

# **ANALISIS STATISTIK KEMUNCULAN SINTILASI IONOSFER DAERAH LINTANG RENDAH INDONESIA BERDASARKAN DATA PENGAMATAN DI STASIUN KOTOTABANG**

## **(STATISTICAL ANALYSIS OF THE OCCURRENCES OF LOW LATITUDE IONOSPHERIC SCINTILLATION BASED ON DATA OBSERVATION AT KOTOTABANG STATION)**

**Asnawi**

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Lapan  
e-mail: [asnawihs@yahoo.com](mailto:asnawihs@yahoo.com)

### **ABSTRACT**

Ionospheric plasma density irregularities can cause rapid fluctuations in amplitude and phase of the satellite signal that known as ionospheric scintillation. The GPS (Global Positioning System) frequency L-band (1.5 GHz) has been used to study of ionospheric plasma density irregularities, total electron content (TEC) in the ionosphere and ionospheric scintillation. This paper discusses the statistical the occurrences of ionospheric scintillation during solar minimum to maximum activity period 2008-2012 from ISM (Ionospheric Scintillation Monitoring) Kototabang observatory (0.20°S, 100.32°E; geomagnetic latitude 10.6°S). The analysis of statistics occurrences of strong and weak scintillation during that period were done by distinguishing two scintillation threshold values. Scintillation index threshold between 0.25 and 0.5 is weak scintillation and above 0.5 is strong scintillation. The 10.7 cm flux data were used to show the influence of solar activity on the scintillation changes. From the statistical results of five years observation obtained it was obtained the scintillation occurrences increase during increasing period of solar activity. The weak scintillation with  $0.25 < S_4 < 0.5$  occurred at 20% for all months from 2008 to 2012. Percentage occurrence of strong scintillation  $S_4 > 0.5$  reached 90% at the maximum of solar activity in 2011 and 2012. The strong scintillation pattern shows two dominant peaks in each year, in the equinox March-April and September-October with March equinox more intense than September equinox. Strong scintillation occurrences in equinoxes reached 40% at the time of minimum solar activity during 2008 to 2010. This fact shows that the effect of season on the occurrence of scintillation still occurs during solar minimum..

Keywords: *Climatology, Equinox, Ionospheric scintillation, Kototabang*

### **ABSTRAK**

Perubahan kerapatan lapisan ionosfer dapat menyebabkan gangguan berupa fluktuasi secara cepat pada amplitudo dan fasa sinyal satelit yang dikenal sebagai sintilasi ionosfer. Sinyal satelit *Global Positioning System* (GPS) pada pita frekuensi L (1,5 GHz) dimanfaatkan untuk kajian perubahan kerapatan ionosfer, jumlah elektron total ionosfer (TEC, *Total Electron Content*) dan sintilasi ionosfer. Tulisan ini membahas statistik kemunculan sintilasi ionosfer saat aktivitas matahari minimum hingga maksimum periode 2008-2012 dari pengamatan *Ionospheric Scintillation Monitoring* (ISM) di Loka Pengamatan Atmosfer Kototabang (0,20 LS, 100,32 BT; lintang geomagnet 10,6 LS). Analisis statistik kemunculan sintilasi kuat dan lemah selama periode tahun tersebut dilakukan dengan membedakan dua ambang batas nilai sintilasi. Ambang batas indeks sintilasi di atas 0,25 adalah sintilasi lemah dan di atas 0,5 adalah sintilasi kuat. Data fluks 10,7 cm digunakan untuk melihat pengaruh aktivitas matahari pada

perubahan sintilasi. Dari hasil statistik kemunculan sintilasi selama lima tahun pengamatan diperoleh kemunculan sintilasi meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas matahari. Kemunculan sintilasi lemah dengan  $0,25 < S_4 < 0,5$  mencapai 20 % terjadi pada seluruh bulan dari tahun 2008 hingga 2012. Persentase kemunculan sintilasi kuat  $S_4 > 0,5$  mencapai 90% saat aktivitas matahari maksimum, yaitu tahun 2011 dan 2012. Kemunculan sintilasi kuat memperlihatkan pola dua puncak yang dominan pada setiap tahunnya, yaitu pada bulan ekuinok Maret-April dan September-Oktober dengan ekuinok Maret lebih intens dibanding dengan ekuinok September. Sintilasi kuat yang terjadi pada bulan ekuinok mencapai 40 % pada saat aktivitas matahari minimum tahun 2008 hingga 2010. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh musim ekuinok pada kemunculan sintilasi masih terjadi pada saat matahari minimum.

