

LAPISAN F3 DI IONOSFER LINTANG RENDAH

Sri Suhartini

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi Pusfatsalnsa, LAPAN

ABSTRACT

Calculations using the Sheffield University plasmasphere ionosphere model (SUPIM) have shown that under certain conditions an additional layer (F3 layer) can form in the equatorial ionosphere. The F3 layer forms during the morning-noon period in the equatorial region where the combined effect of the upward ExB drift and neutral wind provides vertically upward plasma drift velocity at altitude near and above the F2 peak. The observation results over Biak and Parepare are shown that F3 layer may form in low latitude ionosphere. The observations result over Biak (1.20°S, 136.04°E, magnetic latitude 12.18°S) on January 2005 shown the occurrence of the F3 layer 75% of the days from 09:00 to 18:00 local time. The critical frequency of the F3 layer (f_oF3) exceeds f_oF2 by about 1 to 3 MHz, and the virtual height $h'F3$ ranges from 400 to 600 km. Generally, observation results in Biak is different with the observations result in Fortaleza (4°S, 38°W, dip-9°) and Waltair (17.7°N, 83.3°E, magnetic latitude 8.2°N). This result indicate that the formation of F3 layer at low latitude is different with the equatorial region. Where, in addition to the fountain effects, the dynamical processes of the formation of this layer is influenced by the station location relative to the geographic equator.

ABSTRAK

Hasil perhitungan menggunakan model SUPIM (*Sheffield University Plasmasphere-Ionosphere Model*) menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu dapat terbentuk lapisan tambahan (lapisan F3) di ionosfer ekuator. Lapisan F3 terbentuk selama pagi-siang hari di daerah ekuator dimana kombinasi antara efek pergeseran karena ExB ke atas dan angin netral menghasilkan kecepatan pergeseran plasma ke atas pada ketinggian di dekat dan di atas puncak lapisan F2. Hasil pengamatan di Biak dan Parepare menunjukkan bahwa di lintang rendah juga muncul lapisan F3. Hasil pengamatan di Biak (1.20°LS, 136.04°BT, lintang magnetik 12.18° selatan) pada bulan Januari 2005 menunjukkan kemunculan lapisan F3 sebanyak 75 % dari hari pengamatan dengan waktu kemunculan lapisan pukul 9:00 – 18:00 waktu Indonesia Timur. Selisih antara frekuensi kritis lapisan F3 dan F2 (f_oF3-f_oF2) mempunyai harga 1 – 3 MHz, sedangkan ketinggian lapisan ($h'F3$) 400 – 600 km. Secara umum hasil pengamatan di Biak berbeda dengan hasil pengamatan di Fortaleza (4°LS, 38°BB, sudut dip -9°) dan Waltair (17.7°LU, 83.3°BT, lintang magnetik 8.2° utara). Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan lapisan F3 di lintang rendah berbeda dengan di

ekuator yang mana selain efek fountain, dinamika dari proses pembentukan lapisan tambahan juga dipengaruhi oleh lokasi stasiun relatif terhadap ekuator geografis.

Kata kunci: *Ionosfer, lapisan F2, lapisan F3, lintang rendah*

1 PENDAHULUAN

Ionosfer di lintang rendah diketahui memiliki sifat unik pada distribusi kerapatan elektron, temperatur, dan kecepatan yang diakibatkan karena medan magnet bumi yang arahnya horisontal di ekuator magnetik. Dalam hal kerapatan elektron, di ionosfer terdapat daerah anomali ekuator, yang ditandai oleh palung ionisasi di ekuator magnet dan kedua puncaknya masing-masing pada lintang sekitar $\pm 16^\circ$. Sejumlah eksperimen dan studi pembuatan model telah dilakukan untuk mempelajari berbagai aspek anomali tersebut. Penyebab anomali telah diketahui dengan baik; yaitu disebabkan oleh efek fountain plasma di ekuator yang memindahkan proses ionisasi dari daerah di sekitar ekuator ke lintang yang lebih tinggi (Hanson and Moffet, 1966, dalam Balan dkk, 1998).

Penguatan mendadak fountain plasma pada awal malam hari dan diikuti pendinginan plasma pada malam hari memunculkan ciri-ciri yang baru teramati pada distribusi temperatur plasma terhadap lintang, yaitu anomali temperatur plasma ekuatorial (EPTA : *Equatorial Plasma Temperature Anomaly*). EPTA, pertama kali ditemukan dari hasil pengamatan menggunakan probe temperatur elektron yang dibawa satelit Hinotori, mempunyai ciri mirip anomali ekuator tetapi hanya ada di bagian atas (*topside*) ionosfer dan pada petang sampai tengah malam. Gelembung plasma dan spread F juga berasal dari bagian dasar fountain plasma petang hari yang kuat (Booker dan Wells, 1938; Woodmann dan La Hoz, 1976, dalam Balan dkk, 1998).

