

ANALISIS KARAKTERISTIK FREKUENSI KRITIS (foF2), KETINGGIAN SEMU (h'F) DAN SPREAD F LAPISAN IONOSFER PADA KEJADIAN GEMPA PARIAMAN 30 SEPTEMBER 2009

ANALYSIS OF IONOSPHER'S F-LAYER CRITICAL (foF2), F LAYER ANOMALY (h'F) and SPREAD F IONOSPHERE CHARACTERISTIC FOR PARIAMAN EARTHQUAKE OF SEPTEMBER 30, 2009

**Dwi Pujiastuti¹, Edwards Taufiqurrahman¹, Rika Desrina Saragih¹, Sumi Daniati¹
Ednofri², Badrul Mustafa³**

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Universitas Andalas Padang¹
Dwi_Pujiastuti@yahoo.com

SPD LAPAN Kototabang²
Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas Padang³

ABSTRACT

Correlation between seismic activity prior to Pariaman earthquake (September 30, 2009) and ionospher's F-layer was analyzed qualitatively using F-layer critical frequency (foF2), F-layer height (h'F) and occurrence of Spread F. Ionospheric data used were ionograms from ionosonde FMCW retrieved from LAPAN Palupuh, West Sumatera, Indonesia. Ionogram scalling was performed first to get foF, h'F daily values and the occurrence of spread F.prior to Pariaman earthquake. Then the values (foF2 and h'F) were compared with its median to find anomaly. Geomagnetic data from WDC Kyoto University anda X-Ray Solar flare during the observation period used for comparison. From analysis, h'F anomalies were identified on September 23rd, 25th, 27th, and 30th 2009. h'F anomalies were identified on September 23rd, 25th, 26th, 27th, 28th, 29th and 30th 2009 and Spread F appeared on 24th, 25th dan 29th September 2009. This indicate that the appereance anomaly and the occurrence of spread F are earthquake precursor because occurred when geomagnet and solar activity in normal conditions.

Keywords: ionosphere, foF2, h'F, Spread F, precursor

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis kualitatif untuk melihat korelasi antara aktivitas seismik sebelum gempa Pariaman (30 September 2009) dengan kondisi lapisan F ionosfer. Korelasi dilakukan dengan membandingkan anomali frekuensi kritis lapisan F ionosfer (foF2), anomali ketinggian semu lapisan F ionosfer (h'F) dan kejadian *Spread F*. Data ionosfer yang digunakan adalah ionogram yang diperoleh dari ionosonda FMCW di LAPAN, Palupuh, Sumatera Barat, Indonesia. Proses *scalling* ionogram dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai harian harian foF2, h'F dan melihat ada atau tidaknya kemunculan *Spread F* sebelum terjadinya gempa Pariaman. Nilai harian foF2 dan h'F yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan median bulanannya untuk melihat anomali yang muncul. Sebagai data pembanding digunakan data geomagnetik (indeks Dst) yang diberikan oleh WDC Kyoto University dan data *X-Ray Solar Flare* selama periode pengamatan tersebut. Dari hasil analisis terlihat adanya anomali foF2 pada tanggal 23, 25, 27 dan 30 September 2009, anomali h'F pada tanggal 23, 25, 26, 27, 28 dan 29 September 2009 dan *Spread F* terlihat pada tanggal 24, 25 dan 29 September

2009. Adanya anomali foF2, h'F dan Spread F pada kurun waktu tersebut diprediksi merupakan prekursor gempa pariaman 2009 karena pada periode tersebut aktivitas geomagnetik dan matahari dalam kondisi normal.

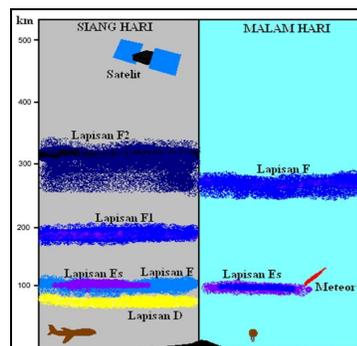
Katakunci: ionosfer, foF2, h'F, Spread F, prekursor

1. PENDAHULUAN

Pengamatan terhadap gangguan di ionosfer sebelum terjadinya gempa bumi merupakan salah satu metode yang sedang berkembang saat ini. Ionosfer merupakan lapisan yang terletak pada ketinggian sekitar 50 km hingga sekitar 1000 km dari permukaan bumi, dan mengandung partikel-partikel bermuatan [3]. Deformasi pada zona persiapan gempa akan menyebabkan radon yang tersimpan dalam batuan terlepas ke udara dan meluruh.

Usaha untuk melakukan prediksi gempa saat ini sampai pada kesimpulan bahwa aktivitas seismik meninggalkan jejak berupa gangguan di ionosfer [4], yang disebut kaitan seismo-ionosfer (*seismo-ionospheric coupling*). Konsepnya adalah aktivitas seismik menimbulkan gelombang elektromagnetik dan pelepasan partikel-partikel tertentu ke atmosfer sehingga mempengaruhi ion-ion di ionosfer. Akibatnya, muncul gangguan yang terlihat berupa ketidakstabilan di lapisan-lapisan ionosfer, baik berupa ketidakstabilan pada frekuensi kritis lapisan *F* maupun kemunculan *Spread F*.

