

Variabilitas Harian *Equatorial Spread F* di Atas Biak (01°LS , 135°BT)

Buldan Muslim¹⁾, Sarmoko Saroso¹⁾ dan The Houw Liong²⁾
¹⁾Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN
Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung 40173
²⁾Departemen Fisika FMIPA Insitut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

Abstrak

Kejadian *equatorial spread F* (ESF) di Biak (01°LS , 135°BT) telah diteliti berdasarkan data harian selama Maret dan April tahun 1992 dengan kondisi "sunspot" sedang dalam bentuk laju pertumbuhan ketidakteraturan menggunakan mekanisme ketidaktetapan Gravitational Rayleigh-Taylor (GRT) yang meliputi instabilitas gravitasi dan persilangan antara medan listrik dan medan magnet. Statistik kejadian ESF di Biak telah diuji dalam hubungannya dengan variasi ketinggian maksimum $h'F$ setelah matahari terbenam, kecepatan kenaikan $h'F$ dan fluktuasi dari kenaikan tersebut. Selain itu juga dikaitkan dengan aktivitas matahari dan geomagnet. Didapatkan bahwa variasi harian kejadian ESF di Biak dapat dijelaskan dengan baik secara umum menggunakan dasar mekanisme GRT. Berdasarkan pada data Maret tahun 1992 – 1995 kejadian ESF menurun dengan berkurangnya aktivitas matahari.

Kata kunci: Ionosfer, Instabilitas, Spread F

Abstract

The occurrence of *equatorial spread F* (ESF) at Biak (01°LS , 135°BT), during March and April has been investigated on daily basis in sunspot medium years 1992 in terms of the growth rate of irregularities by the gravitational Rayleigh-Taylor (GRT) instability mechanism which includes the gravitational and cross-field instability terms. The occurrence statistics of ESF at Biak are examined in relation to maximum of $h'F$ after sunset, rate of $h'F$ and fluctuation of rise as well as with solar and magnetic activity conditions. It is found that the day-to-day variation of ESF occurrence at Biak can be accounted generally for on the basis of the GRT mechanism. On the basis of March data from 1992 – 1995 occurrence of ESF decrease with decreasing solar activity.

Keywords: Ionosphere, Instability, Spread F

1. Pendahuluan

Menggunakan jaringan ionosonde dalam daerah yang luas di permukaan bumi selama tahun geofisika internasional telah ditunjukkan adanya ketergantungan kejadian *spread F* terhadap lintang geomagnetik yaitu bahwa probabilitas kejadian *spread F* terbesar berada pada dua daerah, pertama di daerah lintang tinggi dan kedua di daerah sekitar ekuator magnetik¹⁾. Fenomena ketidaktetapan plasma ini khususnya yang terjadi di daerah sekitar ekuator magnet disebut *equatorial spread F* (ESF). Rata-rata kejadian ESF dari pengamatan yang tersebar pada daerah bujur yang luas menunjukkan bahwa aktivitas ESF mencapai maksimum pada saat ekuinok²⁾.

Karena ESF tipe *range* berkorelasi secara baik dengan sintilasi maka ESF dapat diteliti menggunakan satelit dengan mengamati sintilasi sinyal satelit yang teramati di permukaan bumi setelah melewati ionosfer. Didapatkan bahwa pola musiman *longitudinal* kejadian sintilasi ekuator

dan ESF tipe *range* dipengaruhi oleh konduktivitas daerah E keseluruhan. Yaitu bahwa kejadian sintilasi pada bujur tertentu akan mencapai maksimum yang bersamaan dengan saat di mana waktu matahari terbenam (*sunset*) adalah simultan pada lapisan E dan pasangannya³⁾. Gangguan ionosfer ini umumnya terjadi pada malam hari. Pada siang hari lapisan E berkembang dengan baik sehingga dapat memperpendek pemisahan muatan yang diperlukan untuk pembentukan medan listrik di ionosfer. Pada malam hari terjadi rekombinasi lapisan E sehingga menurunkan konduktivitas daerah E. Akhirnya angin termosfer dapat menghasilkan medan listrik di daerah $F^4)$.

Kejadian ESF pada awal malam (18.00 – 00.00) umumnya berbeda dengan fenomena ESF akhir malam (00.00 – 06.00 LT). Pada awal malam ESF biasanya memiliki tipe *range* yang dipicu oleh gelombang gravitasi, sedangkan pada akhir malam umumnya ESF tipe frekuensi yang disebabkan oleh gangguan geomagnet⁵⁾.

Variabilitas kejadian ketidakteraturan ionosfer skala kecil tersebut di sekitar ekuator lebih kuat dikontrol oleh gaya internal seperti medan listrik dan gelombang gravitasi dari pada oleh fenomena yang bersumber dari matahari seperti flare⁶⁾. Anomali ionisasi ekuator juga merupakan salah satu daerah yang kondusif bagi pembentukan ESF⁷⁾.

