

Validasi Model Badai Ionosfer

Titiek Setawati

Bidang Aplikasi Geomagnet dan Magnet Antariksa

Buldan Muslim, Asnawi dan Dyah Rahayu Martiningrum

Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi

Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

Jl. Dr. Junjunan 133 Bandung 40173

Abstrak

Model badai ionosfer merupakan model empiris yang merepresentasikan respon ionosfer terhadap fenomena badai magnet bumi. Model global tersebut dibangun menggunakan data ionosfer dengan cakupan stasiun yang cukup luas dan menggunakan indeks magnet global sebagai salah satu masukan. Data ionosfer Indonesia yang berada di sekitar puncak anomali ekuator belum memberikan kontribusi dalam model tersebut. Oleh karena itu validasi model badai ionosfer menggunakan data pengamatan frekuensi kritis foF2 dari stasiun Sumedang perlu dilakukan. Selain akurasi model, morfologi badai ionosfer antara model dan pengamatan juga dapat diketahui.

Kata kunci: ionosfer, badai, model, validasi.

1. Pendahuluan

Badai magnet bumi adalah bagian dari cuaca antariksa yang merupakan dampak tak langsung dari gangguan di matahari dengan angin matahari sebagai mediator. Fenomena flare yang disertai pelontaran masa korona (CME) sering kali menjadi salah satu sumber kemunculan badai magnet bumi apabila medan magnet antar-planet yang dibawa oleh angin matahari mengarah ke selatan.

Indikasi badai magnet bumi dapat dimonitor dari indeks Dst dan indeks a_p yang merupakan indeks magnet global dan keduanya memiliki kesesuaian yang ditunjukkan dengan koefisien korelasi sebesar 0.78. Medan magnet cukup dominan di lapisan F ionosfer, sehingga apabila terjadi badai magnet terutama dalam katagori besar ($Dst < -100$ dan $a_p > 150$) akan mempengaruhi kerapatan elektron yang lebih dikenal dengan badai ionosfer. Badai ionosfer fasa negatif atau fasa positif merupakan morfologi badai yang masing-masing dicirikan dengan variasi foF2 lebih kecil atau lebih besar dari pada variasi median/rata-rata bulanan foF2.

Badai ionosfer terjadi secara global pada seluruh permukaan bumi dari lintang tinggi hingga ekuator. Mekanisme pembentukan badai ionosfer sangat kompleks. Mekanisme elektrodinamik merupakan faktor dominan di lintang rendah dan ekuator, sementara untuk lintang lainnya perubahan komposisi partikel netral memegang peran lebih penting. Kompleksitas mekanisme ini menimbulkan kendala dalam melakukan pemodelan ionosfer. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang didukung oleh basis data yang cukup lengkap, E.A. Araujo-Pradera dan T.J. Fuller-Rowell (2002) berhasil membangun model empiris badai ionosfer yang relatif sederhana. Pembuatan model yang melibatkan perubahan komposisi partikel netral tersebut memanfaatkan data dari 75 stasiun ionosonda selama terjadi 43 kejadian badai magnet bumi. Disebabkan oleh keterbatas jumlah data maka data foF2 dari Indonesia khususnya stasiun Sumdang yang berlokasi di sekitar anomali ekuator belum dapat berperan sebagai kontributor pada pemodelan tersebut. Oleh karena itu validasi model dengan faktor koreksi (rasio foF2 terhadap rata-rata bulanan) sebagai keluaran perlu dilakukan sekaligus untuk mengetahui akurasi model beserta kesesuaian morfologi fasa antara model dan pengamatan.

2. Metodologi dan Data

Model badai ionosfer yang dibangun oleh Araujo-Pradere dan Fuller-Rowell (2002) merupakan model empiris pertama yang merujuk pada simulasi

model fisis oleh Prolss (1993) dan dikembangkan oleh Fuller-Rowell dkk. (1996). Model dirancang untuk melakukan penskalaan nilai foF2 pada saat kondisi tenang (tidak ada badai) untuk dapat merespon perubahan kerapatan elektron di ionosfer ketika terjadi badai magnet bumi.