Lapisan ionosfer terbentuk akibat sinar ultraviolet ekstrim dari matahari mengenai atom-atom netral di lapisan atas atmosfer bumi. Energi dari ultraviolet ekstrim ini cukup untuk mengionisasi atom-atom netral tersebut, sehingga terbentuk ion-ion. Berdasarkan unsur dominan yang membentuknya, lapisan ionosfer dibagi menjadi beberapa bagian (Gambar 1), seperti lapisan *D*, *E*, F_1 dan F_2 [1].



Gambar 1 Lapisan ionosfer pada siang hari dan malam hari [7]

Beberapa parameter pada lapisan F antara lain adalah frekuensi lapisan F_2 (f_0F_2), ketinggian semu lapisan F ($h'F$), dan $spread F$. Dikatakan ketinggian semu karena ketinggian dari lapisan ini bukanlah ketinggian yang sebenarnya sehingga diperlukan proses pengolahan lebih lanjut untuk memperoleh nilai ketinggian yang sebenarnya. Dalam penelitian ini dilakukan analisis untuk melihat perbandingan karakteristik respon frekuensi kritis lapisan F_2 (f_0F_2), $spread F$ dan ketinggian semu lapisan F ($h'F$) terhadap gempa bumi Pariaman tanggal 30 September 2009 dengan magnitudo 7,6 SR. Sebagai pembandingan akan dilakukan peninjauan terhadap badai magnetik dan aktivitas matahari untuk memastikan bahwa anomali yang terjadi pada ketinggian semu lapisan F ($h'F$), frekuensi kritis (f_0F_2) dan $Spread F$ disebabkan oleh adanya dorongan dari bawah yaitu gempa bumi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menganalisis ionogram dari ionosonda FMCW (*Frequency Modulation Continuous Wave*) sebelum gempa Pariaman yang berada di LAPAN LPA Kototabang, Kabupaten Agam. Data ionogram yang digunakan adalah data tanggal 23 September sampai tanggal 7 Oktober 2009. Dalam penelitian ini analisis difokuskan untuk melihat perbandingan respon frekuensi lapisan F_2 (f_0F_2), ketinggian semu lapisan F ($h'F$), dan $spread F$ sebelum kejadian gempa Pariaman yang diprediksi sebagai prekursor gempa bumi.

2.1 Luas Zona Persiapan Gempa Pariaman

Jarak lokasi Ionosonda yaitu Kototabang ke masing-masing lokasi episenter gempa dihitung dengan menggunakan *Latitude/Longitude Distance Calculator* di alamat website : <http://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml>. Besarnya zona persiapan gempa dinyatakan dengan persamaan Dobrovolsky [6] yang terdapat pada Persamaan 1 sebagai berikut :

$$\rho = 10^{0,43M} \quad (1)$$

dengan :

ρ : radius zona persiapan gempa (km)

M : magnitudo gempa (SR)

Apabila jarak lokasi episenter gempa ke lokasi Ionosonda di Kototabang tidak lebih dari luas zona persiapan gempa, maka perubahan fisis dan kimiawi pada lapisan

ionosfer yang berada di daerah antara Kototabang dengan episenter gempa masih dapat direkam oleh ionosonda FMCW yang berada di LAPAN Kototabang.

2.2 *Scaling*

Scaling adalah proses ekstraksi nilai frekuensi dan ketinggian lapisan ionosfer dari ionogram. Ionogram dari LAPAN SPD Kototabang adalah berupa file gambar dengan format png yang menampilkan plot frekuensi (sumbu-x) terhadap ketinggian (sumbu-y). Mekanisme *scaling* mengikuti langkah yang diberikan oleh Jiyo [2], dimana untuk mengubah nilai piksel ionosonda menjadi foF_2 dilakukan dengan Persamaan 2

$$foF_2 = 2 + (P_x - 80) \times \frac{2}{30} \quad (2)$$

Dengan P_x adalah nilai piksel untuk arah horizontal. Nilai foF_2 untuk setiap 15 menit dicatat untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

Untuk *Spread F* analisis dilakukan dengan mengamati hasil *scaling foF2* dari tanggal 23 September sampai 30 September 2007 kemudian mencatat waktu kemunculan *Spread F*, dan data *Spread F* dipisahkan dengan data ionogram yang tidak mengalami gangguan.

Pembacaan nilai ($h'F$) dapat dilakukan dengan mengarahkan kursor pada titik horizontal terendah dari jejak lapisan F . Nilai ($h'F$) dapat diketahui dengan melihat koordinat titik piksel yang tertera pada koordinat sumbu-y dan nilai titik piksel ini (disimbolkan sebagai y) diolah ke dalam Persamaan 3

$$h(y) = 3(340 - y) \quad (3)$$

Dengan

$h(y)$: ketinggian pada lapisan ionosfer

y : posisi piksel vertikal berada pada koordinat y di ionogram

Menurut Jiyo [2] aturan baku *scaling* ionogram sesuai dengan *Report UAG-23A* (1978) menggunakan *Microsoft Excel*. *Scaling h'F* dilakukan untuk ionogram setiap 5 menit, dan nilai piksel pada sumbu-y dicatat dan dimasukkan ke Persamaan 3 untuk mendapatkan nilai $h'F$ dan langkah ini diulangi untuk setiap ionogram.

