

Perbandingan Anomali Frekuensi Kritis Lapisan F2 (f_oF_2) Ionosfer pada Gempa Bumi Laut dan Gempa Bumi Darat Pulau Sumatera

Luthfia Hafizhah, Dwi Pujiastuti*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 22 Desember 2021
Direvisi: 18 Januari 2021
Diterima: 31 Januari 2021

Kata kunci:

anomali frekuensi kritis lapisan F2
gempa bumi
ionosfer
ionogram
Sumatera

Keywords:

critical Frequency F2 Layer
earthquake
ionosphere
ionogram
Sumatera

Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti
Email: dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan perbandingan karakteristik anomali frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (f_oF_2) dalam kaitannya dengan gempa bumi darat dan gempa bumi laut selama Tahun 2005 – 2016 di wilayah Sumatera. Data ionogram dari alat ionosonda *Frequency Modulation Continuous Wave* (FMCW) untuk masing-masing lima gempa bumi dianalisa. Anomali f_oF_2 pada gempa laut dan gempa darat terlihat acak. Anomali f_oF_2 sudah terlihat 21 hari sebelum gempa darat. Untuk gempa laut kemunculan anomali f_oF_2 juga sudah terlihat 21 hari sebelum gempa bumi tetapi hanya pada gempa dengan magnitudo besar saja ($> 7,7$ SR). Kemunculan anomali f_oF_2 terakhir teramati beberapa jam sebelum gempa bumi darat, berakhir lebih cepat dibandingkan dengan gempa laut. Dengan demikian, respon lapisan ionosfer terhadap aktivitas seismik dari gempa darat lebih cepat dari pada gempa laut. Anomali f_oF_2 dipengaruhi oleh sumber gempa bumi, kedalaman dan magnitudo.

Comparing the characteristic critical frequency anomaly of the ionosphere F2 layer (f_oF_2) concerning land earthquake and sea earthquake during 2005 – 2016 in Sumatera region has been carried out. Ionogram data from the Frequency Modulation Continuous Wave (FMCW) ionosonde instrument were analyzed for each of the five earthquakes. The f_oF_2 anomaly in sea earthquake and land earthquake looks random. The f_oF_2 anomaly was seen 21 before the earthquake. For the land earthquake, the f_oF_2 anomaly has also been seen 21 days before the earthquake but only with large magnitudes (> 7.7 SR). The last f_oF_2 anomaly was observed several hours before the land earthquake, ending the anomaly sooner than sea earthquake. Thus, the ionosphere layer response to seismic activity from the land earthquake was faster than sea earthquakes. The f_oF_2 anomaly is influenced by earthquake source, depth, and magnitude.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Fenomena anomali elektromagnetik yang berkaitan dengan gempa bumi telah banyak diteliti dan telah terbukti keberadaannya (Pulinets and Boyarchuk, 2004; Taufiqurrahman dkk., 2010; Kon dkk., 2011; Guo dkk., 2019). Salah satu penelitian yang berkaitan dengan anomali elektromagnetik dan masih terus dikembangkan hingga saat ini adalah hubungan antara anomali lapisan ionosfer dengan aktivitas gempa bumi. Beberapa peneliti telah banyak menggunakan *Total Electron Content* (TEC) yang direkam oleh *Global Positioning System* (GPS) untuk melihat variasi anomali lapisan ionosfer beberapa hari sebelum gempa bumi (Liu dkk., 2008; Kon dkk., 2011). Di samping penggunaan GPS-TEC, penggunaan data frekuensi kritis lapisan F2 (*foF2*) yang direkam oleh ionosonda dapat digunakan untuk melihat anomali lapisan F2 ionosfer dalam kaitannya dengan gempa bumi. Lapisan F2 sendiri adalah lapisan ionosfer paling atas dan paling dekat dengan matahari, sehingga konsentrasi ion pada lapisan tersebut lebih tinggi dari pada lapisan ionosfer lain-nya. Di mana lapisan ionosfer adalah lapisan paling atas dari lapisan atmosfer bumi. Jika terjadi gangguan pada lapisan ionosfer, lapisan F2 akan memunculkan respon yang lebih kuat, seperti gangguan yang diakibatkan matahari, geomagnetik dan juga oleh aktivitas gempa bumi (Pulinets dan Boyarchuk, 2004, Namgaladze, 2018). Mengacu kepada fakta tersebut maka *foF2* dapat dijadikan sebagai indikator anomali lapisan F2 (*foF2*) ionosfer terhadap aktivitas seismik sebelum dan sesudah gempa bumi. Hasil anomali *foF2* akan menjadi hasil yang akurat jika anomali tersebut dibandingkan dengan data aktivitas matahari dan data geomagnetik (Pulinets dan Boyarchuk, 2004; Liu dkk., 2008; Taufiqurrahman dkk., 2010). Anomali *foF2* yang dapat dihasilkan oleh aktivitas seismik harus berasal dari gempa bumi dengan magnitudo besar (> 6 SR). Kemunculan gempa bumi besar dapat menyebabkan perubahan yang terjadi pada lapisan atmosfer bumi (Pulinets dan Boyarchuk, 2004).