Hasil pengamatan ionosfer di lintang ekuator geomagnet menunjukkan adanya lapisan tambahan yang muncul pada pagi sampai siang hari. Pada awalnya lapisan ini diberi nama lapisan G, kemudian dinamakan lapisan F3. Lapisan F3 diperkirakan terbentuk pada periode pagi sampai siang hari pada ketinggian di atas puncak lapisan F2; kerapatan puncaknya dapat melebihi kerapatan puncak lapisan F2. Lapisan ini diprediksi terjadi dari drift vertikal $E \times B$ pada ekuator magnet bumi dan dimodulasi oleh angin netral.

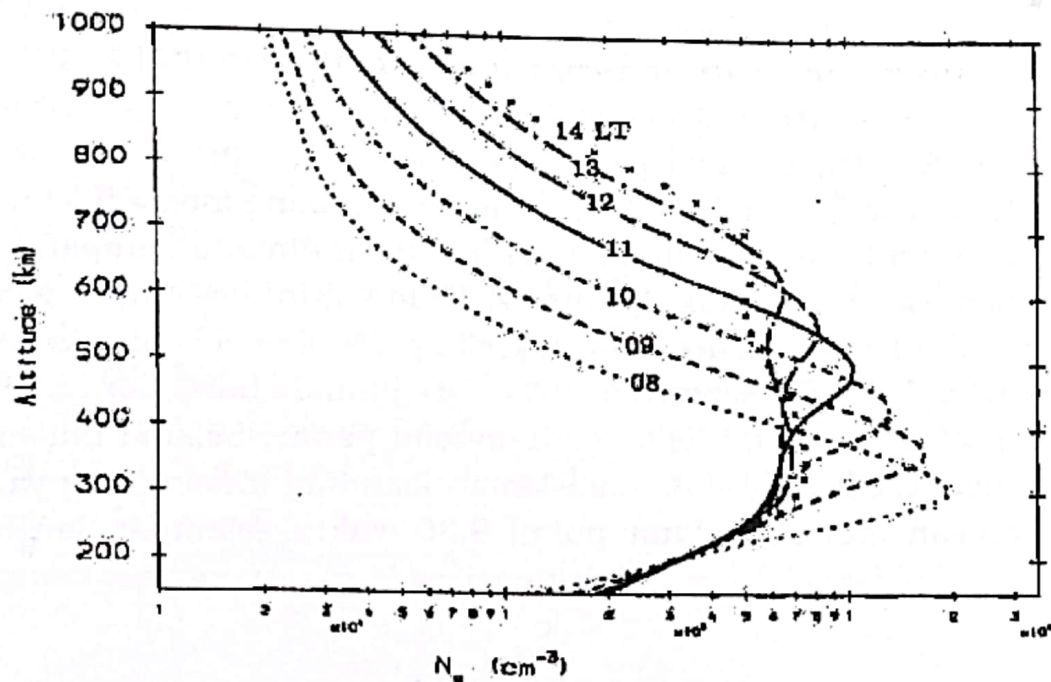
Makalah ini membahas kemunculan lapisan F3 ionosfer di atas Biak (1.20°LS , 136.04°BT , lintang magnetik 12.18° selatan) pada bulan Januari 2005, hasil pengamatan menggunakan ionosonda CADI (*Canadian Advance Digital Ionosonde*) yang dipasang di stasiun pengamat dirgantara LAPAN Biak sejak 17 Desember 2004.

2 MEKANISME FISIS TERJADINYA LAPISAN F3

Mekanisme fisis terjadinya lapisan F3 diteliti menggunakan hasil model SUPIM (*Sheffield University plasmasphere-ionosphere model*) untuk bujur 38°W (*Fortaleza*) (Jenkins dkk, 1997, Balan dkk, 1998), untuk mengetahui proses yang menyebabkan pembentukan lapisan F3 dan kondisi dimana puncak kerapatannya akan lebih besar dari puncak kerapatan lapisan F2.

Pengaruh angin netral dan drift ExB menunjukkan kemungkinan munculnya lapisan tambahan (lapisan F3) di ionosfer ekuator pada ketinggian antara 500 dan 700 km. Lapisan F3 terjadi dari proses fotokimia siang hari dan dinamika di daerah F ekuator. Profil model kerapatan elektron (Ne) yang ditunjukkan pada Gambar 2-1 memberikan gambaran pembentukan dan keberadaan lapisan F3. Lapisan tersebut terbentuk selama periode pagi-siang ketika produksi ionisasi lebih besar dari proses penghancuran dan ketika terjadi aliran ionisasi ke atas karena efek kombinasi drift ExB ke atas dan angin netral. Pada pagi hari (08.00 LT), terdapat lapisan F2 seperti biasanya. Dengan bertambahnya waktu, lapisan menjadi semakin lebar, jauh lebih lebar daripada lintang lainnya, karena produksi yang besar dan efek dinamika yang unik di daerah ekuator. Juga, puncak lapisan bertambah tinggi, lebih cepat dari pada di lintang lainnya, karena efek dominasi drift ExB ke atas. Sampai sekitar 09.30 LT, hanya ada satu puncak. Pada saat itu, puncak telah naik ke tingkat ketinggian maksimum, dimana baik efek dinamika maupun kimia penting dalam menjaga struktur lapisan dengan puncak tunggal. Di atas ketinggian maksimum ini efek dinamika lebih kuat dominasinya dibandingkan efek kimia. Jadi, ketika puncak pertama lapisan F2 naik lebih tinggi lagi karena efek dinamika, puncak lain terbentuk di ketinggian di bawahnya karena efek dinamika maupun kimia. Puncak yang baru tumbuh menjadi lapisan F2 yang biasa, sedangkan puncak yang bergerak ke atas membentuk lapisan F3. Kedua lapisan mulai jelas terpisah sekitar pukul 10.30 LT.