2.2 Aktivitas Matahari dan Badai Geomagnetik

Faktor yang terbukti paling berpengaruh terhadap ionosfer adalah kondisi geomagnetik bumi dan aktivitas matahari. Karenanya, untuk melihat kaitan anomali ionosfer dengan aktivitas seismik, perlu terlebih dahulu dilakukan pemisahan antara anomali ionosfer yang diakibatkan badai geomagnetik dan aktivitas matahari.

Data badai geomagnetik yang disebut dengan Indeks Dst, diunduh dari *World Data Center C-2 Kyoto University*, Jepang, dengan alamat website : <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>. Bentuk data Indeks Dst adalah bilangan unit aktivitas geomagnetik setiap jam dalam 24 jam untuk 30 atau 31 hari sesuai dengan banyaknya tanggal pada bulan tersebut.

Data aktivitas matahari yaitu data *X-Ray Solar Flare* diunduh dari *Space Weather Prediction Center (SWPC)*. Bentuk data *X-Ray Solar Flare* adalah sebuah grafik yang menyatakan aktivitas matahari untuk setiap kelasnya selama 3 hari.

2.3 Perhitungan Nilai Median $h'F$ dan f_0F_2

Nilai median ditentukan dengan menggunakan formula yang terdapat di dalam *Microsoft Excel 2007* selama 24 jam perhari dari tanggal 23 September sampai 30 September 2009. Setiap 5 menit untuk f_0F_2 dan setiap 15 menit untuk $h'F$.

2.4. Perhitungan Nilai Deviasi $h'F$ dan f_0F_2

Nilai deviasi diperoleh dengan menghitung selisih antara nilai $h'F$ dan f_0F_2 (yang didapat dari *scaling*) dengan nilai median untuk setiap waktunya. Nilai deviasi yang diperoleh sangat beragam, dapat berupa variasi positif

2.5 Perhitungan Nilai Standar Deviasi $h'F$ dan f_0F_2

Standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut.

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum (h'F_i - \overline{h'F})^2}{n-1}} \quad (4)$$

keterangan :

σ_h : standar deviasi harian

$h'F_i$: ketinggian semu lapisan F (km) untuk setiap waktunya

$\overline{h'F}$: nilai rata-rata harian $h'F$ untuk suatu waktu yang sama

n : banyak data $h'F$ dalam 15 hari pengamatan

Untuk f_0F_2 dilakukan dengan cara yang sama dengan mengganti parameter $h'F$ dengan f_0F_2 . Setelah diperoleh nilai standar deviasi untuk masing-masing waktu selama 15 hari pengamatan, selanjutnya dihitung rata-rata (*average*) nilai standar deviasi untuk 15 hari pengamatan tersebut untuk menentukan nilai batas atas dan nilai batas bawah dari $h'F$ dan f_0F_2 .

2.6 Perhitungan Nilai Batas Atas dan Batas Bawah $h'F$ dan f_0F_2

Nilai batas atas $h'F$ dan f_0F_2 diperoleh dari menjumlahkan nilai median untuk masing-masing waktu dengan nilai rata-rata standar deviasi selama 15 hari pengamatan. Nilai batas bawah diperoleh dari menghitung selisih nilai median untuk masing-masing waktu dengan nilai rata-rata standar deviasi selama 15 hari pengamatan. Nilai batas bawah dan nilai batas atas ini penting untuk melihat nilai tertinggi dan nilai terendah dari anomali $h'F$ dan f_0F_2 setiap waktunya sehingga apabila terdapat anomali $h'F$ dan f_0F_2 yang melebihi nilai batas atas dan nilai batas bawah tersebut merupakan anomali yang akan dianalisis lebih lanjut.

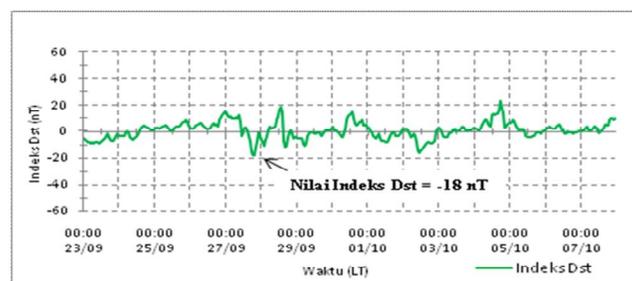
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Luas Zona Persiapan Gempa

Ionosonda FMCW Kototabang berada pada lokasi koordinat 0,30 LS – 100,35 BT [2]. Jarak episenter gempa Padang Pariaman ke ionosonda Kototabang adalah 98 km. Luas zona persiapan gempa yang dihitung dengan Persamaan 1 adalah sebesar 1853,5 km. Secara teoritis radius ini masih berada dalam radius zona persiapan gempa maka secara teori lapisan ionosfer yang berada pada lokasi ionosonda di Kototabang juga mengalami perubahan fisis dan kimiawi yang diakibatkan oleh gempa Padang Pariaman.

