

DETEKSI DAN ANALISIS KEJADIAN GELEMBUNG PLASMA DI ATAS PONTIANAK (0,03°LS 109,33°BT) PADA MINIMUM AKTIVITAS MATAHARI SIKLUS 23

Asnawi
Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi,
Pusat Sains Antariksa, LAPAN
asnawihs@yahoo.com

Abstract

This paper investigates of TEC decrease during the occurrence of plasma bubbles by identifying reductions of TEC value to background. Data used for the analysis is from GISTM TEC (GPS Ionospheric scintillation TEC Monitor) observed at Pontianak station (0.03S, 109.33N) during minimum solar activity period 2009. Identification TEC decrease performed with the FFT analysis and the low pass filter to obtain TEC background as trend regular with decrease duration over one hour and amplitude reduction of more 1 TEC unit. The occurrences of post sunset plasma bubbles have patterns highest in the equinox month with March-April equinox higher than September-October equinox. The post midnight plasma bubbles had smaller growth that was thought as weakening of the post sunset plasma bubble. The effect of geomagnetic activity is not visible on the pattern of occurrence of the two types of plasma bubble during the year 2009, because of the activity in case geomagnetic in year 2009 categorized quiet condition with average value below -30 nT.

Keywords: GISTM, Plasma bubble, Ionosphere

Abstrak

Tulisan ini membahas investigasi penurunan jumlah kandungan elektron (*Total Electron Content*, TEC) pada saat kemunculan gelembung plasma dengan mengidentifikasi penurunan nilai TEC terhadap latar belakangnya. Data yang digunakan untuk analisis adalah data TEC hasil pengamatan menggunakan perangkat GISTM (*GPS Ionospheric Scintillation TEC Monitor*) di Pontianak (0,03°LS 109,33°BT) pada tahun 2009, yaitu periode aktivitas matahari minimum. Identifikasi penurunan TEC dilakukan dengan analisis *FFT* dan tapis lolos bawah untuk mendapatkan *trend* TEC latar belakang dengan penurunan TEC berdurasi lebih 1 jam dan *amplitudo* penurunan lebih 1 TECU. Pola kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam mencapai nilai tertinggi pada bulan-bulan ekuinok dengan ekuinok Maret-April lebih tinggi berbanding dengan ekuinok September-Oktober. Gelembung plasma setelah tengah malam mempunyai pertumbuhan yang lebih kecil sehingga diduga merupakan pelemahan dari pertumbuhan gelembung plasma setelah matahari terbenam. Pengaruh medan geomagnet tidak tampak pada pola kemunculan dua tipe gelembung plasma karena aktivitas geomagnet sepanjang tahun 2009 dikategorikan kecil atau tidak ada gangguan dengan rata-rata dibawah -30 nT.

Kata kunci : Gelembung plasma, GISTM, ionosfer

1. PENDAHULUAN

Terjadinya ketidakteraturan kerapatan plasma daerah equator telah diyakini terkait dengan kejadian fenomena gangguan ionosfer lapisan F yang dikenal dengan *Equatorial Spread F (ESF)*. Selain itu fenomena lain yang timbul menyertai kemunculan *ESF* diantaranya adalah penurunan plasma (*plasma depletion*) yang juga disebut sebagai gelembung plasma daerah equator (*Equatorial Plasma Bubbles, EPBs*). Mekanisme umum dari kejadian *EPBs* ini adalah ketidakstabilan Rayleigh-Taylor (*Rayleigh-Taylor Instability, RTI*). Salah satu kondisi awal dari *RTI* adalah kemunculan fenomena *ESF* dan gerak vertikal $E \times B$. Namun demikian pada sisi lain terjadi gerak kebawah dan adanya gerakan angin meridional kearah kutub akan menjadikan lapisan F stabil sehingga menghambat tumbuhnya gelembung plasma (Abdu, 2005).