Pulau Sumatera adalah salah satu daerah dengan tingkat aktivitas seismik yang aktif di Indonesia dan juga berada di sekitar *ring of fire*. Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak dapat dihindari. Di Pulau Sumatera, banyak terdapat patahan-patahan dan lempeng-lempeng salah satunya terdapat interaksi antar lempeng yang menghasilkan Zona Sesar Mentawai dan Zona Sesar Semangko. Hal ini menyebabkan Pulau Sumatera dan sekitarnya rentan terhadap aktivitas gempa bumi kecil dan gempa bumi besar dengan hiposenter gempa bersumber dari zona subduksi yaitu di sepanjang lautan maupun dari zona sesar yaitu di sepanjang daratan Pulau Sumatera. Gempa bumi besar dapat menyebabkan kerugian materi hingga korban jiwa. Gempa bumi yang bersumber di darat dapat memicu terjadinya tanah longsor serta terjadinya likuifaksi yang dapat membuat selongsong di bawah permukaan bumi. Gempa bumi yang bersumber di laut akan memicu tsunami dan longsor bawah laut serta gempa susulan lainnya.

Menurut Pulinets dan Boyarchuk (2004) hanya gempa dengan magnitudo yang besar saja yang dapat menyebabkan anomali pada lapisan ionosfer yaitu gempa dengan magnitudo > 6 SR. Taufiqurrahman (2010), telah melakukan penelitian terkait anomali yang terjadi di lapisan F ionosfer sebagai akibat dari aktivitas seismik di Pulau Sumatera. Penelitian ini menggunakan data *foF2* dari satu gempa laut daerah Pariaman dan satu gempa darat daerah Solok dengan magnitudo gempa $< 6,5$ SR untuk melihat anomali yang dihasilkan sebelum kejadian gempa bumi. Terlihat perbedaan karakteristik anomali *foF2* yang terjadi antara gempa darat dan gempa laut tetapi menunjukkan gejala perubahan 14 hari sebelum gempa bumi. Pada gempa darat terlihat respon anomali *foF2* lebih cepat dari pada gempa laut. Pada gempa darat anomali terjadi pada pagi hari dan didominasi oleh deviasi negatif, tetapi pada gempa laut anomali terjadi pada siang hari dan di dominasi oleh deviasi positif. Tetapi penelitian ini hanya menggunakan dua gempa dan pemantauan data ionogram hanya 14 hari sebelum gempa. Selain jumlah data yang minim, anomali yang diperoleh tidak dibandingkan dengan aktivitas matahari. Maka hasil yang didapatkan tidak akurat. Oleh karena itu, kami melakukan penelitian lebih lanjut dengan membandingkan anomali *foF2* yang dihasilkan dari beberapa gempa laut dan gempa darat dengan magnitudo > 6 SR (gempa besar) yang telah terjadi di Pulau Sumatera pada Tahun 2005 – 2016. Hasil penelitian dibandingkan juga dengan aktivitas matahari untuk memastikan anomali *foF2* bukan disebabkan oleh aktivitas matahari yang tidak normal.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan data ionogram ionosonda FMCW dari Badan Penelitian Atmosfer dan Antariksa Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (BPAA LAPAN) yang berlokasi di Kabupaten Agam, Sumatera Barat. Untuk data pembanding yang digunakan yaitu data indeks F10.7 yang diunduh dari *website* <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp> dan data indeks Dst (geomagnet) yang diunduh dari *website* <http://www.sepc.ac.cn>.

