

PENGARUH GEMPA BUMI PADA LAPISAN F₂ IONOSFER DI INDONESIA

Habirun*), Buldan Muslim*), M. Syarifudin*),
Titiek Setiawati*), Sarmoko Saroso**)

RINGKASAN

Lapisan ionosfer secara umum dipengaruhi aktivitas matahari, geomagnet dan pengaruh-pengaruh aktivitas dari permukaan bumi antara lain letusan gunung berapi dan gempa bumi. Pengaruh-pengaruh tersebut yang menyebabkan lapisan ionosfer bervariasi, khususnya frekuensi kritis lapisan F₂ (f_oF_2). Kondisi variasi f_oF_2 bergantung pada karakteristik setiap aktivitas gangguan yang memberikan kontribusi terhadap lapisan F₂ pada saat tertentu.

Masalah ini akan dibahas pengaruh aktivitas gempa bumi Flores 12 Desember 1992, Liwa 15 Pebruari 1994 dan Banyuwangi 3 Juni 1994 terhadap variasi frekuensi kritis (f_oF_2) lapisan ionosfer.

Hasil analisis melalui metode Spektrum analisis untuk memperoleh variasi frekuensi kritis (f_oF_2) lapisan F₂ menunjukkan perbedaan variasi yang sangat mencolok antara sebelum dan sesudah terjadi aktivitas gempa bumi.

1. PENDAHULUAN

Dari data stasiun ionosonde selama periode aktivitas gangguan gempa bumi menyebabkan melebarnya (trace) lapisan ionosfer akibat gangguan terutama pada frekuensi kritis lapisan F₂. Pengaruh aktivitas gempa bumi pada frekuensi kritis (f_oF_2) lapisan ionosfer telah diuraikan (Sugeng dan Sarmoko S., 1978; Datchenko dkk., 1972; Gokhberg dkk., 1984 dan Nagorsky dkk., 1987), tetapi pembahasan yang dilakukan terbatas

pada proses fisis yang menyangkut perubahan kerapatan elektron sebelum dan sesudah terjadi peristiwa gempa bumi. Sedangkan yang dikemukakan (T.V. Gaivorosnka & T.I Zelenova 1991) menguraikan tentang pengaruh aktivitas gempa bumi terhadap frekuensi kritis lapisan F₂ pada lintang menengah dan hasilnya diketahui setelah dianalisis dengan metode Spektrum, sehingga diperoleh perbedaan variasi frekuensi kritis lapisan F₂ yang berarti pada saat sebelum dan sesudah terjadi peristiwa gempa bumi.

*) Peneliti Bidang Komunikasi III

***) Peneliti Bidang Dinamika Ionosfer

Sehubungan ungkapan di atas, pada uraian ini akan dibahas pengaruh gempa bumi pada frekuensi kritis lapisan F_2 ionosfer khususnya di daerah ekuator (Indonesia). Peristiwa-peristiwa gempa bumi yang dibahas dalam pembahasan ini adalah peristiwa gempa bumi Flores 12 Desember 1992, gempa bumi di daratan Liwa Lampung Barat 2 Pebruari 1994 dan gempa bumi yang terjadi di daerah Banyuwangi Jawa Timur pada tanggal 15 Juni 1994. Perlu diketahui bahwa ketiga bencana alam gempa bumi di atas tidak sedikit menelan korban jiwa maupun kerugian harta benda, terutama gempa bumi Flores tanggal 12 Desember 1992 masyarakat mengalami kerugian tidak sedikit termasuk korban jiwa sekitar 2500 orang meninggal dunia, dan kekuatan tekanan gempa bumi tersebut berpengaruh sampai ke lapisan ionosfer. Hal itu terjadi, disebabkan adanya gelombang Rayleigh berupa gelombang akustik dan gelombang gravitasi yang berasal dari pusat gempa. Dalam penjalarnya sepanjang permukaan bumi menimbulkan tekanan di atmosfer. Kecepatan penjalaran gelombang sama dengan kecepatan suara. Gelombang akustik dan gelombang gravitasi ini meninggalkan permukaan bumi dengan arah vertikal (Sugeng dan Sarmoko S., 1978; Koeswadi dkk., 1985/1986).

Dengan proses penjalaran gelombang gravitasi dan gelombang akustik tersebut, diduga ketiga peristiwa gempa bumi di atas berpengaruh pada lapisan F_2 , termasuk di daerah ekuator yang di buktikan dari data stasiun Biak tahun 1992 dan tahun 1994. Pengaruh

tersebut teramati pada frekuensi kritis f_oF_2 lapisan ionosfer. Variasi frekuensi kritis f_oF_2 antara sebelum hingga sesudah terjadi gempa bumi, menunjukkan perbedaan pengaruh yang berarti.