Keluaran model berupa faktor koreksi ionosfer (foF2/rata-rata bulanan foF2) merupakan fungsi non-linier dari integrasi deret waktu indeks a_p setelah melalui pembobotan untuk mengoptimalkan filter indeks magnet tersebut. Model dapat dinyatakan dalam bentuk matematis berikut :

$$\Phi = \{a_0 + a_1 X(t_0) + a_2 X^2(t_0) + a_3 X^3(t_0)\} \{1 + a_4 \sin(LT + \alpha)\} \quad (1)$$

dengan Φ menyatakan rasio antara pengamatan foF2 dengan rata-rata bulanan foF2, $X(t_0) = \int F(\tau)P(t_0 - \tau) d\tau$, dan $F(\tau)$ adalah fungsi pembobotan filter indeks a_p , P , pada 33 jam sebelumnya dari 43 kejadian badai magnet. LT (Local Time) menunjukkan waktu setempat dan α berkaitan dengan waktu lokal dari variasi diurnal maksimum. Peristiwa badai ionosfer ditandai oleh nilai integral a_p yang telah difilter $X(t_0)$ melebihi 200. Metoda dekomposisi nilai singular (singular value decomposition) diterapkan untuk memperoleh konstanta a_0 , a_1 , a_2 dan a_3 . Sebenarnya filter hanya dirancang untuk lintang tengah saja, idealnya setiap lintang khususnya lintang rendah mempunyai filter indeks magnet a_k sendiri.

Identifikasi badai magnet dilakukan dengan melihat indeks $a_p > 150$. Durasi badai magnet berkisar antara 2-5 hari diamati dari pola indeks Dst. Kompilasi program badai dengan masukan yaitu jam tertentu dengan deret waktu indeks a_p 33 jam sebelumnya disertai hari (disesuaikan dengan tanggal) ketika terjadi badai magnet. Keluaran berupa faktor koreksi Φ (foF2/foF2 rata-rata bulan) yang merupakan fungsi lintang dan waktu universal. Selisih antara faktor koreksi hasil pengamatan di Sumedang (lintang magnet -17.5°) dengan faktor koreksi model setelah dikonversikan menjadi waktu lokal didefinisikan

sebagai simpangan model. Akurasi model diperoleh dengan melakukan rasio antara simpangan model dengan faktor koreksi pengamatan. Morfologi badai ionosfer lebih mudah diamati apabila faktor koreksi digambarkan menggunakan kontur yang dikelompokkan menjadi equinox dan soltice.

3. Hasil dan Pembahasan

Ada beberapa kejadian badai magnet besar dalam tahun 2000 sampai 2003. Dalam kurun waktu badai tersebut dilakukan perhitungan faktor koreksi ionosfer (rasio foF2 jam-an terhadap rata-rata bulanan foF2) baik dari data pengamatan maupun data hasil kompilasi program badai ionosfer (persamaan 1) mulai jam 00.00 sampai jam 23.00 waktu lokal. Pada umumnya frekuensi badai badai magnet mengalami peningkatan pada saat equinox dibandingkan dengan ketika solstice. Oleh karena itu faktor koreksi dikelompokkan ke dalam equinox (matahari berada di atas ekuator) yaitu Maret sampai Mei serta September sampai November, dan Juni sampai Agustus serta Desember sampai Februari merupakan bagian dari soltice.

Kontur faktor koreksi data pengamatan dari stasiun Sumedang pada saat equinox (Maret-Mei) bersifat variatif. Akan tetapi morfologi badai berdasarkan observasi menunjukkan fasa negatif yang cukup signifikan. Badai dengan fasa positif teramati jam 4.00-6.00 pada bulan April dan Mei, dan jam 6.00-8.00 untuk bulan Maret dan April. Faktor koreksi keluaran model memperlihatkan hasil yang sebaliknya, yaitu badai ionosfer dengan fasa positif tampak lebih dominan pada bulan April dan Mei. Sedangkan fasa negatif terjadi hanya pada bulan Maret (Gambar 1a). Fasa negatif faktor koreksi pengamatan sangat mendominasi pada saat equinox berikutnya tepatnya bulan September hingga November. Fasa yang sama juga dihasilkan oleh model badai ionosfer meskipun dengan kuantitas yang sedikit berbeda (Gambar 1b). Pada bulan Juli hingga Agustus kontur pengamatan masih memperlihatkan fasa negatif, sementara model memberikan hasil dengan fasa positif (Gambar 2).