Di dekat ekuator magnetik sintilasi ionosfer dan ESF selama Maret dan April 1989 selalu terjadi pada saat ketinggian lapisan F ionosfer ($h'F$) mencapai lebih dari 400 km dan dengan kecepatan kenaikan lapisan F pada selang waktu 17.00 – 19.00 LT, $dh'F/dt$ lebih besar dari 30 m/s. Sedangkan di lintang magnetik 21°LU sintilasi hanya terjadi pada malam di mana ketinggian lapisan F di atas 500 km. Dan nilai puncak-ke-puncak dari fluktuasi memiliki korelasi positif dengan *ionospheric electron content* (IEC) pada jam 20.00 LT⁸⁾.

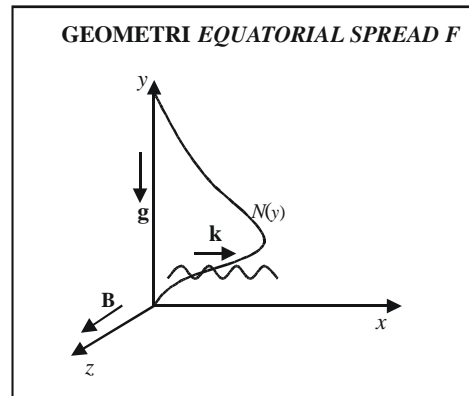
Variasi diurnal, musiman, spasial (lintang dan bujur) dan ketergantungan ESF dan intilasi ionosfer ekuator terhadap siklus matahari, gangguan geomagnet, medan listrik telah diketahui dan dapat dimodelkan. Tetapi model tersebut tidak meliputi variabilitas harian. Variabilitas harian dan pertanyaan mengapa ESF dan sintilasi terjadi pada hari tertentu dan tidak pada hari berikutnya pada semua kondisi siklus matahari baik saat kondisi geomagnet tenang maupun terganggu masih merupakan masalah yang belum banyak diketahui. Hal itu telah mendorong dibangunnya sistem yang disebut *Scintillation Network Decision Aid* (SCINDA) yang telah dikembangkan untuk memberikan spesifikasi regional *real time* dan prediksi sintilasi pada gelombang 250 MHz dengan bantuan model gelembung (*bubble*) global⁹⁾.

Sampai saat ini teori yang dapat menjelaskan mekanisme terjadinya ESF dari pengamatan sisi bawah ionosfer dengan ionosonde (*bottom side ionosonde*) adalah teori linear *Gravitational Rayleigh-Taylor Instability* (GRT). Sedangkan maksud dari paper ini adalah untuk menguji mekanisme terjadinya ESF di atas Biak pada awal malam (18.00 – 00.00 LT) berdasarkan data harian kejadian ESF sehingga dapat diketahui ketergantungan kejadian ESF terhadap parameter-parameter lainnya yang terlibat dalam mekanisme terjadinya ESF.

2. Teori Linear Gravitational Rayleigh-Taylor Instability

Persamaan-persamaan untuk fluida plasma dua dimensi (x, y ; lihat Gambar 1) digunakan untuk menjelaskan ketidakmampuan *Gravitational Rayleigh-Taylor* (GRT) untuk

ionosfer sekitar ekuator pada malam hari. Medan magnet bumi di sekitar ionosfer dianggap konstan dan dalam arah z , sumbu y arahnya vertikal ke atas, gravitasi \mathbf{g} dalam arah y negatif, sumbu x arahnya positif ke Barat dan $\mathbf{g} \times \mathbf{B}$ arahnya ke Timur.



Gambar 1. Geometri ESF. $N(y)$ menggambarkan profil kerapatan elektron dan hanya memiliki ketergantungan terhadap y . \mathbf{B} arahnya ke Utara (z), x ke Barat dan $\mathbf{g} \times \mathbf{B}$ arahnya ke Timur. Gangguan horisontal dinotasikan oleh \mathbf{k}

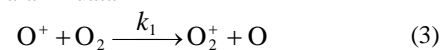
Persamaan dasar untuk dua fluida elektron dan ion yang menjelaskan sistem adalah¹⁰⁾:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla \cdot (n \mathbf{V}) = -R(n - n_0) \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_j \cdot \nabla \right) \mathbf{v}_j = \frac{q_j}{m_j} \left(\mathbf{E} + \frac{\mathbf{v}_j \times \mathbf{B}}{c} \right) + \mathbf{g} - \nu_j \mathbf{v}_j \quad (2)$$

di mana indeks j menotasikan jenis (e untuk elektron dan i untuk ion), n adalah kerapatan partikel bermuatan, \mathbf{v} kecepatan, R laju rekombinasi \mathbf{E} adalah medan listrik, \mathbf{g} gravitasi, q muatan partikel, ν frekuensi tumbukan, c kecepatan cahaya dan m massa partikel. Dalam persamaan-persamaan tersebut ini gerak plasma searah medan magnet bumi diabaikan. Konsekwensinya semua turunan terhadap ruang hanya dilakukan dalam bidang $x-y$.

