

ANALISIS DISTRIBUSI SPASIAL DAN TEMPORAL SINTILASI IONOSFER KUAT DI ATAS INDONESIA SELAMA EKUINOKS 2013 [ANALYSIS OF SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF STRONG IONOSPHERIC SCINTILLATION OVER INDONESIA DURING EQUINOX 2013]

Asnawi¹, Prayitno Abadi, Sri Ekawati, dan Dessi Marlia

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia

¹e-mail: asnawi@lapan.go.id

Diterima 30 Januari 2015; Direvisi 13 Februari 2015; Disetujui 10 Maret 2015

ABSTRACT

Ionospheric irregularities in the equatorial region have specific characteristics which are associated with plasma bubbles and *Equatorial Spread F* (ESF) phenomena. These phenomena occur due to plasma instabilities and the electron density gradient during post-sunset that triggered the ionospheric scintillation event. Information about the ionospheric scintillation spatial and temporal are required to mitigate the effect on telecommunication and navigation systems. To analysis the spatial and temporal occurrences of ionospheric scintillation over Indonesian it conducted by mapping using the nearest neighbour interpolation technique. Amplitude scintillation index (S4) data during the period of 2013 at five sites, namely Kototabang, Bandung, Pontianak, Manado dan Kupang are used in this paper. The results show that the evolution of ionospheric scintillation occurrences is spatially moving westward. The westward movement is due to the westward moving of sunset terminator. Temporally, ionospheric scintillation occurrences more frequently in the afternoon until midnight, especially in the equinox month, that is March-April and September-October.

Keyword: *Ionosphere, Scintillation, Nearest neighbor interpolation*

ABSTRAK

Ketidakteraturan ionosfer daerah ekuator magnetik mempunyai kecenderungan karakteristik yang khas terkait fenomena gelembung plasma dan *Equatorial spread F* (ESF). Fenomena tersebut terjadi akibat ketidakstabilan plasma setelah matahari terbenam sehingga terjadi gradien kerapatan elektron yang memicu munculnya sintilasi ionosfer. Informasi gangguan sintilasi temporal dan spasial diperlukan untuk mitigasi dampaknya terhadap sistem telekomunikasi dan navigasi. Untuk analisis spasial dan temporal kemunculan sintilasi ionosfer wilayah Indonesia dilakukan pemetaan dengan teknik interpolasi tetangga terdekat (*nearest neighbour*). Data indeks amplitudo sintilasi ionosfer (S4) yang digunakan diperoleh dari lima stasiun pengamatan yaitu Kototabang, Bandung, Pontianak, Manado, dan Kupang untuk periode 2013. Hasil pemetaan sintilasi ionosfer menunjukkan evolusi kemunculan sintilasi secara spasial yang hampir merata di seluruh wilayah dan terindikasi bergerak ke arah barat. Indikasi pergerakan kemunculan ini disebabkan pergerakan batas waktu terbenam matahari yang bergerak ke arah barat. Secara temporal, diperoleh data kemunculan yang lebih sering pada sore hari hingga tengah malam terutama pada bulan ekuinoks yaitu Maret-April dan September-Oktober.

Kata kunci: *Ionosfer, Sintilasi, Interpolasi Tetangga terdekat*

1 PENDAHULUAN

Perubahan arus di ionosfer dan fenomena gangguannya dapat menyebabkan masalah serius pada aplikasi gelombang radio seperti radio komunikasi, sistem navigasi, dan posisi berbasis satelit. Dengan demikian penelitian gangguan ionosfer menjadi obyek yang penting dalam kontribusi riset cuaca antariksa. Sinyal radio dari satelit saat melewati ionosfer yang terganggu akan menyebabkan perubahan pada putaran *Faraday* sinyal dan dalam kondisi tertentu sinyal akan mengalami fluktuasi secara cepat baik pada amplitudo maupun fasa sinyal yang diterima oleh penerima satelit sebagai akibat dari ketidakaturan kerapatan elektron medium ionosfer. Fluktuasi ini dikenal sebagai sintilasi ionosfer.

Gangguan sinyal satelit akibat kemunculan sintilasi ionosfer ini telah dilaporkan antara lain dapat menyebabkan *fading* pada *power* sinyal, *cycle slip*, *loss of lock* yaitu penerima satelit kesulitan melakukan penguncian sinyal. Kajian tentang fenomena gangguan sintilasi ionosfer telah dilakukan dengan *band* frekuensi mulai dari VHF, UHF, *L-band*, hingga *K-band*, bahkan gangguan sintilasi ionosfer dapat terjadi pada sinyal satelit mulai dari frekuensi 4 GHz hingga 6 GHz seperti pernah dilaporkan oleh Craft dan Westerlund (1972) dan oleh Taur (1973).

Dua daerah dengan kemunculan sintilasi ionosfer yang paling tinggi adalah daerah kutub dan ekuator geomagnet. Di ekuator geomagnet, secara umum kejadian sintilasi ini terkait dengan fenomena gelembung plasma (*Equatorial Plasma Bubble*, *EPB*) dan ekuatorial *spread F* (ESF). Fenomena kemunculan gelembung plasma dan sintilasi di daerah ekuatorial ini khas terjadi pada malam hari dan kemunculannya dapat bertahan sampai beberapa jam hingga tengah malam. Woodman (1970) melaporkan bahwa perubahan ketinggian lapisan ionosfer di lintang rendah saat setelah matahari terbenam dapat memicu munculnya kedua fenomena tersebut. Mekanismenya adalah pergerakan arus ionosfer di lintang rendah yang didominasi oleh medan listrik *dynamo*, dikendalikan oleh angin netral. Pergerakan tersebut pada umumnya ke arah atas pada siang hari dan ke arah bawah pada malam hari terkait dengan *ExB*.