Rata-rata prosentase simpangan mutlak antara pengamatan dan model yang menggambarkan akurasi model memperlihatkan hasil yang sama yaitu 19.28% dan 19.33 % saat equinox (Maret-Mei) dan solstice (Juli-Agustus). Akurasi model mengalami sedikit penurunan pada equinox berikutnya (September-November) dengan prosentase simpangan sebesar 21.56 %. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh peristiwa badai magnet dengan intensitas yang paling besar pada siklus matahari ke-23 ini terjadi pada bulan Oktober dan matahari berada di belahan bumi selatan. Plasma angin matahari dan radiasi sinar ultra violet memberikan kontribusi yang signifikan terhadap proses elektrodinamik dan perubahan komposisi partikel netral di atas Sumedang.

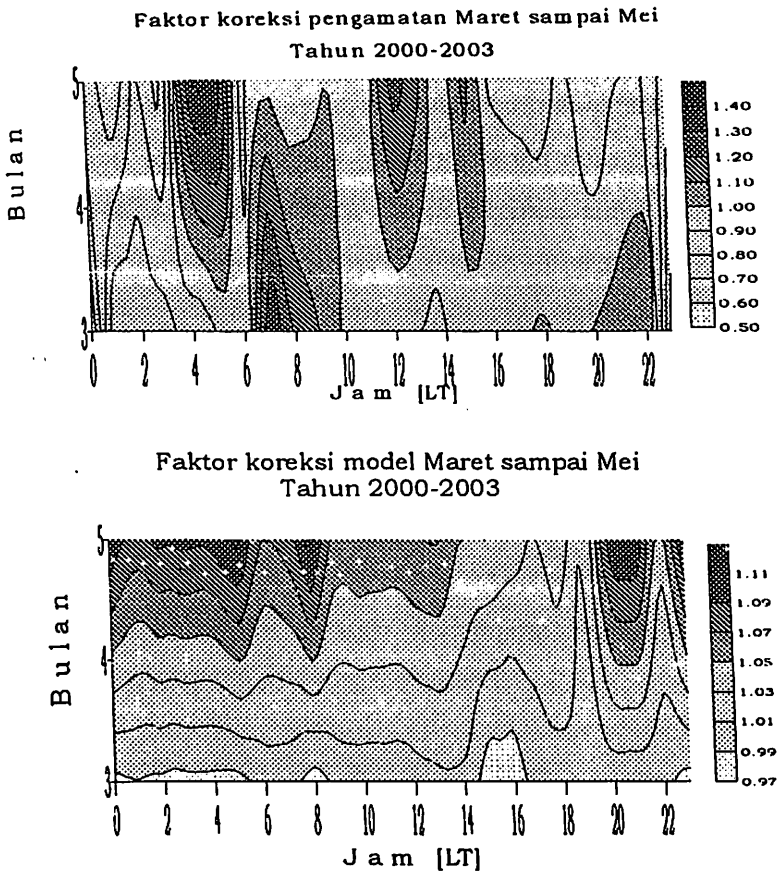
4. Kesimpulan

Secara umum morfologi badai ionosfer di stasiun Sumedang menunjukkan fasa negatif baik pada saat equinox maupun solstice, berbeda dengan hasil yang diperoleh model ionosfer di mana fasa positif lebih mendominasi. Prosentase simpangan relative kecil baik pada saat equinox maupun solstice.

...

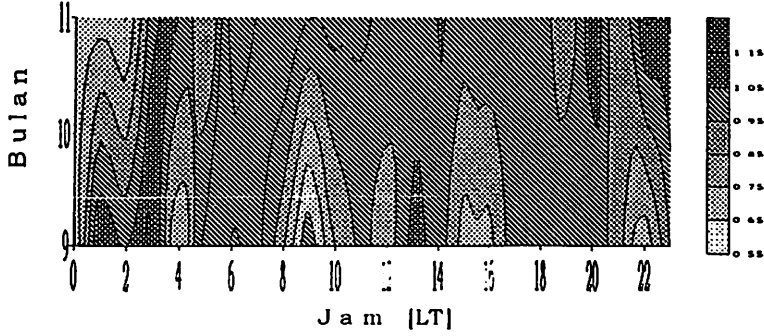
Daftar Pustaka

- Araujo-Pradere E.A., T.J. Fuller-Rowell, M.V. Codrescu, *STORM : An empirical storm time ionospheric correction model*. 1. Model description, Radio Science, Vol. 37, 2002
- Araujo-Pradere E.A., T.J. Fuller-Rowell, *STORM : An empirical storm time ionospheric correction model*. 2. Validation, Radio Science, Vol 37, 2002
- Buldan Muslim, *Respon Global Ionosfer terhadap Coronal Mass Ejection 14 Juli 2000*, Jurnal Fisika HFI, Volume A5 No. 0505, 2002.