Fenomena gelembung plasma sampai saat ini telah diselidiki dan hampir memasuki dasa warsa pertama. Pengamatanya juga telah menggunakan beberapa teknik yang berbeda diantaranya dengan radar (Woodman and La Hoz, 1976), ionosonda yaitu dengan analisis ionogram (Whalen, 1977), deteksi dengan *airglow monitor* (Mendillo dan Baumgardner, 1982) dan pengamatan *in situ* menggunakan satelit (McClure et al, 1977; Huang et al, 2001). Teknologi GPS (*Global Positioning System*) selain digunakan untuk keperluan navigasi, penentuan posisi dan geodesi, datanya juga dapat dimanfaatkan untuk kajian gelembung plasma dengan beberapa kelebihan diantaranya kontinuitas data dan cakupan yang cukup luas karena beberapa jaringan penerima GPS dunia sudah dibangun. Teknik pemanfaatan data satelit GPS untuk kajian gangguan ionosfer terkait fenomena gelembung plasma secara sederhana adalah dengan menggunakan data TEC. Pada saat terjadi gelembung plasma maka TEC akan mengalami penurunan secara drastis dan sinyal satelit akan mengalami sintilasi ionosfer. Sinyal satelit yang mengalami sintilasi ionosfer mengindikasikan gangguan sehingga berdampak pada komunikasi satelit dan kesalahan pengukuran jarak posisi navigasi.

Tulisan ini membahas investigasi kejadian gelembung plasma dari pengamatan GPS. Tujuannya adalah mengetahui statistik kejadian gelembung plasma dan karakteristik kemunculannya pada saat aktivitas matahari minimum periode 2009. Penelitian dilakukan di Pontianak (0,03°LS 109,33°BT), dengan menggunakan data TEC dari pengamatan GPS yaitu GISTM (GPS Ionospheric Scintillation Monitor).

2. DATA DAN METODE

Kajian kemunculan gelembung plasma menggunakan data TEC dengan mendeteksi penurunan nilai TEC yang diturunkan dari sinyal satelit GPS. Data yang digunakan adalah data TEC dari pengamatan GISTM di Pontianak (0,03°LS 109,33°BT) periode tahun 2009 saat aktivitas

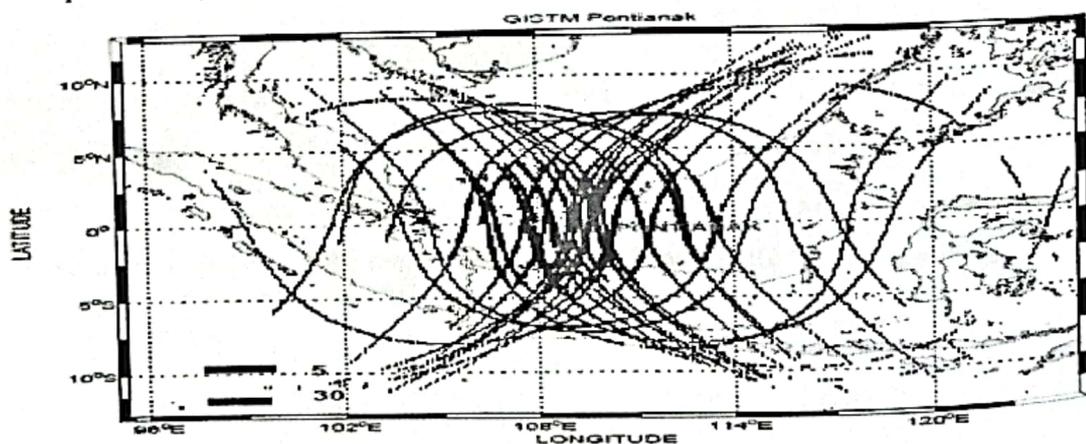
matahari minimum. GISTM adalah penerima GPS yang menangkap sinyal frekuensi ganda f_1 (1575.42 MHz) dan f_2 (1227.60 MHz) dari satelit GPS dan secara kontinu akan merekam dua sinyal *pseudo-range* (P_1 dan P_2) dan *fasa* (L_1 dan L_2). TEC adalah jumlah kandungan elektron yang diturunkan dari sinyal satelit dalam satuan TEC Unit (1 TEC Unit = 10^{16} elektron/m²). TEC dari pengamatan GISTM dihitung dengan metoda kombinasi antara pengukuran fasa sinyal GPS (L) dan sinyal *pseudo-range* (P) yang secara matematis ditulis sebagai berikut (GSV4004B 2007):