2. KARAKTERISTIK GEMPA BUMI DAN STASIUN GEOPHYSIC

Karakteristik ketiga gempa bumi yang ditunjukkan pada bagian pendahuluan di atas pada umumnya tidak sama, walaupun pusat gempa (epicentrumnya) terletak di daerah ekuator (Wilayah Indonesia). Letak kejadian ketiga gempa bumi di atas berdasarkan data dari stasiun pengamat Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Jakarta adalah :

1. Koordinat epicentrum gempa bumi Flores Nusa Tenggara Timur berlokasi pada 8.48° LS dan 121.90° BT terjadi pada tanggal 12 Desember 1992 pukul 14.29' WIT, dengan kekuatan gempa 6.5 skala Richter (SR) pada kedalaman 28 km. Kemudian gempa bumi susulan yang kedua terjadi pada pukul 14.43' dengan kekuatan gempa 5.7 SR pada kedalaman 21 km dan berlokasi pada 8.52° LS dan 122.00° BT. Selanjutnya karakteristik gempa bumi Flores dapat dilihat pada tabel 2.1;
2. Koordinat epicentrum gempa di daratan Liwa Lampung Barat berlokasi pada 5.0° LS dan 104.30° BT, terjadi tanggal 15 Pebruari 1994 pukul 02.7' WIB berkekuatan

- 6.2 SR dengan kedalaman pusat gempa 33 km.
3. Koordinat gempa bumi di Banyuwangi Jawa Timur berlokasi 10.0° LS dan 112.7° BT, terjadi pada tanggal 3 Juni 1994 pukul 03.17 WIB pada kedalaman pusat gempa 33 km dengan kekuatan 5.9 SR.

Selanjutnya, pada saat pengamatan gempa bumi di atas, kondisi aktivitas matahari dan geomagnet (A_p) berdasarkan data dari Solar-Geophysical Data Khususnya aktivitas Solar-Flux ($F_{10.7}$) dan International Relative Sunspot Numbers (R_1) sehari sebelum dan sesudah terjadi gempa dinyatakan dalam tabel 2-2.

Kondisi aktivitas matahari dan geomagnet pada saat sebelum dan sesudah terjadi aktivitas gempa bumi tersebut di atas dapat dilihat pada tabel 2-2.

3. METODA

Pengamatan variabilitas f_oF_2 lapisan ionosfer sebelum dan sesudah terjadi gempa bumi, dilakukan terus-menerus setiap 15 menit, khususnya di stasiun pengamat dirgantara LAPAN Biak/Irian Jaya. Untuk mengetahui pengaruh aktivitas gempa bumi pada frekuensi kritis (f_oF_2) lapisan ionosfer, data dianalisis sehari sebelum hingga satu hari atau lebih sesudah terjadi gempa sampai kondisi lapisan F2 normal kembali. Interval waktu pengamatan yang menunjang analisis dalam penelitian ini adalah tiga hari sampai dengan lima hari. Karakteristik variabilitas f_oF_2 yang dipengaruhi

gangguan diurnal maupun semi diurnal terlebih dahulu dihilangkan melalui pemulusan variasi σ^2 frekuensi kritis. Hasil variasi-variasi pemulusan yang telah diketahui periodenya, kemudian dianalisis dengan metode Spektrum S berdasarkan Fourier Transform melalui fungsi autokorelasi dari barisan-barisan waktu $f_{var}^{(t)}$, serta $f_{var}^{(t)}$ adalah deviasi frekuensi kritis $f_a^{(t)}$ dari trend yang telah dimuluskan pada waktu t. Secara matematis dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$S(f) = 2 \left[R(0) + \sum_{K=1}^{L-1} T(K) R(K) \cos(2\pi fK\tau) \right], 0 \leq f \leq 1/2\tau \quad \dots(3-1)$$

$R(K)$ adalah fungsi autokovariansi,

$$R(K) = 1/N \sum_{i=1}^{N-K} (f_{var}^{(i)} - f_a)(f_{var}^{(i+K)} - f_a) \quad \dots(3-2)$$

$$f_a = 1/N \sum_{i=1}^N f_{var}^{(i)} \quad \dots(3-2)$$

$T(K)$ adalah Tukey window dengan lebar $L\tau$,

$$T(K) = 1/2 (1 + \cos \pi K/L) \quad \dots(3-4)$$

τ adalah periode sampling pengamatan ($\tau = 15$ menit), N adalah jumlah titik-titik pengamatan dalam barisan waktu yang diskrit, dalam satu hari ($N = 96$). Untuk perhitungan-perhitungan dalam analisis pada persamaan (3-1) diambil interval frekuensi yang sama dan dirumuskan sebagai berikut :

$$f = 1/2F\tau, 1=0,1,\dots,F; F=2L; L=N/2 \quad \dots(3-5)$$

Yang mana l , L dan F adalah bilangan bulat positif. Densitas spektra S ditentukan pada interval frekuensi yang sama adalah

$$\Delta f = 1/2N\tau \quad \dots(3-6)$$

Fungsi S tergantung pada konstanta variasi σ^2 dari semua periode-periode terhadap variasi-variasi frekuensi kritisnya

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan metode analisis di atas karakteristik variasi frekuensi kritis f_oF_2 lapisan ionosfer di daerah ekuator terutama di atas Biak pengaruhnya dapat diketahui pada saat sebelum dan sesudah terjadi aktivitas gempa bumi. Khususnya aktivitas gempa bumi yang terjadi di Flores Nusa Tenggara Timur, daratan Liwa Lampung Barat dan gempa bumi Banyuwangi Jawa Timur sehubungan dengan kondisi aktivitas matahari dan geomagnet yang ditunjukkan pada tabel 2-2.