Dalam keadaan setimbang kerapatan plasma adalah n_0 sehingga jika plasma dalam kesetimbangan maka sisi kanan persamaan (1) bernilai nol. Laju rekombinasi R mewakili kombinasi laju yang terbatas pada reaksi pertukaran muatan



dan reaksi molekul



sehingga

$$R = k_1 n(\text{O}_2) + k_2 n(\text{N}_2) \quad (5)$$

di mana $n(\text{O}_2)$ dan $n(\text{N}_2)$ masing-masing adalah kerapatan O_2 dan N_2 , $k_1 = 2 \times 10^{-11} (300/T)^{0.4} \text{ cm}^3/\text{s}$ dan $k_2 = 8 \times 10^{-14} (T/300)^2 \text{ cm}^3/\text{s}$, di mana $T > 750 \text{ K}$. Dalam persamaan (2) temperatur dan angin netral ditetapkan sama dengan nol (ekuivalen dengan sistem dalam koordinat yang bergerak dengan kecepatan angin netral).

Persamaan (2) kemudian diselesaikan untuk kecepatan elektron dan ion. Sisi kiri dari persamaan (2) yang berbentuk bentuk inersial adalah diabaikan sehingga perubahan waktu yang berhubungan dengan bentuk tersebut terjadi dalam skala waktu yang lebih panjang dari pada periode giro dan waktu tumbukan. Dengan kata lain frekuensi yang berkaitan dengan bentuk inersial adalah kecil dibandingkan dengan frekuensi giro dan frekuensi tumbukan. Untuk elektron dapat diambil $v_e/\Omega_e = 0$, di mana $\Omega_e = eB/m_e c$, dan untuk ion $v_i/\Omega_i \ll 1$, di mana v_i adalah frekuensi tumbukan ion-netral (v_{in}). Kecepatan elektron dan ion masing-masing diberikan oleh:

$$\mathbf{v}_e = \frac{c}{B} \mathbf{E} \times \hat{\mathbf{z}}, \quad \hat{\mathbf{z}} = \frac{\mathbf{B}}{|\mathbf{B}|} \quad (6)$$

$$\mathbf{v}_i = \left(\frac{\mathbf{g}}{\Omega_i} + \frac{c}{B} \mathbf{E} \right) \times \hat{\mathbf{z}} + \left(\frac{\mathbf{g}}{\Omega_i} + \frac{c}{B} \mathbf{E} \right) \frac{v_{in}}{\Omega_i} \quad (7)$$

di mana dalam persamaan (6) telah diabaikan gerak elektron $\mathbf{g} \times \hat{\mathbf{z}}$, karena dibandingkan dengan gerak yang sama dari ion, massa elektron jauh lebih kecil dari massa ion. Dari persamaan (1) dapat diperoleh persamaan kontinuitas arus:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0, \quad \mathbf{J} = ne(\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_e) \quad (8)$$

Dengan melakukan pendekatan elektrostatik, yaitu $\mathbf{E} = -\nabla\phi$ dapat diperoleh:

$$\frac{\partial n}{\partial t} - \frac{c}{B} \left(\nabla\phi \times \hat{\mathbf{z}} + \frac{m_i}{e} \mathbf{g} \times \hat{\mathbf{z}} \right) \cdot \nabla n = -R(n - n_0) \quad (9)$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{v}_{in} n \nabla\phi) = \frac{m_i}{e} \mathbf{g} \cdot \nabla (v_{in} n) + \frac{B}{c} (\mathbf{g} \times \hat{\mathbf{z}}) \cdot \nabla n \quad (10)$$

Dengan menentukan $\phi = \phi_0 + \phi_1$, di mana ϕ_0 adalah potensial orde nol dan ϕ_1 potensial terinduksi atau potensial terganggu. Solusi orde nol dari persamaan (9) dan (10) mengharuskan $\nabla\phi_0 = m_i \mathbf{g}/e$. Nilai kesetimbangan potensial ini akan membuat $\mathbf{v}_{i0} = 0$ dan $\mathbf{v}_{e0} = -(\mathbf{g} \times \hat{\mathbf{z}}/\Omega_i)$. Dengan demikian arus kesetimbangan dibawa oleh elektron, dan diperoleh $\mathbf{j}_0 = -n_0 e \mathbf{g} \hat{\mathbf{x}}/\Omega_i$. Selanjutnya setiap bentuk orde nol atau medan listrik sekitar ionosfer diabaikan sehingga persamaan (9) dan (10) menjadi:

$$\frac{\partial n}{\partial t} - \frac{c}{B} (\nabla\phi_1 \times \hat{\mathbf{z}}) \cdot \nabla n = -R(n - n_0) \quad (11)$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{v}_{in} n \nabla\phi_1) = \frac{B}{c} (\mathbf{g} \times \hat{\mathbf{z}}) \cdot \nabla n \quad (12)$$

Persamaan (11) dan (12) merupakan persamaan dasar yang akan diselesaikan untuk n dan ϕ_1 di dalam bidang x - y . Di dalam persamaan tersebut n_0 , v_{in} , dan R merupakan fungsi dari ketinggian (y).

