rata-rata $\hat{\mu}$ dan variansi s^2 dari n pengamatan $\{a_t\}$ pada waktu t dihitung menggunakan persamaan 2-11 dan persamaan 2-12

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n a_t \quad 2-11$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (a_t - \hat{\mu})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n a_t^2, \quad 2-12$$

dengan $\{a_t\}$ residu atau sisa dari rata-rata $\hat{\mu}$. Dalam analisis galat σ_μ tahunan melalui rata-rata μ dari data pengamatan dihitung melalui persamaan 2-13

$$\sigma_\mu^2 = E\{(\mu - \hat{\mu})^2\} = s^2 / n \quad 2-13$$

$\hat{\mu}$ digunakan sebagai data tunggal untuk masing-masing hari dan galatnya s/\sqrt{n} bulanan, tetapi ditentukan melalui nilai tunggal s dari semua sampel. Distribusi sampel variasi galat model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dari data pengamatan dianalisis menggunakan distribusi Gaussian

3. Hasil dan Pembahasan

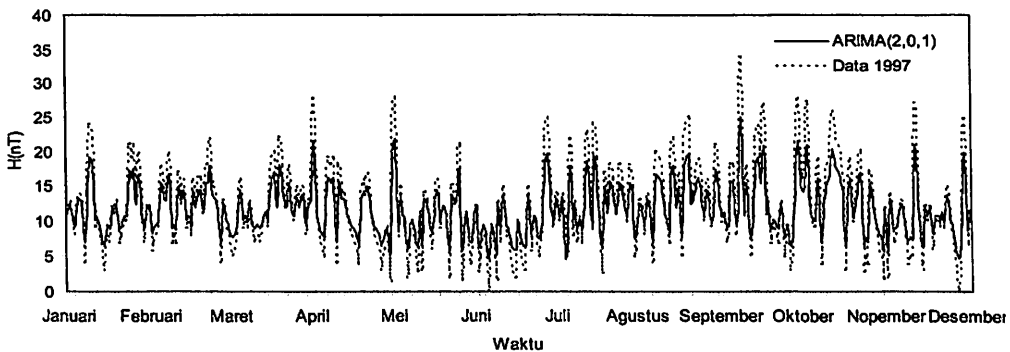
Hasil analisis yang diungkapkan dalam pembahasan ini berangkat dari perubahan tingkat gangguan geomagnet berpola dan tidak berpola. Tingkat gangguan geomagnet berpola dianalisis sesuai dampak gangguan *transien* yang diuraikan pada subbab 3.2. Sedangkan perubahan tingkat gangguan geomagnet tidak berpola yang dinyatakan data pengamatan juga dianalisis pada subbab 3.1. Perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dari pengamatan ditunjukkan Gambar 2-1. Oleh karena itu dianalisis dengan dua cara yakni melalui data pengamatan tidak berpola dan berpola. Data pengamatan berpola diperoleh dengan prosedur rekonstruksi (rata-rata bergerak R_4), dengan mengeliminasi/menghilangkan periode reguler akibat efek arus cincin di ekuator yang berperiode.

3.1. Model Perubahan Tingkat Gangguan Geomagnet Lokal Berbasis Data Pengamatan

Melalui fluktuasi perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal Gambar 2-1, analisis identifikasi model digunakan metode yang diuraikan pada pasal 2.3. Sedangkan pengujian model digunakan korelasi dan galat model antara model terhadap data pengamatan berdasarkan dampak gangguan yang sama. Artinya efek semua tingkat gangguan itu acak pada geomagnet setiap waktu tidak sama. Untuk dampak gangguan yang berbeda, pada uraian ini belum dilakukan pengujian antara data pengamatan terhadap model. Akurasi model menggunakan data pengamatan tahun 1997 dengan galat, dari 1.51 nT sampai dengan 3.72 nT dan korelasi pola antara model - data pengamatan dari 0.9987 sampai dengan 0.9995, hasil selengkapnya lihat Tabel 3-1 kolom 4 dan 5. Pada Tabel 3-1, galat model bulanan kolom 4 dan korelasi pola kolom 5, berarti model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dapat teridentifikasi dengan model ARIMA (2.0.1) orde 2, 0, dan 1. Hasil analisis model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dibandingkan terhadap data pengamatan (lihat Gambar 3-1). Model empiris yang diungkapkan di atas dinyatakan persamaan 3-1

$$W_t = 0.47014W_{t-1} + 0.04618W_{t-2} + 0.41825a_{t-1} \quad 3-1$$

Galat model dan korelasi pola data tahun 1997 secara berurutan sebesar 2.18 nT dan 0.99940. Model empiris persamaan 3-1 ditunjukkan Gambar 3-1 serta perubahan tingkat gangguan bulan Januari tahun 1997 ditunjukkan pada Gambar 3-2, akurasi model Tabel 3-1, galat 1.97 nT dan korelasi pola 0.99865