2.1 Scaling Ionogram

Data ionogram dari alat ionosonda FMCW berpatokan kepada tanggal kejadian gempa darat dan gempa laut selama Tahun 2005 – 2016 seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 yang didapatkan dari katalog gempa bumi dan tsunami Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tahun 2019 yang diunduh dari *website* <http://cdn.bmkg.go.id>. Batasan gempa bumi yang digunakan yaitu jarak gempa bumi dengan alat ionosonda kurang dari nilai ρ seperti pada Persamaan 1.

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

dimana, ρ adalah panjang jari-jari zona persiapan gempa bumi dan M adalah magnitudo gempa bumi.

Data ionogram yang diambil adalah 21 hari sebelum gempa bumi dan 7 hari setelah gempa bumi untuk 30 menit sekali. Dengan demikian terdapat 13440 buah ionogram. Ionogram ionosonda dengan format PNG di-*scaling* secara manual menggunakan *Microsoft Paint 2010* sebagai penampil gambar dan *Microsoft Excel 2010* sebagai pengolah data. *Scaling* adalah proses mengubah nilai piksel foF2 menjadi nilai foF2 yang sebenarnya.

Tabel 1 Data gempa darat, magnitudo > 6 SR, kedalaman ≤ 50 km, $0 \leq \text{jarak} \leq \rho$ km

No	Tanggal	Waktu (UTC)	Lat. (°N)	Long. (°E)	Kedalaman (km)	Mag. (SR)	Jarak (km)	ρ (km)
1	28/03/2005	16,09	2,08	97,10	30	8,7	421	5508
2	17/12/2006	21,39	0,68	99,79	41	6,0	90	430
3	06/03/2007	03,49	-0,48	100,37	33	6,4	100	564
4	16/08/2009	07,38	-1,64	99,12	32	6,9	277	926
5	01/10/2009	01,52	-2,44	101,59	10	7,0	334	1023

Tabel 2 Data gempa laut, magnitudo > 7 SR, kedalaman ≤ 50 km, $0 \leq \text{jarak} \leq \rho$ km

No	Tanggal	Waktu (UTC)	Lat. (°N)	Long. (°E)	Kedalaman (km)	Mag. (SR)	Jarak (km)	ρ (km)
1	12/09/2007	11,10	-4,59	101,22	10	7,9	556	2494
2	12/09/2007	23,49	-2,88	100,43	24	7,7	364	2046
3	07/04/2010	22,15	2,33	97,02	34	7,6	444	1853
4	25/10/2010	14,42	-3,61	99,93	10	7,2	452	1247
5	11/04/2012	08,38	2,34	93,04	13	8,4	863	4092
6	02/03/2016	12,49	-4,92	94,39	10	7,8	910	2259

2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data foF2 dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penentuan median bulanan. Nilai foF2 dikelompokkan ke dalam satu tabel dengan kolom pertama menyatakan tanggal (per hari), dan baris menyatakan waktu. Lalu, median ditentukan untuk masing-masing waktu.
2. Perhitungan standar deviasi. Deviasi dihitung sebagai selisih antara nilai foF2 dengan median. Nilai standar deviasi ditentukan dengan mengambil rata-rata standar deviasi harian (Taufiqurrahman, 2010), sebagaimana yang diberikan oleh Persamaan 2.

$$\sigma_h^2 = \frac{\sum fi-f(rata)}{n-1} \quad (2)$$

dimana, σ_h^2 adalah standar deviasi harian, *f* adalah nilai frekuensi kritis dan *f*(rata) adalah nilai rata-rata harian *f* untuk waktu yang sama.

3. Penentuan nilai deviasi positif dan deviasi negatif. Nilai deviasi positif didapatkan melalui perhitungan median yang dijumlahkan dengan nilai *f*oF2 dan nilai deviasi negatif didapatkan melalui nilai median dikurangi dengan nilai *f*oF2.

