

**ESTIMASI INTENSITAS MEDAN LISTRIK DI IONOSFER  
BERDASARKAN DATA PENGAMATAN MEDAN MAGNET BUMI  
PADA SAAT TERJADINYA SUBSTORM**

Sarmoko Saroso \*

**RINGKASAN**

Pada tanggal 22 Maret 1979, substorm diamati di stasiun pengamat medan magnet bumi Kakioka - Jepang, dan pada saat yang sama pengamatan HF Doppler dilakukan dari Uji - Kyoto.

Data pengamatan medan magnet bumi dan HF Doppler, digunakan untuk mengestimasi dan menghitung intensitas medan listrik di ionosfer. Intensitas medan listrik yang di estimasi ternyata tidak berbeda jauh dengan intensitas medan listrik perhitungan.

**ABSTRACT**

On March 22, 1979, substorm was observed at Kakioka geomagnetic station Japan, and in the same time an observation of HF Doppler was conducted at Uji, Kyoto - Japan.

Both data observation were used to estimate and to calculate the intensity of magnetic field in the ionosphere. The estimated and the calculated intensities of magnetic field were found not to differ much.

**1. PENDAHULUAN**

Penentuan intensitas medan listrik di ionosfer sangat penting dalam mempelajari proses kopling antara ionosfer dan magnetosfer, terutama pada saat terjadinya substorm yang biasanya mengakibatkan terjadinya gangguan pada komponen-komponen medan magnet bumi.

Dalam tulisan ini estimasi intensitas medan listrik di ionosfer dilakukan pada saat terjadinya substorm tanggal 22 Maret 1979. Untuk itu mula-mula dihitung konduktivitas listrik di ionosfer dengan menggunakan IRI (International Reference Ionosphere), kemudian berdasarkan hukum Ampere serta dengan menggunakan data komponen-komponen medan magnet bumi H

\* Peneliti Bidang Dinamika Ionosfer  
(Penulis sedang mengikuti Program S3 di Kyoto University).

(Horizontal) dan D (Deklinasi) di stasiun pengamatan Kakioka (36.23 N, 140.18 E) dapat ditentukan nilai rapat arus listrik ionosfer. Selanjutnya dari hasil perhitungan konduktivitas dan rapat arus listrik di ionosfer, dapat diestimasi harga intensitas medan listrik di ionosfer. Hasil estimasi tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data pengamatan HF Doppler yang dilakukan oleh Tsutsui (1988).

## 2. METODA ESTIMASI

Dalam menentukan besarnya intensitas medan listrik di ionosfer dilakukan beberapa tahapan perhitungan, sebagai berikut:

1. Untuk menentukan nilai konduktivitas listrik di ionosfer digunakan asumsi bahwa ionosfer merupakan suatu lapisan tipis yang melingkupi bumi pada ketinggian tertentu. Kemudian dipakai koordinat Kartesian pada suatu titik di lapisan tersebut, di mana arah sumbu x dan y masing-masing menunjukkan arah selatan dan timur, dan sumbu z menunjukkan arah vertikal ke atas, sedang I menunjukkan sudut kedalaman (dip angle) pada titik tersebut. Selanjutnya bila  $l$ ,  $m$ ,  $n$ , masing-masing menunjukkan vektor satuan dalam arah x, y dan z, maka medan magnet bumi B dan medan listrik E dapat dinyatakan sebagai,

$$B = - B \cos I l - B \sin I n \quad (2-1)$$

$$E = E_x l + E_y m + E_z n \quad (2-2)$$

di mana:

$$B = |B| \text{ dan } E = |E|.$$

Komponen-komponen E yang sejajar dan yang tegak lurus B adalah sebagai berikut,

$$E_{//} = (E_x \cos^2 I + E_z \cos I \sin I) l + (E_x \cos I \sin I + E_z \sin^2 I) n \quad (2-3)$$

$$E_{\perp} = (E_x \sin^2 I - E_z \cos I \sin I) l + E_y m + (-E_x \cos I \sin I + E_z \cos^2 I) n \quad (2-4)$$

Sedang rapat arus dapat dituliskan sebagai.

$$J = \sigma_0 E_{\parallel} + \sigma_1 E_{\perp} + \sigma_2 (B \times E)/B \quad (2-5)$$

di mana :

$\sigma_0$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  masing-masing adalah konduktivitas paralel, Pedersen dan Hall