Laju pertumbuhan linier bisa diperoleh dari persamaan (11) dan (12) dengan anggapan:

$$n = n_0(y) + n_1 e^{i(k_x x + k_y y - \omega t)} \quad (13)$$

$$\phi_1 = \phi_1 e^{i(k_x x + k_y y - \omega t)}, \quad (14)$$

di mana dalam persamaan tersebut telah dilakukan pendekatan lokal dengan $k \gg (\partial n_0/\partial y)(1/n_0)$. Pendekatan tersebut menghasilkan persamaan:

$$(-i\omega + R)n_1 + i \frac{c}{B} \frac{\partial n_0}{\partial y} k_x \phi_1 = 0 \quad (15)$$

$$\frac{B}{c} i k_x g n_1 + \left(\frac{\partial(n_0 v_{in})}{\partial y} i k_y - n_0 v_{in} k^2 \right) \phi_1 = 0 \quad (16)$$

Menggunakan metode matriks dapat diperoleh:

$$\omega = - \frac{i k_x^2 g \frac{\partial n_0}{\partial y}}{i k_y \frac{\partial(n_0 v_{in})}{\partial y} - n_0 v_{in} k^2} - iR \quad (17)$$

Dengan menyusun persamaan tersebut berbentuk $\omega = \omega_r + i\gamma$ akan didapat:

$$\gamma = \frac{\left(\frac{\partial n_0}{\partial y} \right) k_x^2 g n_0 v_{in} k^2}{\left(n_0 v_{in} k^2 \right)^2 + \left\{ k_y \left[\frac{\partial(n_0 v_{in})}{\partial y} \right] \right\}^2} - R \quad (18)$$

$$\omega_r = \frac{-k_x^2 k_y \left[\frac{\partial(n_0 v_{in})}{\partial y} \right] g \left(\frac{\partial n_0}{\partial y} \right)}{\left(n_0 v_{in} k^2 \right)^2 + \left\{ k_y \left[\frac{\partial(n_0 v_{in})}{\partial y} \right] \right\}^2} \quad (19)$$

Persamaan (18) adalah persamaan laju pertumbuhan ketidakmampuan GRT, yang mana pertumbuhan (γ bernilai positif) hanya didapatkan jika gradien kerapatan bagian bawah ionosfer bernilai positif ($\partial n_0/\partial y > 0$), dan suku pertama sisi kanan persamaan laju pertumbuhan lebih besar dari suku ke dua dari persamaan tersebut. Untuk gelombang yang secara murni menjalar horisontal ($k_y = 0$) akan diperoleh:

$$\gamma = \frac{1}{n_0} \frac{\partial n_0}{\partial y} \frac{g}{v_{in}} - R \quad (20)$$

$$\omega_r = 0 \quad (21)$$

dan selanjutnya dapat didefinisikan $n_0(\partial n_0/\partial y)^{-1}$ sebagai skala panjang dari gradien kerapatan elektron bagian bawah lapisan F, yang biasa dinotasikan dengan L .

Jika pengaruh medan listrik di sekitar ionosfer (E) diperhitungkan maka akan didapat bentuk laju pertumbuhan:

$$\gamma = \left[\mathbf{V}_p - \frac{\mathbf{g}}{v_{in}} \right] \frac{1}{L} - R \quad (22)$$

di mana \mathbf{V}_p adalah kecepatan drift vertikal elektrodinamika $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ sebagaimana telah diungkapkan oleh persamaan (6)

3. Data dan Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data ESF tipe rentang (*range*) pada awal malam (jam 18.00 – 00.00) selama ekuinok bulan Maret dan April 1992, bulan Maret dari tahun 1992 sampai 1995, hasil pengamatan ionosfer tiap 15 menit menggunakan ionosonde vertikal yang terletak di Biak. Dari data tiap 15 menit tersebut dihitung frekuensi kejadian ESF pada tiap malamnya sehingga diperoleh data (intensitas) kejadian ESF harian. Data yang didapat dari ionogram selain ESF adalah ketinggian lapisan F ($h'F$). Dari $h'F$ ini bisa diturunkan kecepatan kenaikan vertikal lapisan F yang dapat dipakai pendekatan untuk drift vertikal plasma sebenarnya untuk kondisi setelah matahari terbenam sampai jam 22.00¹¹⁾. Data geofisika lainnya yang diperlukan adalah data indeks gangguan geomagnet A_p , data aktivitas matahari berupa bilangan sunspot R .

Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi variabilitas harian ESF dilakukan analisis korelasi antara kejadian ESF harian dengan parameter-parameter lainnya seperti $h'F$ pada saat lapisan F mencapai maksimum setelah matahari terbenam, kecepatan maksimum kenaikan $h'F$, indeks A_p dan bilangan sunspot R . Dan untuk mencari hubungan antara ESF dengan parameter-parameter tersebut dilakukan pendekatan menggunakan metode kuadrat terkecil.

Data ionosfer tiap selang 15 menit memungkinkan analisis spektrum menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mencari periodisitas antara 30 menit sampai 120 menit yang bersumber dari aktivitas gelombang gravitasi dari lapisan atmosfer netral. Berdasarkan periodisitas tersebut dapat dilakukan penyaringan (*filtering*) komponen periode fluktuasi melalui tapis *band-pass* yang dipusatkan pada komponen periodisitas yang ada. Varian dari masing-masing

komponen periodisitas dicari hubungannya yang paling kuat dengan ESF melalui analisis korelasi. Analisis spektrum juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh gelombang planetari.

Laju pertumbuhan ketidakmampuan GRT dapat dihitung dari persamaan (22) berdasarkan data ionogram pada jam tertentu dan dengan bantuan model MSISE-90¹²⁾ bisa ditentukan temperatur atmosfer T dan kerapatan atmosfer netral N_n di atas Biak. Selanjutnya parameter atmosfer tersebut dapat digunakan untuk menghitung frekuensi tumbukan ion-netral dan laju rekombinasi.

Dari ionogram dapat ditentukan L menggunakan persamaan:

$$L = \frac{f_0}{2} \left(\frac{\Delta h'}{\Delta f_0} \right), \quad (23)$$

di mana f_0 adalah frekuensi plasma, dan diambil pada frekuensi 3 MHz, Δf_0 diambil 1 MHz disekitar f_0 dan $\Delta h'$ ditentukan dari perbedaan ketinggian semu lapisan ionosfer sesuai dengan frekuensi plasma dari 2.5 MHz sampai 3.5 MHz. Kecepatan vertikal \mathbf{V}_p dapat ditentukan dari turunan $h'F$ terhadap waktu.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hubungan ESF Dengan Parameter Lainnya

Menggunakan analisis korelasi diketahui bahwa kejadian ESF memiliki korelasi positif dengan ketinggian maksimum $h'F$ setelah matahari terbenam, kecepatan maksimum kenaikan lapisan F, tingkat aktivitas gelombang gravitasi yang diindikasikan dengan varian dari fluktuasi kecepatan kenaikan $h'F$ dengan periode 36.9 menit, dan aktivitas matahari. Sedangkan dengan tingkat gangguan geomagnet berkorelasi negatif dengan ESF. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

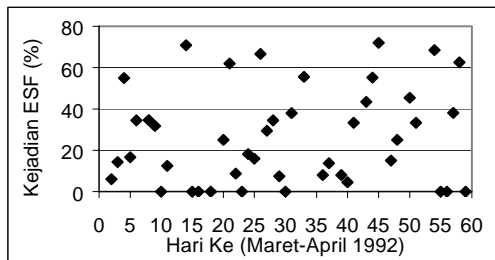
Tabel 1. Korelasi kejadian ESF dengan parameter lainnya.

Parameter	Kej ESF (harian)	Data ESF rata-rata (pengelompokan)	Data ESF rata-rata mingguan	Data ESF tahunan
$h'F_m$	0.33	0.95		
V_m	0.35	0.93		
A_p	-0.28		-0.53	
R	0.05		0.22	0.95
$\Delta V(36.9)$	0.57	0.79		

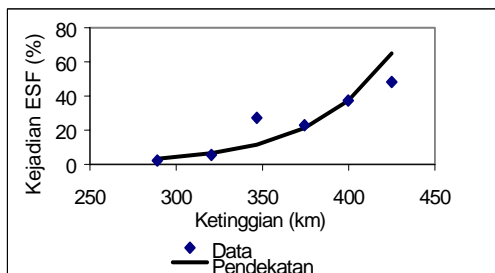
4.2 Ketergantungan ESF Terhadap Ketinggian Lapisan F