3.2 Indeks Dst pada Waktu Gempa Pariaman

Indeks Dst untuk waktu Gempa Padang Pariaman diambil mulai tanggal 23 September – 07 Oktober 2009. Plot data indeks Dst dapat dilihat pada Gambar 2.

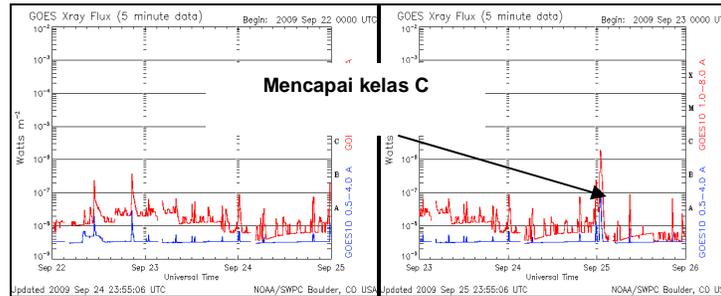


Gambar 2 Plot indeks Dst Tanggal 23 September – 07 Oktober 2009
Untuk Gempa Pariaman Tanggal 30 September 2009.

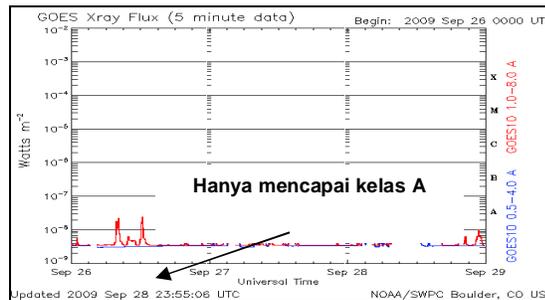
Dari Gambar 2 diketahui bahwa aktivitas geomagnetik pada tanggal 23 September – 07 Oktober 2009 bernilai fluktuatif dengan nilai indeks Dst minimum adalah -18 nT. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk 15 hari pengamatan terhadap Gempa Padang Pariaman, 30 September 2009 tidak terjadi badai geomagnetik.

3.3 Grafik Badai Matahari pada Waktu Gempa Pariaman

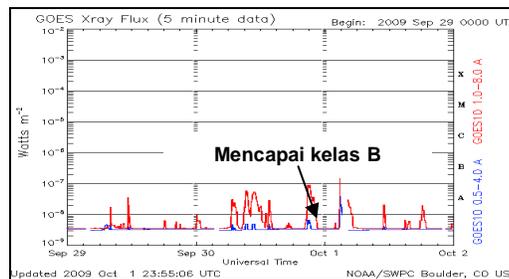
Waktu pengamatan terhadap aktivitas matahari untuk gempa yang berpusat di Padang Pariaman tanggal 30 September 2009 diambil mulai tanggal 23 September – 1 Oktober 2009 yang dapat dilihat pada Gambar 3 – Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 3 Plot badai matahari tanggal 23 – 25 September 2009.



Gambar 4 Plot badai matahari tanggal 26 – 28 September 2009.

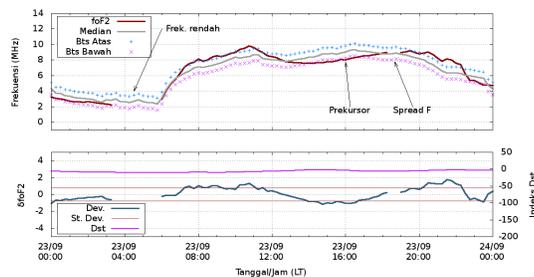


Gambar 5 Plot badai matahari tanggal 29 September – 1 Oktober 2009.

Berdasarkan Gambar 3 – Gambar 5 terlihat bahwa selama tanggal 23 September – 1 Oktober 2009 badai matahari rata-rata berada pada kelas A. Maka dapat disimpulkan bahwa selama 15 hari waktu pengamatan untuk Gempa Padang Pariaman, tidak terjadi badai matahari yang memberikan dampak yang signifikan untuk memberikan gangguan terhadap lapisan ionosfer.

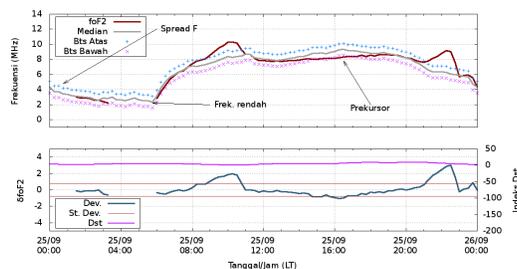
3.4 foF2 Sebelum Gempa Pariaman 2009

Untuk tanggal 23 September, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 2. Deviasi negatif berlangsung selama 5 jam, dari pukul 13.00 WIB hingga pukul 18.00 WIB.



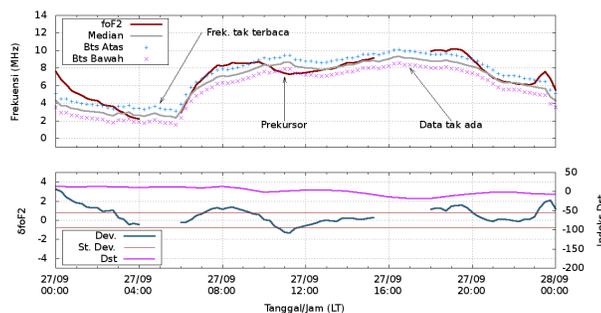
Gambar 2: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 23 September 2009.

