

METODE PREDIKSI GANGGUAN GEOMAGNET BERDASARKAN PARAMETER ANGIN SURYA DAN MEDAN MAGNET ANTARPLANET

Mamat Ruhimat
Pusat Sains Antariksa LAPAN
mruhimat@yahoo.com

Abstract

Geomagnetic disturbance is an anomaly or fluctuation of geomagnetic field. Such fluctuation is recorded in the measurement of geomagnetic field variation and calculated by eliminating the variation of quiet days. The disturbance is a transient phenomena which come from the Earth's magnetosphere related to the space weather. In order to anticipate the disturbance, it is necessary to predict the intensity of the disturbance. We develop a method to predict the geomagnetic disturbance by using Artificial Neural Network. The input of this method is the solar wind parameters, such as the velocity and the density of solar wind, as well as the north-south interplanetary magnetic field B_z observed by satellite Advanced Composition Explorer (ACE). As the target, we use the geomagnetic disturbance obtained from Biak observatory. We use the data during year 2000 until 2001, which is the peak of 23rd solar cycle. This method can be used to predict the geomagnetic disturbances based on the solar wind and interplanetary magnetic field parameters. Suitability of the training results with Biak data obtained correlation coefficient is 63% and predicted the event of geomagnetic disturbance can be calculated with Root Mean Square Error (RMSE) error 70 nT.

Keywords: : geomagnetic disturbance prediction, artificial neural network

Abstrak

Gangguan geomagnet merupakan penyimpangan atau fluktuasi medan geomagnet yang dapat terekam dalam pengukuran variasi medan geomagnet setelah dilakukan pemisahan dari variasi hari tenang geomagnet. Gangguan geomagnet ini adalah gangguan sesaat dari magnetosfer bumi yang disebabkan oleh cuaca antariksa. Untuk mengantisipasi gangguan geomagnet diperlukan kemampuan untuk memprediksi besarnya gangguan yang ditimbulkan oleh cuaca antariksa. Untuk itu dibangun suatu metode untuk memprediksi adanya gangguan. Metode jaringan saraf tiruan dipakai untuk memprediksi gangguan geomagnet. Sebagai inputnya adalah parameter angin surya seperti kecepatan angin surya, kerapatan partikel dan medan magnet antarplanet arah utara selatan B_z yang diperoleh dari satelit Advanced Composition Explorer (ACE). Sedangkan gangguan geomagnet dari stasiun Pengamat Dirgantara Lapan Biak digunakan sebagai targetnya. Data yang digunakan adalah data tahun 2000 sampai dengan 2001 yaitu saat puncak siklus matahari ke 23. Metode ini dapat memprediksi gangguan geomagnet berdasarkan parameter angin surya dan medan magnet antarplanet. Hasil pelatihan kesesuaian dengan data Biak diperoleh koefisien korelasi sebesar 63 % dan prediksi kejadian gangguan geomagnet dapat dihitung dengan kesalahan RMSE sebesar 70 nT.