$$STEC = [9.483 * ((P_{L2} - P_{L1} - b_{c/a-p}) + TEC_{RX} + TEC_{cal})] \text{ TEC Unit} \quad (2-1)$$

dengan P_{L2} dan P_{L1} adalah *pseudo-range* (meter) sinyal L_2 dan L_1 , $b_{c/a-p}$ adalah bias transisi sinyal C/A ke P (dikonversi ke dalam meter dan dapat di unduh di laman University of Berne (<http://www.aiub-download.unibe.ch/CODE/P1C1.DCB>), TEC_{RX} adalah besarnya TEC yang ditimbulkan dari bias penerima yaitu tunda $L1/L2$ dan TEC_{cal} adalah TEC kalibrasi *offset* penerima. Data TEC dari GISTM mempunyai resolusi 1 menit dan hasil persamaan (2-1) masih merupakan TEC miring ($STEC$) yang harus dikonversi untuk mendapatkan TEC tegak ($VTEC$) dengan menggunakan model pendekatan yang disebut model lapisan tipis ionosfer yang menganggap ionosfer berada pada ketinggian 350 km (Klobuchar, 1986).

$$TEC \text{ tegak } (VTEC) = STEC \times \text{Cos}[\text{arc Sin}(R_e \text{ Cos } \theta / R_e + h_{max})] \quad (2-2)$$

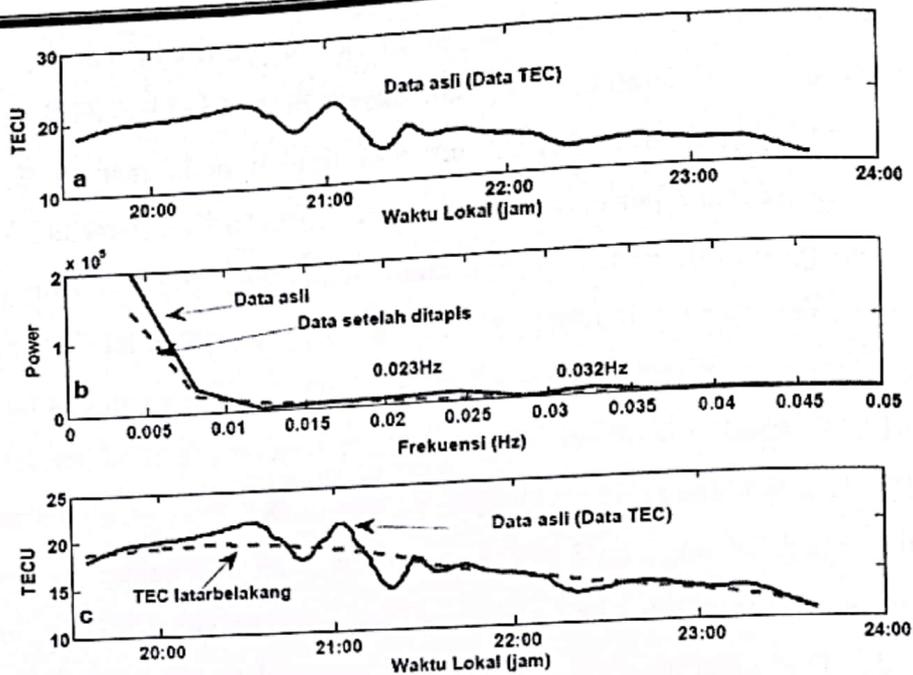
dengan R_e adalah jejari bumi (6378 km), h_{max} adalah ketinggian lapisan ionosfer yaitu 350 km, dan θ adalah sudut kemiringan (elevasi) sinyal satelit terhadap penerima di bumi. Untuk menghindari salah interpretasi gangguan akibat *multipath* maka data dipilih dengan sudut elevasi lebih dari 30°. Gambar 2-1 menunjukkan lintasan IPP (*Ionospheric Pierce Point*) satelit diatas penerima GISTM Pontianak dengan garis biru adalah data dengan sudut elavasi >30° dan garis hitam adalah data dengan elavasi > 5°. Seleksi data dengan elevasi >30° juga merepresentasikan TEC diatas Pontianak seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-1.



