

ANALISIS PROBABILITAS KEJADIAN SPREAD F IONOSFER DI LINTANG RENDAH INDONESIA (PROBABILITY ANALYSIS OF IONOSPHERIC SPREAD F OCCURRENCE IN LOW LATITUDE INDONESIA)

Asnawi Husin*, Prayitno Abadi, Jiyo

Pusat Sains Antariksa, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

*e-mail: asnawi@lapan.go.id

Diterima 6 Maret 2018; Direvisi 19 Februari 2019; Disetujui 10 April 2019

ABSTRACT

Spread F is disturbance in the ionospheric electron density which is important component of space weather. Spread F phenomena in low latitude is quite frequent and known as Equatorial Spread F (ESF) which is subject of studies because it may cause fading in high-frequency radio communication (HF) and may cause loss of lock on the signal of navigation satellites. This paper discusses the occurrence of ionospheric spread F at low latitude Indonesian sector and compares it to the IRI (International Reference Ionosphere) model. Percentage of spread F occurrences during period of 2007 to 2013 from two stations, namely Agam (0.3° S, 100.3° E, geomagnetic latitude 9.8°) and Tanjungsari Sumedang (6.5°S 107.6° E, geomagnetic latitude:16.0°), were calculated to obtain the climatological ionospheric spread F in Indonesia. Results show that the probability of the spread F occurrences in those stations have similar patterns. However, the correlation between the two is not strong enough, with correlation coefficient of 0.58. This indicates that the occurrences of spread F are local. During solar minimum, spread F mostly occurred in June solstice and dominated by PM (post midnight) type. During maximum solar activity, PS (post sunset) is more dominant while the occurrence peaks near equinoxes (March-April and September-October). The IRI model generally overestimates in low latitude Indonesia. The relationship between the model and observational data is very weak, even anticorrelation is observed. Based on wavelet analysis, daily periodicity is observed, even though the periodicity does not apply for every month and year. It was also found period of 6 days and 12 days, which are associated to the modulation of planetary waves.

Keywords: *Ionosphere, IRI model, spread F*

ABSTRAK

Spread F adalah fenomena gangguan kerapatan elektron ionosfer yang merupakan komponen penting cuaca antariksa. Fenomena *spread F* di lintang rendah sering terjadi dan dikenal sebagai *equatorial spread F* (ESF) yang masih terus dikaji karena dapat menyebabkan pelemahan (*fading*) komunikasi radio frekuensi tinggi (*high frequency band*) dan *loss of lock* pada sinyal satelit navigasi. Tulisan ini membahas analisis kemunculan *spread F* di lintang rendah sektor Indonesia dan membandingkannya dengan model IRI (*International Reference Ionosphere*). Persentase kemunculan *spread F* periode 2007 hingga 2013 dari dua titik pengamatan, yaitu stasiun Agam (0,3° LS, 100,3° BT, lintang geomagnet 9,8°) dan Tanjungsari Sumedang (6,5° LS 107,6° BT, lintang geomagnet 16,0°), dihitung untuk mendapatkan informasi klimatologi kemunculan *spread F* di Indonesia. Hasil menunjukkan bahwa probabilitas kemunculan *spread F* di kedua stasiun memiliki pola yang hampir sama. Namun, korelasi kemunculan di dua tempat tersebut tidak cukup kuat, yakni dengan nilai koefisien korelasi adalah 0,58. Hal ini menunjukkan bahwa kemunculan *spread F* secara umum bersifat lokal. Saat aktivitas Matahari minimum, *spread F* umumnya terjadi pada titik balik (*solstice*) Juni, didominasi tipe PM (setelah tengah malam, *post midnight*). Saat aktivitas Matahari tinggi, tipe kemunculan PS (setelah sore, *post sunset*) lebih dominan sementara kemunculannya memuncak dekat ekuinoks (Maret-April dan September-Oktober). Model IRI secara umum memberikan hasil lebih tinggi (*overestimate*) di lintang rendah Indonesia. Tingkat hubungan antara model dengan data

pengamatan sangat lemah, bahkan cenderung menunjukkan antikorelasi. Dari analisis *wavelet*, diperoleh periodisitas harian, yaitu muncul pada malam hari, tetapi periode tersebut tidak terjadi setiap bulan dan tahun. Ditemukan juga periode 6 hari dan 12 hari, yang terkait dengan modulasi gelombang keplanetan (*planetary wave*).