Berdasarkan data harian kejadian ESF seperti diperlihatkan pada Gambar 2, dengan

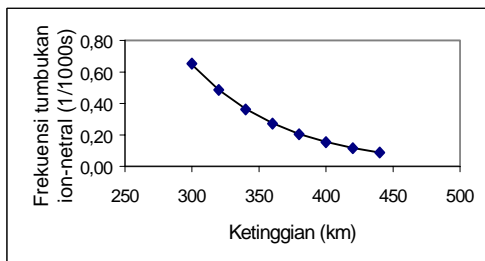
perata-ratan ESF dalam rentang ketinggian setiap 30 km, dapat ditunjukkan bahwa ESF cenderung bertambah secara eksponensial dengan bertambahnya ketinggian lapisan F (Gambar 3). Hal ini sesuai dengan teori GRT yang menyatakan bahwa laju pertumbuhan ketidakmampuan ionosfer berbanding terbalik dengan frekuensi tumbukan ion-netral di daerah F sesuai dengan persamaan (22). Sementara frekuensi tumbukan turun secara eksponensial terhadap ketinggian seperti ditunjukkan pada Gambar 4, laju pertumbuhan akan memiliki hubungan eksponensial positif dengan ketinggian lapisan F.



Gambar 2. Variasi Harian ESF bulan Maret dan April 1992 di atas Biak



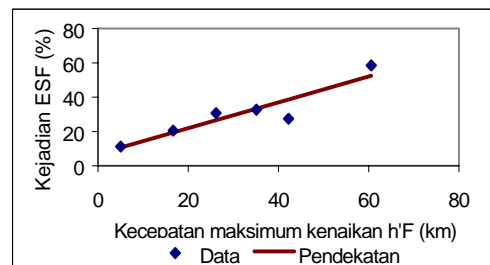
Gambar 3. Kejadian ESF cenderung meningkat secara eksponensial dengan ketinggian maksimum $h'F$ setelah matahari terbenam



Gambar 4. Frekuensi tumbukan ion-netral dari ketinggian 300 sampai 450 km pada tanggal 2 April 1992

4.3 Pengaruh Medan Listrik

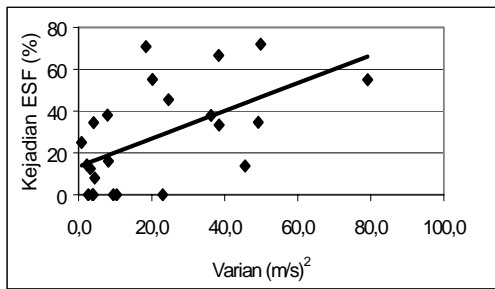
Jika medan magnet dianggap konstan maka adanya medan listrik di ionosfer akan menyebabkan drift vertikal plasma ionosfer. Dalam kondisi tertentu drift vertikal plasma ionosfer bisa didekati dengan kecepatan kenaikan lapisan F yang dapat dihitung dari ionogram yaitu dengan menghitung perubahan ketinggian $h'F$ dengan perubahan waktu. Pendekatan ini sesuai untuk kondisi ionosfer setelah matahari terbenam sampai jam 22.00. Maka drift vertikal pada saat tersebut ekuivalen dengan medan listrik arah Timur di ionosfer. Jadi kejadian ESF yang cenderung bertambah secara linear terhadap kecepatan kenaikan lapisan F sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, menunjukkan adanya pengaruh medan listrik di ionosfer yang arahnya ke Timur terhadap pembentukan ESF. Ini sesuai dengan teori bahwa laju pertumbuhan GRT sebanding dengan kecepatan drift vertikal plasma ionosfer yang disebabkan oleh adanya persilangan medan listrik dan medan magnet bumi.



Gambar 5. Kejadian ESF memiliki hubungan linear dengan kecepatan maksimum kenaikan h'

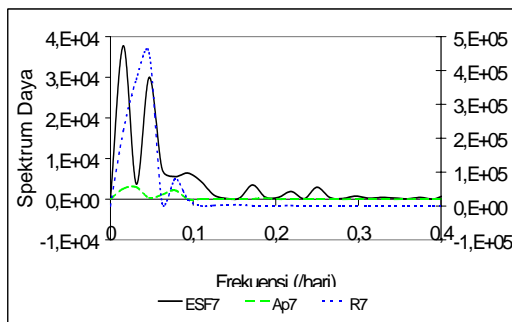
4.4 Pengaruh Gelombang Gravitasi dan Gelombang Planetari

Dengan analisis spektrum didapatkan adanya fluktuasi kenaikan lapisan F dengan periode dalam orde gelombang gravitasi dengan periode sekitar 36.9 menit. Setelah data harian kecepatan kenaikan $h'F$ difilter menggunakan *band-pass filter* yang dipusatkan pada periode 36.9 menit dapat dihitung variannya. Varian dari fluktuasi tersebut memiliki kecenderungan linear positif dengan kejadian ESF seperti dapat dilihat pada Gambar 6. Gelombang gravitasi yang sampai di ketinggian ionosfer dapat berperan sebagai benih untuk terjadinya ESF. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan penurunan teori GRT yang pada awalnya dianggap ada gangguan kerapatan plasma ionosfer. Gangguan kerapatan tersebut bisa disebabkan oleh adanya gelombang gravitasi yang bersumber dari atmosfer bawah yang menjalar sampai ionosfer.