Dalam periode yang pendek yaitu beberapa jam setelah matahari terbenam, medan listrik yang bergerak ke arah timur mengalami peningkatan sehingga terjadi perubahan ketinggian lapisan ionosfer secara cepat. Kejadian ini disebut sebagai peningkatan *pre-reversal* (PRE). Selanjutnya lapisan E ionosfer menghilang sehingga terjadi gradien positif kerapatan plasma dengan tajam dalam arah vertikal dan kerapatan bagian bawah lapisan F juga berkurang. Pada saat yang sama terjadi pengurangan konduktivitas *Pederssen* yang terintegrasi sepanjang garis medan magnet. Hal ini akan memicu ketidakstabilan *Rayleigh-Taylor*. Apabila ketidakstabilan ini terus berlanjut maka bagian bawah lapisan F ionosfer yang telah berkurang kerapatannya akan bergerak ke atas ke bagian yang lebih rapat. Kondisi ini akan memicu kemunculan gelembung plasma (Woodman and LaHoz, 1976). Dalam kondisi tersebut, pemicu *plasma bubble* antara lain adalah adanya gelombang gravitasi di bagian bawah lapisan F ionosfer yang menyebabkan osilasi kerapatan elektron ionosfer. Pada saat kerapatan ionosfer berkurang maka seperti ada gelembung yang terangkat ke atas karena lapisan ionosfer di atasnya lebih rapat. Gas yang lebih rapat cenderung berada di bawah dan yang lebih renggang cenderung di bagian atas.

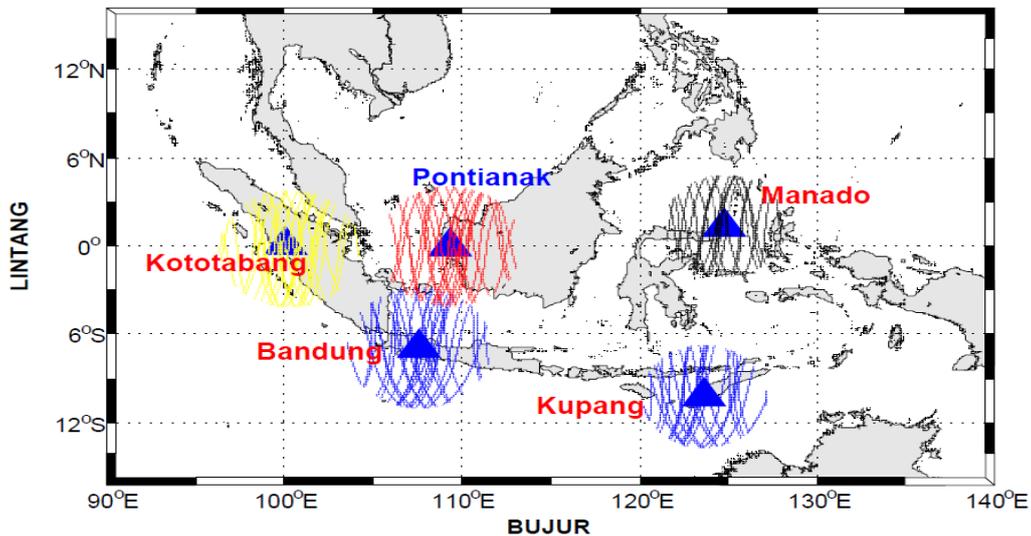
Teori yang dikemukakan Woodman (1970) dan Woodman dan LaHoz (1976) lebih dari empat dekade lalu sampai saat ini masih menjadi acuan dengan menggunakan teknik pengamatan berbeda antara lain dengan radar VHF dan *All Sky Imager* (ASI) seperti dilaporkan oleh Weber *et al.*, 1980; DasGupta *et al.*, 1981; Taylor *et al.*, 1997; Mukherjee *et al.*, 1998; dan Sinha *et al.*, 2001. Terbaru laporan dari Sharma *et al.*, 2013 dengan teknik *airglow* diperoleh informasi variasi harian, musim bulanan dan aktivitas

matahari untuk lintang rendah sektor India. Selain itu teknik pengukuran kandungan elektron dan sintilasi ionosfer menggunakan GPS diperoleh informasi variasi longitudinal kemunculan gelembung plasma dan pergerakan vertikalnya di lapisan ionosfer daerah F juga telah banyak dilaporkan diantaranya oleh Dashora *et al.*, 2012; dan Li *et al.*, 2008, 2012.

Saat terjadi gelembung plasma akan terjadi gradien kerapatan elektron yang cukup tajam di ionosfer sehingga menyebabkan ketidakteraturan ionosfer dari skala kecil hingga menengah yang diikuti penurunan kerapatan elektron. Ketidakteraturan dan fluktuasi di lapisan ionosfer ini akan menyebabkan sintilasi pada sinyal satelit yang melewatinya. Makalah ini membahas teknik pemetaan kemunculan sintilasi ionosfer kuat pada bulan ekuinoks Maret-April dan September-Oktober 2013 dari pengamatan di Indonesia. Dari pemetaan tersebut dilakukan analisis untuk mendapatkan informasi distribusi gangguan sintilasi ionosfer regional Indonesia.

2 DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam analisis adalah indeks amplitudo sintilasi (S_4) dengan resolusi 60 detik pada periode 2013 dengan mengambil musim yang kemunculan sintilasi kuat terjadi yaitu ekuinoks Maret-April dan September-Oktober. Pada bulan-bulan tersebut dilaporkan terjadi sintilasi kuat (Asnawi, 2013). Data diamati dari *GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM) stasiun pengamat ionosfer di Indonesia. Proses mendapatkan data siap analisis dari GISTM dijelaskan Asnawi dan Jiyo (2013). Gambar 2-1 adalah letak geografis dari stasiun pemantau ionosfer tempat penerima GISTM berada dan garis berwarna pada masing-masing stasiun adalah lintasan *Ionospheric Pierce Position* (IPP) satelit selama satu hari pengamatan dengan elevasi di atas 40° . Koordinat geografis dan geomagnet stasiun GPS ditunjukkan pada Tabel 2-1.