Kata kunci: *Ionosfer, model IRI, spread F*

1 PENDAHULUAN

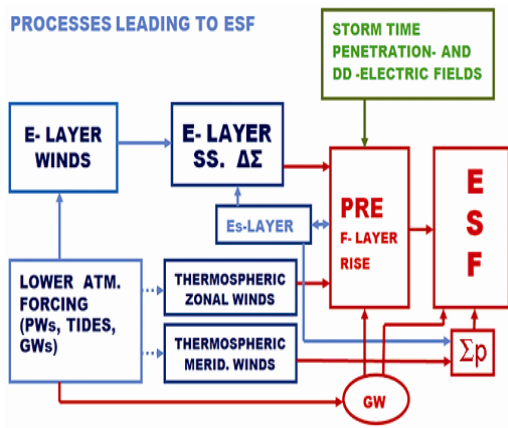
Fenomena *spread* di lintang rendah ekuator dikenal sebagai *Equatorial Spread F* (ESF). Kemunculannya ditandai dengan jejak (*trace echoes*) yang menyebar pada frekuensi (*frequency type*) dan menyebar pada ketinggian (*range type*) dari data ionogram dengan pengamatan menggunakan ionosonde. Kemunculan *spread F* dikaitkan dengan terjadinya ketidakstabilan plasma ionosfer, yaitu gelembung plasma. Gangguan yang ditimbulkan dapat terjadi pada skala waktu detik hingga jam atau pada skala sentimeter hingga kilometer. Ketidakstabilan plasma ionosfer ini telah dilaporkan dapat menyebabkan gangguan komunikasi radio HF (*High Frequency*, 3-30 MHz), menurunkan tingkat akurasi posisi navigasi berbasis satelit yang dikenali sebagai sintilasi ionosfer dan juga menyebabkan ayunan pada sinyal satelit telekomunikasi. Fenomena *spread*, sintilasi dan gelembung plasma merupakan fenomena dinamika perubahan plasma ionosfer yang saling berkaitan.

Lebih dari seperempat abad, teori yang masih dipakai dalam menjabarkan mekanisme gangguan ionosfer terkait kemunculan *spread F* adalah perubahan nonlinier ketidakstabilan Rayleigh-Taylor dikombinasikan dengan laju atau $E \times B$ *drift* (Basu dan Kelley, 1979; Kelley dan McClure, 1981; Ossakow, 1981; Uemoto *et al.*, 2010). Penelitian terkait ESF juga sudah dilaporkan oleh peneliti LAPAN, salah satunya adalah Muslim *et al.* (2001) yang melaporkan bahwa variasi kemunculan *spread F* bergantung pada variasi ketinggian lapisan dan kecepatan maksimum kena-

ikan lapisan F. Tarigan *et al.* (2009) juga melaporkan statistik kejadian *spread F* dalam rentang ketinggian lapisan F, yaitu 290 km hingga 371 km. Penelitian paling mutakhir dilakukan peneliti LAPAN, yaitu Abadi *et al.* (2015) dengan menggunakan data ionosonde Indonesia, dan menemukan bahwa ketinggian lapisan F dan laju $E \times B$ di ekuator magnetik setelah Matahari terbenam, yang disebut juga PRE (*pre-reversal enhancement*) dapat mengontrol laju penyebaran gelembung plasma.

Menurut Wernik *et al.* (2004), gangguan ionosfer di ekuator yang sering kali diikuti dengan kemunculan ESF, gelembung plasma, dan sintilasi ionosfer, secara umum dimulai setelah Matahari terbenam saat kecepatan *drift* ke atas, yaitu kenaikan lapisan F 15-20 m/detik (saat aktivitas Matahari minimum) dan 30-45 m/detik (saat aktivitas Matahari maksimum). Perubahan kerapatan elektron bagian bawah lapisan F dan ketidakstabilan Rayleigh-Taylor memicu terbentuk struktur *plume* dan gelembung plasma. Gelembung akan bergerak ke atas disebabkan gaya elektrodinamika $E \times B$ dan selanjutnya cenderung bergerak ke arah timur mengikuti gerak normal plasma.

Skema umum elektrodinamika kopling proses yang menjadi faktor penyebab terjadinya ESF setelah Matahari terbenam (*post sunset*, PS) ditunjukkan oleh Gambar 1-1 (Abdu, 2012). Gambar 1-1 menunjukkan bahwa fenomena yang paling dekat hubungannya dengan kemunculan ESF adalah fenomen PRE yang diikuti dengan kenaikan ketinggian lapisan F.



Gambar 1-1: Skema umum elektrodinamika kopling proses yang dapat membangkitkan kemunculan *spread F* (Abdu, 2012).

Fejer et al.. (1991, 1999), Abdu et al.. (1985), dan Abdu (2012) menyatakan bahwa variasi harian medan listrik zonal yang memicu PRE di kontrol oleh fluks ultra violet jauh, yang dapat diwakilkan dengan indeks F10,7. Sedangkan variasi jangka menengah dipengaruhi perubahan musim dan longitudinal yang dikontrol sudut deklinasi magnetik dan deklinasi Matahari (Maruyama dan Matura, 1984; Tsunoda, 1985).

Kemunculan ESF dapat diperkirakan dengan model ionosfer yang menjadi standar internasional, yakni model IRI (*International Reference Ionosphere*, <https://iri.gsfc.nasa.gov/>). Model IRI mulai dibangun pada tahun 2001 dan prediksi probabilitas kemunculan *spread F* menjadi salah satu luaran model versi tahun 2007 dan setelahnya. IRI 2007 dan versi 2016 mampu memprediksi probabilitas kemunculan *spread F* sebagai fungsi fluks radio Matahari F10,7 cm. Model prediksi probabilitas *spread F* pada model IRI ini adalah hasil

pengembangan berdasarkan data pengamatan di Brasil (Abdu et al., 2003). Prediksi probabilitas *spread F* dibuat dengan input lintang, waktu lokal, hari dalam tahun (*doy, day of year*) dan aktivitas Matahari (Bilitza dan Reinisch, 2008). Idealnya model IRI dapat diterapkan untuk memprediksi parameter ionosfer lokal seperti persentase kemunculan *spread F*.