Gambar 2-1. Lintasan IPP satelit diatas penerima GISTM Pontianak, garis biru adalah data dengan elevasi >30°, garis hitam elevasi >5°.

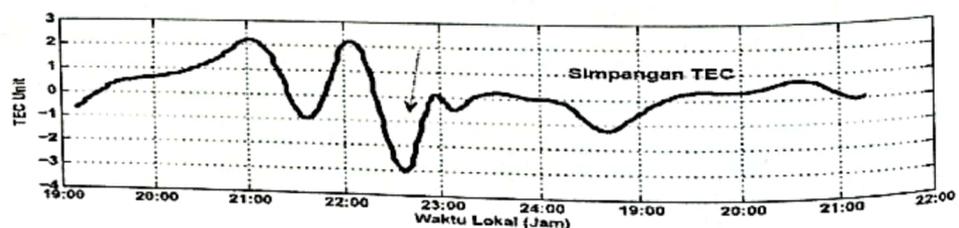
TEC yang diturunkan dari sinyal satelit yang terkena gelembung plasma akan mengalami penurunan drastis. Hal ini yang memudahkan pendeteksian berbading dengan fenomena gangguan ionosfer lainnya. Namun demikian dalam menentukan tingkat penurunan TEC sebagai respon kejadian gelembung plasma maka pertama sekali harus ditentukan TEC latar belakang yaitu *trend* TEC yang tidak terganggu sebagai acuan penurunan. Untuk menghindari gangguan TEC yang bukan disebabkan oleh fenomena gelembung plasma maka penurunan nilai TEC harus memenuhi kriteria dua faktor yaitu penurunan TEC berdurasi antara satu sampai dua jam dan tingkat penurunan TEC melebihi 1 TECU terhadap latar belakangnya. Latar belakang TEC diperoleh dengan kurva *fitting* variasi tetap TEC dari variasi tidak tetapnya. Variasi tidak tetap (*irregular*) adalah gangguan yang muncul relatif singkat (kurang dari 2 jam) pada variasi tetap TEC sebagai respon dari aktivitas cuaca antariksa seperti badai ionosfer, gangguan ionosfer bergerak (*Traveling Ionospheric Disturbance, TID*), dan fenomena ionosfer daerah equator seperti ESF, gelembung plasma, *plasma blob* serta penurunan maupun peningkatan TEC malam hari. Metode *fitting* yang digunakan untuk mendapatkan latar belakang atau variasi tetap TEC dilakukan dengan analisis tapis lolos bawah. Data runtun waktu TEC per satelit terlebih dahulu dikonversi dalam domain frekuensi menggunakan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*). Dari data dalam domain frekuensi tersebut dapat diketahui frekuensi-frekuensi yang muncul akibat adanya gangguan pada data.

Disain tapis yang digunakan adalah dengan meloloskan frekuensi mulai dari 0.016 Hz (Periode 1 jam) menggunakan *toolbox butterworth Matlab*. Sebagai contoh pada Gambar 2-2 (a) adalah data runtun waktu TEC satelit nomor (PRN) 15 pada tanggal 2 Oktober 2009, yang menunjukkan adanya gangguan TEC pada sekitar pukul 21:00 WIB. Data tersebut dikonversi dalam domain frekuensi yang memperlihatkan dua frekuensi yang muncul yaitu 0.023 Hz dan frekuensi tinggi 0.032 Hz yang merupakan gangguan pada TEC seperti ditunjukkan garis kontinu Gambar 2-2 (b). Dengan filter lolos bawah, frekuensi tinggi dapat dihilangkan seperti yang ditunjukkan garis putus-putus pada Gambar 2-2 (b). Perbandingan data asli dengan data yang telah difilter ditunjukkan pada Gambar 2-2 (c). Dari Gambar 2-2 (c) latar belakang TEC (garis putus-putus) sebagai variasi TEC tetap telah dapat didekati dengan analisis filter lolos bawah.