2.3 Analisis Data

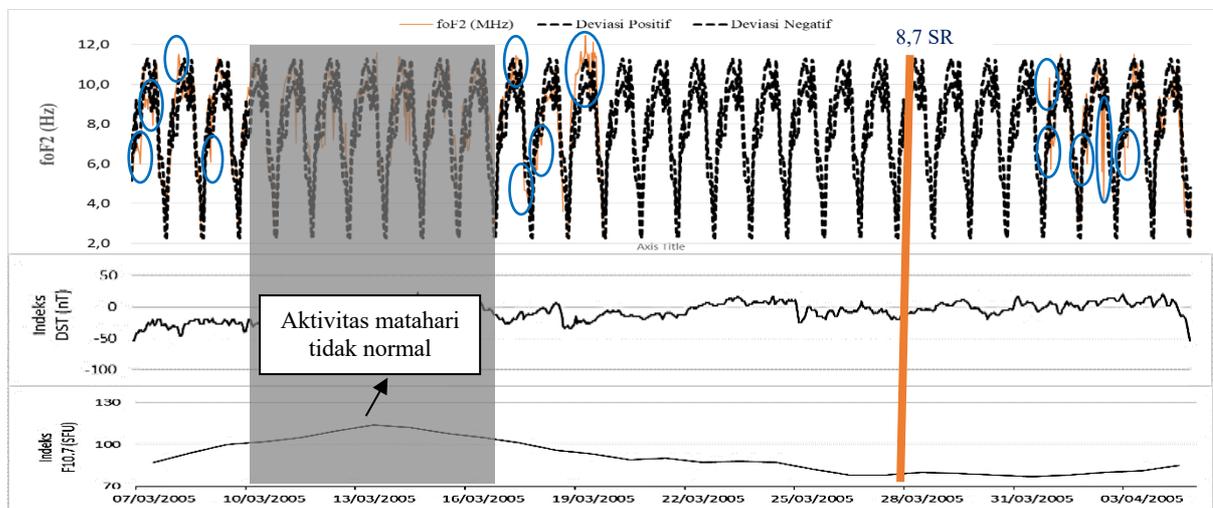
Anomali *f*oF2 terjadi jika grafik nilai *f*oF2 melewati grafik nilai deviasi positif dan deviasi negatif. Namun, tidak pasti semua anomali *f*oF2 dapat dijadikan sebagai prekursor gempa bumi. Anomali *f*oF2 harus dibandingkan dengan nilai indeks Dst dan indeks F10.7 untuk memastikan apakah anomali yang dihasilkan berasal dari aktivitas seismik atau dari badai geomagnetik dan aktivitas matahari yang tidak normal. Indeks Dst menginterpretasikan terjadinya badai geomagnetik jika nilainya kurang dari -50 nT. Indeks F10.7 menginterpretasikan aktivitas matahari yang tidak normal jika nilainya lebih dari 100 SFU. Setelah itu dianalisis perbandingan karakteristik anomali *f*oF2 terhadap gempa darat dan gempa laut.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali *f*oF2 pada Gempa Darat

Salah satu hasil anomali *f*oF2 pada gempa darat teramati dari tanggal 7 Maret 2005 – 3 April 2005 dimana kejadian gempa terjadi pada tanggal 28 Maret 2005 pukul 16,09 UTC dengan magnitudo 8,7 SR (Gambar 1). Aktivitas matahari yang tidak normal ditandai dengan warna abu-abu yang terlihat pada tanggal 10 Maret 2005 (indeks F10.7 lebih dari 100 SFU). Oleh karena itu, pada tanggal tersebut anomali *f*oF2 yang dihasilkan bukan dikarenakan oleh aktivitas seismik melainkan diakibatkan oleh aktivitas matahari dan rentang tanggal tersebut diabaikan.

Anomali *f*oF2 terjadi pada saat grafik nilai *f*oF2 (grafik berwarna oren) melewati grafik nilai deviasi positif dan deviasi negatif (grafik berwarna hitam) seperti yang ditandai dengan lingkaran berwarna biru. Setelah dilakukan pengabaian, data terlihat bahwa anomali pertama sudah terlihat pada 21 hari (pada batas penelitian) sebelum gempa bumi. Jumlah kejadian anomali *f*oF2 yang terjadi sebelum kejadian gempa bumi adalah 8 kali. Anomali terakhir sebelum kejadian gempa bumi tidak dapat dianalisis yang disebabkan oleh kosongnya plot nilai *f*oF2. Bagian plot *f*oF2 yang kosong disebabkan oleh ionogram yang tidak terekam oleh alat ionosonda FMCW karena masalah listrik atau ionogram tersebut terdapat noise sehingga tidak dapat di-*scaling* (Jiyo, 2008). Pada plot anomali *f*oF2 setelah gempa bumi terlihat jumlah kejadian anomali *f*oF2 terjadi sebanyak 5 kali.