Gambar 2-1: Letak GISTM di Indonesia dan garis lintasan IPP satelit selama 24 jam pengamatan dengan elevasi di atas 40°

Tabel 2-1: LINTANG DAN BUJUR GEOGRAFI DAN GEOMAGNET STASIUN GISTM INDONESIA

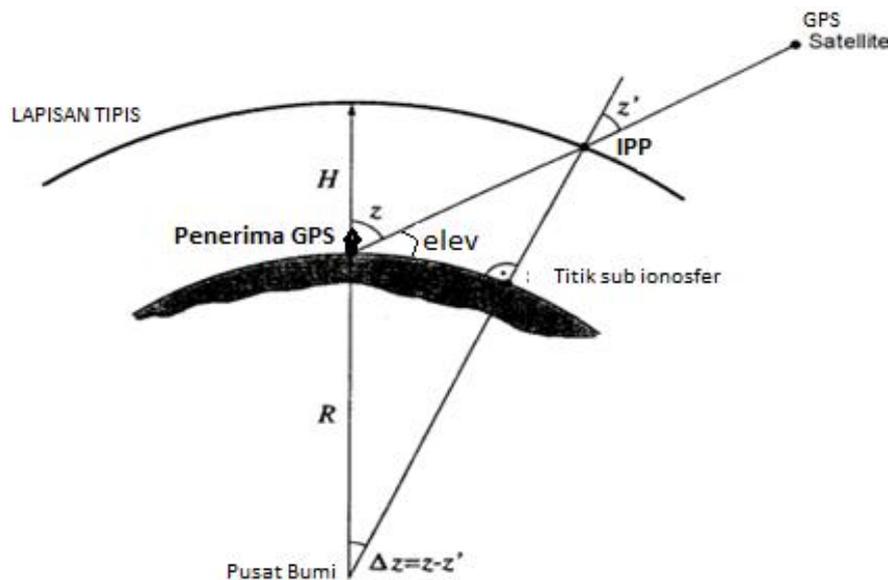
No.	Nama Stasiun	Kode Stasiun	Geografi	
			Lintang	Bujur
1	Kototabang	KTTB	0,12	100,12
2	Bandung	BDNG	-6,93	107,6
3	Pontianak	PTAK	-0,03	109,33
4	Manado	MNDO	1,34	124,82
5	Kupang	KPNG	-10,16	123,66

Data pada satu stasiun pengamatan ditinjau berdasarkan titik-titik ionosfer IPP, yang ditentukan dari model lapisan tunggal ionosfer (Schear, 1999) seperti ditunjukkan pada Gambar 2-2. IPP adalah titik silang antara sinyal satelit dengan lapisan ionosfer yang dianggap sebagai lapisan tipis di ketinggian sekitar 350 km dari permukaan bumi. Data yang digunakan dalam analisis adalah dengan batas sudut elevasi di atas 40°, karena pada sudut elevasi yang lebih rendah dari batas tersebut gangguan dapat disebabkan oleh faktor lain yang bukan merupakan gangguan sintilasi ionosfer.

Dari Gambar 2-2, dapat dilihat bahwa gangguan sintilasi ionosfer (S_4) pada sinyal satelit akan diterima oleh penerima GPS di bumi pada posisi miring, yaitu berada di titik sub-ionosfer. Menurut Beniguel *et al.*, (2009) untuk membuat peta sintilasi ionosfer, diperlukan suatu nilai S_4 yang ekuivalen terhadap posisi vertikalnya. Selain itu proyeksi nilai S_4 terhadap vetikal dapat menghilangkan efek geometri akibat perubahan sudut elevasi dari gerakan satelit. Spogli *et al.*, (2009) menerapkan suatu formula (2-1) untuk mendapatkan nilai S_4 vertikal. Formula tersebut bergantung pada nilai indeks spektral (p) dari spektrum fase sintilasi. Nilai p untuk daerah lintang rendah antara 2,6 hingga 2,8 (Beniguel *et al.*, 2009). Menurut Spogli *et al.*, (2009) nilai p tersebut berkorespondensi dengan nilai $b = 0,9$.

$$S_4(\alpha_{\text{elev}} = 90^\circ) = S_4(\alpha_{\text{elev}}) \sin^{0.9}(\alpha_{\text{elev}}) \quad (2-1)$$

dengan α_{elev} adalah sudut elevasi, dan $S_4(\alpha_{\text{elev}})$ adalah indeks S_4 yang terukur di penerima GPS pada sudut elevasi tertentu dari satelit ke penerima. Perubahan nilai S_4 setelah diterapkan formula tersebut tidak signifikan karena data yang digunakan dalam penelitian ini mengambail elevasi di atas 40°.