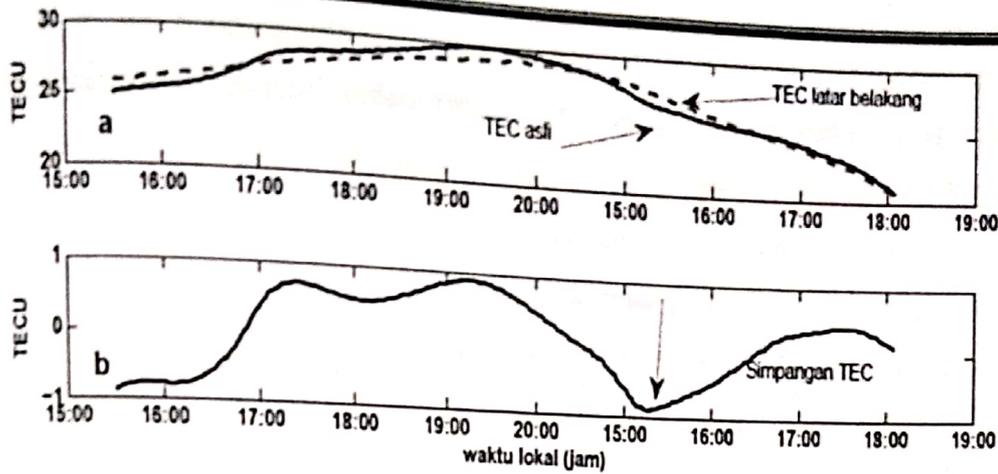
Gambar 2-2. TEC dari pengamatan sinyal satelit nomor 15 pada 2 Oktober 2009, a) TEC (data asli) yang memperlihatkan gangguan pada pukul 21:00, (b) domain frekuensi data TEC (garis kontinu) dan setelah ditapis (garis putus-putus). (c) Perbandingan data asli dengan data yang telah ditapis.

Simpangan penurunan TEC harus melebihi dari 1 TECU dan durasi kurang dari dua jam untuk menghindari gangguan yang berasal dari alat ataupun *multipath*. Apabila tingkat penurunan sinyal kurang dari 1 TECU maka dilihat kejadian sintilasi ionosfer sinyal tersebut, karena fenomena gelembung plasma akan menyebabkan sintilasi ionosfer pada sinyal. Gangguan yang muncul akibat *multipath* sudah dihilangkan dengan seleksi data yang digunakan yaitu elevasi diatas 30° . Gambar 2-3 adalah simpangan TEC satelit (PRN) 15 dari analisis Gambar 2-2 yaitu nilai TEC asli dikurang dengan latar belakang yang menunjukkan penurunan mencapai 4 TECU dan merupakan gangguan dari fenomena gelembung plasma.



Gambar 2-3. Tingkat penurunan TEC melebihi 1 TEC yang merupakan gangguan akibat kejadian gelembung plasma pada satelit 15 dari pengamatan tanggal 2 Oktober 2009.

Gambar 2-4 menunjukkan tingkat penurunan TEC yang tidak lebih dari 1 TECU dan bukan merupakan gangguan yang diakibatkan gelembung plasma. Gambar tersebut adalah contoh dari pengamatan pada tanggal 1 September 2009 untuk sinyal satelit nomor 7.



Gambar 2-4. Contoh gangguan dengan tingkat penurunan tidak lebih dari 1 TECU dan merupakan bukan gangguan dari kemunculan gelembung plasma.