Kata kunci: *Ekuinoks, Klimatologi, Kototabang, Sintilasi ionosfer*

## 1 PENDAHULUAN

Penelitian gangguan sintilasi ionosfer pada sinyal satelit telah dimulai tahun 1970 (Craft and Westerlund, 1972). Perubahan kerapatan lapisan ionosfer dapat menyebabkan gangguan berupa fluktuasi secara cepat pada amplitudo dan fasa sinyal satelit yang dikenal sebagai sintilasi ionosfer. Sampai saat ini telah banyak penelitian dan metode pengamatan yang dikembangkan salah satunya adalah dengan memanfaatkan sinyal satelit GPS. Sinyal satelit GPS pada pita frekuensi L (1,5 GHz) dimanfaatkan untuk meneliti perubahan kerapatan ionosfer, jumlah elektron total ionosfer (TEC, *Total Electron Content*) dan sintilasi ionosfer. Dengan memanfaatkan sinyal satelit GPS, pemantauan ionosfer dapat dilakukan karena cakupan GPS sudah luas. Informasi yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk pengguna GPS sekaligus berkontribusi pada kajian perubahan cuaca antariksa pada umumnya.

Kemunculan sintilasi ionosfer dapat menyebabkan *fading* pada daya sinyal, *cycle slip*, *loss of lock*, yaitu penerima kesulitan melakukan penguncian sinyal satelit. Dua daerah dengan kemunculan sintilasi ionosfer yang paling sering adalah daerah kutub dan ekuator. Kemunculannya di daerah ekuator mempunyai karakteristik yang khas, sehingga sering dikenal sebagai fenomena sintilasi ionosfer *ekuatorial*. Kemunculan sintilasi ini terkait dengan

fenomena anomali ionosfer ekuator. Gangguan ionosfer paling sering terjadi di daerah sekitar  $\pm 20^\circ$  lintang geomagnet dengan puncak anomali gangguan terjadi di  $\pm 15^\circ$  lintang geomagnet. Fenomena sintilasi memiliki kaitan dengan kemunculan gelembung *plasma* yang terjadi setelah matahari terbenam. Proses fisis kemunculan gelembung *plasma* dijelaskan oleh proses ketidakstabilan *Rayleigh-Taylor* dan ExB (Basu et al. 1978; Kelley 1989; Fejer et al. 1999). Sedangkan proses kimianya dikontrol oleh proses rekombinasi antara elektron dan ion positif, yang menyebabkan terjadinya gradien vertikal profil kerapatan elektron setelah matahari terbenam. Apabila ketidakstabilan terus berlanjut, maka dapat memicu bagian bawah lapisan F ionosfer yang telah berkurang kerapatannya, bergerak ke bagian atas yang lebih rapat. Fenomena pergerakan ini dikenal sebagai gelembung *plasma* (Woodman and LaHoz, 1976). Saat terjadi gelembung *plasma*, terjadilah *gradien* kerapatan elektron yang cukup tajam di ionosfer sehingga menyebabkan ketidakteraturan ionosfer dari skala kecil hingga menengah. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa gelembung pada *plasma* adalah identik dengan penurunan kerapatan elektron. Ketidakteraturan *plasma* akibat terbentuknya gelembung tersebut akan menyebabkan fluktuasi pada sinyal satelit yang melewatinya sehingga terjadi sintilasi.

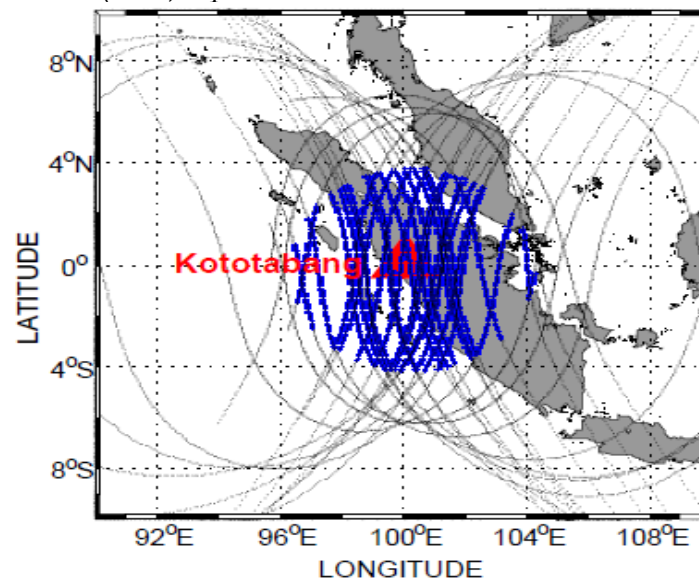
Pengamatan fenomena gangguan sintilasi ionosfer dilakukan dengan peralatan *Ionospheric Scintillation Monitor* (ISM) yaitu penerima GPS frekuensi tunggal di Loka Pengamatan Atmosfer Kototabang. Tulisan ini membahas analisis statistik kemunculan sintilasi ionosfer daerah lintang rendah dari pengamatan ISM Kototabang. Analisis temporal dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dan morfologi kemunculan sintilasi saat aktivitas matahari minimum hingga maksimum periode 2008 - 2012.