Kata Kunci : prediksi gangguan geomagnet, jaringan saraf tiruan

1. PENDAHULUAN

Cuaca antariksa didefinisikan sebagai kondisi di matahari dan di angin surya, magnetosfer, ionosfer, dan termosfer yang dapat mempengaruhi kemampuan sistem teknologi, baik yang ada di ruang angkasa maupun di bumi, dan dapat membahayakan kehidupan atau kesehatan manusia (US National Space Weather Programme, 2000). Aplikasi cuaca antariksa memerlukan pengetahuan mengenai partikel dan medan elektromagnet yang melewati magnetosfer. Lingkungan dinamis ini dapat dipahami dengan studi tentang proses kopling antara angin surya dan magnetosfer, transportasi dan energi plasma di magnetosfer, proses yang tercakup dalam badai magnet dan *substorm*, serta proses kopling antara magnetosfer dan ionosfer. Kopling antara magnetosfer dengan bumi menghasilkan gangguan geomagnet. Gangguan geomagnet dari lintang tinggi yang sampai ke lintang rendah akan mengalami peredaman. Medan geomagnet ini berbanding terbalik dengan jarak kuadrat dari pusat bumi, jejari di kutub lebih pendek dibandingkan dengan di ekuator sehingga medan geomagnet dari lintang tinggi ke lintang rendah mengalami pelemahan seolah olah mengalami peredaman. Penyebab utama dari munculnya fenomena geomagnet adalah transfer energi dari matahari ke magnetosfer bumi melalui angin surya. Mekanisme masuknya energi dari angin surya ini ke dalam magnetosfer adalah terjadinya rekoneksi magnet yang bisa terjadi bila kondisi medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field* – IMF), yaitu komponen IMF B_z yang mengarah ke selatan dengan medan magnet magnetopause yang mengarah ke utara (Gonzalez et al., 1999). Energi ini akan terkumpul di magnetosfer dan akan menyebabkan gangguan magnetosfer bila terjadi rekoneksi medan magnet. Gangguan magnetosfer ini akan menimbulkan gangguan pada geomagnet yang disebut sebagai badai geomagnet. (Kamide, Baumjohann, 1993) menjelaskan proses kopling energi pada magnetopause dapat dibagi menjadi dua

kategori utama yang berbeda. Pertama proses-proses yang disebut rekoneksi magnet atau penggabungan garis medan, yang berarti interaksi antara medan magnet angin surya yaitu medan magnet antarplanet dan medan terestrial di magnetopause bagian siang. Rekoneksi magnetik akan mendorong aliran plasma pada garis medan tegak lurus polar cap dan magnetosferik lobe arah ekor terbuka. Rekoneksi adalah proses yang memiliki ketergantungan kuat pada sudut antara medan magnet antarplanet dan medan terestrial. Beroperasi paling efisien untuk orientasi medan anti paralel kedalam dan berhenti untuk medan paralel murni. Penyambungan kembali dapat memberikan transfer massa dan fluk magnet (atau potensial listrik) asal angin surya melalui magnetopause, yang diperlukan untuk menggantikan partikel-partikel yang hilang karena pengendapan ke atmosfer dan untuk mendorong rata-rata level konveksi magnetosferik. Kedua proses yang memiliki mekanisme non magnetik biasanya yang disebut interaksi mirip viscous karena mereka menyiratkan bahwa momentum tangensial plasma ditransfer dari magnetosheath melalui magnetopause melalui beberapa viskositas yang dihasilkan oleh ketidakstabilan mikro atau makro. Proses ini akan mendorong aliran plasma arah ekor di batas lapisan lintang rendah yang berulir garis medan tertutup. Interaksi mirip viscous terdiri terutama dari dua mekanisme yaitu difusi partikel magnetosheath melalui magnetopause kedalam batas lapisan lintang rendah melalui hamburan stokastik pada resonansi gelombang yang dihasilkan oleh ketidakstabilan mikro dan ketidakstabilan Kelvin-Helmholtz (ketidakstabilan makro) pada sisi-sisi magnetopause lintang rendah, dan khususnya berkembang menjadi rezim non-linier. Kedua proses dapat beroperasi secara independen dari orientasi medan magnet luar, tetapi tidak satupun dari dua proses saja mampu memenuhi persyaratan pengamatan transfer massa dan menghasilkan potensial listrik. Difusi pada prinsipnya dapat menjadi sedikit kompetitif dengan kopling magnetik jika ingin melanjutkan pada tingkat maksimum yang mungkin, tetapi

bahkan batas atas untuk potensi yang dihasilkan masih dibawah nilai empiris yang dibutuhkan. Dalam keadaan non linier ketidakstabilan Kelvin-Helmholtz dapat memberikan potensi urutan persyaratan empiris, tetapi gagal untuk memberikan transfer massa tanpa difusi tambahan atau proses rekoneksi.