Setelah kedua lapisan jelas terpisah, puncak kerapatan elektron lapisan F3 (NmF3) turun terhadap waktu, terutama disebabkan oleh proses penghancuran kimia dan difusi (hanya ada sedikit produksi di ketinggian lapisan F3), sementara untuk lapisan F2 (NmF2) semakin bertambah karena efek produksi dan dinamika. Meskipun demikian ada selang waktu antara 10.30 sampai 12.30 LT dimana NmF3 lebih besar dari NmF2. Selama waktu ini lapisan F2 dan F3 dapat direkam dengan ionosonda di Fortaleza (Balan dkk, 1997; Jenkins dkk, 1997). Selanjutnya, NmF2 lebih besar dari NmF3 dan menjalani peningkatan siang hari seperti biasanya. Meskipun NmF3 terus berkurang, lapisan masih ada sampai setelah matahari terbenam.



Gambar 2-1: Model profil kerapatan elektron untuk bujur Fortaleza dalam kondisi lapisan F3 paling kuat. (Balan dkk, 1998)

Gambar 2-1 juga menunjukkan bahwa puncak kerapatan elektron (N_{max}) di ionosfer ekuator selama periode pagi-siang hari berubah dari NmF2 ke NmF3 dan kemudian kembali ke NmF2. Perubahan ketinggian puncak ionosfer (h_{max}) yang pertama (NmF2 ke NmF3) merupakan bagian dari peningkatan h_{max} pagi hari dan perubahan kedua (NmF3 ke NmF2) menyebabkan penurunan h_{max} secara cepat, sebagaimana yang teramati oleh ionosonda di Fortaleza (Abdu dkk 1990, dalam Balan dkk, 1998). Penurunan h_{max} tergantung pada kecepatan penurunan NmF3, kecepatan peningkatan NmF2 dan kecepatan peningkatan hmF3 dan hmF2. Dengan memperhitungkan faktor-faktor di atas, penurunan h_{max} diperkirakan tidak selalu terjadi pada setiap kemunculan lapisan F3.

3 HASIL PENGAMATAN

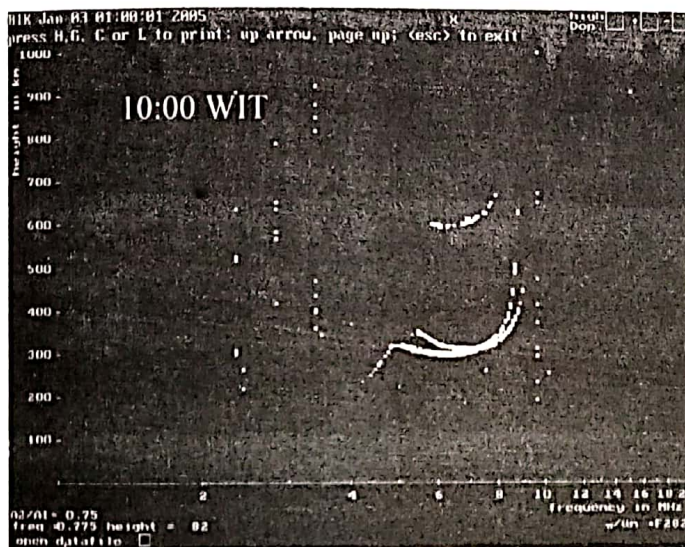
Ionogram hasil rekaman di Fortaleza ($4^{\circ}LS$, $38^{\circ}BB$, sudut dip -9°) pada aktivitas matahari minimum (Desember 1994 dan Mei 1995) menunjukkan adanya lapisan F3 (Jenkins dkk, 1997). Pada tanggal 23 Desember 1994 lapisan F3 muncul sejak pukul 09.30 sampai sebelum tengah hari, dengan ketinggian lapisan 560 km. Pengamatan hampir bersamaan yang dilakukan di stasiun yang berdekatan, Sao Luis ($2.3^{\circ}LS$, $44^{\circ}BB$, sudut dip -0.5°), yang terletak sangat dekat dengan ekuator magnetik tidak menunjukkan adanya lapisan F3. Dari penelitian awal belum dapat diketahui pola musiman kemunculan lapisan F3 namun diperoleh indikasi bahwa selama aktivitas matahari minimum, lapisan F3 terjadi lebih sedikit pada *equinox* dibandingkan pada musim panas.