## 2 DATA DAN METODE

Gangguan sintilasi ionosfer dinyatakan dengan indeks sintilasi ionosfer yaitu indeks  $S_4$  dan  $\sigma\phi$  yang masing-masing menyatakan intensitas amplitudo sintilasi dan fasa sintilasi. Namun demikian, informasi  $S_4$  sudah cukup untuk menyatakan adanya gangguan sintilasi ionosfer. Gangguan sintilasi dengan indeks  $S_4 > 0,5$  sudah memperlihatkan gangguan yang serius berdampak pada sistem komunikasi satelit. ISM yang digunakan untuk monitoring sintilasi ionosfer adalah bagian dari proyek “*Coupling Process in the Equatorial Atmosphere*” (Fukao 2006; Ogawa *et al.*, 2006) menggunakan tiga penerima GPS frekuensi tunggal (L1 1,57549 GHz) yang dioperasikan di area radar atmosfer ekuatorial (EAR, *Equatorila*

*Atmosphere Radar*) Kototabang, Sumatera Barat (0,20°LS, 100,32°BT; lintang geomagnet 10,6°LS). Ketiga penerima GPS ditempatkan dengan membentuk konfigurasi Barat-Timur-Selatan dengan jarak pisah antar penerima GPS adalah sekitar 150 meter. Konfigurasi tersebut digunakan untuk penelitian pergerakan komponen arah timur-barat dan kecepatan *drift* ketidakteraturan *plasma* setelah matahari terbenam (Otsuka *et al* 2006). Data indeks sintilasi  $S_4$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah rerata dari tiga penerima GPS tersebut. Untuk menghindari efek *multipath* maka data dipilih dengan sudut elevasi di atas 35°. Gambar 2-1 adalah letak geografis ISM Kototabang dengan lintasan satelit untuk data dengan elevasi 5 (garis hitam) dan data dengan elevasi di atas 35° (garis biru).

Data yang digunakan adalah data hasil monitoring  $S_4$  mulai dari tahun 2008 hingga tahun 2012 di Loka Pengamatan Atmosfer (LPA) Kototabang. Tahun 2008 adalah periode aktivitas matahari paling minimum (*deep solar minimum*) dengan jumlah hari tanpa bintik matahari (*Solar Sun Spot Number*,  $SSN = 0$ ) mencapai 266 hari atau 73% dari jumlah hari selama tahun 2008 (NASA, 2011). Sedangkan tahun 2012 aktivitas matahari pada awal fase maksimum.



Gambar 2-1: Letak geografis ISM Kototabang dengan lintasan satelit untuk data yang dipilih pada sudut elevasi  $> 35^\circ$

Kuat dan lemahnya sintilasi selama periode tahun tersebut ditentukan berdasarkan ambang batas nilai  $S_4$ . Syarat suatu kejadian sintilasi adalah jika indeks  $S_4$  lebih besar dari 0,25. Sintilasi lemah terjadi jika  $0,25 < S_4 < 0,5$  dan sintilasi kuat jika  $0,5 < S_4$ . Data fluks 10,7 cm digunakan untuk melihat tingkat aktivitas matahari. Fluks 10,7 cm adalah emisi gelombang radio dari matahari pada panjang gelombang 10,7 cm dengan satuan *Solar Flux Unit* (SFU, 1 SFU =  $10^{-22}$  W m<sup>-2</sup> Hz<sup>-1</sup>). Fluks ini berkorelasi tinggi dengan bilangan bintik matahari dan merupakan indikator yang sangat baik untuk melihat tingkat aktivitas matahari.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan kemunculan sintilasi dilakukan untuk setiap sinyal satelit yang *visible* dalam satu hari. Grafik pada Gambar 3-1 adalah contoh indeks sintilasi dari 30 satelit (PRN, *Pseudo Random Noise*) selama satu hari pengamatan pada tahun 2012 dan 2008. Setiap sinyal satelit yang ditangkap penerima GPS dalam satu hari pengamatan diberi tanda dan warna yang berbeda sehingga dapat diketahui dengan mudah sinyal satelit yang mengalami sintilasi ionosfer. Gambar 3-1 (a) adalah contoh kemunculan sintilasi lemah pada 31 Maret 2008. Sedangkan grafik pada Gambar 3-1 (b) adalah contoh kemunculan sintilasi pada kategori kuat dengan indeks  $S_4 > 0,5$  yang terjadi pada tanggal 30 Maret 2012. Sintilasi kuat pada 30 Maret 2012 terjadi sekitar pukul 13:00 UT hingga 18:00 UT atau sekitar pukul 20:00 WIB hingga pukul 01:00 WIB. Dalam rentang waktu tersebut beberapa sinyal satelit mengalami sintilasi yaitu satelit nomor 4 (PRN04), nomor 7 (PRN07), nomor 11 (PRN11), nomor 13 (PNR13), dan nomor 23 (PRN23).