Dalam peristiwa gempa bumi Flores 12 Desember 1992, sehubungan barisan data pengamatan $f_{var}^{(i)}$ dari 11 hingga 13 Desember 1992 bahwa variasi spektra S dari frekuensi kritis f_oF_2 yang ditunjukkan dalam gambar 4-1. Pada saat terjadi gempa, 12 Desember 1992 pola spektra S dari f_oF_2 lebih kecil dibandingkan sebelum maupun sesudah terjadi gempa bumi.

Sedangkan gambar 4-2 melukiskan kondisi variasi spektra S , dari f_oF_2 peristiwa gempa bumi Liwa, tanggal 14 hingga 17 Pebruari 1994 di atas

Biak. Di sini juga menunjukkan indikasi variasi yang hampir sama dengan peristiwa gempa bumi Flores.

Demikian pula untuk gambar 4-3 menunjukkan spektra S dari f_oF_2 yang berkaitan dengan peristiwa gempa bumi yang terjadi di daerah Banyuwangi Jawa Timur. Pola variasi f_oF_2 pada stasiun ionosonde yang sama menunjukkan indikasi perbedaan variasi antara sebelum dan sesudah peristiwa gempa bumi.

Dari hasil analisis data variasi frekuensi kritis f_oF_2 lapisan ionosfer di stasiun ionosonda Biak tahun 1992 dan tahun 1994 secara umum menunjukkan pola pengaruh yang identik dari ketiga aktivitas gempa bumi. Walaupun kondisi data yang dipergunakan dalam analisis pada aktivitas matahari yang tidak sama. Demikian pula kondisi aktivitas geomagnet dalam batas tidak aktif khususnya dari stasiun Biak.

Peristiwa gempa bumi di daratan Liwa Lampung Barat merupakan suatu hal khusus, karena gempa bumi pada peristiwa itu tidak serentak terjadi akan tetapi gempa susulannya terjadi sekitar dua hingga tiga hari kemudian. Oleh karena itu pada tanggal 17 Pebruari 1994, variasi spektra S masih mengalami penurunan hingga sekitar dua kali lipat dari peristiwa gempa bumi yang pertama.

5. KESIMPULAN

Melihat hasil analisis karakteristik variasi frekuensi kritis f_oF_2 lapisan ionosfer pada saat kondisi aktivitas matahari dan aktivitas geomagnet tidak

sama pada tahun 1992 dan 1994, aktivitas dari ke tiga gempa bumi tersebut masih cukup jelas menunjukkan pola variasi f_0F_2 yang hampir sama (identik) sehingga dapat disimpulkan bahwa :

1. Aktivitas gempa bumi pada umumnya berpengaruh terhadap frekuensi kritis f_0F_2 lapisan ionosfer.
2. Pengaruh aktivitas gempa bumi terhadap frekuensi kritis f_0F_2 lapisan ionosfer menunjukkan perbedaan variasi f_0F_2 pada saat sebelum dan sesudah terjadi aktivitas gempa bumi
3. Efek aktivitas gempa bumi terhadap f_0F_2 lapisan ionosfer tergantung dari jarak pusat gempa dengan stasiun pengamat ionosfer. Apabila pusat gempa sangat dekat dengan stasiun pengamat ionosfer maka pengaruh gempa bumi cukup besar dan semakin jauh dengan stasiun pengamat ionosfer efek gempa bumi semakin mengecil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Datchenko E.A., Ulomov V.R and Cihnysheva S.P., 1972. Doklady Akad Nauk. UzbSSR 12, 67.

2. Gaivoronska, T.V. and Zelenova, T.I., 1991. *The Effect of Seismic Activity on F-2 Layer Critical Frequencies*. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Vol 53 No. 6/7 June/July.
3. Gokhberg, M.B, Gershenson, N.I, Kustov, A.V., Liperovsky, V.A., and Khusamiddinov, S.S., 1984. Geomagn Aeron. 24, 217.
4. Koeswadi dkk., 1985/1986. *Pengaruh Gelombang Gravitasi dan Ionosfer Berjalan*. Proceeding Penelitian PUSRIGAN LAPAN.
5. Nagorsky, P.M., Tarashchuk Yu. E. and Timchenko, N.I., 1987. Geomagn. Aeron. 27, 138.
6. Simon Haykin., 1978. *Communication System*.
7. Sugeng dan Sarmoko, S., 1978. *Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Ionosfer*. Proceeding Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.