Statistik kemunculan dan karakteristik lapisan F3 diteliti menggunakan ionogram dari Fortaleza tahun 1995 (Balan dkk, 1998). Pada hari dimana ada lapisan F3 ionogram menunjukkan adanya distorsi pada ujung atas frekuensi, dimulai pada waktu puncak lapisan F2 awal mulai membentuk lapisan F3. Distorsi kemudian berkembang menjadi lekukan dan lapisan tambahan muncul di ujung atas frekuensi dimana kerapatan lapisan F3 lebih besar dari kerapatan lapisan F2. Keadaan ini berlangsung beberapa waktu dan kemudian meluruh dan menghilang. Hasil penelitian menunjukkan kemunculan lapisan F3 sebanyak 49% dari jumlah hari, dengan kejadian lebih sering (75%) dan lebih jelas pada musim panas. Selama musim panas lapisan muncul lebih awal dan lebih lama dibanding musim lainnya. Secara rata-rata lapisan muncul sekitar pukul 9.30 waktu setempat dan lamanya sekitar 3 jam. Lapisan F3 juga lebih tinggi pada musim panas, dengan rata-rata puncak ketinggian sekitar 570 km. Frekuensi kritis lapisan F3 (f_oF3) melebihi lapisan F2 (f_oF2) lebih besar pada musim dingin dan *equinox*. Rata-rata tahunan menunjukkan f_oF3 melebihi f_oF2 sekitar 1.3 MHz. Balan dkk (2000), masih menggunakan ionogram dari Fortaleza untuk meneliti variabilitas lapisan F3 dan mendapatkan hasil bahwa ada hari-hari yang berurutan maupun individual dimana medan magnet terganggu atau tenang, dimana lapisan F3 tidak muncul. Ada juga hari-hari dimana lapisan F3 muncul kembali. Hasil model menunjukkan bahwa variasi harian lapisan F3 muncul dari variasi kecepatan vertikal plasma. Lapisan terjadi bila kecepatan vertikal pada suatu saat memindahkan puncak lapisan F2 siang hari ke atas untuk membentuk lapisan F3, sementara lapisan F2 normal berkembang di ketinggian di bawahnya. Pergeseran mendadak akan menghasilkan lapisan F3 lebih jelas dari pada pergeseran bertahap.

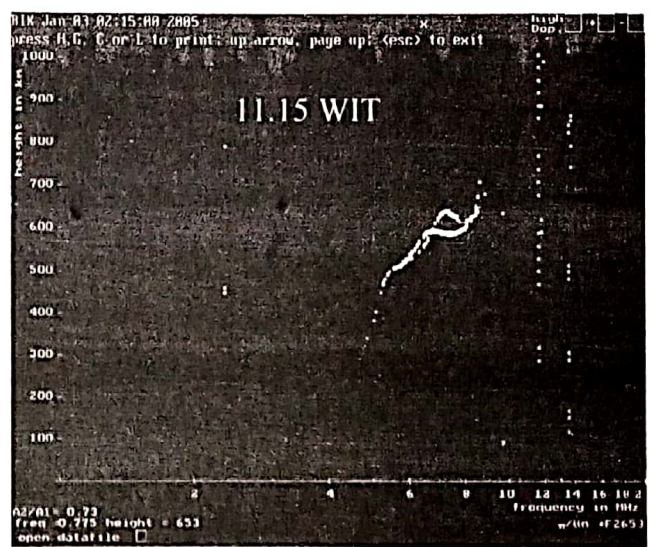
Keberadaan lapisan F3 juga diteliti di India menggunakan ionogram hasil pengamatan di Waltair (17.7°LU , 83.3°BT , lintang magnetik 8.2° utara) selama setengah siklus matahari (tahun 1997 sampai 2003) (Rama Rao dkk, 2005). Hasilnya menunjukkan bahwa lapisan ini lebih sering teramati pada bulan-bulan *solstice* musim panas pada periode aktivitas matahari rendah dan kemunculannya lebih lama dibandingkan pada *equinox* dan musim dingin. Kemunculan lapisan F3 berkurang dengan meningkatnya aktivitas matahari. Stratifikasi paling jelas nampak antara pukul 10 sampai 12 waktu lokal dan nampaknya tidak tergantung pada aktivitas geomagnet. Pembentukan lapisan F3 berada pada ketinggian di atas 450 km sementara lapisan F2 berada pada ketinggian 400 – 450 km, dan frekuensi kritis lapisan F2 sekitar 2 MHz di bawah frekuensi kritis lapisan F3 ketika lapisan tersebut ada. Ketika lapisan F3 tidak ada, frekuensi kritis lapisan F2 hampir sama dengan frekuensi kritis lapisan F3 ketika lapisan tersebut ada, yang menunjukkan bahwa lapisan F3 tidak terbentuk dari tambahan produksi ionisasi, tetapi merupakan hasil redistribusi ionisasi.

Lapisan F3 juga teramati kemunculannya di atas Biak (1.20°LS, 136.04°BT, lintang magnetik 12.18° selatan), Gambar 3-1 adalah contoh ionogram hasil pengamatan menggunakan ionosonda CADI (*Canadian Advance Digital Ionosonde*) yang dipasang di stasiun pengamat dirgantara LAPAN Biak sejak 17 Desember 2004, yang menunjukkan keberadaan lapisan F3 di atas Biak pada tanggal 3 Januari 2005.