Morfologi dan karakteristik musiman kemunculan sintilasi dapat diketahui dari data pengamatan satu tahun dalam bentuk kontur. Dari kontur

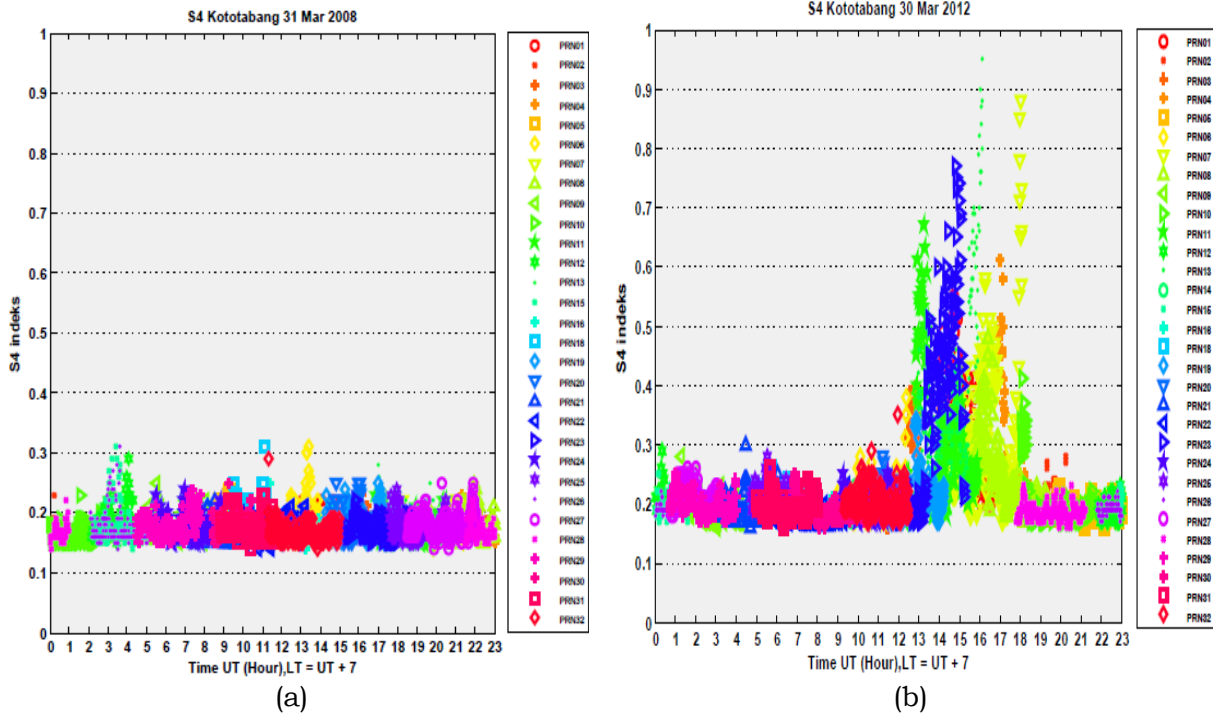
dapat dilihat perubahan kemunculan sintilasi pada setiap bulan dalam setahun. Hasil pengamatan dalam satu tahun dalam bentuk kontur ditunjukkan pada Gambar 3-2. Gambar 3-2(a) adalah kemunculan sintilasi pada tahun 2008 yang menunjukkan adanya sintilasi lemah sepanjang tahun. Pada tahun 2012 terjadi sintilasi kuat pada bulan *ekuinox* yaitu Maret-April dan September-Oktober. Sebagian besar sintilasi kuat terjadi setelah matahari terbenam sekitar pukul 12:00 UT hingga pukul 16:00 UT atau sekitar pukul 19:00 WIB hingga pukul 23:00 WIB (Gambar 3-2(b)). Kemunculan sintilasi setelah matahari terbenam (*post sunset*) di daerah ekuator disebabkan oleh fenomena ketidak-teraturan *plasma* pada saat tersebut. Setelah matahari terbenam, ketinggian lapisan F ionosfer daerah ekuator semakin meninggi sehingga terbentuk *gradien* kerapatan *plasma* pada bagian bawah lapisan F. Hal ini disebabkan bergabungnya lapisan F1 dengan lapisan E ditambah dengan peningkatan kuat medan listrik kearah timur yang dikenal sebagai fenomena *Prereversal Enhancement* (PRE).