Gangguan geomagnet salah satunya dinyatakan dalam indeks Dst (Disturbance Strom Time). Besarnya intensitas ditunjukkan dengan nilai Dst yang diturunkan dari intensitas komponen H pada stasiun geomagnet Honolulu (HON), San Juan (SJG), Kakioka (KAK) dan Hermanus (HER) yang berada lintang rendah dan menengah. Untuk mengetahui besarnya gangguan medan magnet yang diterima oleh bumi akibat kondisi di ruang antarplanet, perlu dikembangkan suatu metode untuk memprakirakan besarnya gangguan tersebut berdasarkan parameter angin surya dan medan magnet antarplanet. Gleisner et al. (2001) dan Kugblenu et al. (1999) telah mengembangkan jaringan saraf tiruan untuk menghitung indeks Dst. Adapun yang dijadikan masukannya adalah medan magnet antarplanet, kecepatan dan kerapatan partikel angin surya, sedangkan targetnya adalah indeks Dst. Dalam penelitian ini metode feedforward digunakan untuk menghitung prediksi besarnya gangguan geomagnet pada komponen H (utara-selatan) di Stasiun Pengamat Dirgantara Biak. Sedangkan sebagai masukannya adalah parameter angin surya berupa kecepatan, kerapatan, serta komponen medan magnet antarplanet utara-selatan (B_z).

2. DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

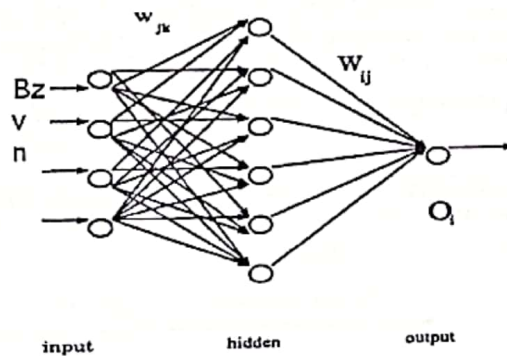
- a. Data variasi harian geomagnet Stasiun Pengamat Dirgantara Biak.
- b. Data parameter angin surya diambil dari satelit ACE (Advanced Composition Explorer) yang terdiri dari:
 - Kuat medan magnet antarplanet arah Selatan (B_z)

Kerapatan partikel dan kecepatan angin surya

Data-data yang digunakan dalam proses olah data dibagi dalam tiga bagian yaitu data jam-an mulai dari Januari 2000 sampai dengan Oktober 2001 untuk pelatihan/pembelajaran, data Nopember dan Desember 2001 untuk pengujian dan data Juni 2005 untuk prediksi.

Metode yang digunakan dalam pengolahan datanya menggunakan jaringan saraf tiruan dengan masukan medan magnet antarplanet, kecepatan dan kerapatan partikel angin surya serta sebagai targetnya digunakan gangguan geomagnet yang diperoleh dari variasi harian yang sudah dipisahkan dari variasi hari tenangnya. Algoritma yang digunakan adalah *feedforward* dengan *backpropagation* multi lapisan.

Jaringan saraf tiruan merupakan pendekatan perhitungan yang melibatkan kemampuan belajar struktur matematik. Jaringan saraf tiruan pada dasarnya adalah sekelompok elemen komputasi yang saling berhubungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2-1.



Gambar 2-1. Menunjukkan tipe struktur jaringan tiga lapisan (Kugblenu,1999) dengan input medan magnet antarplanet arahselatan (Bz), kecepatan angin surya (v) dan kerapatannya (n).

Jaringan diatur dalam beberapa lapisan neuron (node) dimana setiap neuron dalam lapisan menghitung jumlah input dan yang melewatinya melalui penjumlahan fungsi

nonlinier sebagai outputnya. Persamaan outputnya (Gleisner, 2001; Kugblenu, 1999) adalah sebagai berikut:

$$O^m = \sum_j W_j \tanh\left(\sum_k W_{jk} I_k^m + b_j\right) + b$$

(2-1)

dengan I adalah vektor data input dan $k = 3$ komponen (Bz , v dan n), indeks j menunjukkan hidden node (simpul tersembunyi), b menunjukkan bias dan w adalah bobot. Respon dari suatu jaringan saraf tiruan ditentukan oleh set bobot. Jaringan dioptimalkan atau dilatih dengan menyesuaikan bobot sampai jaringan menghasilkan respon yang sama dengan target sampel dalam set pelatihan. Kemampuan jaringan untuk menghasilkan output yang betul (targetnya) dimonitor dengan fungsi cost sebagai berikut:

$$C(w) = \frac{1}{2Q_{tm}} \sum_{m=1}^{Q_m} (O^m - T^m)^2$$

(2-2)

dengan O adalah output dari jaringan, T adalah target berupa gangguan geomagnet dari data lapangan, dan Q_{tm} menunjukkan banyaknya data pelatihan.