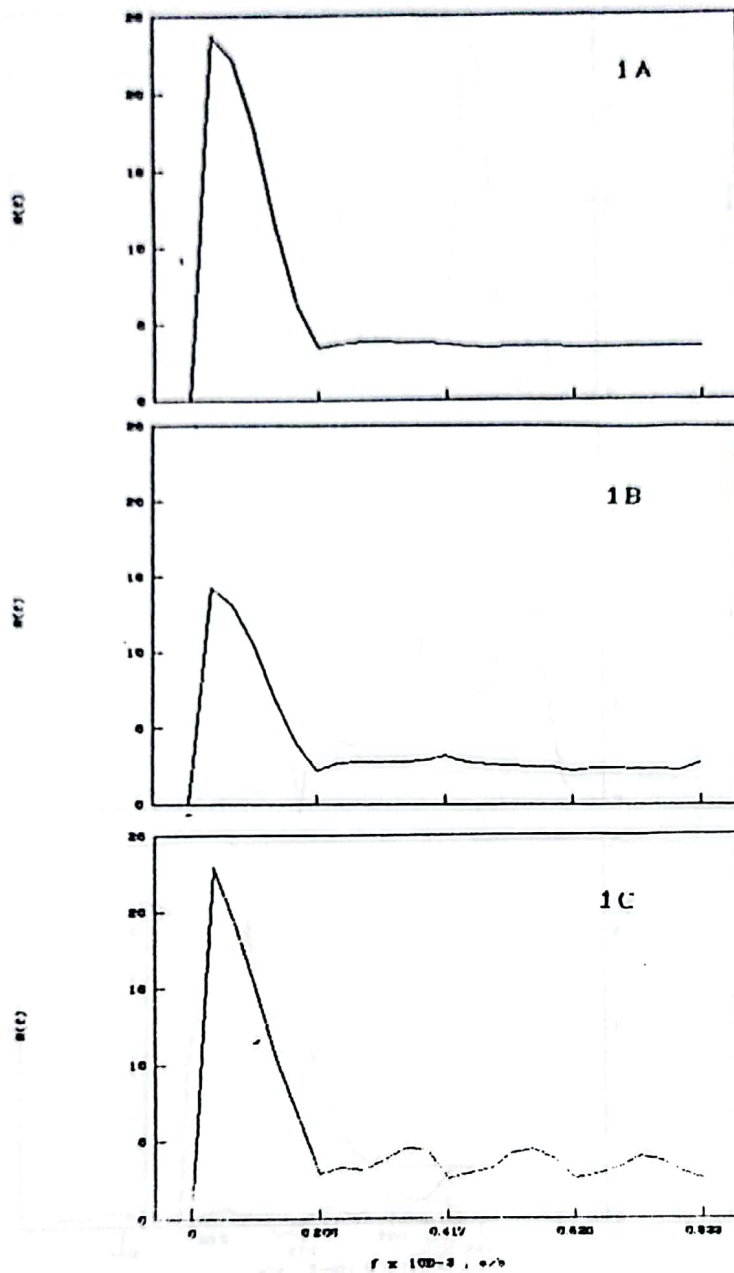
-- o0o --

Tabel 2.1 : KARAKTERISTIK GEMPA BUMI FLORES 12-13 DESEMBER 1992

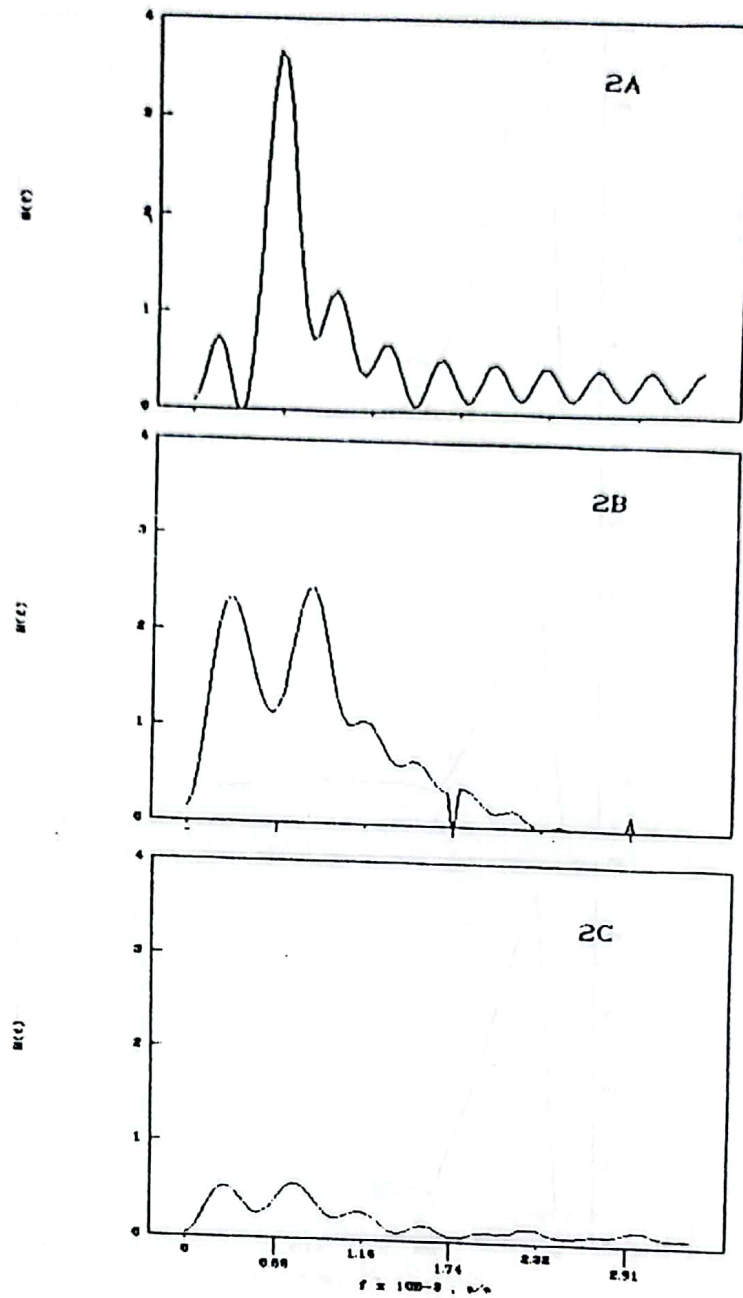
| No. | Waktu | Lokasi | Kedalaman | Kekuatan |
|-----|--------|-----------------------|-----------|----------|
| 01 | 14.29' | 8.48° LS & 121.90° BT | 28 km | 6.5 SR |
| 02 | 14.43' | 8.52° LS & 122.00° BT | 21 km | 5.7 SR |
| 03 | 15.31' | 8.38° LS & 121.80° BT | 33 km | 5.4 SR |
| 04 | 15.38' | 8.52° LS & 121.93° BT | 21 km | 6.1 SR |
| 05 | 16.01' | 8.19° LS & 122.84° BT | 33 km | 5.1 SR |
| 06 | 16.32' | 8.45° LS & 122.07° BT | 26 km | 5.0 SR |
| 07 | 16.51' | 8.53° LS & 122.19° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 08 | 16.56' | 8.32° LS & 122.40° BT | 26 km | 5.0 SR |
| 09 | 18.11' | 8.83° LS & 122.32° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 10 | 18.04' | 9.56° LS & 122.35° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 11 | 19.36' | 8.39° LS & 122.57° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 12 | 21.30' | 8.37° LS & 122.41° BT | 20 km | 5.2 SR |
| 13 | 23.54' | 8.37° LS & 122.20° BT | 33 km | 5.2 SR |
| 14 | 01.42' | 8.47° LS & 122.07° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 15 | 04.19' | 8.53° LS & 122.15° BT | 33 km | 5.1 SR |
| 16 | 06.43' | 8.48° LS & 121.96° BT | 23 km | 5.4 SR |
| 17 | 07.23' | 8.32° LS & 122.55° BT | 21 km | 5.4 SR |
| 18 | 07.41' | 8.15° LS & 122.71° BT | 33 km | 5.0 SR |
| 19 | 08.36' | 8.24° LS & 122.68° BT | 33 km | 5.0 SR |