Berikutnya untuk tanggal 25 September, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 3. Pada plot tersebut terlihat $foF2$ tinggi pada saat menjelang siang (sekitar pukul 10.00 WIB) dan menjelang tengah malam (sekitar pukul 22.30), namun diantara kedua waktu tersebut justru terdapat anomali dimana $foF2$ nilainya rendah.



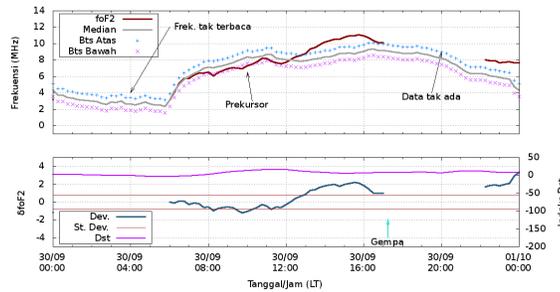
Gambar 3: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 25 September 2009.

Untuk tanggal 27 September, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 4. Deviasi negatifnya hanya berlangsung singkat, mulai dari pukul 10.00 WIB hingga pukul 13.00 WIB (3 jam).



Gambar 4: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 27 September 2009.

Untuk tanggal 30 September yang merupakan hari terjadinya gempa, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 5. Deviasi negatif mulai pagi hari pukul 07.30 WIB dan berlangsung hingga pukul 12.30 WIB (durasi 5 jam). Gempa terjadi pada pukul 17.15 WIB atau sekitar 5 jam setelah $foF2$ mengalami deviasi negatif tersebut.



Gambar 5: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 30 September 2009.

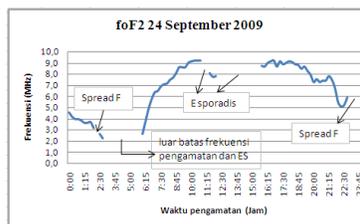
3.5 Spread F Sebelum Gempa Pariaman

Pada tanggal 23 September 2009 (Gambar 6), frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) sangat rendah, sehingga pada pukul 4:00 sampai dengan pukul 5:30 frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas frekuensi pengamatan yaitu kecil dari 2 MHz. Pada siang hari frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) meningkat bersamaan dengan meningkatnya aktivitas matahari.



Gambar 6 Frekuensi Kritis ionosfer 23 September 2009.

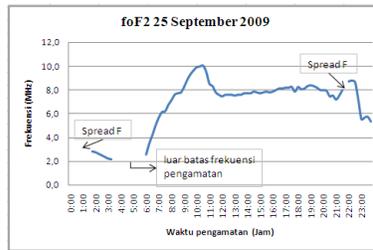
Tanggal 24 September 2009 *Spread F* muncul pada awal malam yaitu pukul 02:15 (Gambar 7). Pada pukul 03:00 sampai dengan pukul 04:15 frekuensi kritis lapisan F ionosfer sangat rendah yaitu diluar batas frekuensi pengamatan disertai dengan munculnya gangguan lapisan E (*E-Sporadis*). Di akhir malam *Spread F* kembali terjadi pada pukul 23:00 sampai dengan pukul 01:15 pada hari berikutnya (tanggal 25 September).



Gambar 7 Frekuensi Kritis ionosfer 24 September 2009

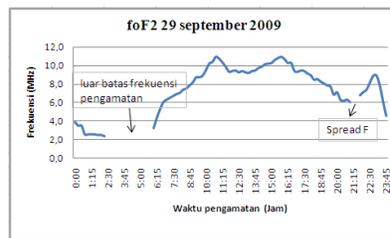
Pada awal pengamatan adanya kejadian *Spread F* sampai dengan pukul 01:30 . Frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas frekuensi pengamatan pada jam 03:30 sampai dengan pukul 4:45 karena aktivitas matahari minimum sehingga terjadi

penurunan frekuensi kritis lapisan F ionosfer. *Spread F* kembali muncul pada jam 21:45 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Frekuensi Kritis ionosfer 25 September 2009.

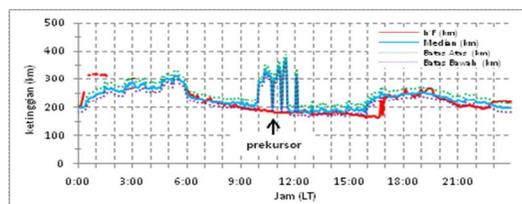
Pada pukul 02:30 sampai dengan pukul 05:45 frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas pengamatan. *Spread F* muncul pada pukul 20:55 sampai dengan pukul 21:30 seperti ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9 Frekuensi Kritis ionosfer 29 September 2009

3.6 *h'F* untuk Gempa Pariaman Tanggal 30 September 2009

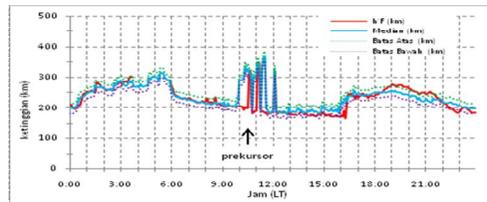
Pada tanggal 23 September 2009 pukul 10.50 – 11.35 WIB, *h'F* mencapai ketinggian minimum yaitu 183 km yang biasanya berada pada ketinggian 369 km (Gambar 10). Pada pukul 10.50 – 11.35, seharusnya *h'F* mengalami kenaikan karena kuatnya pengaruh intensitas matahari. Akan tetapi, *h'F* justru mengalami deviasi negatif yang telah melebihi batas bawah *h'F*, sehingga deviasi negatif ini diduga merupakan anomali.