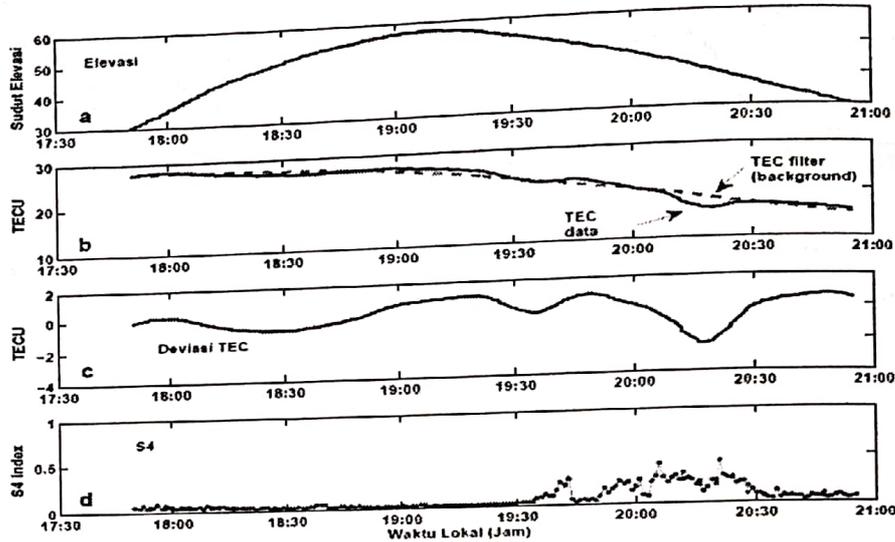
Statistik kemunculan penurunan TEC terkait dengan gangguan gelembung plasma dihitung untuk setiap sinyal satelit dalam satu hari dengan membedakan dua waktu pengamatan yaitu waktu setelah sore hari mulai pukul 18:00 sampai pukul 00:00 dan pukul 00:00 sampai pukul 06:00. Perbedaan ini untuk mendapatkan fenomena gelembung plasma setelah sore hari dan gelembung plasma setelah tengah malam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

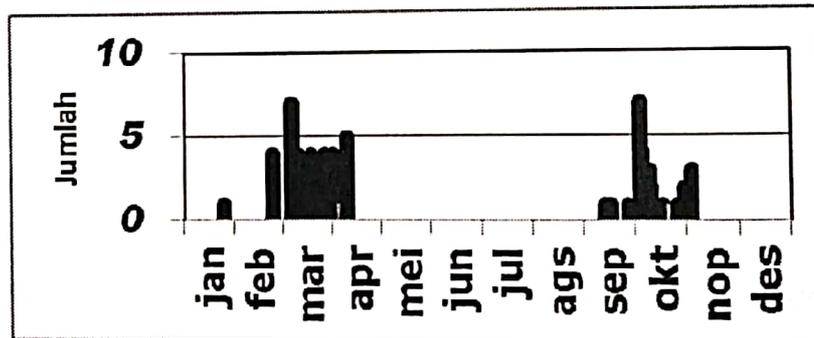
Pendeteksian gelembung plasma dengan metode ini juga disertai dengan gangguan sintilasi pada sinyal satelit dalam waktu yang simultan. Semakin tinggi tingkat penurunan TEC maka sintilasi ionosfer pada sinyal GPS semakin kuat. Gambar 3-1 adalah sinyal satelit nomor (PRN) 5 yang melewati gelembung plasma pada tanggal 5 Oktober 2009 dengan tingkat penurunan TEC sekitar 2 TECU lebih (Gambar 3-1c) dan sinyal satelit tersebut mengalami sintilasi ionosfer dengan amplitudo indeks sintilasi S4 adalah 0.5 (Gambar 3-1d) yang di kategorikan sintilasi sedang. Dari Gambar 3-1 (a) gelembung plasma terjadi pada sinyal satelit saat elevasi 34° yaitu pada sekitar pukul 20:30 waktu setempat. Hasil pendeteksian diperoleh gelembung plasma yang muncul setelah matahari terbenam dengan kemunculan tertinggi pada bulan-bulan ekuinok yaitu Maret-April dan September-Oktober seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2. Gelembung plasma tipe ini muncul setelah matahari terbenam sampai tengah malam yaitu pukul 18:00 sampai pukul 00:00 waktu setempat yang memperlihatkan pola asimetri yaitu kemunculan pada bulan Maret lebih tinggi dibandingkan September.