Gambar 2-2: Model Ionosfer Lapisan tunggal

Analisis spasial bertujuan melihat distribusi perubahan gangguan sintilasi ionosfer di wilayah Indonesia dari data indeks S_4 yang diperoleh di lima lokasi seperti ditunjukkan dalam Tabel 2-1. Untuk mendapatkan distribusi spasial perubahan gangguan sintilasi maka teknik yang digunakan adalah dengan interpolasi teknik tetangga terdekat (*nearest neighbour*). Teknik interpolasi tetangga terdekat menggunakan metode *Delaunay triangulation* yang merupakan varian sederhana dari metode interpolasi multivariat berdimensi satu atau lebih (Franke 1982). Menurut Dumitru *et al.* (2013), metode tetangga terdekat didasarkan pada perbandingan distribusi jarak antara suatu titik terhadap titik tetangga terdekat dari satu set data acak, dengan persamaan matematis ditulis sebagai berikut:

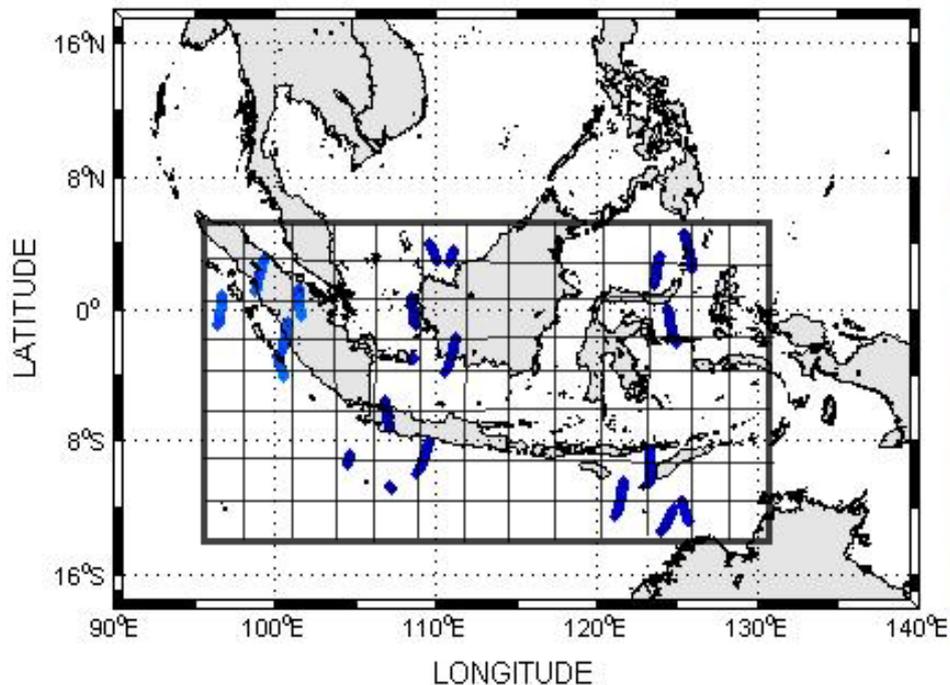
$$d(x, y) = \|x - y\| = \left(\sum (x_i - y_i)^2 \right)^{1/2} \quad (2-2)$$

Gambar 2-3 adalah contoh data S_4 dari semua satelit yang tampak selama satu jam pengamatan sepanjang lintasan IPP diatas lima stasiun GISTM dengan grid $1^\circ \times 1^\circ$ dalam batas lintang -12° hingga 6° dan bujur 95° hingga 130° .

Untuk N data pengamatan pada lintang x , bujur y dengan S_4 sebagai z , maka dalam satu jam pengamatan diperoleh matrik pengukuran (x_i, y_i, z_i) , sehingga estimasi z pada (x, y) , dapat diimplementasikan sebagai berikut:

$$z = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{z_i}{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{d/2}}}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{d/2}}} \quad (2-3)$$

dengan d adalah jarak antara data. Secara alami, pada persamaan (2-3), maka data yang berdekatan akan mempunyai kemiripan dibanding dengan data yang berjarak.



Gambar 2-3: Data S_4 dari lima stasiun GISTM selama satu jam pengamatan dalam batas lintang dan bujur dengan grid $1^\circ \times 1^\circ$

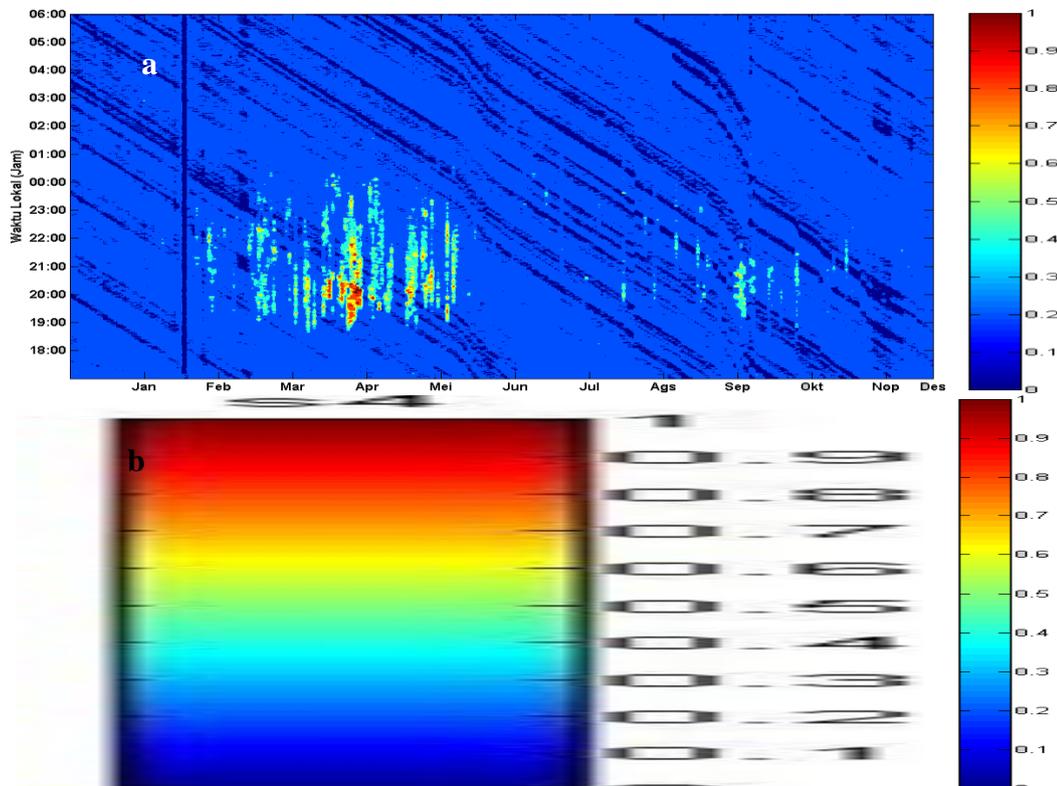
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