Gambar 1 Contoh grafik anomali *f*oF2, indeks Dst dan indeks F10.7 pada tanggal 7 Maret 2005 – 3 April 2005

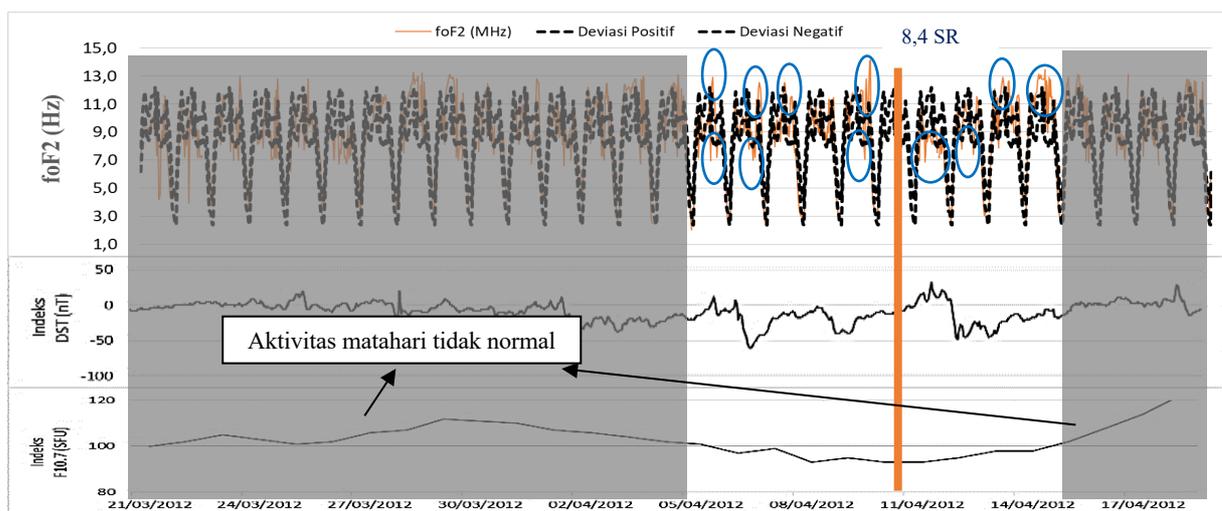
Tabel 3 Hasil analisis anomali f_oF_2 pada gempa darat

Waktu Kejadian Gempa Darat	Waktu (UTC)	Mag. (SR)	Terjadinya gempa	Jumlah Kejadian Anomali (kali)	Anomali pertama (- hari sebelum gempa)	Anomali terakhir (- jam sebelum gempa)
28/03/2005	16,09	8,7	sebelum Sesudah	8 8	21	-
17/12/2006	21,39	6,0	sebelum Sesudah	15 9	21	8
06/03/2007	03,49	6,4	sebelum Sesudah	18 10	21	9
16/08/2009	07,38	6,9	sebelum Sesudah	32 9	21	11
01/10/2009	01,52	7,0	sebelum Sesudah	19 8	21	9

3.2 Anomali f_oF_2 pada Gempa Laut

Salah satu hasil anomali f_oF_2 pada gempa laut teramati dari tanggal 21 Maret 2012– 17 April 2012 dimana kejadian gempa terjadi pada tanggal 11 April 2012 pukul 08,38 UTC dengan magnitudo 8,4 SR (Gambar 2). Aktivitas matahari yang tidak normal ditandai dengan warna abu-abu yang terlihat pada tanggal 21 Maret 2012 – 5 April 2012 dan tanggal 15 April 2012 – 17 April 2012 (indeks F10.7 lebih dari 100 SFU). Oleh karena itu, pada tanggal tersebut anomali f_oF_2 yang dihasilkan bukan dikarenakan oleh aktivitas seismik melainkan diakibatkan oleh aktivitas matahari sehingga rentang tanggal tersebut diabaikan.