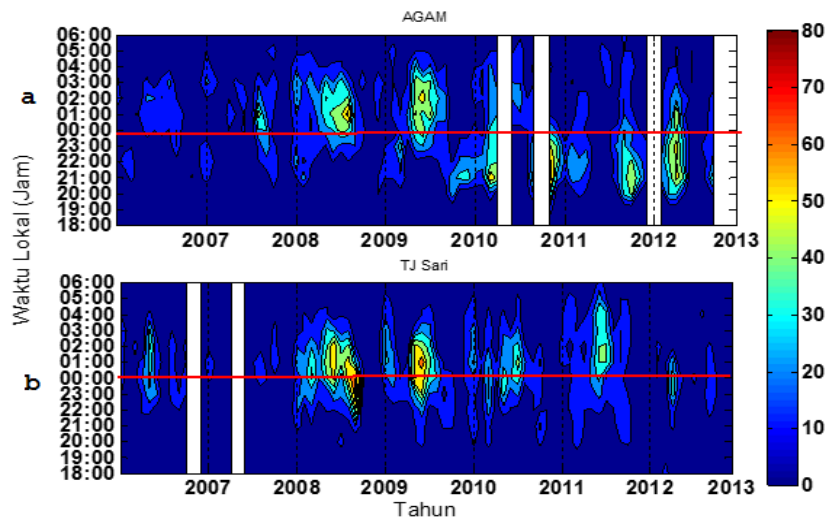
Untuk aplikasi regional Indonesia, model probabilitas *spread F* dari model IRI perlu diperiksa validitasnya menggunakan data *in-situ*. Makalah ini membahas kajian probalitas kemunculan *spread F* di lintang rendah Indonesia serta validasi model probabilitas kemunculan *spread F* dari model IRI dengan data hasil pengamatan *spread F* wilayah Indonesia. Tingkat akurasi model serta hasil validasi model dapat menjadi rujukan untuk prediksi kemunculan *spread F* serta menjadi tolak ukur dalam pengembangan model lokal probabilitas kemunculan *spread F* regional Indonesia.

2 METODOLOGI

Data yang digunakan untuk analisis probalitas kemunculan *spread F* dan untuk validasi model adalah data ionosonde stasiun Agam dan Tanjungsari, Sumedang. Tahun data pengamatan dan posisi lintang geografis dan lintang geomagnet ditunjukkan pada Tabel 2-1. Data model IRI disesuaikan dengan lokasi dan waktu pengamatan dengan masukan model berupa data fluks radio Matahari F10,7 yang diambil di laman <https://celestrak.com/SpaceData/SpaceWx-format.asp>.

Tabel 2-1: LOKASI DAN RENTANG WAKTU DATA IONOSONDE YANG DIGUNAKAN.

Stasiun Ionosonde	Lintang Geografis [°]	Bujur Geografis [°]	Lintang Geomagnet [°]	Tahun Data Pengamatan
Tanjungsari	-6,5	107,6	16,0	2007-2013
Agam	-0,3	100,4	9,8	2007-2013



Gambar 3-1: Pola kemunculan *spread F* dari pengamatan di stasiun Agam (a) dan Tanjungsari (b).

Untuk menghitung persentase probabilitas kemunculan *spread F* (ESF) dari ionosonde, maka jumlah ESF dibagi jumlah data (N), ditulis sebagai persamaan (2-1).

$$\%ESF = \frac{ESF \text{ yang muncul}}{N \text{ data}} \times 100 \quad (2-1)$$

Kemudian analisis *wavelet* dilakukan untuk melihat periode dominan dari kemunculan *spread F*. Data runtun waktu persentase kemunculan *spread* dianggap sebagai sinyal fungsi waktu $y(t)$, *wavelet* mentransformasi dekomposisi sinyal tersebut ke dalam beberapa fungsi dasar $\psi_{ab}(t)$ dengan translasi dan dilatasi *wavelet* ibu (*mother wavelet*), yaitu:

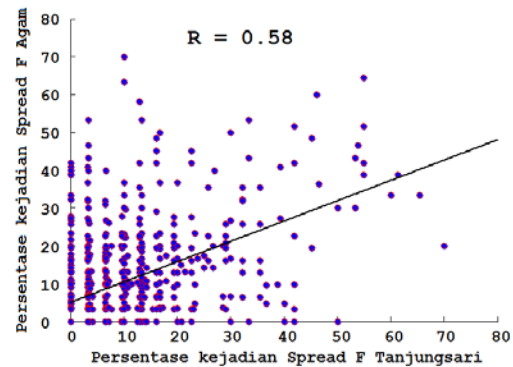
$$\varphi_{ab} = \frac{1}{(a)^{1/2}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2-2)$$

dengan b adalah translasi dan $a > 0$ adalah dilatasi dari *wavelet* (Lau dan Weng, 1995). *Mother wavelet* yang dipilih dalam analisis adalah *morlet*, dengan mengaktifkan fungsi toolbox yang telah disediakan oleh Matlab.