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-3) dan (2-4) ke dalam persamaan (2-5), diperoleh:

$$J = \{(\sigma_0 \cos^2 I + \sigma_1 \sin^2 I)E_x + \sigma_2 E_y \sin I + (\sigma_0 - \sigma_1)E_z \cos I \sin I\} \mathbf{i} + \{\sigma_1 E_y - \sigma_2 (E_x \sin I - E_z \cos I)\} \mathbf{j} + \{(\sigma_0 - \sigma_1)E_x \cos I \sin I - \sigma_2 E_y \cos I + (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I)E_z\} \mathbf{k} \quad (2-6)$$

Karena dalam hal ini digunakan asumsi bahwa ionosfer merupakan lapisan tipis yang terisolasi, maka komponen J dalam arah vertikal haruslah sama dengan nol, jadi,

$$E_z = \{\sigma_2 E_y \cos I - (\sigma_0 - \sigma_1)E_x \cos I \sin I\} / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I) \quad (2-7)$$

Dengan mengeliminasi  $E_z$  dari persamaan (2-6) diperoleh,

$$J_x = \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y \quad (2-8)$$

$$J_y = -\sigma_{xy} E_x + \sigma_{yy} E_y \quad (2-9)$$

di mana :

$$\sigma_{xx} = \sigma_0 \sigma_1 / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I) \quad (2-10)$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_0 \sigma_2 / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I) \quad (2-11)$$

$$\sigma_{yy} = \{\sigma_1 \sigma_0 \sin I + (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \cos^2 I\} / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I) \quad (2-12)$$

Besarnya konduktivitas yang diintegrasikan terhadap ketinggian dapat

ditulisikan sebagai:

$$\Sigma_{xx} = \int \sigma_{xx} dh = \int (\sigma_1 \sigma_1 / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I)) dh \quad (2-13)$$

$$\Sigma_{xy} = \int \sigma_{xy} dh = \int (\sigma_0 \sigma_2 / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I)) dh \quad (2-14)$$

$$\Sigma_{yy} = \int \sigma_{yy} dh = \int (\sigma_1 + (\sigma_2^2 \cos^2 I) / (\sigma_0 \sin^2 I + \sigma_1 \cos^2 I)) dh \quad (2-15)$$

dalam hal ini  $\sigma_0$ ,  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$  dihitung dengan menggunakan model IRI

2. Berdasarkan hukum Ampere, besarnya rapat arus listrik  $J$  dapat dinyatakan dalam komponen medan magnet  $B$ . Bila  $x$  menunjukkan arah selatan dan  $y$  menunjukkan arah timur, maka hubungan antara komponen medan magnet  $B$  dan komponen rapat arus  $J$  dapat dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$B_x = -2 \mu_0 J_y \quad (2-16)$$

$$B_y = 2 \mu_0 J_x \quad (2-17)$$

di mana :

$$B_x = -\Delta H, \quad B_y = \Delta D$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$B_x$  dan  $B_y$  dapat ditentukan dari data medan magnet bumi (magnetogram). Bila  $E$  tidak bergantung pada ketinggian, maka persamaan (2-8) dan (2-9) dapat dituliskan sebagai :

$$J_x = \int J_x dz = \Sigma_{xx} E_x + \Sigma_{xy} E_y \quad (2-18)$$

$$J_y = \int J_y dz = -\Sigma_{xy} E_x + \Sigma_{yy} E_y \quad (2-19)$$

Dari persamaan (2-18) dan (2-19) dapat diturunkan persamaan untuk menghitung komponen-komponen medan listrik  $E$  sebagai berikut :

$$E_x = \{J_x(\Sigma_{YY}) - J_y(\Sigma_{XY})\} / \{(\Sigma_{XX})(\Sigma_{YY}) + (\Sigma_{XY})^2\} \quad (2-20)$$

$$E_y = \{J_y(\Sigma_{YY}) + \{J_x(\Sigma_{XY})(\Sigma_{YY}) - J_y(\Sigma_{XY})^2\} / \{(\Sigma_{XX})(\Sigma_{YY})^2 + (\Sigma_{YY})(\Sigma_{XY})^2\} \quad (2-21)$$