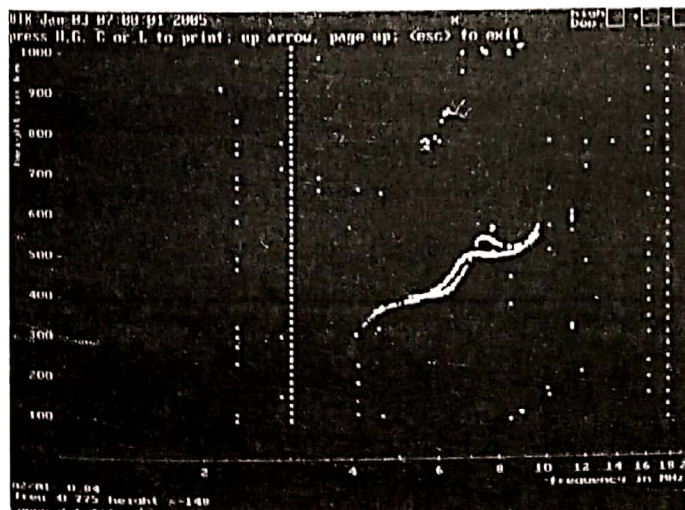
Untuk mengetahui kemunculan lapisan F3 di atas Biak telah diolah data bulan Januari 2005. Dari 28 hari pengamatan teramati adanya lapisan F3 sebanyak 21 hari (75%). Gambar 3-2 menunjukkan frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) dan lapisan F3 (foF3), sedangkan selisih antara frekuensi kritis kedua lapisan (foF3-foF2) diplot pada Gambar 3-3. Gambar 3-4 adalah plot ketinggian lapisan F3.



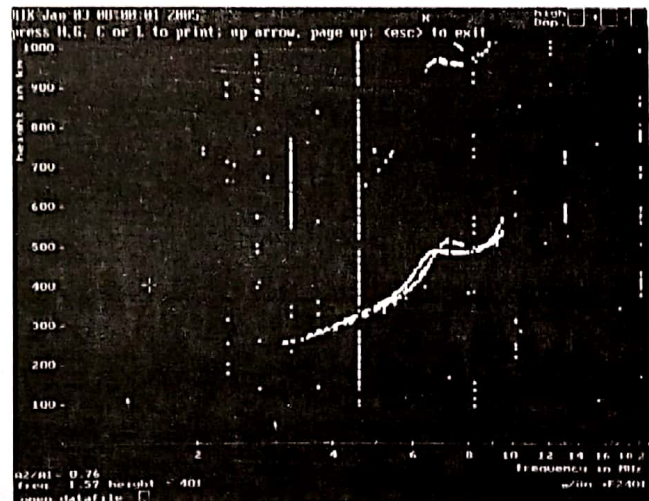
(a)



(b)