3 HASIL PEMBAHASAN

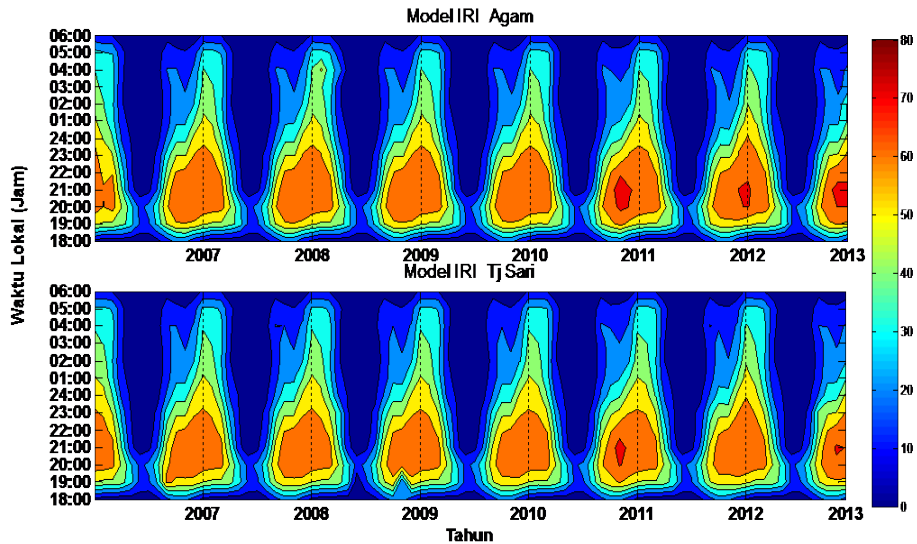
Gambar 3-1 menunjukkan persentase kejadian *spread F* yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-1 dibuat dalam bentuk grafik dengan sumbu mendatar tahun pengamatan dan sumbu tegak waktu

kejadian *spread F* (dari pukul 18.00 hingga 06.00 waktu lokal). Dari gambar tersebut dapat dilihat pola kemunculan variasi bulanan yang hampir sama antara stasiun Tanjungsari dan Agam.

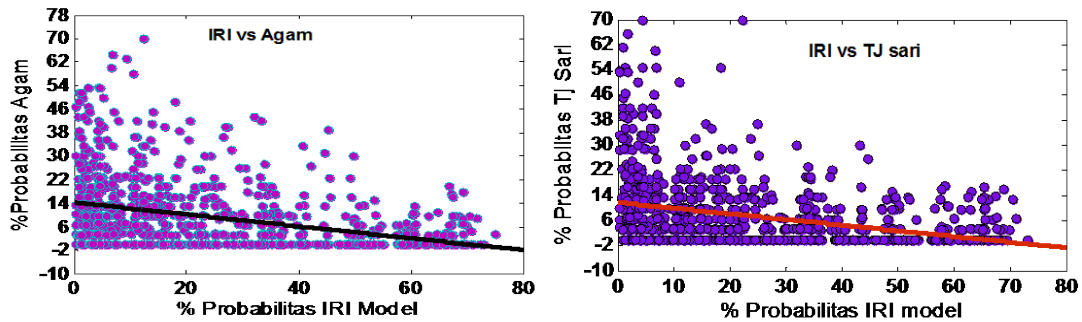


Gambar 3-2: Hubungan antara kemunculan *spread F* di stasiun Agam dengan stasiun Tanjungsari (Sumedang).

Meskipun demikian, ketika dilakukan analisis korelasi diperoleh nilai koefisien korelasi (R) kejadian *spread F* antara kedua stasiun bernilai 0,58 seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2. Artinya, ada faktor lokal yang mempengaruhi kemunculan *spread F* selain faktor regional dan global. Faktor lokal boleh jadi disebabkan dinamika atmosfer bawah seperti gelombang gravitas seperti yang dilaporkan oleh Muslim *et al.* (2001), atau gelombang pasang surut (*tide*) dan gelombang keplanetan sebagaimana proses elektrodinamika yang diusulkan oleh Abdu (2012).



Gambar 3-3: Persentase kemunculan *spread F* model IRI untuk stasiun Agam dan Tanjungsari.



Gambar 3-4: Korelasi kemunculan *spread F* model IRI terhadap data pengamatan Agam (kiri) dan Tanjungsari (kanan).