tabel 2.2 : AKTIVITAS MATAHARI DAN GEOMAGNET SEBELUM HINGGA SESUDAH AKTIVITAS GEMPA BUMI

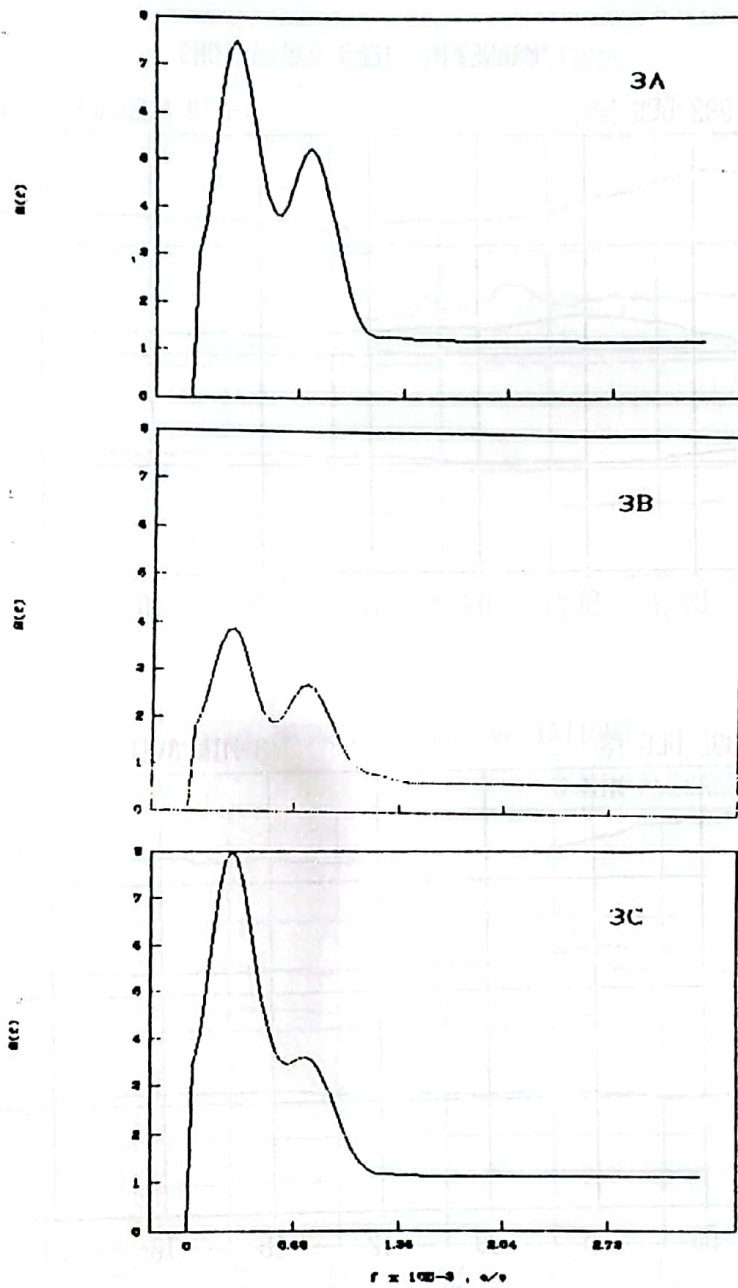
| No | Tanggal | Ap | F _{10.7cm} | R _I | Keterangan |
|----|----------|----|---------------------|----------------|-----------------------|
| 1. | 11-12-92 | 10 | 159.0 | 116 | Gempa bumi Flores |
| | 12-12-92 | 8 | 163.1 | 109 | |
| | 13-12-92 | 8 | 167.6 | 113 | |
| 2. | 14-2-94 | 36 | 98.8 | 39 | Gempa bumi Liwa |
| | 15-2-94 | 26 | 101.3 | 34 | |
| | 17-2-94 | 12 | 103.9 | 47 | |
| 3. | 1-6-94 | 24 | 69.6 | 0 | Gempa bumi Banyuwangi |
| | 3-6-94 | 23 | 70.3 | 0 | |
| | 5-6-94 | 21 | 70.3 | 0 | |



**Gambar 4.1 : PENGARUH GEMPA BUMI DI FLORES NUSA TENGGARA TIMUR
 PADA FREKUENSI KRITIS LAPISAN IONOSFER DI ATAS BIAK.
 A) SPEKTRA DARI f_oF_2 SEBELUM TERJADI GEMPA BUMI
 B) PADA SAAT TERJADI GEMPA BUMI
 C) SESUDAH TERJADI GEMPA BUMI**

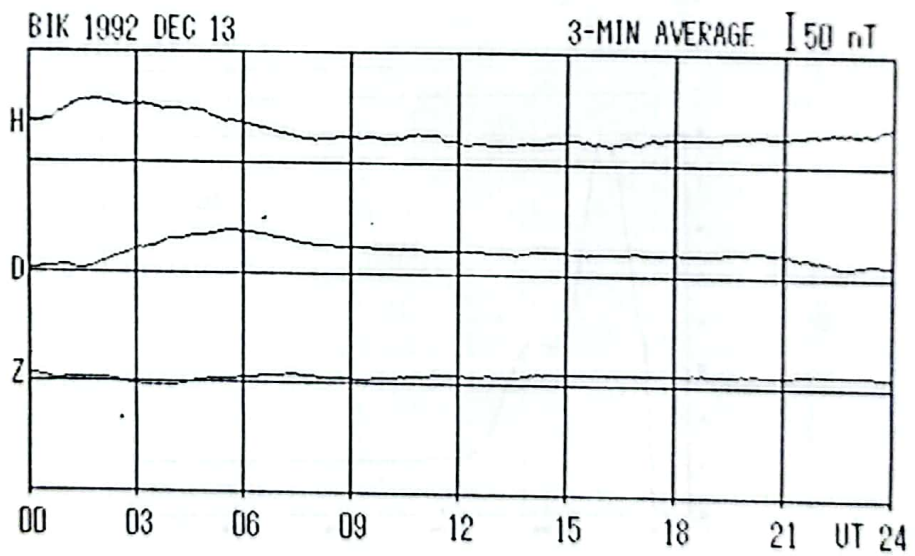
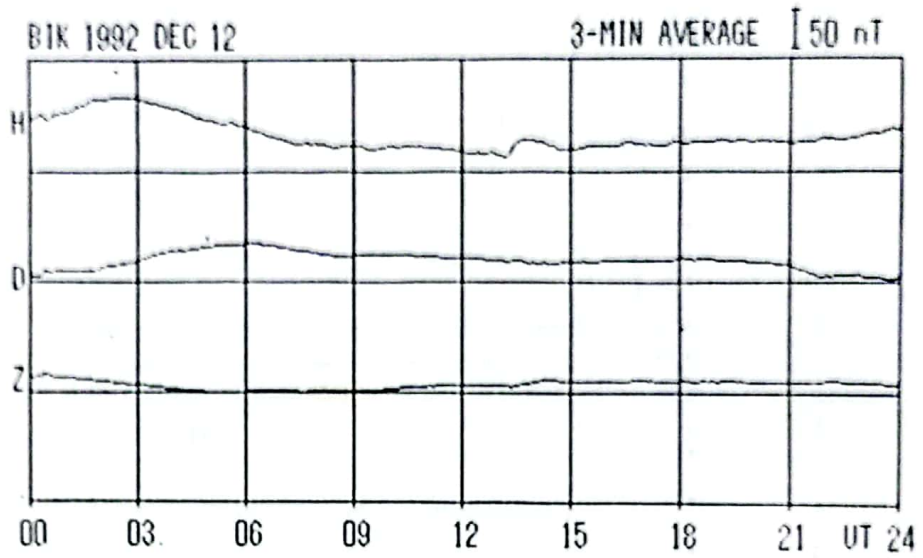