Sintilasi lemah yang terjadi dalam tahun 2008 seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2(a) terkait dengan aktivitas matahari rendah. Sedangkan tahun 2012 adalah saat aktivitas matahari tinggi sehingga kemunculan sintilasi kuat lebih banyak dibanding tahun 2008 (Gambar 3-2(b)).

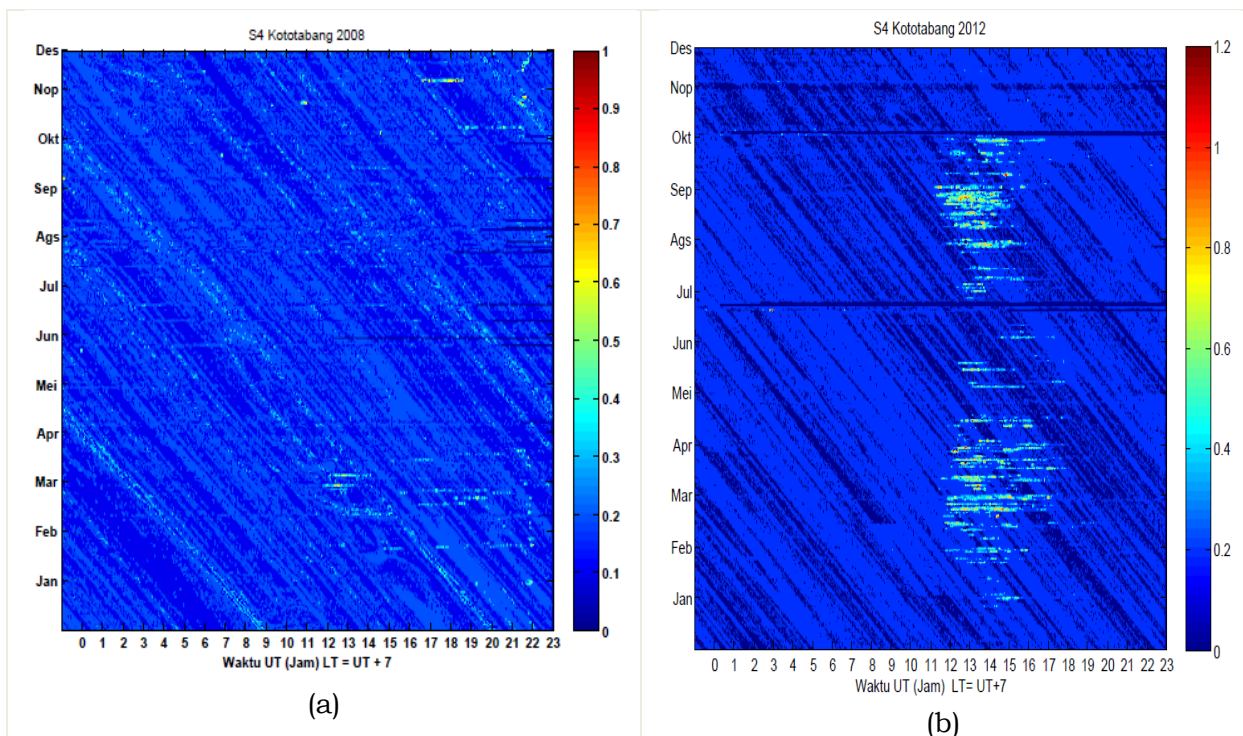
Selanjutnya data lima tahun pengamatan disajikan dalam Gambar 3-3. Panel atas Gambar 3-3 adalah kontur kemunculan sintilasi selama lima tahun pengamatan, dari Januari 2008 hingga Desember 2012. Pada gambar tersebut terlihat klimatologi kemunculan sintilasi mulai dari saat aktivitas matahari rendah tahun 2008 hingga aktivitas matahari tinggi tahun 2012. Indeks fluks radio matahari 10,7 cm selama periode tahun 2008 hingga 2012 ditunjukkan pada panel bawah Gambar 3-3. Perubahan kemunculan sintilasi

selama lima tahun pengamatan memperlihatkan kecenderungan bahwa peningkatan kemunculannya mengikuti peningkatan fluks radio 10,7 cm. Oleh