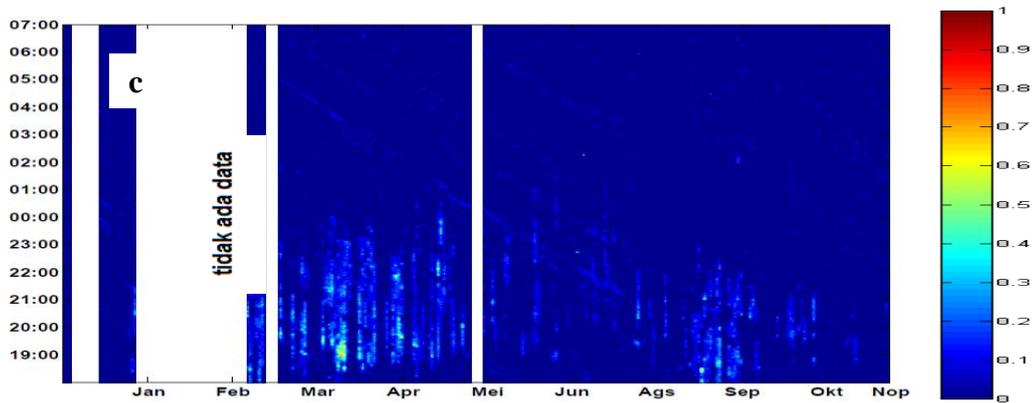
Di daerah lintang rendah seperti di Indonesia, kemunculan sintilasi tertinggi terjadi pada bulan-bulan ekuinoks yaitu sekitar Maret-April dan September-Oktober. Sintilasi kuat akan muncul setelah matahari terbenam hingga tengah malam waktu setempat. Pada Gambar 3-1 ditunjukkan hasil kontur kemunculan sintilasi 2013, pada waktu sore hari dari pukul 18:00 hingga pukul 06:00 pagi waktu setempat yaitu Kototabang, Pontianak, dan Manado. Tingginya kemunculan pada bulan-bulan ini terkait dengan posisi matahari dan pergerakan angin netral. Dengan menggunakan data S_4 Kototabang selama lima tahun pengamatan, mekanisme peningkatan sintilasi pada bulan ekuinoks dengan fenomena kemunculan setelah matahari terbenam (*post sunset*) telah dibahas oleh Asnawi (2013).

Secara umum, kemunculan sintilasi pada 2013 dari empat lokasi pengamatan seperti ditunjukkan pada Gambar 3-1 mempunyai kemiripan pola dengan ekuinoks Maret-April lebih tinggi dibanding ekuinoks September-Oktober. Asimetris ini terjadi karena pengaruh dari angin netral meridional lintas ekuatorial (Chu. *et al.*, 2013).

Diantara ketiga hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3-1, kemunculan sintilasi di Kototabang (Gambar 3-1a) mencapai tingkat tertinggi dibanding dengan Pontianak, dan Manado (Asnawi dan Jiyo, 2013). Namun demikian pola kemunculan cenderung sama. Hal ini boleh jadi akibat dari perbedaan sistem pengukuran yang digunakan. Data sintilasi Kototabang diperoleh dari sistem *Ionospheric Scintillation Monitor* (ISM), sedangkan Pontianak dan Manado menggunakan GISTM. Informasi lainnya yang dapat diperoleh dari kontur Gambar 3-1 adalah kemunculan fenomena sintilasi setelah tengah malam. Hasil kontur dari tiga tempat tidak memperlihatkan adanya fenomena sintilasi setelah malam hari tersebut. Namun demikian Abadi et al. (2014) melaporkan adanya fenomena sintilasi setelah tengah malam menggunakan data GISTM sebelum 2013.