Kesalahan dari hasil prediksi dihitung dengan RMSE (*root mean square error*) sebagai berikut:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (T(t) - O(t))^2 \right]^{1/2}$$

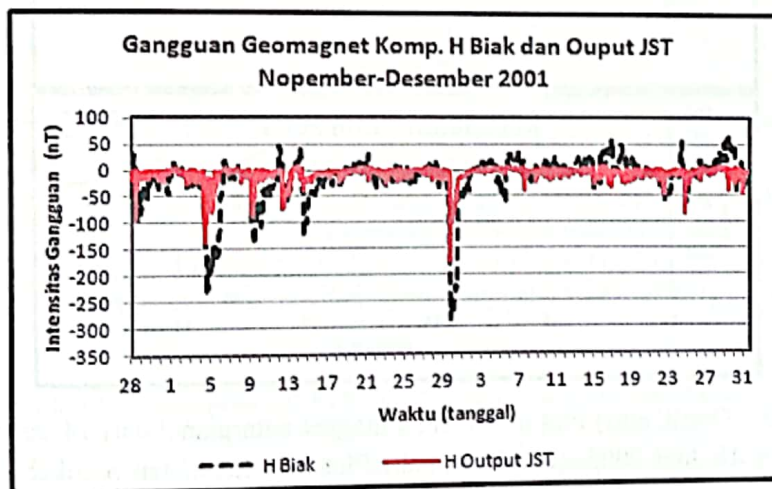
(2-3)

dengan N adalah jumlah sampel, T adalah gangguan geomagnet pengamatan, dan O adalah gangguan geomagnet hasil prediksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan untuk pelatihan/pembelajaran jaringan saraf tiruan adalah medan magnet antarplanet (B_z), kecepatan (v), dan kerapatan angin surya (n). Sedangkan targetnya adalah komponen H gangguan geomagnet di Biak. Datanya mulai bulan Januari tahun 2000 sampai dengan bulan Oktober tahun 2001, sedangkan untuk pengujian digunakan data bulan Nopember dan Desember 2001.

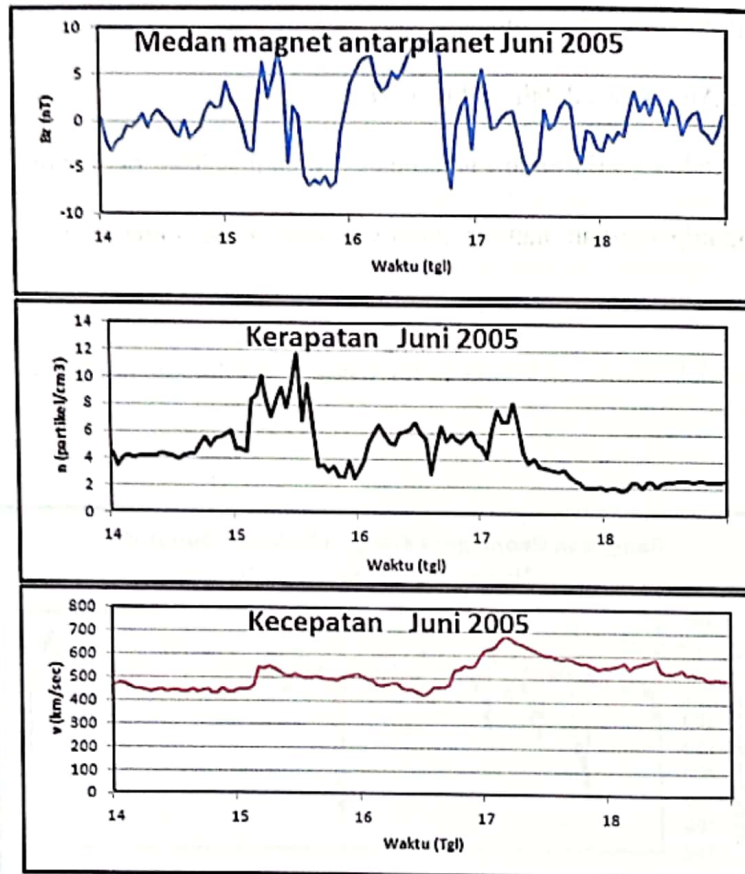
Gambar 3-1 menunjukkan pola grafik gangguan geomagnet komponen H Biak (grafik garis titik-titik warna hitam) dan H output hasil pengujian (grafik garis tebal warna merah). Absisnya adalah waktu (jam-an) dan sebagai ordinat adalah intensitas komponen H. Kedua grafik antara gangguan geomagnet hasil pengukuran di Biak dan hasil perhitungan/pengujian hampir memiliki pola yang sama dan setelah dihitung korelasi kedua fungsi gangguan geomagnet tersebut untuk mengetahui keterkaitan keduanya diperoleh koefisien korelasi (R) sebesar 63 % dan fungsi cost (C) sebesar 725.