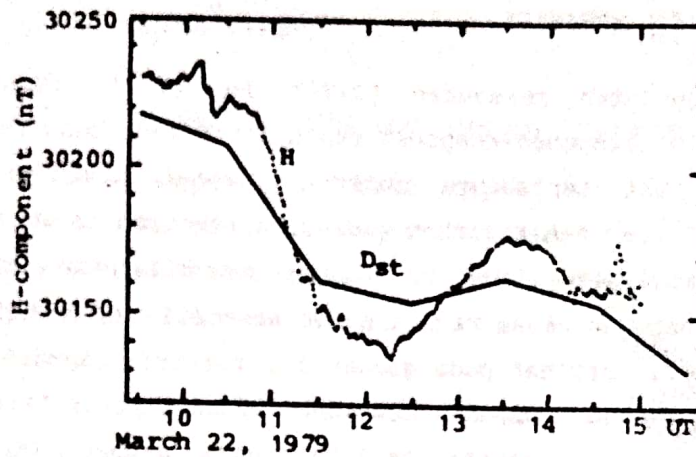
### 3. PEMBAHASAN HASIL ESTIMASI

Dengan menggunakan persamaan (2-20) dan (2-21) dapat ditentukan besarnya intensitas komponen-komponen medan listrik di ionosfer. Khususnya di Kakioka pada saat terjadinya substorm tanggal 22 Maret 1979, telah dihitung besarnya komponen-komponen medan listrik tiap 10 menit, mulai dari jam 10:00 UT sampai jam 13.00 UT. Untuk menghilangkan pengaruh 'ring current', maka komponen medan magnet H terlebih dulu dikurangi indeks dan seterusnya, seperti terlihat pada gambar 3.1.

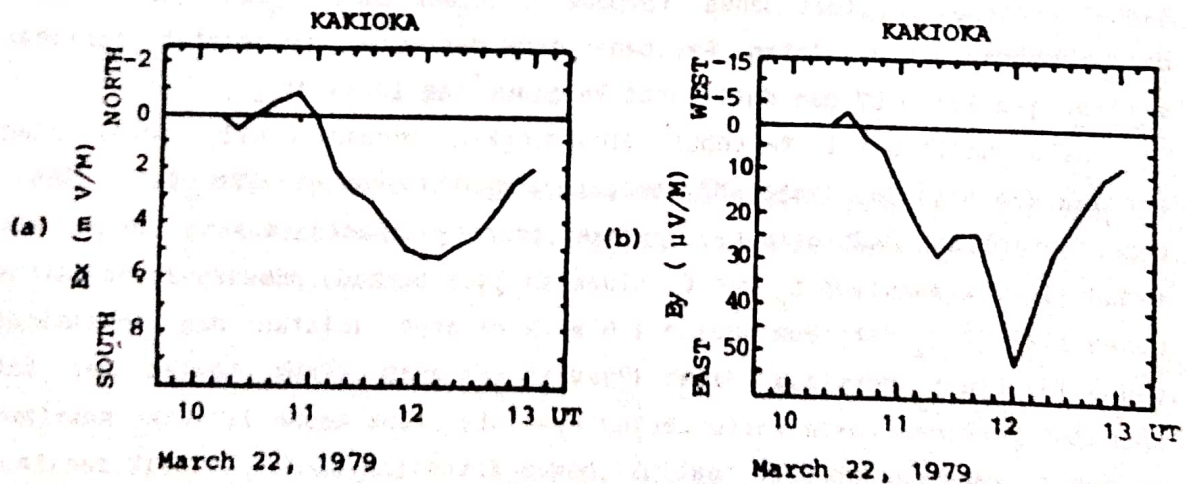
Hasil perhitungan komponen-komponen medan listrik tersebut kemudian diplot terhadap waktu, seperti terlihat pada gambar 3.2. Harga-harga positif dan negatif masing-masing menunjukkan arah selatan dan utara pada gambar 3.2a dan timur serta barat pada gambar 3.2b. Besarnya intensitas medan listrik  $E_x$  maksimum adalah 5.1 mV/m ke arah selatan sedang intensitas medan listrik  $E_y$  maksimum adalah 53  $\mu$ V/m ke arah timur. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa komponen timur-barat jauh lebih kecil dari komponen utara-selatan. Perubahan arah dari utara ke selatan terlihat sekitar jam 11:00 UT dan dari barat ke timur jam 10:35 UT.

Bila hasil-hasil tersebut dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data pengamatan HF Doppler yang dilakukan oleh Tsutsui (1988), seperti terlihat pada gambar 3.3, maka besarnya masing-masing intensitas medan listrik maksimum  $E_x$  dan  $E_y$  tidaklah jauh berbeda. Besarnya intensitas medan listrik  $E_x$  maksimum adalah 4.8 mV/m ke arah selatan dan intensitas medan listrik  $E_y$  maksimum adalah 47  $\mu$ V/m ke arah timur. Dalam hal ini terdapat perbedaan pada waktu terjadinya intensitas medan listrik maksimum tersebut. Pada gambar 3.2. terlihat bahwa intensitas medan listrik maksimum tercapai sekitar jam 12:00 UT, yang sesuai dengan saat terjadinya gangguan yang mengakibatkan besarnya komponen medan magnet H menjadi kecil sampai mencapai minimum sekitar jam 12:00 UT (gambar 3.1). Sedang pada gambar 3.3 terlihat bahwa saat terjadinya intensitas medan listrik maksimum adalah sekitar jam 11:30 UT. Perlu diketahui bahwa pengamatan HF Doppler yang