Tipe lain gelembung plasma adalah yang muncul setelah tengah malam yaitu pukul 00:00 sampai pukul 06:00. Hasil pendeteksian gelembung plasma jenis ini ditunjukkan pada Gambar 3-3. Dari gambar 3-3, pola kemunculan gelembung plasma tipe tengah malam tidak seperti pola kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam. Pola yang terlihat pada Gambar 3-3

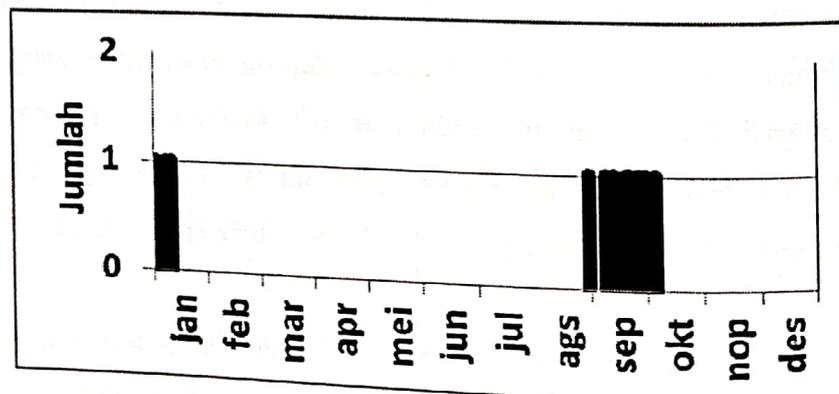
menunjukkan gelembung plasma setelah tengah malam tertinggi pada bulan September. Ini mengindikasikan bahwa gelembung plasma tersebut merupakan bentukan lanjutan dari gelembung plasma yang terbentuk setelah matahari terbenam pada bulan September tersebut.



Gambar 3-1. Kemunculan gelembung plasma pada 5 Oktober 2009 yang ditandai penurunan TEC setelah matahari terbenam simultan dengan kejadian sintilasi ionosfer kategori sedang ($S_4 = 0,5$).

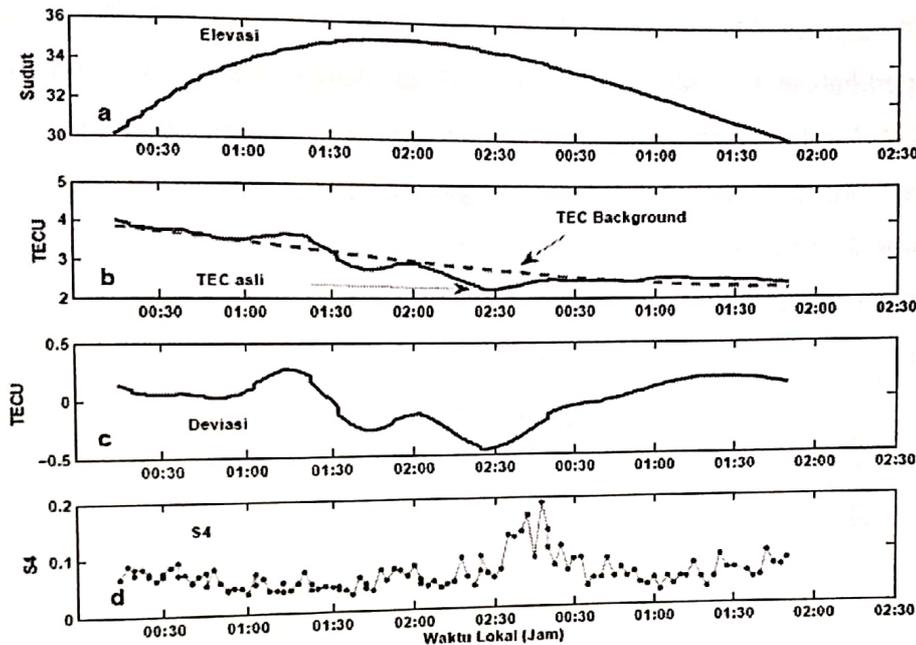


Gambar 3-2. Kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam sampai tengah malam dengan kejadian tertinggi pada bulan ekuinok.