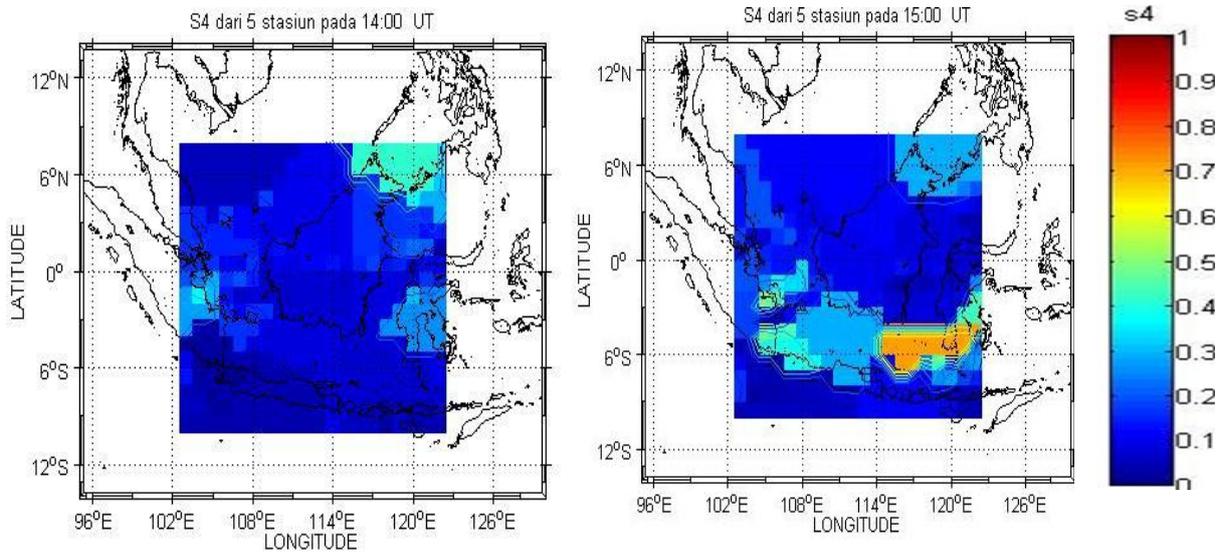
Adanya tambahan data pengamatan di daerah Timur Indonesia yaitu dari Manado dan Kupang, memungkinkan untuk melihat distribusi spasial dari kemunculan sintilasi wilayah regional Indonesia, terutama pada bulan ekuinoks. Gambar 3-2 adalah contoh hasil pemetaan kemunculan sintilasi ionosfer pada 3 April 2013. Peta tersebut merupakan hasil interpolasi dari lima stasiun GPS menggunakan teknik tetangga terdekat yang diambil berurutan mulai dari pukul 14:00 UT (a), 15:00 (b), 16:00(c) dan pukul 17:00 UT (d). Apabila dikonversi ke dalam waktu setempat yaitu mulai 21:00 hingga pukul 00:00 tengah malam waktu setempat. Pada waktu-waktu ini kemunculan sintilasi tertinggi, sehingga dapat dilihat distribusi kemunculan secara spasial. Dari Gambar 3-2 (a) terlihat bahwa pada pukul 14:00 UT atau pukul 21:00 waktu setempat sintilasi sedang ($S4=0,5$) mulai terjadi di wilayah Timur, akan tetapi pada waktu bersamaan di bagian barat juga muncul sintilasi yang sedikit lebih lemah.

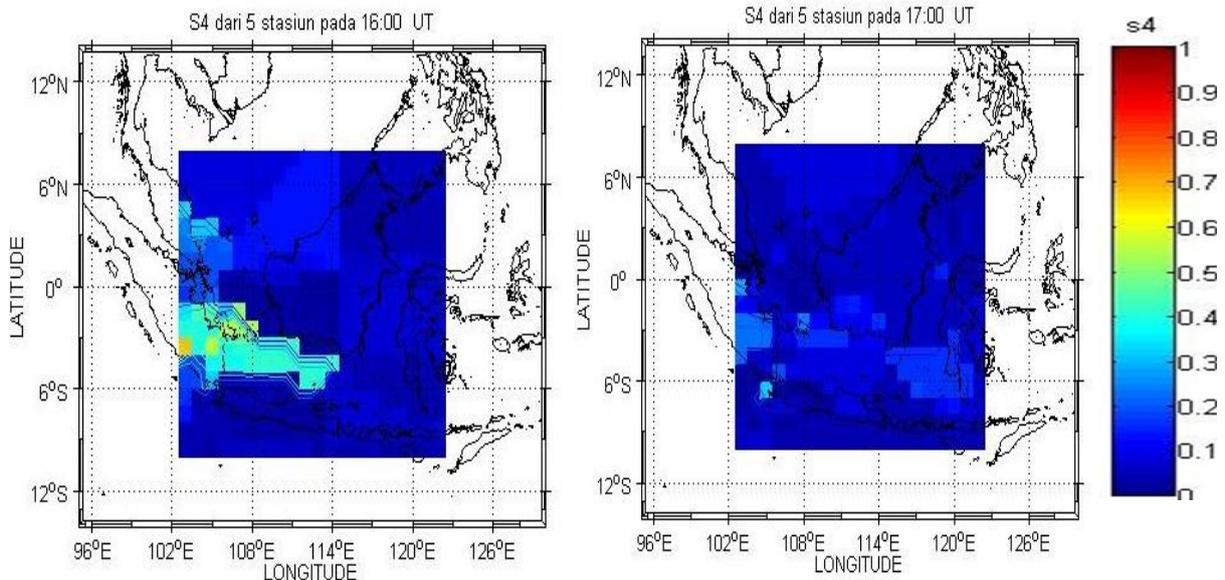




Gambar 3-1: Kontur kemunculan sintilasi 2013, pada waktu malam hari dari pukul 18:00 hingga pukul 06:00 pagi waktu setempat yaitu Kototabang (a), Pontianak (b), dan Manado (c)