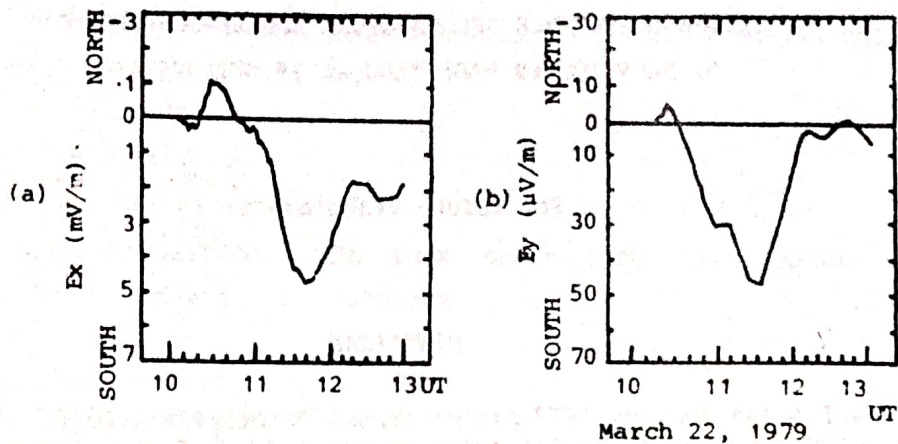
dilakukan adalah dengan menggunakan gelombang berfrekuensi 2.5, 5, 8, dan 10 MHz yang dipancarkan dari Nazaki, Ibaraki ( $36.18^{\circ}\text{N}$ ,  $139.85^{\circ}\text{E}$ ), sedang stasiun penerimaannya berlokasi di RASC (Radio Atmospheric Science Center), Uji, Kyoto ( $34.91^{\circ}\text{N}$ ,  $135.80^{\circ}\text{E}$ ) yang berjarak sekitar 400 km sebelah barat stasiun pemancar.



Gambar 3.1 : Variasi komponen medan magnet H terhadap waktu pada saat terjadinya substorm di stasiun pengamat Kakioka, dan  $D_{st}$  indeks.



Gambar 3.2 : a. Komponen medan listrik utara-selatan  
b. Komponen medan listrik timur-barat hasil estimasi penulis.



Gambar 3.3 : a. Komponen medan listrik utara-selatan  
 b. Komponen medan listrik timur-barat hasil perhitungan berdasarkan data pengamatan HF Doppler yang dilakukan N.Tsutsui (1988).

#### 4. KESIMPULAN

Komponen-komponen medan listrik di ionosfer dapat diestimasi dengan menggunakan data pengamatan medan magnet bumi (magnetogram), yang dalam estimasi ini digunakan data dari stasiun pengamat geomagnet di Kakioka, Jepang. Dari hasil estimasi yang dilakukan saat terjadinya substorm tanggal 22 Maret 1979, diperoleh hasil yang tidak begitu berbeda bila dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data pengamatan HF Doppler.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Akasofu, S.I., and S. Chapman, (1972), "Solar-Terrestrial Physics", Oxford University Press., N.J., 205-716.
2. Baker, W.G., and D.P. Martyn, (1953), "Electric Currents in the Ionosphere, I. The Conductivity", Phil. Trans. R. Soc., A246, 281-294.
3. Chapman, S. and J. Bartels, (1940), "Geomagnetism", Vol.1 and 2, pp.1-538, 545-937, Oxford at Clarendon Press.
4. Kamide, Y., A.D. Richmond and S. Matsushita, (1981), "Estimation of ionospheric electric fields, ionospheric currents, and field aligned currents from ground magnetic records", J. Geophys. Res., 86, pp.801-813.
5. Mc Pherron, R.L., and R.H. Manka, (1985), "Dynamics of the 1054 UT March 22, 1979", substorm event: CDAW 6, J. Geophys. Res., 90, 1175-1190.
6. Tsutsui, M., T. Ogawa, Y. Kamide, H.W. Kroehl and B. A. Hausman, (1988) "A Method of estimating horizontal vectors of ionospheric electric field deduced from HF Doppler data", Radio Sci., 23, 119-128.