

ANALISIS ANOMALI KETINGGIAN SEMU ($h'F$) LAPISAN IONOSFER SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI SUMATERA

Akbar I.^{*1}, Syafriani¹, Muslim B.², Afrizal³

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

²Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Bandung

³Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Agam

*1 akbarilham728@gmail.com, ¹ syafriani@fmipa.unp.ac.id, ² mbuldan@gmail.com,

³ afrizal@gmail.com

ABSTRACT

Sumatra is an area prone to earthquakes, this is caused by a complex Sumatran tectonic system. Therefore, research is needed that aims to determine earthquake precursors as a disaster mitigation effort based on anomalies that occur in the ionosphere by observing pseudo anomalies ($h'F$) of the ionosphere before the earthquake. The research is a descriptive study by analyzing the ionosphere anomaly $h'F$, where the earthquake used as the sample of this study is an earthquake that has a magnitude ≥ 7 SR, where observations of ionospheric F layers can be done by utilizing ionosonda which has been installed in the Atmospheric and Space Observation Center (BPAA) Agam, to ensure that anomalies occur are not caused by external factors, the observations are also made through the DST Index. Based on the research that has been done, it is found that the correlation of magnitude to the anomaly $h'F$ is positive or directly proportional. This is indicated by the emergence of a significant deviation of $h'F$ value 7 days before the earthquake event so that observations of the $h'f$ anomaly of the ionosphere layer are recommended as earthquake precursors. Based on the precursors that have been observed, the precursors were observed in the Aceh earthquake on 4, 6, 7 and 9 April 2012. The precursors in the Mentawai earthquake on 18 and 19 October 2012 and the Bengkulu earthquake precursors on 7 and 10 September 2007.

Keywords : Ionosphere, $h'F$, Earthquake Prediction



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2018 by author and Universitas Negeri Padang.

PENDAHULUAN

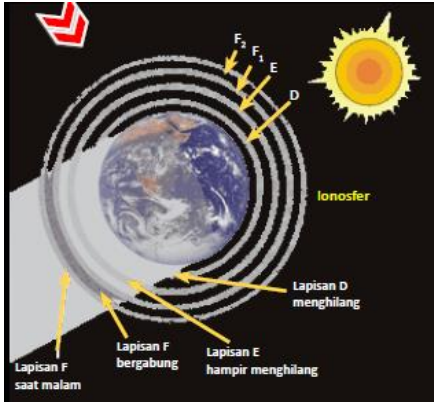
Gempa bumi adalah berguncang atau bergesernya tanah yang diakibatkan oleh penimbunan energi elastik dilapisan kerak bumi^[6]. Kemudian, kerugian yang ditimbulkan dari peristiwa gempa bumi juga sangat besar sehingga diperlukan suatu metode untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan yang dinamakan prekursor gempa bumi. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengenali tanda-tanda sebelum peristiwa gempa bumi dan salah satu yang banyak dikembangkan adalah anomali yang terdapat dilapisan ionosfer sebelum terjadinya gempa bumi.

Anomali sebelum gempa bumi yang terjadi dilapisan ionosfer diakibatkan oleh Radon yang tersimpan didalam batuan terlepas ke udara ketika batuan mengalami deformasi^[5]. Radon yang meluruh ke udara kemudian mengionisasi atom sehingga menyebabkan perubahan dilapisan ionosfer. Semakin besar kekuatan gempa maka akan semakin luas daerah yang terkena gangguan berupa anomali yang terjadi dilapisan ionosfer sehingga anomali yang terjadi dapat diindikasikan sebagai prekursor gempa bumi^[5].

Ionosfer adalah salah satu lapisan di atmosfer yang mengandung partikel bermuatan dan berada pada ketinggian 50 km sampai 1000 km dari permukaan bumi^[3]. Proses ionisasi yang terdapat

dilapisan ionosfer terbentuk akibat sinar ultraviolet ekstrim (EUV) yang berasal dari radiasi matahari^[5]. Ionosfer terdiri dari 3 lapisan yang dibedakan atas ketinggian dan jumlah ion yang terkandung didalamnya^[1]. Lapisan ionosfer memiliki perbedaan antara siang dan malam hari dikarenakan perbedaan intensitas matahari yang menyebabkan perbedaan proses ionisasi dilapisan ionosfer.