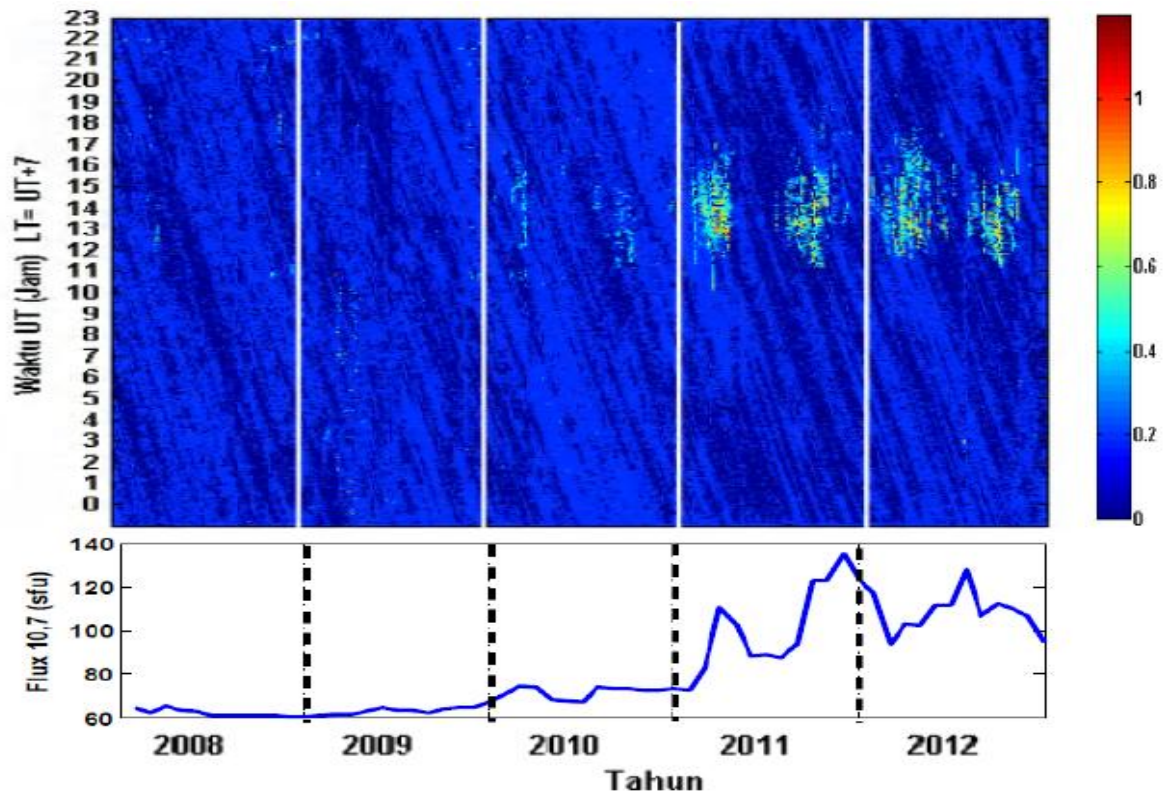
karenanya peningkatan kemunculan sintilasi kuat sebanding dengan meningkatnya aktivitas matahari.



Gambar 3-1: Kejadian sintilasi kuat yang terjadi pada tanggal 31 Maret (a), dan sintilasi lemah yang terjadi pada tanggal 2008 30 Maret 2012 (b)



Gambar 3-2: Kemunculan sintilasi selama satu tahun pengamatan: (a) saat aktivitas matahari minimum tahun 2008, dan (b) saat aktivitas matahari maksimum tahun 2012



Gambar 3-3: Kemunculan sintilasi selama lima tahun pengamatan, Januari 2008 hingga Desember 2012 (panel atas) dan rerata fluks radio matahari 10,7 cm (panel bawah)