Setelah dilakukan pengabaian yang merupakan bagian dari aktivitas matahari yang tidak normal, maka terlihat bahwa anomali pertama sudah terlihat pada 21 hari (pada batas penelitian) sebelum gempa bumi. Jumlah kejadian anomali f_oF_2 yang terjadi sebelum kejadian gempa bumi adalah 7 kali dan anomali terjadi lebih sering. Anomali f_oF_2 terakhir terjadi pada 3 jam sebelum gempa bumi. Pada plot anomali f_oF_2 setelah gempa bumi terlihat jumlah kejadian anomali f_oF_2 terjadi sebanyak 4 kali dan juga anomali terjadi lebih sering. Hasil dari masing masing analisis anomali f_oF_2 gempa laut terhadap perbandingannya dengan indeks Dst maupun dengan indeks F10.7 telah dirangkum kedalam Tabel 4.



Gambar 2 Contoh grafik anomali f_oF_2 , indeks Dst dan indeks F10.7 pada gempa darat tanggal 21 Maret 2012 – 17 April 2012

Tabel 4 Hasil analisis anomali f_oF_2 pada gempa laut

Waktu Kejadian Gempa Laut	Waktu (UTC)	Mag. (SR)	Terjadinya gempa	Jumlah Kejadian Anomali (kali)	Anomali pertama (- hari sebelum gempa)	Anomali terakhir (- jam sebelum gempa)
12/09/2007	11,10 23,49	7,9 7,7	sebelum sesudah	33 5	21	7
07/04/2010	22,15	7,6	sebelum sesudah	7 6	20	9
25/10/2010	14,42	7,2	sebelum sesudah	15 6	19	12
11/04/2012	08,38	8,4	sebelum sesudah	7 4	21	3
02/03/2016	12,49	7,8	sebelum sesudah	14 9	15	2

3.3 Perbandingan kasus

Untuk semua gempa darat, anomali f_oF_2 sudah terlihat pada 21 hari sebelum gempa bumi (Tabel 3). Untuk gempa laut kemunculan pertama anomali f_oF_2 terlihat paling cepat terjadi 21 hari sebelum gempa bumi dengan magnitudo yang besar seperti gempa laut tanggal 12 September 2007 (7,9 SR dan 7,7 SR) dan 11 April 2012 (8,4 SR). Gempa yang terjadi di darat memiliki fokus dangkal, pelepasan gas radon lebih mudah terjadi dan berakibat pada lebih cepatnya proses kemunculan gangguan di ionosfer (Namgaladze, 2018). Sementara pada gempa yang terjadi di bawah permukaan laut, pelepasan gas radon akan lebih sukar, selain karena posisi patahan yang jauh di dalam kerak bumi, juga karena partikel gas dihalangi oleh air laut (Taufiqurrahman, 2010). Pada penelitian Namgaladze (2018), gas radon akan terinjeksi dari zona persiapan gempa (Persamaan 1) sebelum gempa bumi. Gas radon dan peluruhannya akan dibawa bersama aerosol yang berada di permukaan bumi. Dengan demikian, magnitudo dan kedalaman gempa bumi sangat memengaruhi kondisi lapisan ionosfer sebelum terjadinya gempa bumi (Cahyadi, 2015). Anomali f_oF_2 telah berhenti paling lama 9 jam sebelum gempa bumi darat. Untuk gempa laut, anomali f_oF_2 telah berhenti paling lama 2 jam sebelum gempa bumi. Hal ini dikarenakan oleh gas radon yang lebih lambat untuk naik ke atas permukaan laut dan juga lambat untuk lapisan atmosfer bumi bergabung dengan aerosol yang berada di permukaan bumi (daratan) (Namgaladze, 2018).

Dari pembahasan di atas terlihat bahwa anomali f_oF_2 yang terjadi berdasarkan deviasi positif dan deviasi negatif terlihat acak. Akibatnya, perbedaan anomali f_oF_2 untuk gempa darat maupun gempa laut berdasarkan deviasi positif dan deviasi negatif tidak begitu jelas. Hal ini berbeda dengan penelitian Taufiqurrahman (2010) yang menyatakan bahwa gempa darat memiliki jumlah anomali f_oF_2 berdasarkan deviasi negatif lebih banyak daripada gempa laut. Kemunculan anomali f_oF_2 sebelum dan sesudah beberapa gempa darat dan gempa laut juga bervariasi untuk setiap gempa. Hal ini terjadi karena terdapat aktivitas matahari yang tidak normal maupun badai geomagnetik yang menyebabkan adanya pengurangan jumlah data. Hal lainnya yaitu ada beberapa ionogram tidak terekam oleh ionosonda atau tidak dapat di-*scaling* akibat adanya *noise*, sehingga jumlah ionogram yang akan dianalisis untuk tiap gempa berbeda. Oleh karena itu rentang waktu analisis masing-masing gempa bumi tidak sama dan terbatas.