Gambar 4.2 : PENGARUH GEMPA BUMI DI LIWA LAMPUNG BARAT PADA FREKUENSI KRITIS LAPISAN IONOSFER DI ATAS BIAK;
 A) SPEKTRA DARI foF2 SEBELUM TERJADI GEMPA BUMI,
 B) PADA SAAT TERJADI GEMPA BUMI
 C) SESUDAH TERJADI GEMPA BUMI

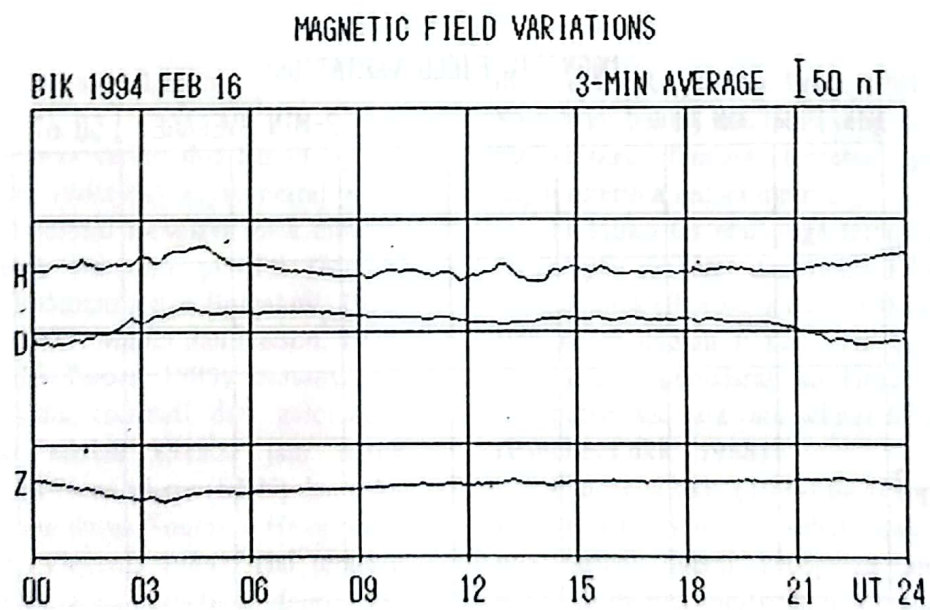
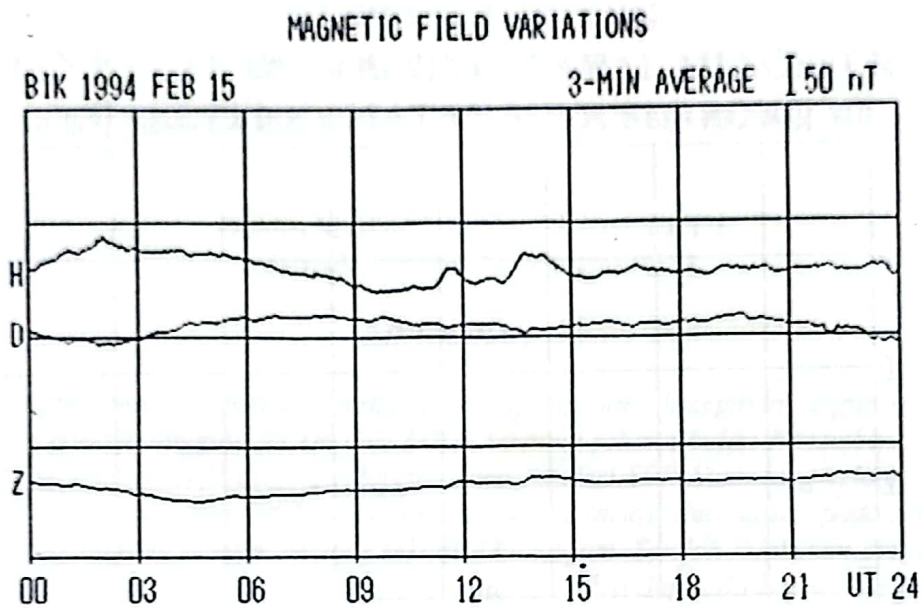