Gambar 6. Kejadian ESF berkorelasi positif secara linear dengan varian dari fluktuasi kecepatan kenaikan $h'F$ dengan periode 36.9 menit pada awal malam.

Dari spektrum pada Gambar 7 diketahui bahwa ada periodisitas kejadian ESF dengan periode sekitar 4, 5.8 dan 10.7 hari yang tidak bersumber dari aktivitas matahari dan geomagnet tetapi berasal dari fenomena atmosfer bawah. Gelombang atmosfer dengan periode orde beberapa hari tersebut dikenal dengan gelombang planetari. Gelombang planetari dapat berinteraksi dengan gelombang gravitasi. Sehingga gangguan awal kerapatan ionosfer yang disebabkan oleh gelombang gravitasi besarnya dapat dipengaruhi oleh gelombang planetari. Akhirnya kejadian ESF juga menampilkan fenomena periodisitas dalam orde gelombang planetari.

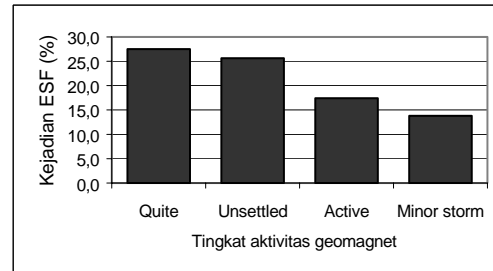


Gambar 7. Spektrum dari ESF, A_p dan R setelah dirata-ratakan dengan rata-rata bergerak setiap 7 hari.

4.5 Pengaruh Gangguan Geomagnet dan Aktivitas Matahari

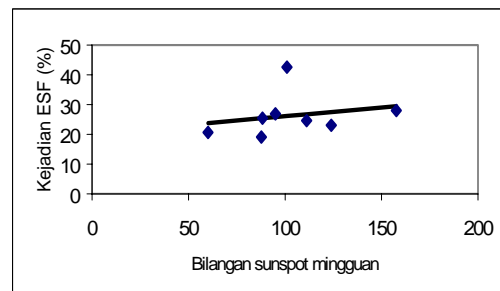
Tingkat gangguan geomagnet yang dikelompokkan sesuai dengan pengelompokan yang dilakukan oleh Thomson¹³⁾ menunjukkan bahwa tingkat gangguan geomagnet yang tinggi justru akan menurunkan intensitas kejadian ESF sebagaimana terlihat pada Gambar 8. Pada saat geomagnet terganggu terjadi kompresi

magnetosfer yang berinteraksi dengan geomagnet sehingga dapat menekan kenaikan lapisan F setelah matahari terbenam. Akibatnya kejadian ESF akan semakin lemah intensitasnya.



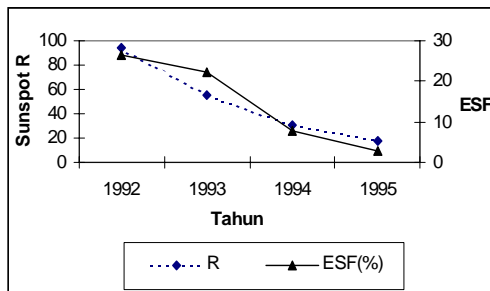
Gambar 8. Pengaruh tingkat gangguan geomagnet terhadap intensitas ESF. *Very quiet* ($A_p \leq 3$), *quite* ($A_p \leq 7$), *unsettled* ($8 \leq A_p \leq 15$), *active* ($16 \leq A_p \leq 25$), *minor storm* ($25 \leq A_p \leq 35$).

Sedangkan aktivitas matahari harian tidak nampak pengaruhnya pada ESF. Tetapi aktivitas matahari mingguan sedikit berpengaruh pada ESF sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 9. Dalam jangka panjang dari tahun 1992 sampai 1995 aktivitas matahari tahunan memiliki pengaruh yang cukup kuat terhadap ESF seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Hal ini mungkin karena pada kondisi aktivitas matahari yang lebih tinggi terjadi sirkulasi di termosfer lebih kuat sehingga meningkatkan pembentukan medan listrik di ionosfer melalui teori dinamo.