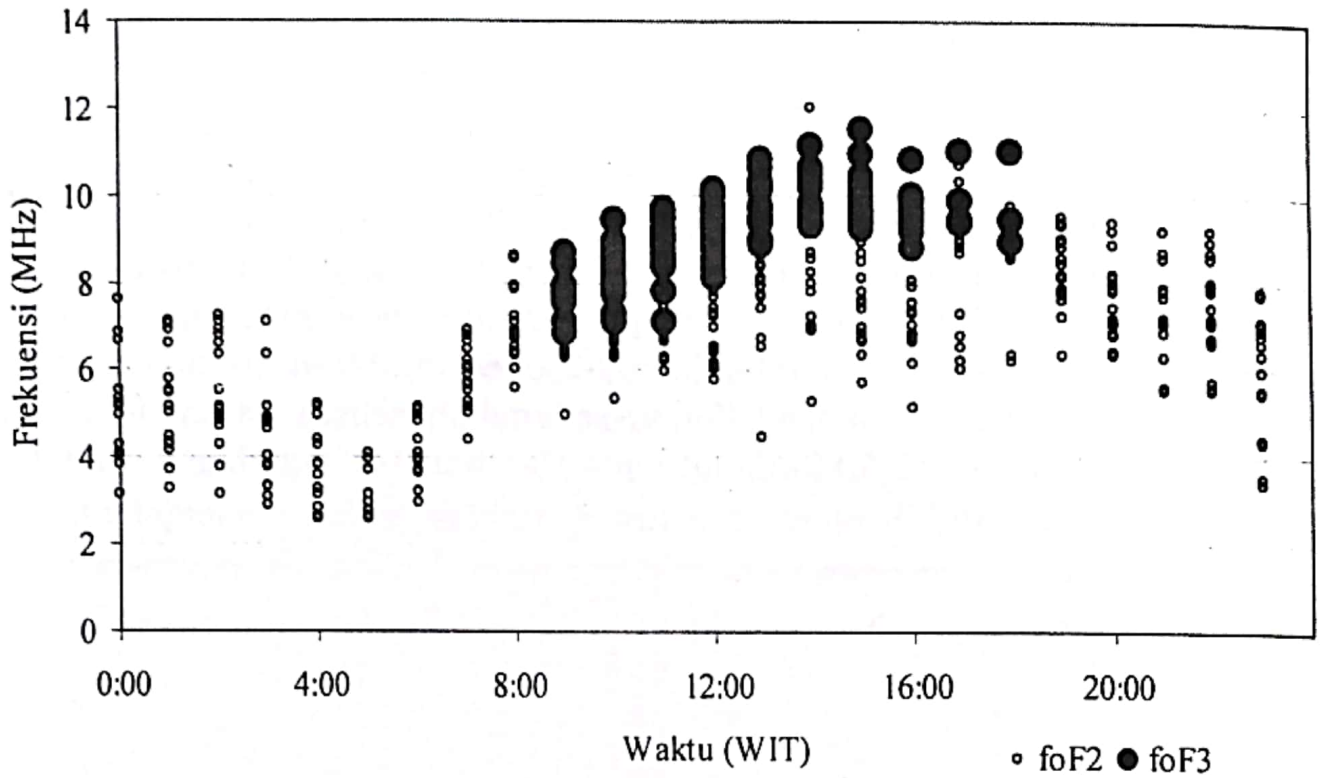


(c)

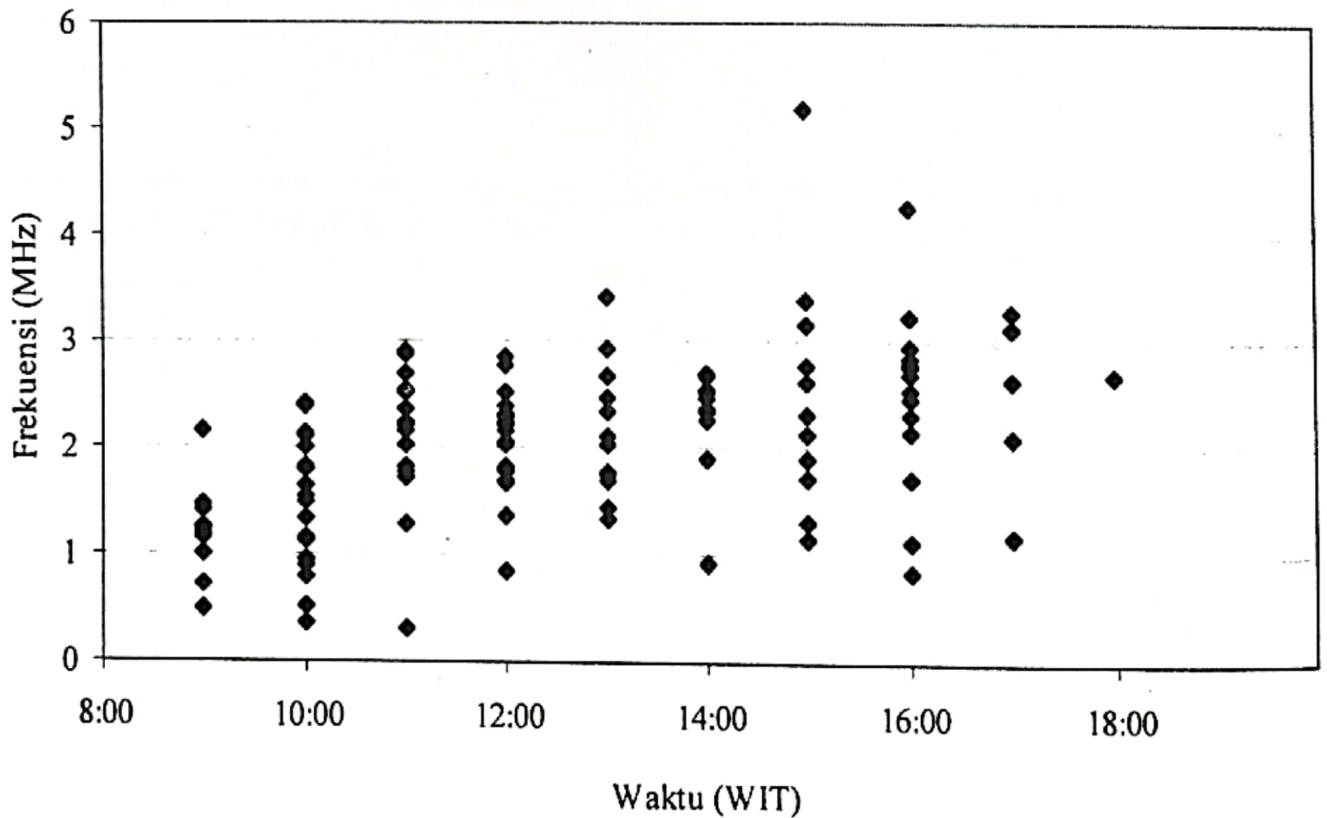


(d)