Gambar 10 Plot variasi harian *h'F* tanggal 23 September 2009

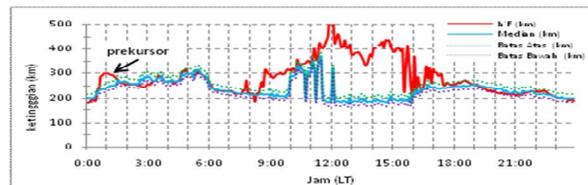
Deviasi negatif yang terjadi tanggal 25 September 2009 memiliki kasus yang sama dengan deviasi negatif yang muncul pada tanggal 23 September. Pada pukul 10.00 – 11.40 WIB seharusnya *h'F* mengalami kenaikan (deviasi positif) yang pada Gambar 11. juga terlihat bahwa nilai median *h'F* terus merambat naik. Akan tetapi, nilai *h'F* pada

waktu ini justru mengalami penurunan hingga melebihi batas bawah $h'F$ dan ini merupakan sebuah anomali.



Gambar 11 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 25 September 2009.

Berbeda dengan anomali-anomali $h'F$ sebelumnya yang selalu ditandai dengan deviasi negatif, pada tanggal 26 September 2009, terjadi deviasi positif. Pada pukul 00:40 – 01.25 WIB terjadi deviasi positif dengan $h'F$ mencapai ketinggian hingga 300 km pada pukul 00.50 – 00.55 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 12

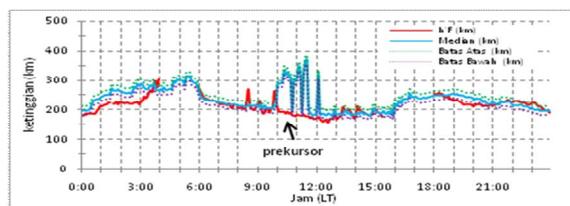


Gambar 12 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 26 September 2009.

Pada Gambar 12 terlihat, median $h'F$ memang mengalami kenaikan (deviasi positif) mulai pukul 00:00 WIB hingga pukul 06:00 WIB secara fluktuatif. Akan tetapi deviasi positif yang terjadi pada pukul 00:40 – 01.25 WIB ini telah melebihi nilai batas atas $h'F$ sehingga dapat dicurigai sebagai sebuah anomali.

Setelah pukul 01.25 WIB, $h'F$ kemudian berada dalam ketinggian rata-rata yang tidak melebihi nilai batas atas dan batas bawah $h'F$ hingga kemudian deviasi positif muncul kembali pada pukul 08.30 – 17.25 WIB. Pada pukul 12.00 WIB, $h'F$ mencapai ketinggian maksimum yaitu 525 km dari nilai median $h'F$ yaitu 192 km. Akan tetapi, deviasi positif yang terjadi pada waktu ini masih dianggap normal dengan asumsi bahwa intensitas penyinaran matahari maksimum pada waktu ini.

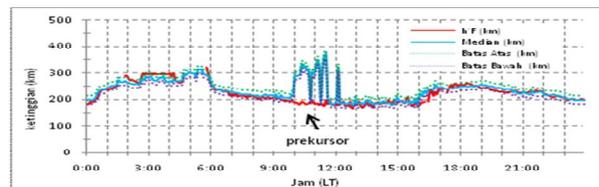
Keesokan harinya yaitu pada tanggal 27 September 2009, deviasi negatif terjadi pada pukul 09.50 – 12.40 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 13



Gambar 13 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 27 September 2009.

Deviasi negatif yang terjadi pukul 09.50 – 12.40 WIB ini juga memiliki kasus yang sama dengan deviasi negatif yang terjadi pada tanggal 23 September pukul 10.50 – 11.35 WIB dan tanggal 25 September pukul 10.00 – 11.40 WIB dapat dilihat pada Gambar 13. Letak persamaannya adalah deviasi negatif ini terjadi ketika median $h'F$ mengalami kenaikan yaitu rentang waktu pukul 10.00 – 12.00 WIB. Deviasi negatif maksimum adalah -189 dengan ketinggian $h'F$ minimum adalah 159 km pada pukul 11.25 WIB. Penurunan nilai $h'F$ yang telah melebihi nilai batas bawah $h'F$ ini dianggap sebagai sebuah anomali.

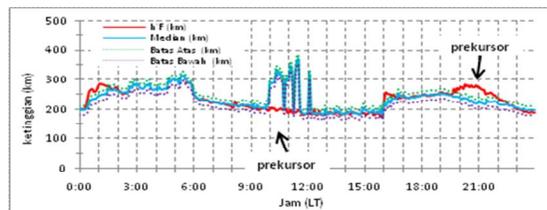
Variasi harian $h'F$ pada tanggal 28 September 2009 dapat dilihat pada Gambar 14. Deviasi negatif maksimum adalah -186 dan ketinggian $h'F$ minimum adalah 177 km.