Gambar 3-1. Variasi gangguan geomagnet di Biak tiap jam. H pengujian (garis putus-putus warna hitam) merupakan data pengamatan dan H output (garis tebal warna merah) adalah H hasil pelatihan jaringan saraf tiruan.

Dari hasil pembelajaran diperoleh bias dan bobot yang digunakan dalam prediksi gangguan geomagnet Biak. Metode ini dicoba diterapkan untuk satu periode waktu

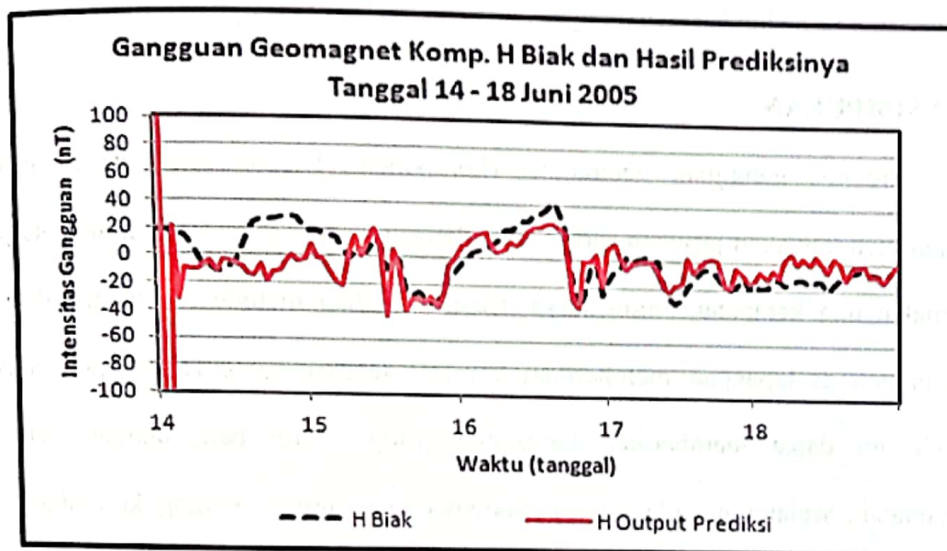
dimana terjadi gangguan geomagnet. Periode yang diambil adalah tanggal 14 sampai dengan 18 Juni 2005. Dalam selang waktu ini terjadi gangguan geomagnet dengan intensitas lemah, yang ditunjukkan dengan turunnya komponen H pada tanggal 15 Juni sampai mencapai kurang dari -30 nT. Input yang digunakan adalah medan magnet antarplanet, kecepatan angin surya dan kerapatan angin surya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2. (Grafik atas) Plot data medan magnet antarplanet dari 14 sampai dengan 18 Juni 2005. (Grafik tengah) Plot data kerapatan partikel angin surya tanggal 14 sampai dengan 18 Juni 2005. (Grafik bawah) Plot data kecepatan angin surya tanggal 14 sampai 18 Juni 2005. (Sumber: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx2.html>).