**Gambar 4.3 : PENGARUH GEMPA BUMI DI BANYUWANGI JAWA TIMUR
 PADA FREKUENSI KRITIS LAPISAN IONOSFER DI ATAS BIAK
 A) SPEKTRA DARI foF2 SEBELUM TERJADI GEMPA BUMI,
 B) PADA SAAT TERJADI GEMPA BUMI
 C) SESUDAH TERJADI GEMPA BUMI**

MAGNETIC FIELD VARIATIONS

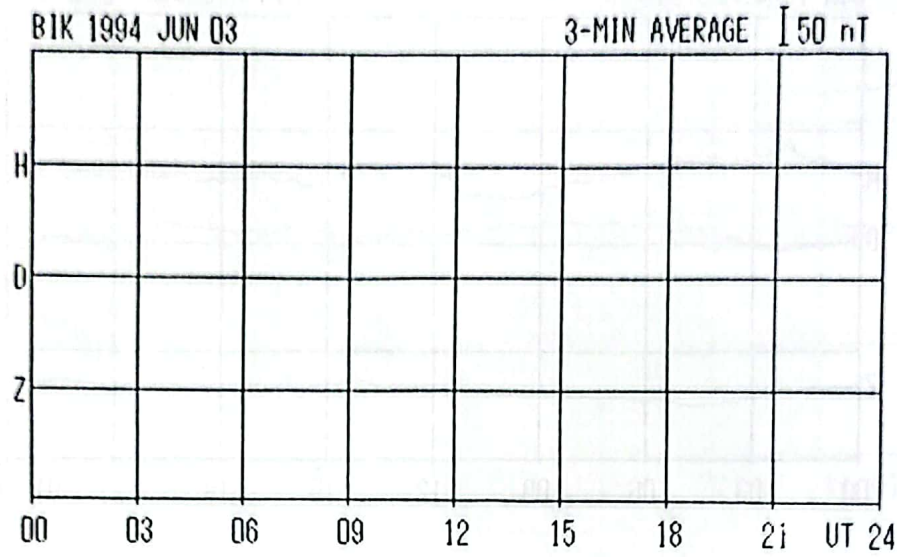


Gambar 4.4A : VARIASI AKTIVITAS GEOMAGNET PADA SAAT DAN SESUDAH GEMPA BUMI DI FLORES NUSA TENGGARA TIMUR

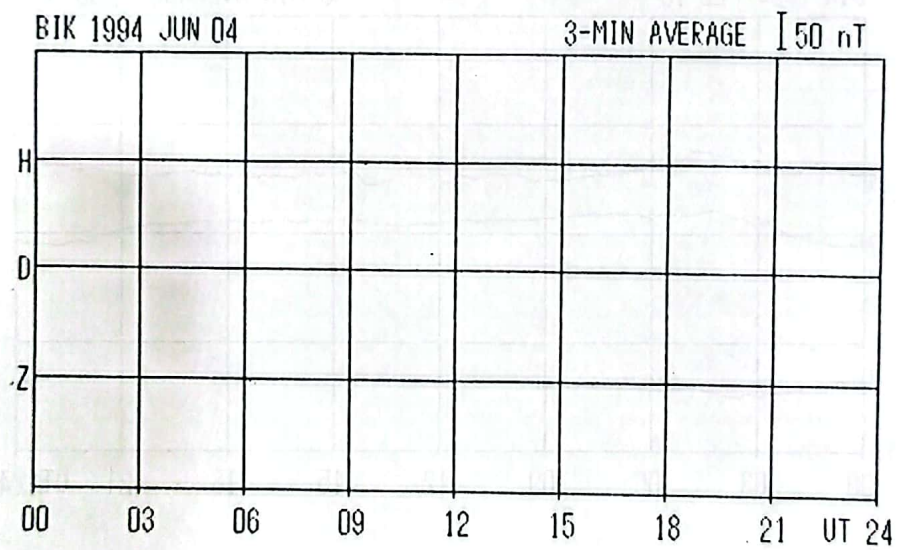


Gambar 4.4B : VARIASI AKTIVITAS GEOMAGNET PADA SAAT DAN SESUDAH GEMPA BUMI DI LIWA LAMPUNG BARAT

MAGNETIC FIELD VARIATIONS



MAGNETIC FIELD VARIATIONS



Gambar 4.4C : VARIASI AKTIVITAS GEOMAGNET PADA SAAT DAN SESUDAH GEMPA BUMI DI BANYUWANGI JAWA TIMUR