Gambar 14 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 28 September 2009.

Anomali $h'F$ yang terjadi tanggal 28 September pukul 09.50 – 11.30 WIB. Deviasi negatif kembali terjadi keesokan harinya yaitu tanggal 29 September 2009 pada waktu yang sama, yaitu pukul 09.55 – 11.30 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 15

Pada waktu tersebut, $h'F$ mengalami deviasi negatif maksimum sebesar -171 dan $h'F$ mencapai ketinggian minimum yaitu 189 km pada pukul 11.25 – 11.30 WIB yang terlihat pada Gambar 15



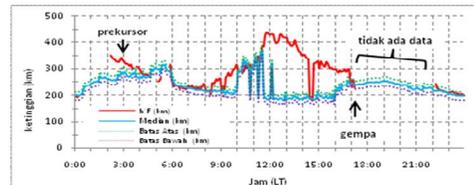
Gambar 15 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 29 September 2009.

Penurunan nilai $h'F$ yang terjadi pada pukul 09.55 – 11.30 WIB ini juga telah melebihi nilai batas bawah $h'F$ seperti yang terjadi pada hari-hari sebelumnya. Nilai median $h'F$ yang ditunjukkan oleh Gambar 15 memperlihatkan bahwa nilai median $h'F$ terus merambat naik hingga mengalami penurunan setelah lewat pukul 12.00 WIB. Penurunan nilai $h'F$ ini kemudian dianggap sebagai sebuah anomali.

Selain deviasi negatif, pada tanggal 29 September juga terjadi deviasi positif pada pukul 19.50 – 22.10 WIB dengan nilai deviasi maksimum adalah 49,5. Pada pukul 20.15 WIB, $h'F$ mencapai ketinggian maksimum yaitu 285 km. Deviasi positif yang terjadi pada

pukul 19.50 – 22.10 WIB ini telah melebihi nilai batas atas $h'F$ sehingga dianggap sebagai sebuah anomali. Pada waktu ini aktivitas geomagnetik dalam keadaan tenang dan tidak terjadi anomali aktivitas matahari, sehingga anomali $h'F$ yang terjadi pada tanggal 29 September 2009 pukul 19.50 – 22.10 WIB direkomendasikan sebagai prekursor gempa.

Setelah menemukan anomali-anomali $h'F$ pada rentang waktu 7 hari sebelum gempa, maka analisis selanjutnya diteruskan pada tanggal terjadinya gempa yaitu 30 September 2009. Plot variasi harian $h'F$ dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 30 September 2009.

Tanggal 30 September 2009 pukul 00.15 – 02.05 WIB, $h'F$ tidak terlihat di ionogram dan tiba-tiba terlihat deviasi positif pukul 02.10 – 04.05 WIB dengan ketinggian $h'F$ maksimum adalah 351 km pada pukul 02.10 WIB. Deviasi positif yang terjadi pada waktu ini, diduga merupakan kelanjutan deviasi positif yang terjadi pada hari sebelumnya. Nilai $h'F$ yang telah melebihi nilai batas atas $h'F$ ini dianggap sebagai sebuah anomali. Pada pukul 08.25 – 09.55 WIB terjadi deviasi positif dengan nilai deviasi positif maksimum adalah 99 pada pukul 09.55 WIB. Nilai $h'F$ juga mencapai ketinggian maksimum mencapai 315 km pada juga pukul 09.55 WIB. Akan tetapi deviasi positif yang terjadi ini diduga merupakan akibat dari intensitas penyinaran matahari. Deviasi positif yang selanjutnya terjadi pada pukul 11.35 – 14.20 WIB dengan $h'F$ yang mencapai nilai ketinggian maksimum mencapai 435 km pada pukul 11.50 WIB, yang diduga juga dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari.

Setelah mengalami penurunan selama 20 menit, deviasi positif kembali terjadi pada pukul 14.40 – 16.50 WIB dengan $h'F$ yang mencapai ketinggian mencapai 321 km pada pukul 14.45 WIB. Akan tetapi deviasi positif ini masih disebabkan oleh intensitas penyinaran matahari. Gempa tanggal 30 September 2009 terjadi pukul 17.15 WIB. Sesaat setelah gempa, tidak terlihat ada rekaman atau citra gambar di ionogram, diduga ionosonda mati setelah terjadi gempa. Ionogram memperlihatkan rekaman gambar pada pukul 22.05 WIB. Tidak terdapat tanda-tanda anomali $h'F$ mulai pukul 22.05 WIB hingga pukul 23.55. Nilai $h'F$ berada dalam keadaan normal sesuai dengan median harian $h'F$.