Gambar 3-2 Grafik bagian atas menggambarkan fluktuasi medan magnet antarplanet (B_z), grafik tengah menggambarkan fluktuasi kerapatan partikel angin

surya, dan grafik bagian bawah menggambarkan fluktuasi kecepatan angin surya. Ketiga parameter ini terjadi pada saat yang bersamaan yaitu pada tanggal 14 sampai dengan 18 Juni 2005. Pada tanggal 15 Juni 2005 Bz mengalami penurunan sampai berharga negatif yang artinya arah medan magnet antarplanet ini menuju selatan dan pada saat yang hampir bersamaan kerapatan partikel angin surya mengalami peningkatan. Pada gambar 3-2 grafik bagian bawah terlihat ada peningkatan kecepatan pada waktu yang bersamaan dengan meningkatnya kerapatan di grafik tengah.



Gambar 3-3. Prediksi gangguan geomagnet komponen H (garis tebal warna merah) dengan input medan magnet antarplanet, kecepatan dan kerapatan angin surya, dibandingkan dengan komponen H dari stasiun Biak (garis putus-putus warna hitam) pada tanggal 14 sampai dengan 18 Juni 2005.

Contoh perhitungan prediksi komponen H Biak diperlihatkan dalam gambar 3-3, dengan menggunakan data angin surya dan medan magnet antarplanet tanggal 14 sampai dengan 18 Juni 2005 seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3-2. Pada tanggal 15 Juni terjadi gangguan geomagnet komponen H dengan menurunnya intensitas sampai tanggal 16 Juni 2005, kemudian naik mengikuti fluktuasi medan magnet antarplanet. Bila dibandingkan dengan data pengamatan komponen H Biak (grafik putus-putus warna hitam), pola kedua grafik memiliki kemiripan, kecuali pada awal prediksi yang

mempunyai penyimpangannya yang besar terutama pada titik pertama dan kedua yang mencapai ± 500 nT. Akan tetapi selanjutnya harga keluaran H mirip dengan harga pengamatan. Penyimpangan yang besar pada awal prediksi ini mengakibatkan kesalahan RMSE (root mean square error) yang cukup besar pula, yaitu sebesar 70 nT. Untuk memperkecil error yang terjadi masih perlu penyempurnaan metode ini lebih lanjut terutama pada saat proses pembelajaran dari jaringan saraf tiruan. Demikian juga dengan perhitungan gangguan geomagnet yang merupakan hasil pemisahan dari data pengamatan terhadap hari tenangnya.

4. KESIMPULAN

Prediksi gangguan geomagnet (komponen H geomagnet) dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan dengan masukan medan magnet antarplanet, kecepatan dan kerapatan angin surya. Hasil pelatihan metode ini dengan data hasil pengamatan di lapangan memberikan korelasi sebesar 63%. Dalam penerapannya, metode ini dapat memberikan kesesuaian yang cukup baik dengan data hasil pengamatan, walaupun pada awal periodenya mempunyai rentang kesalahan yang cukup besar tetapi munculnya gangguan geomagnet dapat diprediksi dengan kesalahan RMSE sebesar 70 nT. Metoda ini masih perlu disempurnakan terutama dalam proses pembelajaran dan proses penghitungan gangguan geomagnet.

DAFTAR RUJUKAN

- National Space Weather Program Implementation Plan, 2nd Edition, Washington DC, July 2000
- Gleisner H., Lunstedt H., 2001, A Neural network-based local model for prediction of geomagnetic disturbances, *J. Geophys. Res.*, **106**, A5, p 8425-8433
- Gonzalez, W.D., Tsurutani, B.T., Clua de Gonzalez, A.L., 1999, Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms, *Space Sci. Rev.* **88**, 529

Kamide Y., Baumjohann W., 1993, Magnetosphere-Ionosphere Coupling, Physics and Chemistry in Space Vol. 23 Planetology, Springer-Verlag.

Kugblenu S., Taguchi, S., Okuzawa, T., 1999, Prediction of the geomagnetic storm associated Dst index using an artificial neural network algorithm, *Earth Planets Space*, 51, p 307-313