Lapisan F merupakan lapisan yang posisinya berada paling atas dari ionosfer pada ketinggian 140 km sampai 210 km dan berbatasan dengan magnetosfer bawah^[1]. Pada saat siang hari lapisan ionosfer terbagi atas 2 lapisan yaitu lapisan F_1 dan F_2 , kemudian pada saat malam hari menjadi 1 lapisan yaitu lapisan F. Oleh karena itu, lapisan F dapat dikatakan sebagai prekursor yang baik dikarenakan lapisan ini selalu ada (24 jam) dan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lapisan Ionosfer Siang dan Malam Hari^[martiningrum]

Pengamatan lapisan ionosfer dapat dilakukan dengan menggunakan data ionogram yang merupakan keluaran dari alat ionosonda yang terpasang di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa (BPAA) Agam. Ketinggian semu adalah ketinggian yang tercatat oleh ionosonda akan tetapi memiliki nilai yang lebih tinggi dari yang sesungguhnya dikarenakan gelombang yang dipancarkan ionosonda diasumsikan memiliki kecepatan suara. Ketinggian semu pada ionosonda memiliki rentang ketinggian 0 – 340 km^[ednofri].

Anomali yang terjadi pada nilai ketinggian semu (h'F) dapat disebabkan oleh aktivitas seismik maupun aktivitas badai geomagnetik. Oleh karena itu, penelitian ini juga melakukan peninjauan terhadap aktivitas badai geomagnetik dikarenakan ingin mengetahui penyebab dari anomali yang terjadi dilapisan ionosfer disebabkan oleh aktivitas seismik. Sampel gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 gempa besar yang terjadi diwilayah Sumatera ($M \geq 7$ SR).

Pengamatan anomali yang terdapat dilapisan ionosfer dilakukan pada 7 hari sebelum gempa. Pengamatan anomali 7 hari sebelum gempa dikarenakan prekursor gempa terjadi 7 hari sampai beberapa jam sebelum terjadinya peristiwa gempa bumi^[5].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan alat yaitu Ionosonda FMCW yang telah terpasang di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa (BPAA) Agam. Sampel gempa dalam penelitian ini adalah gempa Aceh 11 April 2012, gempa Mentawai 25 Oktober 2010 dan gempa Bengkulu 12 September 2007. Tahapan yang dapat dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Menghitung jarak episenter gempa ke ionosonda
Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menghitung jarak episenter gempa ke lokasi ionosonda. Hal ini dapat dilakukan dengan

mengunjungi alamat website <http://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml> menggunakan *Latitude/Longitude Distance Calculator*.

2. Menghitung luas zona persiapan gempa
Luas zona persiapan gempa perlu diketahui. Pengamatan dapat dilakukan apabila luas zona persiapan gempa lebih besar dari jarak episenter gempa ke ionosonda dan begitupun sebaliknya. Menghitung luas zona persiapan gempa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Dobrovolsky seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 1^[pullinets].

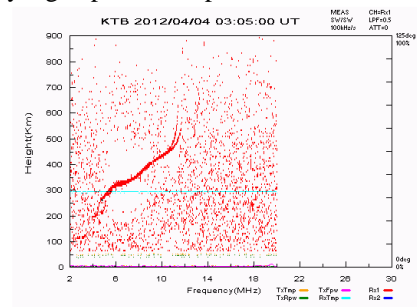
$$\rho = 10^{0.43 M} \quad (1)$$

Dimana:

- ρ : Luas zona persiapan gempa(km)
- M : Magnitudo gempa

3. Scalling

Scalling adalah proses mengekstraksi nilai h'F berdasarkan data ionogram^[2]. Scalling dilakukan dengan aplikasi Paint dan dilakukan setiap 1 jam seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Data Ionogram

Variasi nilai harian h'F didapatkan menggunakan Persamaan 2.

$$h(y) = 3(340 - y) \quad (2)$$

Dimana:

- $h(y)$: Ketinggian semu (km)
- y : Posisi pixel vertikal pada koordinat ionogram

4. Pengamatan badai geomagnetik
Pengamatan badai geomagnetik perlu dilakukan untuk mengetahui anomali yang terjadi dilapisan ionosfer disebabkan oleh aktivitas seismik, bukan faktor eksternal.
5. Menghitung median, deviasi dan standar deviasi
Selanjutnya, menghitung nilai median harian nilai h'F, lalu menghitung deviasi dan standar deviasi dari nilai h'F.