Garis merah pada Gambar 3-1 memisahkan kemunculan *spread F* setelah Matahari terbenam (PS) dan setelah tengah malam (PM). Dari pengamatan Agam, secara umum jumlah kemunculan *spread F* PS lebih tinggi terutama pada saat aktivitas Matahari maksimum (tahun 2010-2013). Sedangkan pada saat aktivitas Matahari rendah (tahun 2007-2009) jumlah PM lebih tinggi. Untuk pengamatan dari Tanjungsari, jumlah PM lebih tinggi baik saat aktivitas Matahari rendah maupun saat Matahari tinggi. Dan yang menarik bahwa kemunculan PS tersebut terlihat lebih cenderung mendekati PM, yaitu sekitar pukul 22.00 waktu lokal. Perbedaan ini boleh jadi disebabkan oleh letak Tanjungsari yang tepat berada pada puncak anomali ionosfer.

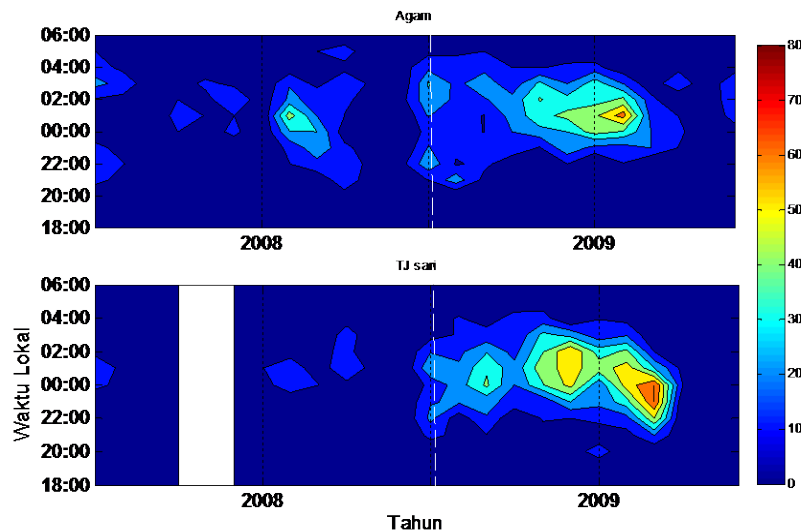
Probabilitas *spread F* berdasarkan model IRI diperoleh dengan

proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil keluaran model IRI ditunjukkan pada Gambar 3-3. Gambar ini menunjukkan pola kemunculan *spread F* di stasiun Agam dan Tanjungsari dari 2007 hingga 2013 sangat mirip dengan kemunculan tertinggi setelah Matahari terbenam (PS). Kemunculan setelah tengah malam (PM) tidak signifikan ditunjukkan oleh model IRI.

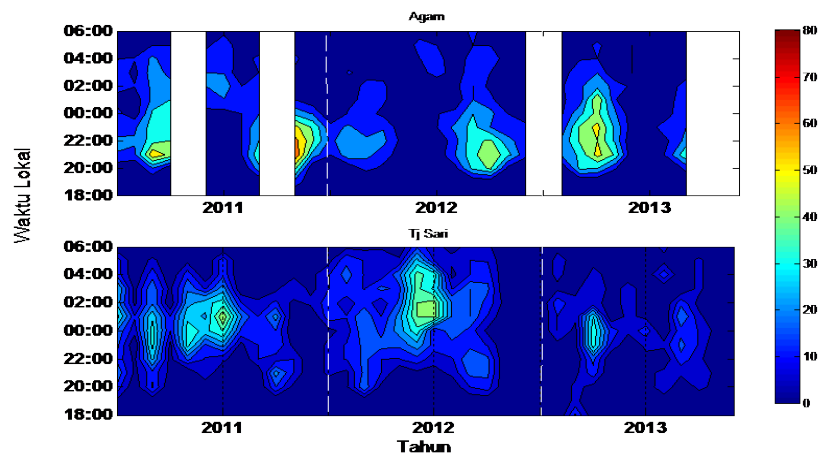
Jika dibandingkan dengan data pengamatan, pola kemunculan *spread F* model IRI sangat berbeda dengan hasil pengamatan. Pada model IRI, kemunculan *spread F* didominasi setelah Matahari terbenam (PS), yaitu mulai pukul 18.00 dengan maksimum di sekitar pukul 21.00. Kemunculan *spread F* setelah tengah malam (PM) pada model IRI kurang dari 30%, sedangkan dari data pengamatan di Agam dan Tanjungsari Sumedang,

kemunculan setelah tengah malam di atas 50% terutama saat aktivitas Matahari rendah. Perbandingan kemunculan *spread F* berdasarkan model IRI terhadap data pengamatan menunjukkan antikorelasi dengan koefisien korelasi $R = -0,36$ untuk stasiun Agam (Gambar 3-4a) dan $R = -0,30$ untuk stasiun Sumedang (Gambar 3-4b). Hal ini disebabkan oleh pola kemunculan *spread F* yang jauh berbeda antara model dan hasil pengamatan. Pola kemunculan *spread F* dari model IRI sangat teratur dimulai dari pukul 18.00 dan meningkat pada sekitar pukul 20.00 hingga tengah malam dan setelah itu menurun. Pola tersebut terlihat baik pada saat