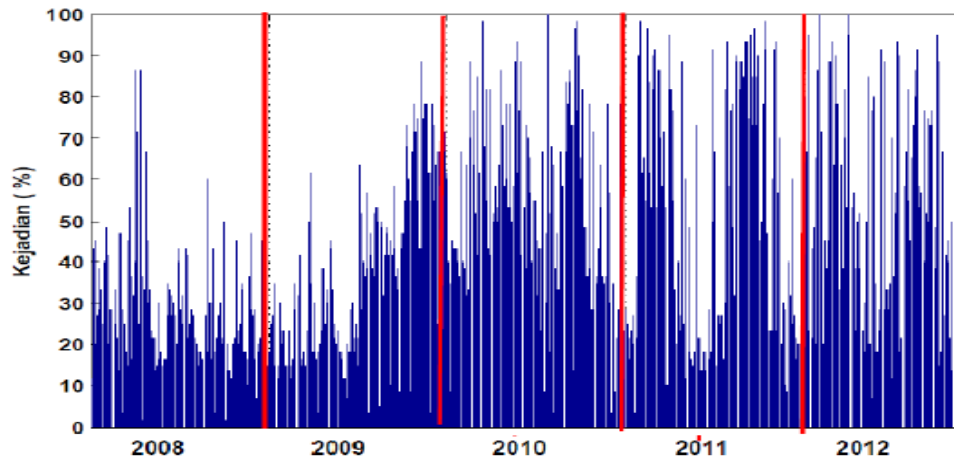
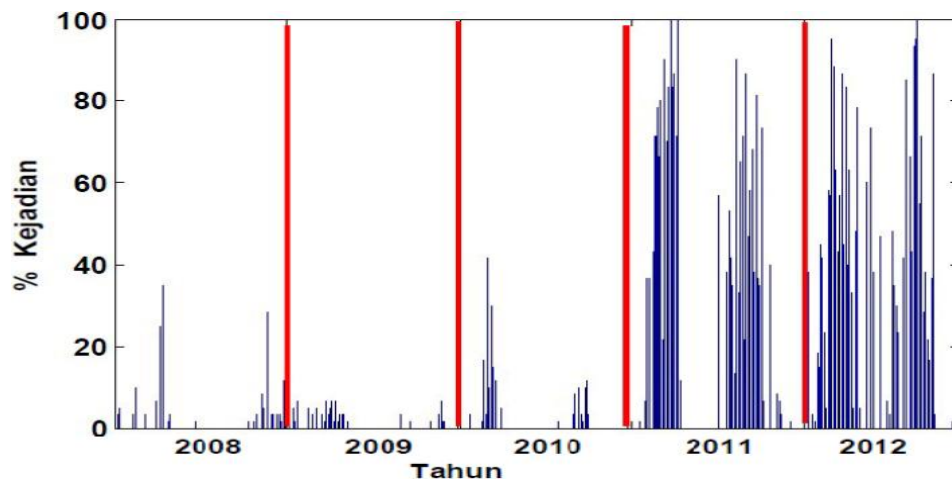
Persentase kemunculan sintilasi lemah ( $0.25 < S_4 < 0.5$ ) selama lima tahun pengamatan ditunjukkan pada Gambar 3-4. Kejadian sintilasi lemah mencapai 20 % dari seluruh bulan dari tahun 2008 hingga 2012. Sedangkan persentase sintilasi lemah tertinggi mencapai 90 % terjadi mulai tahun 2010 hingga 2012 dengan dominasi pada bulan ekuinok. Secara umum bahwa dari tahun 2008 hingga 2012 terjadi kenaikan persentase kejadian sintilasi lemah. Meski agak samar, namun terlihat bahwa pada bulan-bulan *equinox* persentase kejadian sintilasi lemah relatif lebih tinggi dari bulan-bulan lainnya. Namun demikian pola kenaikan pada bulan ekuinoks kurang terlihat pada saat aktivitas matahari rendah tahun 2008 hingga 2009.

Persentase kemunculan sintilasi kuat ( $S_4 > 0.5$ ) ditunjukkan pada Gambar 3-5 dengan 90 % kemunculan terjadi pada tahun 2011 dan 2012. Kemunculan sintilasi kuat memperlihatkan pola dua puncak yang dominan pada setiap tahunnya, yaitu pada bulan ekuinok

Maret-April dan September-Oktober seperti diperlihatkan juga pada Gambar 3-3 panel atas. Sintilasi pada ekuinoks Maret lebih intens dibanding dengan ekuinoks September.

Secara umum pola dua puncak tidak terlihat pada sintilasi lemah terutama tahun 2008 hingga 2009. Hal ini menunjukkan bahwa sintilasi lemah hanya sebagai latar belakang dan kemunculannya pada saat aktivitas matahari tinggi terkait dengan gangguan di ionosfer.

Gangguan ionosfer lebih dominan dapat dilihat dari kemunculan sintilasi kuat karena pengaruh aktivitas matahari terlihat jelas dari persentase kemunculan yang tinggi pada tahun 2011 dan 2012 dan kemunculan tertinggi terjadi pada bulan *equinox* dari tahun 2008 hingga 2012. Pada saat aktivitas matahari rendah tahun 2008 hingga 2010, sintilasi kuat yang terjadi pada bulan ekuinoks mencapai 40%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh musim ekuinoks pada kemunculan sintilasi masih terjadi pada saat aktivitas matahari rendah.