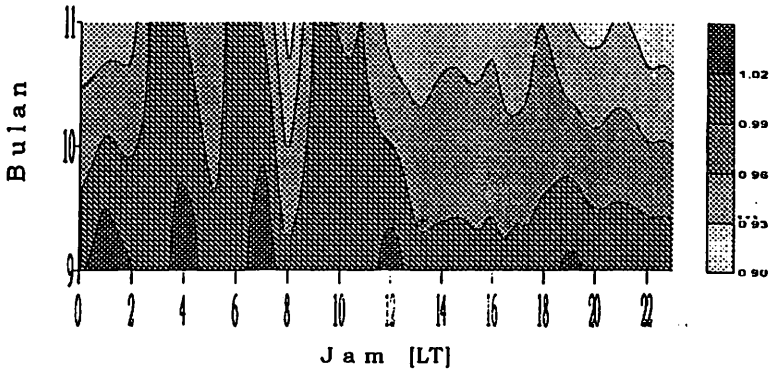


Gambar 1a Faktor koreksi ionosfer : pengamatan dan Maret sampai Mei tahun 2000-2003

Faktor koreksi pengamatan September sampai November Tahun 2000-2003

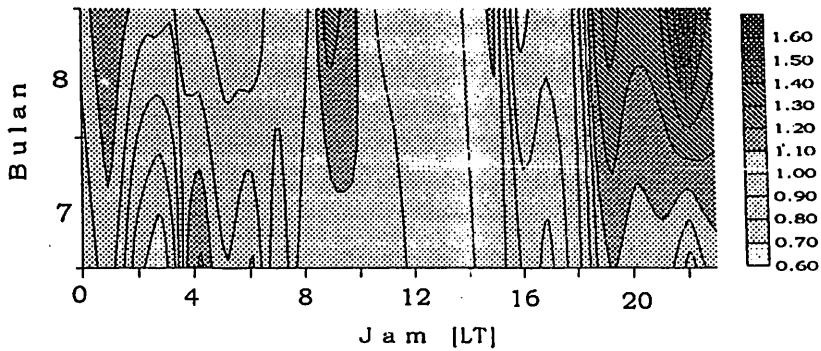


Faktor koreksi model September sampai November Tahun 2000-2003

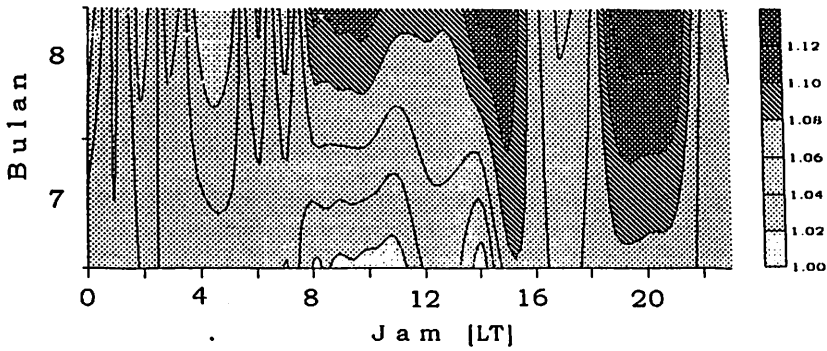


Gambar 1b. Faktor koreksi ionosfer : pengamatan dan model September hingga November tahun 2000-2003

Faktor koreksi pengamatan Juli sampai Agustus
Tahun 2000-2003



Faktor koreksi model Juli sampai Agustus
Tahun 2000-2003



Gambar 2. Faktor koreksi : pengamatan dan model
Juli sampai Agustus tahun 2000-2003