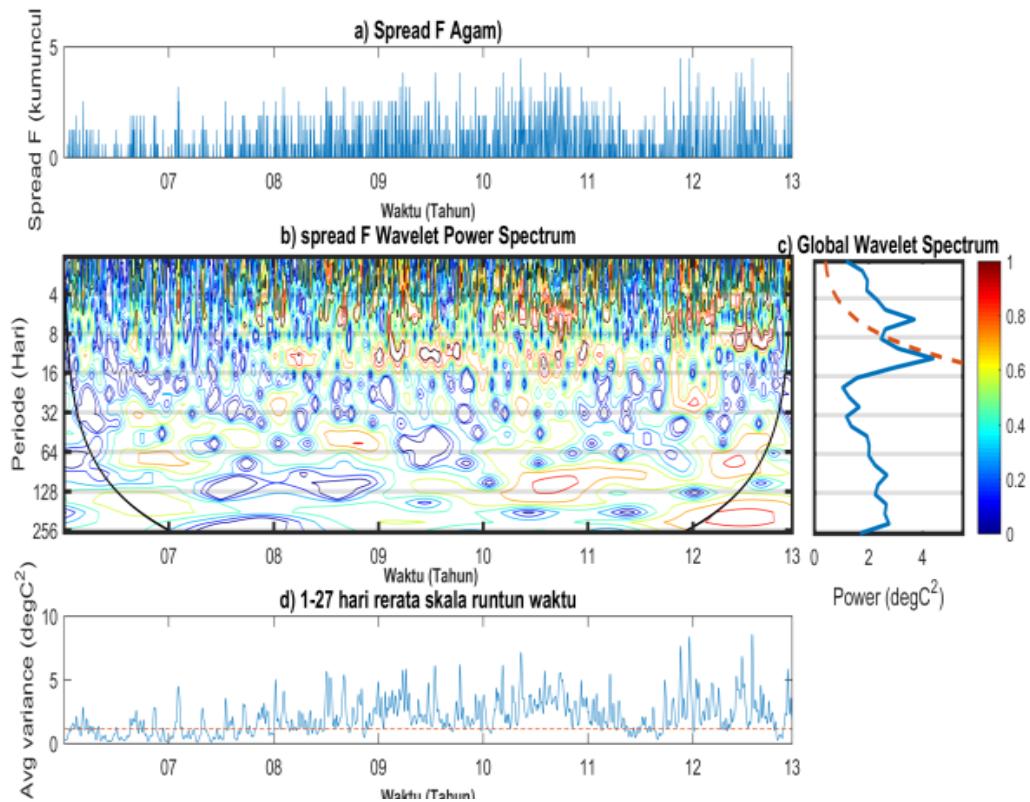
aktivitas Matahari tinggi maupun rendah. Perbedaan tinggi rendah aktivitas Matahari hanya terlihat pada persentase kemunculan yang lebih tinggi pada pukul 20.00. Pola kemunculan *spread F* setelah tengah malam dari model IRI tidak signifikan terlihat. Sebaliknya, hasil pengamatan menunjukkan pola yang tidak teratur. Kemunculan *spread F* dimulai sekitar pukul 20.00. Pada saat aktivitas Matahari tinggi, *spread F* lebih sering muncul setelah Matahari terbenam sementara saat aktivitas Matahari rendah, muncul setelah tengah malam. Kemunculan *spread F* setelah tengah malam lebih dominan saat aktivitas Matahari rendah.



Gambar 3-5: Persentase kemunculan *spread F* di Agam (atas) dan Tanjungsari (bawah) saat aktivitas Matahari minimum.



Gambar 3-6: Persentase kemunculan *spread F* di Agam (atas) dan Tanjungsari (bawah) saat aktivitas Matahari maksimum.



Gambar 3-7: Analisis *wavelet* terhadap data runtun waktu kemunculan *spread F* di Agam (a). Panel (b) dan (c) menunjukkan kuat dan spektrum periodisitas *spread F* sementara panel (d) menunjukkan rata-rata nilai variansi dari data yang dianalisis.

Aktivitas Matahari secara umum mempengaruhi pola kemunculan *spread F*. Gambar 3-5 menunjukkan pola kemunculan *spread F* yang berbeda saat aktivitas Matahari rendah yang diwakili oleh data tahun 2008-2009 dan saat aktivitas Matahari tinggi tahun 2011 hingga 2013 yang ditunjukkan pada Gambar 3-6. Pada saat aktivitas Matahari rendah (Gambar 3-5) kemunculan *spread F* didominasi PM yang terjadi pada sekitar bulan Juli-Agustus, dikenal sebagai *solstice* Juni. Pola *solstice* Juni juga dilaporkan oleh Naranjan *et al.* (2003) dan Tsunoda (2010). Dapat dilihat juga bahwa pada saat aktivitas Matahari minimum, pola musim ekuinoks (Maret-April dan September-Oktober) tidak terlihat, baik pada stasiun Agam maupun pada stasiun Tanjungsari. Sedangkan pada saat aktivitas Matahari tinggi (Gambar 3-6) yang diwakili oleh data tahun 2011-2013, pola dua puncak ekuinoks jelas terlihat, terutama di stasiun Agam dan

tahun 2013 di stasiun Tanjungsari Sumedang.