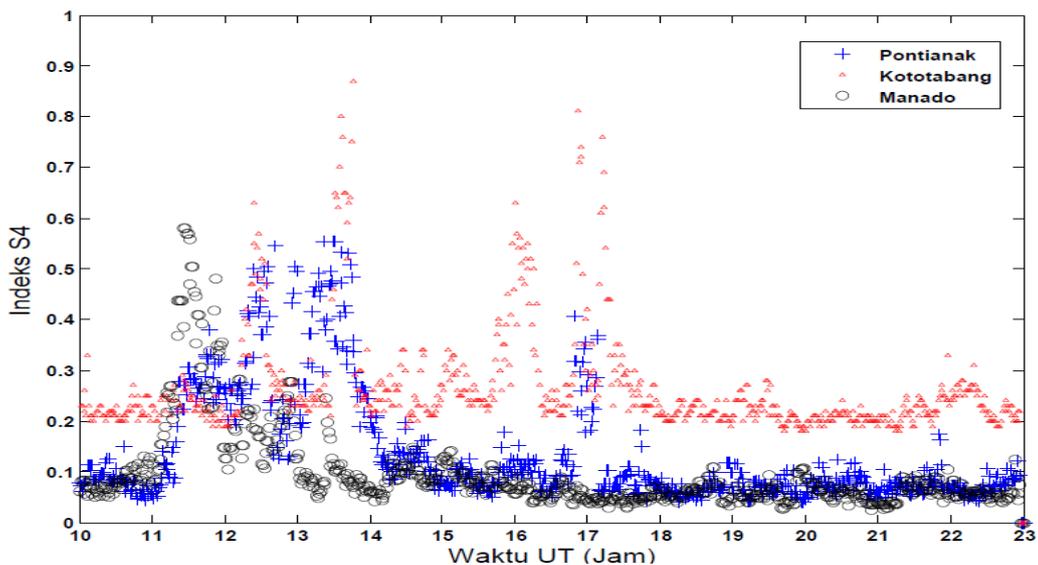
Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara spasial gangguan kerapatan plasma ionosfer pada skala kecil pada waktu tersebut merata. Satu jam berikutnya yaitu pukul 22:00, sintilasi yang lebih kuat ($S4 > 0,5$) juga mulai terjadi di wilayah timur diikuti sintilasi sedang di wilayah Barat. Dari keseluruhan runtutan waktu kejadian sintilasi kuat pada Gambar 3-2 terlihat bahwa sintilasi kuat terkesan bergerak dari arah Timur menuju ke wilayah Barat. Hal ini disebabkan standar waktu yang digunakan yaitu waktu universal. Secara umum kemunculan sintilasi terjadi bersamaan antara wilayah timur dan barat. Namun demikian ada perbedaan waktu kemunculan sintilasi kuat sehingga mengindikasikan bergerak ke arah Barat. Hal ini disebabkan pergerakan terminator matahari terbenam yang bergerak ke arah Barat.





Gambar 3-2: Distribusi spasial kemunculan sintilasi dari parameter S4 mulai pukul 14:00 UT (21:00 LT) hingga tengah malam pukul 00:00

Sintilasi kuat yang terjadi di Indonesia terindikasi bergerak ke arah Barat dengan kemunculan dimulai dari wilayah Timur. Hal ini dikuatkan dengan hasil pada Gambar 3-3. Gambar 3-3 adalah kemunculan sintilasi kuat ($S4 > 0,5$) pada 3 April 2013 untuk tiga tempat pengamatan, yaitu Manado, Pontianak, dan Kototabang pada waktu yang sama dari pukul 10:00 UT hingga pukul 23:00 UT atau sekitar pukul 17:00 hingga 06:00 pagi waktu. Sintilasi kuat dimulai dari Manado (tanda o), sekitar pukul 11:30 UT, kemudian diikuti kejadian di Pontianak pukul 12:30 UT (tanda +) dan Kototabang (tanda titik). Namun demikian kejadian sintilasi kuat di Pontianak dan Kototabang muncul hampir bersamaan dengan dua kejadian yaitu pada pukul 12:00 UT (19:00 waktu lokal) dan menjelang tengah malam pukul 17:00 UT (pukul 24:00 waktu lokal). Hal ini disebabkan karena kedua daerah tersebut masih dalam wilayah Barat Indonesia. Informasi lainnya dari hasil Gambar 3-3 adalah lamanya waktu kejadian sintilasi yaitu paling lama mengambil durasi waktu sekitar satu hingga dua jam dan sporadik dari setelah matahari terbenam hingga menjelang tengah malam.



Gambar 3-3: Kemunculan sintilasi kuat ($S4 > 0,5$) pada 3 April mulai pukul 10:00 UT hingga pukul 23:00 UT atau sekitar pukul 17:00 hingga 06:00 pagi waktu setempat dari tiga tempat pengamatan, yaitu Manado (tanda o), Pontianak (tanda +) dan Kototabang (tanda ^)

Perubahan secara lintang dapat dilihat dari Gambar 3-2 distribusi sintilasi kuat yang terjadi pada sekitar pukul 21:00 hingga 23:00 terkonsentrasi di belahan lintang selatan di sekitar daerah puncak anomali equator. Hasil serupa juga sudah dilaporkan oleh Abadi *et al.*, (2014), dengan analisis *directional sky plot* antara kemunculan sintilasi di Bandung dan Pontianak yang menunjukkan kemunculan sintilasi terkonsentrasi di sekitar daerah puncak anomali yaitu di lintang selatan.