3.7 Analisis

Dari hasil analisis karakteristik foF_2 , $h'F$ dan *Spread F* pada kejadian gempa Pariaman selama periode pengamatan sebelum dan sesudah kejadian gempa terlihat adanya anomali pada ketiga parameter ionosfir yang ditinjau. Untuk tanggal 23 September 2014 muncul anomali negatif foF_2 dari jam 13.00 sampai dengan pukul 18.00 WIB. Pada pengamatan *Spread F* tidak terdeteksi adanya *spread F* pada tanggal 23 September. Untuk pengamatan $h'F$ muncul anomali ketinggian pada jam 10.50 sampai jam 11.35.

Untuk tanggal 24 September 2009 muncul *Spread F* pada jam 02.15 tapi tidak diikuti oleh munculnya anomali foF_2 dan $h'F$. Untuk tanggal 25 September 2009 . muncul anomali foF_2 jam 16.00. *Spread F* muncul pada jam 2.15 tapi tidak terlihat adanya anomali pada pengamatan $h'F$.

Pada tanggal 26 September 2014 tidak muncul anomali negatif foF_2 dan $h'F$ tetapi muncul *Spread F* pada jam 03.30 sampai 04.45 dan 21.45 WIB. Tanggal 27 September 2009 muncul anomali foF_2 pukul 10.00 sampai 13.00 tapi tidak diiringi dengan kemunculan *Spread F*. Sedangkan pada $h'F$ muncul anomali pada jam 09.50 – 12.40.

Pada tanggal 28 September hanya muncul anomali pada pengamatan $h'F$ pada jam 09.50 – 11.30 WIB. Sedangkan pada tanggal 29 September 2009 muncul *Spread F* pada jam 20.55 sampai 21.30 dan anomali $h'F$ pada jam 19.50 – 22.10 tapi tidak diiringi anomali di foF_2 . Pada saat kejadian gempa yaitu tanggal 30 September 2009 terekam adanya anomali foF_2 pada jam 07.30 sampai 12.30 dan anomali $h'F$ pada jam 02.10 sampai 04.05, tetapi tidak terlihat adanya kemunculan *Spread F*.

Secara umum selama periode pengamatan ionogram sebelum kejadian gempa Pariaman 30 September 2009 terjadi anomali pada ketiga parameter ionosfer foF_2 , $h'F$ dan *Spread F*, tetapi waktu kemunculannya yang berbeda. Perbedaan waktu kemunculan anomali tergantung dari sifat masing masing parameter yang ditinjau. Kemunculan *Spread F* terjadi malam hari, anomali foF_2 terjadi pada siang hari dan anomali $h'F$ terjadi pada siang dan malam hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kualitatif yang telah dilakukan terhadap hasil *scalling* data ionogram sebelum terjadinya gempa Pariaman 30 September 2009 diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Selama periode pengamatan ionosonda sebelum dan sesudah gempa Pariaman aktivitas geomagnetik dan aktivitas matahari dalam kondisi normal
2. Anomali ketinggian lapisan $h'F$ sebanyak 6 kali yaitu tanggal 23, 25, 26, 27, 28 dan 29 September 2009.

3. Anomali foF₂ terjadi pada tanggal 23, 25, 27 dan 30 September 2009
4. Kemunculan Spread F 24, 25 dan 29 September 2009.
5. Secara umum selama periode pengamatan ionogram sebelum kejadian gempa Pariaman 30 September 2009 terjadi anomali pada ketiga parameter ionosfer foF₂, h'F dan *Spread F*, tetapi waktu kemunculannya yang berbeda. Perbedaan waktu kemunculan anomali tergantung dari sifat masing masing parameter yang ditinjau. Kemunculan *Spread F* terjadi malam hari, anomali foF₂ terjadi pada siang hari dan anomali h'F terjadi pada siang dan malam hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada pihak Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang telah memberikan ijin penggunaan data ionosonda FMCW dari LAPAN SPD Kototabang.

5. PUSTAKA

- [1] Ednofri, 2009, Implementasi Metoda Case Based Reasoning untuk Mendukung Proses Scaling Data Ionogram Ionosonda (Studi Kasus : Ionosonda FMCW Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN Kototabang, Kec. Palupuh, Ka. Agam, Sumatera Barat), *Tesis*, PPS FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Jiyo, 2008, Metode Pembacaan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Menggunakan Ionosonda FMCW, *Berita Dirgantara*, Vol. 2, No. 9, LAPAN, Bandung.
- [3] Kaloka, S., Jiyo, Suhartini, S., Perwitasari, S., Mardiani, A. S., Dear, V. et al, 2010, Lapisan Ionosfer, Prediksi Frekuensi dan Teknis Komunikasi Radio (Jiyo, Ed), Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN, Bandung.
- [4] Pulinets S. A., Legen'ka A. D., Gaivoronskaya T.V. dan Depeuv V. K., 2003, Main Phenomenological Features of Ionospheric Precursors of Strong Earthquake, *Jurnal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 65.
- [5] Pulinets S. A., 2004, Ionospheric Precursors of Earthquake: Recent Advances Theory and Practical Applications, Vol. 15, No. 3, TAO.
- [6] Pulinets S. A., dan Boyarchuk K., 2004, *Ionospheric Precursors of Earthquakes*, Springer-Verlag, Berlin.
- [7] Radio Komlek, 2013, Sistem Komunikasi Radio HF, <http://radio.komlek.net/sistem-komunikasi-radio-high-frequency/> diakses Juni 2013.