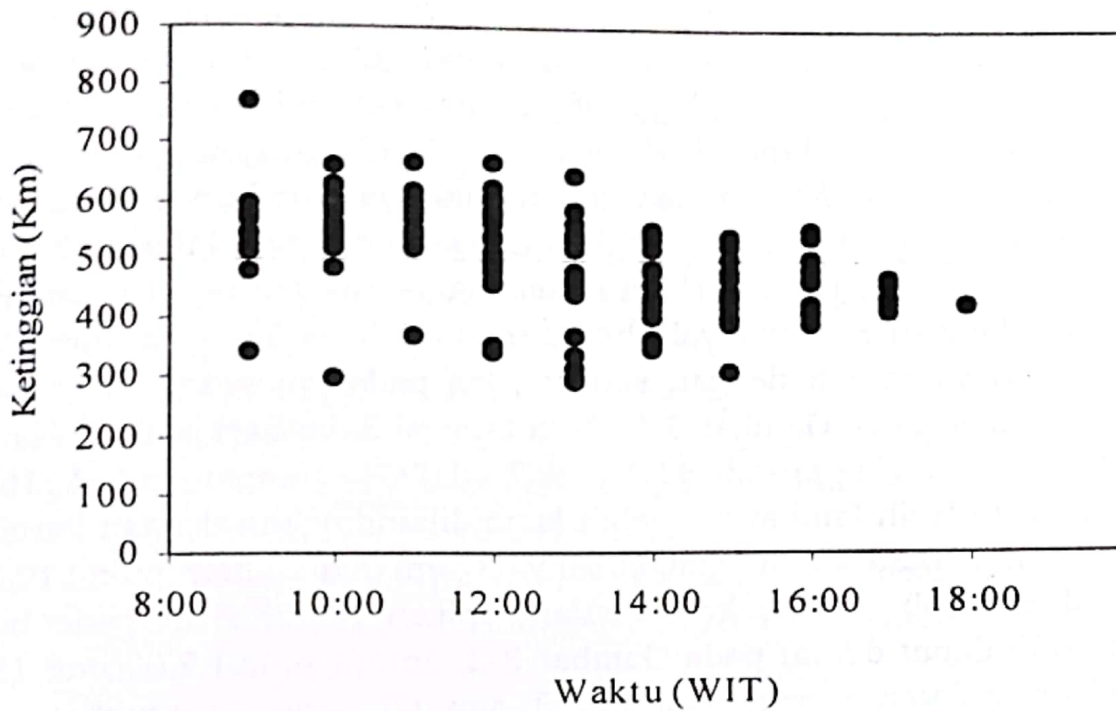
Gambar 3-1: Ionogram Biak pada tanggal 3 Januari 2005 yang menunjukkan kemunculan lapisan F3. (a) pukul 10:00 WIT, belum ada lapisan F3; (b) pukul 11:15 WIT, lapisan F3 nampak jelas, ketinggian lapisan F3 sekitar 600 km; (c) pukul 16:00 WIT, ketinggian lapisan F3 menurun (sekitar 500 km); (d) pukul 16:30 WIT lapisan F3 menghilang dari ionogram



Gambar 3-2: Frekuensi kritis lapisan F2 dan F3 selama bulan Januari 2005



Gambar 3-3: Plot selisih frekuensi kritis lapisan F3 dan F2 (foF3-foF2) selama bulan Januari 2005



Gambar 3-4: Ketinggian lapisan F3

4 ANALISIS

Balan dkk (1997) menunjukkan bahwa fountain plasma siang hari dan efeknya di daerah luar fountain menyebabkan terbentuknya lapisan tambahan di daerah $\pm 10^\circ$ terhadap ekuator magnetik. Hasil pengamatan ionosonde di Chung-Li (lintang magnetik 14.2° utara), Manila (lintang magnetik 3.7° utara), Cebu (lintang magnetik 0.4° selatan) dan Parepare (lintang magnetik 14.8° selatan) dalam kampanye pengamatan Westpac tahun 1998 (Hsiao dkk) menunjukkan bahwa di lintang ekuator dan dekat ekuator (Manila dan Cebu) tidak nampak jelas kemunculan lapisan tambahan di ionogram, sementara di Pare-pare yang terletak di lintang rendah justru teramati secara konstan kemunculannya. Hasil pengamatan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Jenkins dkk (1997) dari hasil pengamatan di Sao Luis. Jenkins dkk menyimpulkan bahwa hal ini disebabkan angin netral di Sao Luis mempunyai komponen vertikal yang lebih kecil sehingga lapisan F3 tidak terbentuk. Menurut Hsiao dkk, hal ini disebabkan karena variasi musiman angin netral di ionosfer dan konduktivitas listrik di ionosfer yang disebabkan oleh perubahan sudut zenith matahari, yang mengakibatkan intensitas medan listrik di daerah ekuator geografis lebih besar dari pada di daerah ekuator geomagnet pada saat matahari di equinox. Meskipun di daerah ekuator geografis drift $E \times B$ ke atas tidak vertikal, tetapi karena peningkatan medan listrik, maka komponen drift $E \times B$ ke atas menjadi lebih besar.