Pada Gambar 3-6, terdapat pola dua puncak ekuinoks kemunculan *spread F* di stasiun Agam yang didominasi oleh tipe PS. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan *drift* ke atas $E \times B$ yang lebih tinggi pada saat aktivitas Matahari maksimum diikuti dengan kemunculan *spread F* tipe PS yang lebih sering seperti teori yang diungkap oleh Wernik *et al.* (2004) yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Namun demikian, Abdu *et al.* (1992) melaporkan bahwa aspek deklinasi magnetik dan efek longitudinal (Maruyama dan Matura 1984) juga mempengaruhi kemunculan *spread F*. Hal ini menjelaskan perbedaan pola kemunculan *spread F* di Tanjungsari.

Sementara itu, kemunculan *spread F* tipe PM yang dominan terjadi pada saat aktivitas Matahari minimum terkait dengan MTM (*midnight temperature maximum*) yang tinggi pada

solstice Juni (Herraro *et al.*, 2003). MTM ini dipahami lebih dominan pada tengah malam waktu lokal dengan mekanisme terkait intensitas dan pergerakan angin netral yang dapat membangkitkan kemunculan *spread F*.

Untuk identifikasi periode dominan maka dilakukan analisis *wavelet* menggunakan *morlet* (Persamaan 2-2). Data yang digunakan dalam analisis *wavelet* adalah jumlah kejadian *spread F* dalam satu hari yang diruntun selama 7 tahun pengamatan, yaitu dari tahun 2007 hingga 2013.

Gambar 3-7a adalah data runtun waktu kejadian *spread F* stasiun Agam. Rerata skala 27 hari dihitung untuk menghilangkan efek saturasi (Gambar 3-7d).

Analisis *morlet wavelet power spectrum* mengadopsi metode Torrence dan Compo (1998) ditunjukkan pada Gambar 3-7b dengan sumbu tegak periode hari dan sumbu mendatar waktu (tahun). Dari gambar tersebut, periode dominan tidak teridentifikasi secara jelas. Bahkan pada saat Matahari minimum (2007-2009), periode dominan tidak muncul. Namun demikian, berdasarkan *global wavelet spectrum* pada gambar 3-7c, terdapat indikasi periode dominan sekitar 6 hari dan 12 hari. Periode 12 hari mendekati batas signifikansi dan periode yang lebih besar lagi berada di bawah batas signifikan. Garis putus-putus menunjukkan tingkat signifikan 95%. Pada Gambar 3-7d tampak bahwa variansi tertinggi terjadi mulai tahun 2009 hingga 2013 saat aktivitas Matahari mulai meningkat.

Periode sekitar 12 hari kemunculan *spread F* juga ditemukan juga oleh Bertoni *et al.* (2011) dari pengamatan *spread F* lintang rendah sektor Brasil, diidentifikasi sebagai manifestasi gelombang keplanetan. Selain itu, periode sekitar 6 hari juga muncul, tetapi umumnya muncul saat aktivitas Matahari tinggi, yaitu tahun 2011 hingga 2013. Periode ini juga

masih terkait dengan modulasi gelombang keplanetan seperti yang juga dilaporkan oleh Muslim *et al.* (2001).

4 KESIMPULAN

Pola kemunculan *spread F* di Agam dan di Tanjungsari hampir sama, namun demikian tingkat hubungan antara kemunculan di dua tempat tersebut tidak cukup kuat dengan nilai koefisien korelasi adalah 0,58. Artinya bahwa kemunculan *spread F* di lintang rendah Indonesia secara umum bersifat lokal yang dipengaruhi efek longitudinal. Pola kemunculan saat aktivitas Matahari minum umumnya pada solstis Juni, dengan kemunculan terbanyak adalah tipe PM (setelah tengah malam). Sedangkan pada saat Matahari tinggi, tipe kemunculan PS (setelah Matahari terbenam) lebih dominan dengan pola ekuinoks dua puncak (Maret-April dan September-Oktober). Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan *drift* $E \times B$ lebih tinggi dibanding saat aktivitas Matahari rendah. Model IRI untuk probabilitas kemunculan *spread F* secara umum lebih tinggi (*overestimate*) di lintang rendah Indonesia. Tingkat hubungan antara model dengan data pengamatan tidak searah (koefisien bernilai negatif). Variasi kemunculan *spread F* model IRI didominasi kemunculan PS dan menunjukkan pola yang teratur serta kurang dapat menunjukkan pola PM. Sementara itu, hasil pengamatan menunjukkan pola kemunculan PM yang lebih sering, pada *solstice* Juni terutama saat aktivitas Matahari minimum. Dari identifikasi periode dominan menggunakan analisis *wavelet*, diperoleh periode 6 hari dan 12 hari, yang terkait dengan modulasi gelombang keplanetan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pengamatan Antariksa dan Atmosfer (BPAA) LAPAN Agam dan Tanjungsari Sumedang untuk data ionosonde serta *scaling team* data