4 KESIMPULAN

Dengan teknik interpolasi tetangga terdekat telah diperoleh peta kemunculan sintilasi wilayah Indonesia. Pada peta ini dapat dilihat evolusi kemunculan sintilasi secara spasial yang bergerak ke arah Barat. Indikasi pergerakan kemunculan ini disebabkan pergerakan terminator sunset matahari dalam standar waktu yang digunakan. Perubahan secara lintang dari peta kemunculan sintilasi kuat terkonsentrasi di belahan lintang selatan di sekitar daerah puncak anomali ekuator. Dari kontur kemunculan sintilasi selama satu tahun pengamatan, diperoleh data kemunculan yang lebih sering pada sore hari hingga sebelum tengah malam terutama pada bulan ekuinoks yaitu Maret-April dan September-Oktober. Tingginya kemunculan pada waktu tersebut merupakan karakteristik fenomena sintilasi di daerah lintang rendah berkaitan dengan fenomena gelembung plasma dan *Ekuatorial Spread F* yang kemunculannya disebabkan oleh gangguan perubahan kerapatan elektron ionosfer setelah matahari terbenam. Informasi kejadian sintilasi yang lebih tinggi pada bulan ekuinoks terutama pada waktu menjelang matahari terbenam hingga tengah malam dan dipadu dengan informasi distribusi kemunculan secara spasial dari peta sintilasi wilayah Indonesia, dapat dijadikan bahan upaya mitigasi dampaknya terhadap sistem telekomunikasi dan navigasi berbasis satelit GNSS.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Loka Pengamatan Atmosfer (LPA) Kototabang, Balai Pengamatan Dirgantara (BPD) Pontianak dan stasiun kerjasama LAPAN-Universitas Sam Ratulangi Manado dan Universitas Nusa Cendana Kupang serta kepada reviewer di Pusat Sains Antariksa atas diskusi dan saran masukan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abadi, P., Saito, S., and Srigutomo, W., 2014. *Low-latitude Scintillation Occurrences Around the Equatorial Anomaly Crest Over Indonesia*, Ann. Geophys, 32, 7–17, doi:10.5194/angeo-32-7-2014.
- Asnawi, 2013. *Analisis Statistik Kemunculan Sintilasi Ionosfer Daerah Lintang Rendah Indonesia Berdasarkan Data Pengamatan di Stasiun Kototabang*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol.8. No.2, 40-47, ISSN 1907-0713.
- Asnawi dan Jiyo, 2013. *Analisis Hasil Awal Pengamatan Sintilasi Ionosfer di Atas Manado-Tomohon*, Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya, ISSN:2355-388X, 32-36.
- Béniguel, Y., Romano, V., Alfonsi, L., Aquino, M., Bourdillon, A., Cannon, P., De Franceschi, G., ... Zernov, N., 2009. *Ionospheric Scintillation Monitoring and Modelling*, Annals of geophysics, vol. 52, N 3/4.
- Craft, Jr. H.D and Westerlund, L.H., 1972. *Scintillation at 4 and 6 GHz Caused by the Ionosphere*, AIAA 10th Aerospace Science Meeting, San Diego, California, January 17-19.
- Chu.,F. D., Chen, W.S., Lee. C.C., Tseng, W.H., Lin, H. T, and Liao C.S, 2013. *A Study of Equatorial Ionospheric Irregularities Over the Indian-Ocean Sector During Solar Maximum by using the Global Positioning System*, PIERS Proceedings, Taipei, March 25–28, 2013.

- DasGupta, A., Maritra, A., and Basu, S., 1981. *Occurrence of Nighttime VHF Scintillations Near the Equatorial Anomaly Crest in the Indian Sector*, Radio Sci., 16, 1455–1458.
- Dashora, N., Taori, A., and Patra, A. K., 2012. *Multi Instrument Observation of Winter Solstice F Region Irregularities During the Low Solar Activity*, Ind. J. Radio Space Phys., 41, 220–232.
- Dumitru, P.D., Marin, P., Dragos, B., 2013. *Comparative Study Regarding the Methods of Interpolation*, Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering, 45-52 ISBN: 978-960-474-335-3.
- Franke, R., 1982. *Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods*, Mathematics of Computation, 33(157):181.
- Li, G., Ning, B., Liu, L., Zhao, B., Yue, X., Su, S.-Y., and Venkatraman, S., 2008. *Correlative Study of Plasma Bubbles, Evening Equatorial Ionization Anomaly, and Equatorial Pre-reversal EB Drifts at Solar Maximum*, Radio Sci., 43, RS4005, doi:10.1029/2007RS003760.
- Li, G., Ning, B., Liu, L., Wan, W., Hu, L., Zhao, B., and Patra, A. K., 2012. *Equinoctial and June Solstitial F Region Irregularities Over Sanya, India*, Ind. J. Radio Space Phys., 41, 184–198.
- Mukherjee, G. K., Carlo, L., Mahajan, S. H., and Patil, P. T., 1998. *First Results of All-sky Imaging from India*, Earth Planet Space, 50, 119–127.
- Schear S., 1999. *Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere using the Global Positioning System*, Ph.D. Thesis, Astronomical Institute, University of Berne, pp:205. www. scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID = 225.
- Sharma, A. K., Nade, D. P., Nikte, S. S., Ghodpage, R. N., Patil, P. T., Rokade, M. V., Vhatkar, R. S., and Gurubaran, S., 2013. *Occurrence of Equatorial Plasma Bubbles over Kolhapur*, Adv. Space Res., online first, doi:10.1016/j.asr.2013.07.018.
- Sinha, H. S. S., Rajesh, P. K., Misra, R. N., and Dutt, N., 2001. *Multi-wavelength Imaging Observations of Plasma Depletions Over Kavalur, India*, Ann. Geophys., 19, 1119–1131, doi:10.5194/angeo-19-1119-2001.
- Spogli, L., Alfonsi, Lu., De Franceschi, G., Romano, V., Aquino, M.H.O., Dodson, A., 2009. *Climatology of GPS Ionospheric Scintillations Over the Auroral and Cusp European Regions*, Ann. Geophys., 27, 3429–3437.
- Taur, R.R., 1973. *Ionospheric Scintillation at 4 and 6 GHz*, Comsat Technical Review, 3, No. 1, 145–163.
- Taylor, M. J. , 1997. *A Review of Advances in Imaging Techniques for Measuring Short Period Gravity Waves in the Mesosphere and Lower Thermosphere*, Adv. Space Res, 19, 616–676.
- Weber, E. J., Buchau, J., and Moore, J. G, 1980. *Airborne Studies of Equatorial F-Layer Ionospheric Irregularities*, J. Geophys. Res., 85, 4631–4641.
- Woodman, R. F., and C. LaHoz, 1976. *Radar Observations of F Region Equatorial Irregularities*, J. Geophys. Res., 81(31), 5447–5466, doi:10.1029/JA081i031p05447.
- Woodman, R. F, 1970. *Vertical Drift Velocities and East-west Electric Fields at the Magnetic Equator*, J. Geophys. Res., 75(31), 6249–6259, doi:10.1029/JA075i031p06249.