IV. KESIMPULAN

Terdapat perbedaan respon lapisan F2 ionosfer antara gempa darat dan gempa laut. Respon lapisan ionosfer sebelum gempa darat lebih cepat dari pada gempa laut. Perbedaan banyak anomali f_oF_2 sebelum dan sesudah gempa bumi antara gempa darat dan gempa laut terlihat acak. Anomali f_oF_2 sebagai prekursor gempa bumi sudah terlihat 21 hari sebelum gempa darat dan kurang dari 21 hari sebelum gempa laut, kecuali gempa dengan magnitudo yang besar yaitu gempa bumi pada tanggal 12 September 2007 dan 11 April 2012. Kemunculan anomali f_oF_2 sebelum dan sesudah gempa bumi dipengaruhi oleh magnitudo, kedalaman, dan sumber gempa bumi. Kemunculan anomali f_oF_2 terakhir

sebelum gempa bumi dipengaruhi oleh sumber gempa bumi dan anomali f_oF_2 pada gempa laut bertahan lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG, 2019, *Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821-2018*, edisi 1, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Cahyadi, M.,N., Septiningrum, L., 2015, Analisa Perubahan Ionosfer Akibat Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Kedalaman dan Magnitude (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatra Barat), *GEOID*, Vol. 12, no. 1, hal. 89-99.
- Guo, J., Shi, K., Liu, X., Sun, Y., Li, W., Kong, G., 2019, Singular Spectrum Analysis of Ionospheric Anomalies Preceding Great Earthquakes: Case Studies of Kaikoura and Fukushima Earthquakes, *Journal of geodynamics*, vol. 1, hal. 1-39.
- Jiyo, 2008, Metode Pembacaan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Menggunakan Ionosonda FMCW, *Berita Dirgantara*, vol. 2, no. 9, hal. 110-121.
- Kon, S., Nishihashi, M., Hattori, K., 2011, Ionospheric Anomalies Possibly Associated with M P6.0 Earthquakes in The Japan Area During 1998–2010: Case Studies and Statistical Study, *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 41, hal. 410 - 420.
- Liu, J.Y., Chen, S.W., Chen, Y.C., Yen, H.Y., Chang, C.P., Chang, W.Y., Tsai, L.C., Chen, C.H., Yang, W.H., 2008, Seismo-ionospheric Precursors of The 26 December 2006 M 7.0 Pingtung Earthquake Doublet, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, vol. 19, hal. 751–759.
- Namgaladze, A., Karpov, M., Knyazeva, M., 2018, Aerosols and Seismo Ionosphere Coupling: A review, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, vol. 171, hal. 83-93.
- Pullinets, S., Boyarchuck, K., 2004, *Ionospheric Precursors of Earthquake*, Springer-Verlag, Berlin.
- Pulinets, S. A., 2004, Ionospheric Precursors of Earthquakes: Recent Advances in Theory and Practical Applications, *TAO*, vol. 15, no. 3, hal. 413-435.
- Pulinets, S.A., Ouzounov, D.P., Karelin, A.V., Davidenko, D.V., 2015, Physical Bases of The Generation of Short-Term Earthquake Precursors: A Complex Model of Ionizationinduced Geophysical Processes in The Lithosphere Atmosphere-Ionosphere Magnetosphere System. *Geomagn. Aeron*, vol. 55, hal. 521–538.
- Taufiqurrahman, E., 2010, Analisis Korelasi Frekuensi Kritis Lapisan F Ionosfer (f_oF_2) dengan Gempa di Sumatera Barat (Studi Kasus Gempa Tanggal 6 Maret 2007 dan 30 September 2009), *Skripsi*, Unand, Padang.
- Space Environment Prediction Center, 2020, Business Forecast F10.7 in The Next 27 Days, *viewed* Juli 2020, <<http://www.sepc.ac.cn/>>.
- World Data Center for Geomagnetism, 2020, Geomagnetic Data Service Dst Index, *viewed* Mei 2020 <<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>>.