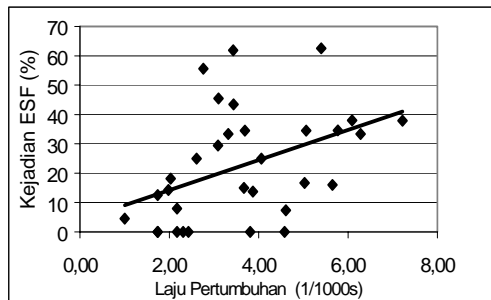


Gambar 9. Hubungan kejadian ESF dengan bilangan sunspot setelah dirata-ratakan dalam selang seminggu

Pada Gambar 11 ditunjukkan hubungan linear positif dari laju pertumbuhan dengan kejadian ESF. Titik potong dengan sumbu y mendekati titik (0,0) yang menunjukkan kesesuaian dengan teori bahwa ESF tidak mungkin terjadi jika laju pertumbuhan berharga negatif.



Gambar 10. Hubungan ESF dengan bilangan sunspot jangka panjang untuk bulan Maret dari tahun 1992 sampai 1995.



Gambar 11. Hubungan ESF dengan laju pertumbuhan ketidakmantapan GRT.

5. Kesimpulan

Adanya variabilitas harian ESF merupakan pengaruh gabungan dari adanya variabilitas harian dari ketinggian maksimum $h'F$, kecepatan maksimum kenaikan lapisan tersebut, aktivitas gelombang gravitasi dan planetari, tingkat gangguan geomagnet dan aktivitas matahari jangka panjang. Fenomena kejadian ESF dan variabilitas hariannya dapat diterangkan mekanismenya berdasarkan teori ketidakmantapan *Gravitational Rayleigh-Taylor*.

Daftar Pustaka

- Shimazaki, T., A statistical study of worldwide occurrence probability of spread F, 1, Average state, *J. Radio Res. Lab.*, **6**, 1959, 669-687.
- Maruyama, T., dan N. Matuura, Longitudinal variability of annual changes in activity of equatorial spread F and plasma bubbles, *J. Geophys. Res.*, **89**, 1984, 10903.
- Tsunoda R.T., Control of the seasonal and longitudinal occurrence of equatorial scintillation by the longitudinal gradient in integrated E region Pedersen conductivity, *J. Geophys. Res.*, **90**, 1985, 447.
- Miller, C.A., W.E. Swartz, M.C. Kelly, M. Mendillo, D. Nottingham, J. Scali dan B. Reinish, Electrodynamics of midlatitude spread F :1. Observations of unstable, gravity wave-induced ionospheric electric field at tropical latitudes, *J. Geophys. Res.*, Vol. **102**, No. A6, 1997, 11521-11532.
- Rottger J., Influence of spread-F on HF radio system, *Agard Conference Proceedings on Radio System and the Ionosphere*, No. **173**, 1970, 26-1 - 26-10.
- Basu, S., Su. Basu, E. Kudeki, E.J. Weber, C.E. Valladares, R. Sheehan, J.W. Meriwether, H. Kuenzler, G.J. Bishop, and M.A. Biondi, Scintillations, plasma drift and neutral wind in the equatorial ionosphere after sunset, *Paper presented at the Ninth International Symposium on Equatorial Aeronomy (ISEA)*, sponsored by SCOSTEP, IAGA, IAMAS, SGEPPS, and URSI, Bali, Indonesia, March 20-24, 1995.
- Jayachandran, P.T., P. Sri Ram, V.V. Somayajulu, and P.V.S. Rama Rao, Effect of equatorial ionization anomaly on the occurrence of spread F, *Ann. Geophys.*, **15**, 1997, 255.
- Dabbas, R.S., D.R. Lakshmi, and B.M. Reddy, Day-to-day variability in the occurrence of equatorial and low-latitude scintillations in the Indian zone, *Radio Sci.*, vol. **33**, No. 1, 1998, 89 - 96.
- Groves, K.M., S. Basu, E.J. Weber, M. Smithan, H. Kuenzler, C.E. Valladares, R. Sheehan, E. MacKenzie, J. A. Secan, P. Ning, W.J. McNeill, D.W. Moonan, M.J. Kendra, Equatorial scintillation and system support, *Radio Science*, Vol. **32**, No. 5, 1997, 2047.
- Ossakow, S.L., S. T. Zalesak and B. E. McDonald, Nonlinear Equatorial Spread F: Dependence on Altitude of the F peak and Bottomside background Electron Density Gradient Scale Length, *J. Geophys. Res.*, Vol. **84**, No. A1, 1979, 17 - 29.
- Bittencourt, J.A., dan M.A. Abdu, A theoretical comparison between apparent and real ionization drift velocities in the equatorial F region, *J. Geophys. Res.*, **86**, 1981, 2451-2454.
- A. E. Hedin, Extension of the MSIS Thermospheric Model into the Middle and Lower Atmosphere, *J. Geophys. Res.* **96**, 1159, 1991.
- Thomson R.J., The Seasonal Distribution of Geomagnetic Disturbances, *Technical Report*, IPS-TR-85-05, 1985.