6. Menghitung batas atas dan batas bawah
Batas atas didapatkan dari penambahan median dan rata-rata standar deviasi selama pengamatan. Batas bawah didapatkan dari pengurangan median dan rata-rata standar deviasi rata-rata selama pengamatan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

a. Jarak episenter gempa ke ionosonda

Jarak masing-masing gempa ke ionosonda Agam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jarak Episenter Gempa ke Ionosonda

Lokasi	Koordinat	Koordinat	Jarak Episenter
	Gempa (°)	Ionosonda (°)	ke Ionosonda (km)
Aceh	2,327 LS - 93,063 BT	0,1999 LS - 100,3199 BT	841,8413127
	0,802 LS - 92,463 BT	0,1999 LS - 100,3199 BT	877,2103107
Mentawai	-3,487 LS - 100,082 BT	0,1999 LS - 100,3199 BT	411,2866283
Bengkulu	-4,438 LS - 101,367 BT	0,1999 LS - 100,3199 BT	529,2952531

b. Luas zona persiapan gempa

Luas zona persiapan gempa menggunakan persamaan Dobrovolsky dapat dilihat pada Tabel 2.

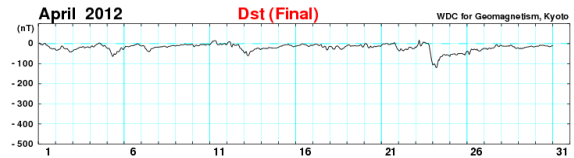
Tabel 2. Luas Zona Persiapan Gempa

Lokasi	Waktu (WIB)	Magnitudo (SR)	Luas Zona
			Persiapan Gempa (km)
Aceh	11/04/2012	8,6	4988,844875
	15.38.36		
	11/04/2012	8,2	3357,376142
	17.43.10		
Mentawai	25/10/2010	7,8	2259,43577
	21.42.22		
Bengkulu	12/09/2007	8,4	4092,606597
	18.10.26		

Berdasarkan perhitungan jarak episenter gempa ke ionosonda dan luas zona persiapan gempa bumi, didapatkan bahwa nilai luas zona persiapan gempa lebih luas dari jarak episenter gempa ke lokasi ionosonda. Anomali berupa perubahan fisis ataupun kimiawi yang diakibatkan aktivitas seismik terjadi dilingkaran luas zona persiapan gempa. Jadi, lokasi ionosonda yang terpasang di Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa (BPAA) Agam merupakan lokasi yang tepat.

c. Data Indeks DST April 2012

Plot data aktivitas geomagnetik dapat dilihat pada Gambar 3.

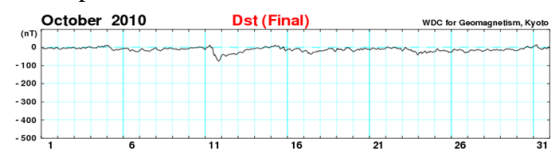


Gambar 3. Indeks DST April 2012

Berdasarkan pengamatan aktivitas geomagnetik, didapatkan bahwa badai geomagnetik hanya terjadi pada tanggal 5 April 2012 dengan nilai indeks DST berkisar antara -50 nT sampai dengan -64 nT yang bisa dikategorikan sebagai badai menengah.

d. Data Indeks DST Oktober 2010

Plot data aktivitas badai geomagnetik dapat dilihat pada Gambar 4.

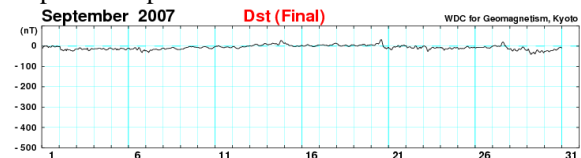


Gambar 4. Indeks DST Oktober 2010

Berdasarkan pengamatan badai geomagnetik, dapat dilihat bahwa selama bulan Oktober 2010 tidak adanya peningkatan nilai indeks DST yang sangat signifikan sehingga dapat dikatakan bahwa selama gempa Mentawai terjadi, tidak ada peningkatan maupun aktivitas badai geomagnetik.

e. Data Indeks DST September 2007

Plot aktivitas geomagnetik atau badai geomagnetik dapat dilihat pada Gambar 5.

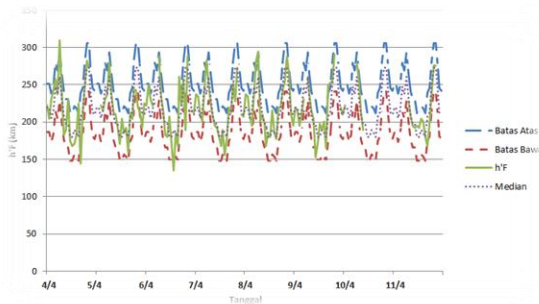


Gambar 5. Indeks DST September 2007

Berdasarkan analisa data indeks DST September 2007, dapat dilihat bahwa pada bulan September 2007 tidak ada peningkatan aktivitas seismik yang sangat signifikan yang berarti tidak ada badai geomagnetik selama bulan September 2007.

f. Deviasi gempa Aceh 11 April 2012

Plot nilai $h'F$, median, batas atas dan batas bawah 7 hari sebelum peristiwa gempa (4 April 2012 – 11 April 2012) dapat dilihat pada Gambar 3.