ionogram Pusat Sains Antariksa yang telah menyediakan data hasil *scaling* ionogram serta parameter *spread F*. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Buldan Muslim atas masukan dan diskusi pada penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abadi, P., Y. Otsuka, dan T. Tsugawa, 2005. *Effects of Pre-reversal Enhancement of $E \times B$ Drift on the Latitudinal Extension of Plasma Bubble in Southeast Asia*. Journal of Earth, Planets and Space, 67, 74.
- Abdu, M.A., J.H.A. Sobral, O.R. Nelson, dan I.S. Batista, 1985. *Solar Cycle Related Range Type Spread F Occurrence Characteristics over Equatorial and Low Latitude Stations in Brazil*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 47, 901.
- Abdu, M.A., I.S. Batista, dan J.H.A. Sobral, 1992. *A New Aspect of Magnetic Declination Control of Equatorial Spread F and F Region Dynamo*. Journal of Geophysical Research, 97, 14897.
- Abdu, M.A., J. Souza, I.S. Batista, dan J.H.A. Sobral, 2003. *Equatorial Spread-F Statistics and Empirical Representation for IRI: A Regional Model for the Brazilian Longitude Sector*. Advances in Space Research, 31, 703.
- Abdu, M.A. 2012. *Equatorial Spread F Development And Quiet Time Variability under Solar Minimum Conditions*. Indian Journal of Radio and Space Physics, 41, 168.
- Basu, S., dan M.C. Kelley, 1979. *A Review of Recent Observations of Equatorial Scintillations and Their Relationship to Current Theories of F Region Irregularity Generation*, Radio Sci 14, 471-478.
- Bertoni, F.C.P., Y. Sahai, J.P. Raulin, P.R. Fagundes, V.G. Pillat, C.G. Gimenez de Castro, W.L.C. Lima., 2011. *Equatorial Spread-F Occurrence Observed at Two Near Equatorial Stations in the Brazilian Sector and its Occurrence Modulated by Planetary Waves*, J. Atmospheric Sol.-Terr. Phys 73(4):457-463, DOI:10.1016 /j. jastp. 2010.10.017.
- Bilitza, D., dan B.W. Reinisch, 2008. *International Reference Ionosphere 2007: Improvements and New Parameters*, Adv Space Res, 42, 599 – 609, doi:10.1016/ j.asr.2007.07.048.
- Fejer, B.G., E.R. De Paula, S.A. Gonzalez, dan R.F. Woodman, 1991. *Average Vertical and Zonal F-Region Plasma Drifts over Jicamarca*, J. Geophys. Res., 96,13901.
- Fejer, B.G., I. Scherliess, dan E.R. De Paula, 1999. *Effects of the Vertical Plasma Drift Velocity on the Generation and Evolution of Equatorial Spread F*, J. Geophys. Res, 104 19, 854.
- Herraro, F.A., N.W. Spencer, dan H.G. Mayr, 2003. *Thermospheric and F-Region Plasma Dynamics in the Equatorial Region*, Adv. Space Res13, 201–220.
- Kelley, M.C., dan J.P. McClure, 1981. *Equatorial Spread-F: A Review of Recent Experimental Result*, J. Atmospheric Sol.-Terr. Phys, 43 427-435.
- Lau, K.M, dan H.Y. Weng, 1995. *Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 76, 2391–2402 .
- Maruyama, T., dan N. Matura, 1984. *Longitudinal Variability of Annual Changes in Activity of Equatorial Spread F and Plasma Bubbles*, J. Geophys. Res, 89 (a12) 10,903.
- Muslim, B., S. Saroso dan The Houw Liong, 2001. *Variabilitas Harian Equatorial Spread F di Atas Biak (01° LS, 135° BT)*, Journal Kontribusi Fisika Indonesia. Vol. 12, No.3, 81-87.
- Ossakow, S.L., 1981. *Spread F Theories - a Review*, J. Atmospheric Sol.-Terr. Phys, 43, 4317-452.
- Tarigan, M., dan B. Muslim, 2009. *Variasi Ketinggian Lapisan F Ionosfer pada Saat Kejadian Spread F*, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 16 Mei 2009.
- Torrence, C., dan G.P. Compo, 1998. *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79(1), 61-78.

- Tsunoda, R.T., 1985. *Control of the Seasonal and Longitudinal Occurrence of Equatorial Scintillations by the Longitudinal Gradient in Integrated E Region Pedersen Conductivity*, J. Geophys. Res., 90, doi: 10.1029/ja090ia01p00447.
- Tsunoda, R.T., 2010. *On Seeding Equatorial Spread F During Solstices*, Geophys. Res. Lett., 37, L05102, doi:10.1029/2010GL042576.
- Uemoto, J., T. Maruyama, S. Saito, M. Ishii, and R. Yushimura, 2010. *Relationship between Presunset Electrojet Strength, PRE and ESF Onset*, Ann. Geophys., 28, 449–454.
- Wernik, A.W., L. Alfonsi dan M. Materassi, 2004. *Ionospheric Irregularities, Scintillation and Its Effect on Systems*, Acta Geophysica Polonica, 52 (2), 237-249.