Gambar 3-4: Persentase kejadian sintilasi ( $0,25 < S_4 < 0,5$ ) selama lima tahun pengamatanGambar 3-5: Persentase kejadian sintilasi kuat ( $S_4 > 0,5$ ) selama lima tahun pengamatan

Peningkatan sintilasi di bulan ekuinoks terkait dengan *terminator* matahari (*solar terminator*) dan meridian medan magnet. Tsunoda (1985) melaporkan bahwa selama musim ekuinoks, terminator matahari sejajar dengan meridian magnetik. Keadaan ini menurunkan konduktivitas lapisan E yang secara magnetis adalah konjugasi lapisan F, melalui garis medan magnet yang menghubungkan lapisan E dengan lapisan F daerah ekuator di sisi yang lain. Kesejajaran ini selain menyebabkan penurunan konduktivitas daerah E, juga terbentuk medan listrik *dynamo* daerah F dan pada gilirannya akan menghasilkan arus ke atas *drift* E x B di lapisan F- ekuator. Kondisi ini membangkitkan gangguan *plasma* selama bulan-bulan ekuinoks.

#### 4 KESIMPULAN

Statistik kemunculan sintilasi ionosfer saat aktivitas matahari rendah tahun 2008 hingga aktivitas tinggi tahun 2012 dari pengamatan *Ionospheric Scintillation Monitoring* (ISM) Kototabang telah dilakukan dan mendapatkan informasi karakteristik kemunculan dan klimatologi gangguan sintilasi ionosfer daerah lintang rendah Indonesia. Kemunculan sintilasi meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas matahari. Hampir 20% kemunculan sintilasi dengan  $S_4 < 0,25 < 0,5$  meliputi seluruh bulan dari tahun 2008 hingga 2012. Persentase kemunculan sintilasi kuat ( $S_4 > 0,5$ ) mencapai 90% saat aktivitas matahari tinggi yaitu tahun 2011 dan 2012. Kemunculan sintilasi kuat memperlihatkan pola dua puncak yang

dominan pada setiap tahunnya, yaitu pada bulan ekuinoks Maret-April dan September-Oktober dengan ekuinoks Maret lebih intens dibanding dengan ekuinok September. Sintilasi kuat yang terjadi pada bulan ekuinoks mencapai 40% pada saat aktivitas matahari rendah tahun 2008 hingga 2010. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh musim ekuinoks pada kemunculan sintilasi masih terjadi pada saat aktivitas matahari rendah.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan operator di Loka Pengamatan Atmosfer Kototabang dan Yuichi OTSUKA, Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University atas izin penggunaan data  $S_4$  ISM Kototabang.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Basu S, Basu S, Aarons J, McClure J, Cousins M., 1978. *On the Coexistence of Kilometer-and Meter-scale Irregularities in the Nighttime Equatorial F region*, J Geophys Res 83(A9):4219–4226.
- Craft, Jr. H.D and Westerland. L. H., 1972. *Scintillation at 4 and 6 GHz Caused by the Ionosphere*, AIAA 10th Aerospace Sciences Meeting, San Diego California, January 17-19.
- Fejer BG, Scherlies L, de Paula ER., 1989. *Effects of the Vertical Plasma Drift Velocity on the Generation and Evolution of Equatorial Spread F*, J Geophys Res 104:19859–19869.
- Fukao, S., 2006. *Coupling processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA)*, A project overview. J. Meteor. Soc. Japan.
- Kelley MC., 1989. *The Earth's Ionosphere, Plasma Physics and Electrodynamics*, Academic, San Diego.
- NASA. 2009. [http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/2009/01apr\\_deepsolarminimum](http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/2009/01apr_deepsolarminimum).
- Ogawa T, Otsuka Y., Shiokawa K., Saito A., and Nishioka M., 2006. *Ionospheric Disturbances Over Indonesia and their Possible Association with Atmospheric Gravity Waves from the Troposphere*, J. Meteor. Soc. Japan, CPEA Special Issue, 84A, 327-342.
- Otsuka Y., Shiokawa., Nishioka M and Effendy, 2012. *VHF Radar Observations of Post-midnight F-Region Field-aligned Irregularities Over Indonesia During Solar Minimum*, Indian Journal of Radio and Space Physics, 41,199-207.
- Tsunoda R T., 1985. *Control of the Seasonal and Longitudinal Occurrence of Equatorial Scintillations by Longitudinal Gradient in the Integrated E-region Pederson Conductivity*, 90, 47–456.
- Woodman, R.F., La Hoz, C.,1976. *Radar Observations of F Region Equatorial Irregularities*, J. Geophys. Res., 81 (31), 5447–5466, 1976.