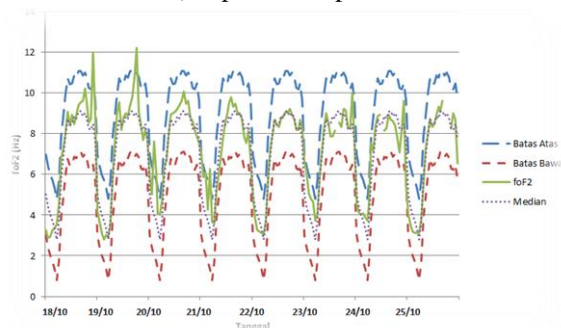


Gambar 3. Plot Nilai Deviasi h'F 4 April 2012 – 11 April 2012

Berdasarkan pengamatan nilai h'F, didapatkan bahwa nilai h'F mengalami deviasi yang sangat signifikan pada tanggal 4, 6, 7 dan 9 April 2012. Deviasi terbesar terjadi pada tanggal 6 April 2012 yang bernilai 84 km dan deviasi terkecil terjadi pada tanggal 7 dan 9 April 2012 senilai 45 km. Semua anomali yang muncul menunjukkan deviasi yang sangat signifikan dan melewati nilai batas bawah dan batas atas dan juga pada tanggal tersebut tidak adanya faktor eksternal yaitu badai geomagnetik sehingga semua anomali yang muncul direkomendasikan sebagai prekursor gempa bumi.

g. Deviasi gempa Mentawai 25 Oktober 2010

Plot nilai median, h'F, batas bawah dan batas atas 7 hari sebelum gempa (18 Oktober 2010 – 25 Oktober 2010) dapat dilihat pada Gambar 4.

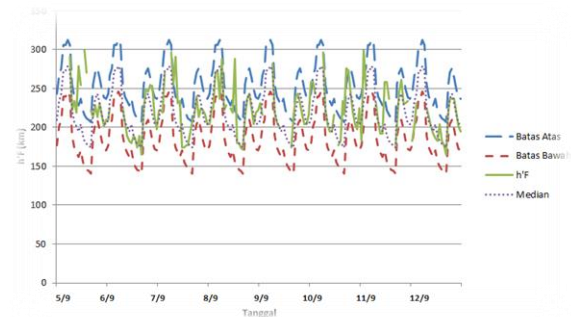


Gambar 4. Plot nilai deviasi h'F 18 Oktober 2010 – 25 Oktober 2010

Berdasarkan pengamatan nilai median, h'F, batas bawah dan batas atas, didapatkan bahwa deviasi yang terjadi tidak terlalu banyak, yaitu pada tanggal 18 dan 19 Oktober 2010. Deviasi maksimal terjadi pada tanggal 18 Oktober 2010 dengan nilai deviasi 91,5 km dan deviasi minimum senilai 69 km terjadi pada tanggal 19 Oktober 2010. Kedua anomali yang terjadi memiliki nilai deviasi yang sangat besar sehingga melewati nilai batas bawah dan nilai batas atas dan juga pada tanggal tersebut tidak adanya faktor eksternal yaitu badai geomagnetik sehingga semua anomali yang muncul direkomendasikan sebagai prekursor gempa bumi.

h. Deviasi gempa Bengkulu 12 September 2007

Plot nilai batas bawah, median, h'F dan batas atas selama 7 hari pengamatan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Plot nilai deviasi h'F 5 September 2007 – 12 September 2007

Berdasarkan pengamatan nilai batas bawah, median, h'F dan batas atas didapatkan bahwa nilai h'F mengalami deviasi yang sangat signifikan pada tanggal 7 dan 10 September 2007 sehingga melewati nilai batas atas dan nilai batas bawah. Deviasi maksimum terjadi pada tanggal 7 September 2007 sebesar 84 km dan deviasi minimum terjadi pada tanggal 10 September 2007 sebesar 57 km. Kedua anomali yang muncul menunjukkan deviasi yang sangat signifikan dan melewati nilai batas bawah dan batas atas dan juga pada tanggal tersebut tidak adanya faktor eksternal yaitu badai geomagnetik sehingga semua anomali yang muncul direkomendasikan sebagai prekursor gempa bumi.