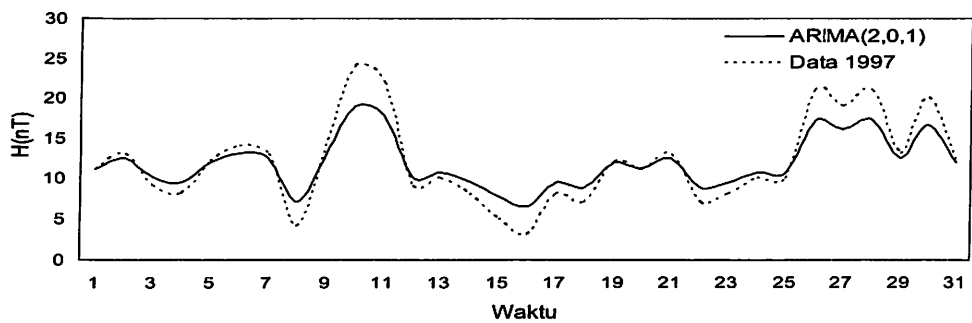
Gambar 3-1. Perbandingan antara perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal tidak berpola (titik-titik) tahun 1997 terhadap keluaran model empiris ARIMA (2.0.1) (garis)

Tabel 3-1.

Hasil Analisis Galat Model Perubahan Tingkat Gangguan Geomagnet Lokal Tidak Berpola Dalam Satuan Nano Tesla (nT) Berdasarkan Data Pengamatan Tahun 1997

No	Bulan	Rata bulan	galat	Korelasi poal
1	2	3	4	5
1	Januari	20	1.97	0.99865
2	Februari	24	3.72	0.99940
3	Maret	19	1.72	0.99945
4	April	16	1.51	0.99940
5	Mei	18	1.97	0.99945
6	Juni	18	2.10	0.99930
7	Juli	14	1.73	0.99935
8	Agustus	17	1.92	0.99950
9	September	21	3.19	0.99945
10	Oktober	18	1.95	0.99935
11	Nopember	14	1.69	0.99940
12	Desember	15	1.74	0.99940
	Tahunan	19	2.18	0.99940

Hasil analisis model yang ditunjukkan pada Gambar 3-2 cukup baik. Tetapi dari hasil itu masih dapat dikembangkan melalui pola rekontruksi, supaya akurasi dan tingkat reliabilitasnya lebih tinggi.



Gambar 3-2. Perbandingan antara data tingkat gangguan geomagnet lokal tidak berpola (titik-titik) terhadap model empiris ARIMA (2.0.1) (garis), bulan Januari tahun 1997

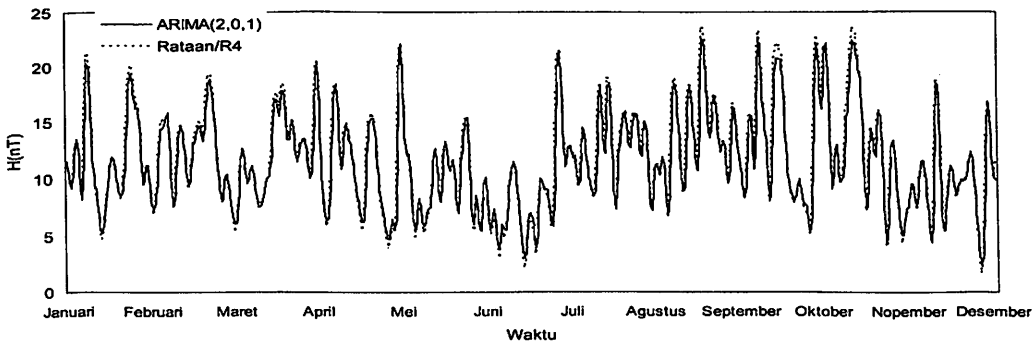
3.2. Model Perubahan Tingkat Gangguan Geomagnet Lokal Berbasis Data Rekontruksi

Analisis identifikasi model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal subbab 3.2 berbasis pola data rekontruksi, dengan dilakukan analisis melalui prosedur yang sama terhadap uraian subbab 3.1. Hasil analisis model yang diperoleh dengan menggunakan data yang sama, kemudian divalidasi menggunakan galat dan korelasi pola. Akurasi model dengan galat dari 0.241 nT sampai dengan 0.604 nT dan korelasi pola dari 0.9974 sampai dengan 0.9988 (Tabel 3-2). Pada Tabel 3-2 kolom 4 dan 5, validasi model menggunakan galat dan korelasi pola, kolom 3 dampak aktivitas gangguan rata-rata interval waktu bulanan.