Hasil pengamatan di Biak juga menunjukkan adanya lapisan F3. Kemunculan lapisan ini pada bulan Januari 2005 sesuai dengan hasil pengamatan di tempat lainnya, yaitu pada saat aktivitas matahari rendah (Jenkins dkk, 1997; Balan dkk, 1998; Rama Rao dkk, 2005). Persentasi kejadian selama bulan Januari 2005 sebanyak 75% (21 hari dari 28 hari pengamatan) menunjukkan jumlah kemunculan yang cukup besar di Biak, namun hal ini tidak dapat dibandingkan dengan hasil penelitian Balan dkk, yang menggunakan data Fortaleza selama satu tahun dengan hasil kemunculan lapisan F3 sebanyak 49% dari jumlah hari pengamatan. Jejak lapisan F3 juga teramati dengan sangat jelas pada ionogram Biak, seperti yang dicontohkan pada Gambar 3-1. Pada tanggal 3 Januari jejak lapisan F3 mulai teramati pada pukul 11.15 WIT (UT+9) sampai pukul 16.15. kemunculan ini lebih lambat dan lebih lama dibandingkan dengan Fortaleza (rata-rata pukul 10.30 waktu lokal, lamanya 3 jam) dan Waltair (pukul 10.00 – 12.00 waktu lokal). Waktu kemunculan lapisan F3 di Biak pada bulan Januari 2005 dapat dilihat pada Gambar 3-2, antara pukul 9.00 dan 18.00 WIT. Selisih frekuensi kritis lapisan F3 dan F2 yang ditunjukkan pada Gambar 3-3 mempunyai harga antara 0.31 – 5.18 MHz, dengan harga paling banyak antara 1 – 3 MHz, sementara hasil penelitian Balan dkk (1998) adalah 0.5 – 1.5 MHz. Ketinggian lapisan F3 ($h'F_3$) yang diplot pada Gambar 3-4 menunjukkan harga antara 299 km sampai 768 km, dengan harga terbanyak antara 400 – 600 km. Hasil perhitungan dengan model SUPIM memperkirakan kemungkinan kemunculan lapisan tambahan di ionosfer ekuatorial (lapisan F3) pada ketinggian antara 500 dan 700 km, sementara hasil pengamatan di Waltair memberikan harga > 450 km.

Dari hasil pengamatan menggunakan CADI di Biak pada bulan Januari 2005 dan Parepare pada bulan Maret 1998, keduanya terletak di lintang rendah, terbukti bahwa mekanisme pembentukan lapisan F3 di kedua tempat tersebut berbeda dengan di ekuator (Fortaleza dan Waltair) selain efek fountain, dinamika dari proses pembentukan lapisan tambahan juga dipengaruhi oleh lokasi stasiun relatif terhadap ekuator geografis.

5 KESIMPULAN

Hasil pengamatan di Biak pada bulan Januari 2005 menunjukkan bahwa lapisan F3 juga terjadi di lintang rendah, dengan kemunculan sebanyak 75 % dari hari pengamatan dengan waktu kemunculan lapisan pukul 9.00-18.00 Waktu Indonesia Timur. Selisih antara frekuensi kritis lapisan F3 dan F2 (foF_3-foF_2) mempunyai harga 1 – 3 MHz, sedangkan ketinggian lapisan antara 400 – 600 km. Secara umum hasil pengamatan di Biak berbeda dengan hasil perhitungan menggunakan model SUPIM dan hasil pengamatan di Fortaleza dan Waltair. Perbedaan ini disebabkan antara lain oleh mekanisme pembentukan lapisan F3 yang berbeda antara daerah ekuator dan lintang rendah.

DAFTAR RUJUKAN

- Balan N., G. J. Bailey, M.A. Abdu, K.I. Oyama, P.G. Richards, J. MacDougall, and I. S. Batista, 1997. *Equatorial plasma fountain and its effects over three locations : evidence for an additional layer, the F3 layer*. Journal of Geophysical Research, Vol. 102, 7485.
- Balan, N., I. S. Batista, M. A. Abdu, J. MacDougall and G.J. Bailey, 1998. *Physical mechanism and statistics of occurrence of an additional layer in the equatorial ionosphere*, Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. A12. pages 29.169 – 29.181.
- Balan, N., I. S. Batista, M. A. Abdu, G.J. Bailey, S. Watanabe, J. MacDougall and J.H.A. Sobral, 2000. *Variability of an additional layer in the equatorial ionosphere over Fortaleza*, Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. A5, pages 10.603 – 10.613.
- Hsiao C.C., J. Y. Liu, R.T. Tsunoda, S. Fukao, S. Sarmoko, K. Nozaki, V.L. Badillo and S.W. Chen. *Additional Layer Observation during the 1998 Westpac campaign*.
- Jenkins, B., G.J. bailey, M.A. Abdu, I.S. Batista, N. Balan, 1997. *Observations and model calculations of an additional layer in the topside ionosphere above Fortaleza, Brazil*, Annales Geophysicae 15, 753 – 759.
- Rama Rao P.V.S., K. Niranjana, D.S.V.V.D. Prasad, P.S. Brahmanandam, S. Gopikrishna, 2005. *Features of additional stratification in ionospheric F2 layer observed for half of solar cycle over Indian low latitudes*, Journal of Geophysical Research, Vol. 110.