2. Pembahasan

Karakteristik dari ketiga sampel gempa memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Analisis berikutnya bertujuan untuk melihat pengaruh efek *Seismo-Ionosphere* terhadap anomali yang muncul berdasarkan ketiga sampel gempa bumi. Efek *Seismo-Ionosphere* muncul berkaitan dengan pembangkitan gelombang elektromagnetik dan medan listrik oleh gesekan antar lempeng bumi dan pelepasan Radon dan beberapa gas lainnya yang terdapat didalam kerak bumi^[5]. Jika terjadinya proses ionisasi di ionosfer yang diakibatkan oleh efek *Seismo-Ionosphere* maka akan terjadinya perubahan komposisi di ionosfer yang mengakibatkan perubahan ketebalan lapisan ionosfer. Oleh karena itu, diperoleh deviasi positif maupun negatif pada nilai h'F.

Gempa Aceh memiliki jumlah prekursor yang lebih banyak dibandingkan dengan gempa lainnya. Dimana jumlah prekursor yang lebih banyak ini berkaitan dengan kekuatan gempa Aceh yang paling besar sehingga menghasilkan sumber gangguan ionosfer yang semakin banyak dan mengakibatkan luas zona persiapan gempa juga semakin luas (Pullinets dan Legen'ka, 2003; Tsolis, et al., 2009). Selain itu, gempa Bengkulu juga memiliki jarak yang

cukup dekat dengan ionosonda FMCW Agam. Gempa Mentawai memang memiliki jarak episenter yang paling dekat dengan ionosonda Agam, akan tetapi kekuatan gempa Mentawai lebih kecil dibandingkan dengan gempa lainnya sehingga prekursor yang dihasilkan juga tidak terlalu banyak.

Perbandingan jumlah prekursor gempa Bengkulu terhadap gempa Mentawai akan sedikit berbeda dikarenakan adanya perbedaan kekuatan gempa dan jarak episenter gempa ke ionosonda dan juga adanya faktor lainnya. Jumlah prekursor yang muncul pada gempa Bengkulu jauh lebih banyak dibandingkan gempa Mentawai disebabkan oleh perbedaan kekuatan gempa yang signifikan. Hal ini bersesuaian dengan pernyataan Pullinets dan Legen'ka (2003) yaitu bentuk, arah medan dan luas area yang menghasilkan medan listrik akan berpengaruh terhadap ketidakstabilan yang terjadi sehingga gempa dengan magnitudo yang besar juga akan menghasilkan gangguan yang signifikan. Walaupun gempa Mentawai memiliki jarak episenter lebih dekat dengan lokasi ionosonda Agam, akan tetapi kekuatan dari gempa Mentawai jauh lebih kecil dibandingkan dengan gempa Aceh.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Korelasi antara magnitudo dengan anomali ketinggian semu ($h'F$) lapisan ionosfer bernilai positif atau berbanding lurus.
2. Prekursor pada gempa Aceh pada tanggal 4, 6, 7 dan 9 April 2012. Gempa Mentawai pada tanggal 18 dan 19 Oktober 2012. Prekursor gempa Bengkulu tanggal 7 dan 10 September 2007.
3. Kemunculan prekursor gempa terjadi 7 hari sampai beberapa jam sebelum gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ednofri. 2009. *Implementasi Metode Case Based Reasoning untuk Mendukung Proses Scaling Data Ionogram Ionosonda (Studi Kasus: Ionosonda FMCW Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN Kototabang, Kec. Palupuh, Kab. Agam, Sumatera Barat)*. Yogyakarta. Tesis, PPS FMIPA Universitas Gadjah Mada
- [2] Jiyo. 2008. *Metode Pembacaan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Menggunakan Ionosonda FMCW*. Seminar Dirgantara vol. 9 No. 2 LAPAN
- [3] Kaloka, S., Jiyo, Suhartini, S., Perwitasari, S., Mardiani, A. S., Dear, V. et al. 2010. *Lapisan Ionosfer, Prediksi Frekuensi dan Teknis Komunikasi Radio*. Bandung. Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN
- [4] Martiningrum, Dyah Rahayu. 2012. *Fenomena Cuaca Antariksa Edisi Revisi*. Bandung. Pusat Sains Antariksa LAPAN

[5] Pullinets S. A. 2004. *Ionospheric Precursors of Earthquake*. Recent Advances in Theory and Practical Applications, Vol. 15, No. 3, TAO

[6] Saroso, S. 2008. *Analisa Fraktal Emisi Sinyal Ulf dan Kaitannya dengan Gempa Bumi di Indonesia*. Jurnal Sains Dirgantara. Vol.6, Hal.39-46