Model empiris perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal menggunakan data rekontruksi dinyatakan persamaan 3-2 adalah

$$W_t = 0.66853W_{t-1} + 0.2439W_{t-2} + 0.58305a_{t-1} \quad 3-2$$

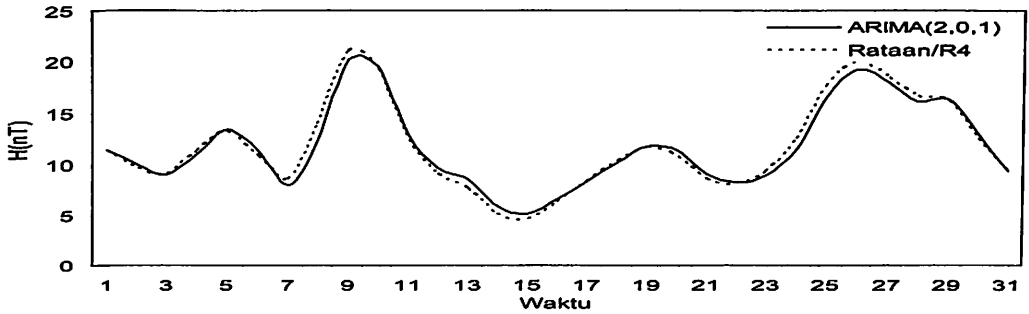
dengan galat dan korelasi pola dalam tahun 1997 sebesar 0.3582nT dan 0.9988. Akurasi model persamaan 3-2 ditunjukkan Gambar 3-4, serta pada bulan Januari 1997 dinyatakan Gambar 3-4. Akurasi model empiris bulan Januari 1997, Tabel 3-2 nomor 1 dengan galat model 0.3361nT dan korelasi pola 0.9987.



Gambar 3-3. Perbandingan antara perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal berpola tahun 1997 (titik-titik) terhadap model empiris ARIMA (2.0.1) (garis)

Pada Tabel 3-2 kolom 4 galat model bulanan dan korelasi pola kolom 5, berarti model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dapat teridentifikasi dengan model ARIMA (2.0.1) orde 2, 0, dan 1. Hasil analisis model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal dibandingkan terhadap data rekontruksi (lihat Gambar 3-3). Analisis model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal menggunakan data rekontruksi lebih akurat dibandingkan terhadap hasil analisis identifikasi model dengan data pengamatan. Perbandingan akurasi kedua model tersebut sesuai galat dan korelasi pola dengan galat berdasarkan pola rekontruksi 0.3582 dan data pengamatan 2.18 serta korelasi pola 0.9994 data rekonstruksi dan 0.9988 data pengamatan. Karena data

rekonstruksi dampak akibat pengaruh gangguan acak jangka pendek telah tereliminasi melalui rata-rata (Gambar 3-3 dan 3-4).



Gambar 3-4. Perbandingan antara perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal berpola/rekonstruksi (titik-titik) data bulan Januari tahun 1997 terhadap model empiris ARIMA (2.0.1) (garis)

Tabel 3-2.

Hasil Analisis Model Empiris Perubahan Tingkat Gangguan Geomagnet Lokal Berpola Dalam Satuan Nano Tesla (nT) Melalui Pola Data Rekonstruksi Tahun 1997

No	Bulan	Rata bulanan	Galat	Korelasi pola
1	2	3	4	5
1	Januari	19	0.3361	0.9987
2	Februari	25	0.6039	0.9984
3	Maret	19	0.2645	0.9974
4	April	16	0.2611	0.9988
5	Mei	17	0.3509	0.9985
6	Juni	18	0.3491	0.9981
7	Juli	13	0.2414	0.9981
8	Agustus	17	0.3672	0.9981
9	September	22	0.5221	0.9979
10	Oktober	17	0.2875	0.9983
11	Nopember	14	0.2632	0.9985
12	Desember	16	0.3196	0.9978
	Tahunan	18	0.3582	0.9988

Menurut hasil analisis identifikasi model, fluktuasi variasi harian komponen geomagnet lokal yang diuraikan di atas dapat disimpulkan bahwa tingkat aktivitas gangguan geomagnet modelnya dapat ditentukan. Fluktuasi variasi harian gangguan geomagnet lokal dapat teridentifikasi dengan model ARIMA (2.0.1) orde 2, 0, dan 1.

4. Kesimpulan

Hasil analisis identifikasi model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal melalui data tingkat gangguan geomagnet lokal dari stasiun pengamat geomagnet Tangerang, pada aktivitas matahari menurun dan minimum mengikuti model ARIMA (2, 0, 1) dengan orde 2, 0 dan 1. Akurasi model berbasis data pengamatan (tidak berpola) dengan galat 2.18 nT dan nilai korelasi 0.9994. Demikian pula akurasi model menggunakan data rekonstruksi (berpola) dengan galat 0.3582 nT dan nilai korelasi 0.99988. Dengan akurasi model yang diperoleh berarti penyebaran data tingkat gangguan geomagnet lokal dapat teridentifikasi dengan baik. Melalui akurasi model perubahan tingkat gangguan geomagnet lokal itu sehingga model dapat digunakan untuk memprediksi penyebaran data tingkat gangguan geomagnet lokal untuk digunakan layanan aplikasi praktis

Daftar Rujukan

- Habirun., Setiawati. T., Karyanto. Y., (2007). *Pengembangan model prediksi indeks k geomagnet*, JSD atau Journal of Aeospace Sciences. Vol. 4 No. 2 hlm.74 – 90.
- Marubashi, K.,(1989), *The space weather forecast program*, Space Sci.Rev., 51(2), 197-214.
- McPherron R.L., (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 Vol. 1 (2) April, Hal. 34-43.
- Schwenn, R., (1986). Relationship of coronal transient to interplanetary shock 3D aspects, *Space Sci. Rev.*, 44(1/2), 139-168.