Gambar 3-3. Kemunculan gelembung plasma setelah tengah malam sampai pagi hari pukul 06:00.

Pada Gambar 3-2 terlihat bahwa gelembung plasma yang terbentuk setelah matahari terbenam pada bulan September lebih sedikit dibanding dengan bulan Oktober. Sedangkan gelembung plasma setelah matahari terbenam pada bulan Maret-April kemunculannya tidak lagi berlanjut hingga lewat tengah malam. Hasil pendeteksian kemunculan gelembung plasma setelah tengah malam menunjukkan bahwa pertumbuhannya relatif kecil dibanding dengan gelembung plasma yang muncul setelah matahari terbenam. Gambar 3-4 adalah contoh gelembung plasma yang muncul setelah tengah malam.

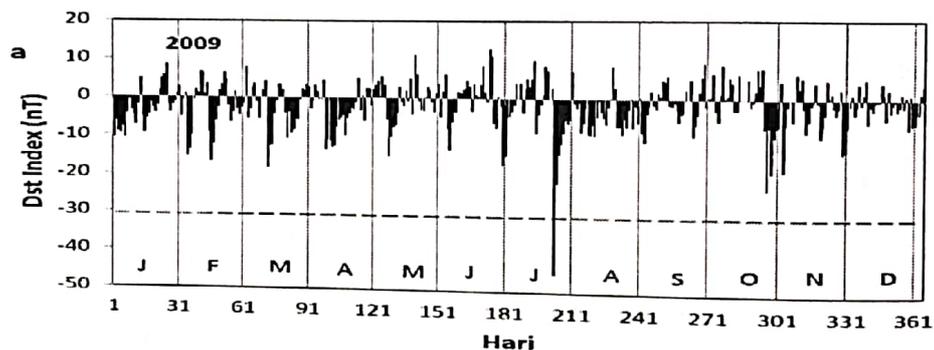


Gambar 3-4. Kemunculan gelembung plasma pada 17 September 2009 satelit nomor (PRN) 26 yang muncul setelah tengah malam, dengan tingkat penurunan TEC kecil dan telah menyebabkan sintilaategori kecil ($S4 = 0,3$).

Dari Gambar 3-4 (c) gangguan ini dapat dikategorikan sebagai gelembung plasma karena meskipun tingkat penurunan TEC kurang dari 1 TECU tetapi telah menyebabkan sintilasi ionosfer. Kemungkinan gelembung plasma yang terbentuk setelah tengah malam seperti pada Gambar 3-4 adalah pelemahan dari kemunculannya setelah matahari terbenam yang terjadi di bulan September. Beberapa teori yang menjelaskan tentang kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam yang tinggi pada bulan ekuinok diantaranya terkait dengan *solar terminator* (Tsunoda et al 1985). Abdu et al (2006) menyatakan bahwa gelembung plasma yang muncul setelah matahari terbenam dikontrol oleh fenomena malam hari *PRE (Pre-reversal enhancement)* yaitu peningkatan medan listrik *zonal* ke arah timur sebelum pembalikan ke arah barat dari *drift* lapisan F.

Untuk gelembung plasma yang muncul setelah tengah malam beberapa peneliti telah melakukan kajian diantaranya Heelis et al (2010) dengan menggunakan satelit CNOFS

(Communication/Navigation Outage Forecasting System) menyatakan bahwa gangguan tersebut berasal dari troposfer. Di lintang tinggi gelembung plasma yang muncul setelah tengah malam terjadi sekitar solistis Juni dan penyebabnya adalah ITCZ (*inter-tropical convergence zone*) seperti yang dilaporkan oleh Tsunoda et al (2010). Dengan menggunakan radar VHF Kototabang, Otsuka et al (2012) menemukan kemunculan FAI (*Field Aligned Irregularities*) yaitu gangguan ionosfer lapisan F setelah tengah malam terjadi pada bulan Mei dan Agustus. Gelembung plasma dan FAI mempunyai mekanisme pembangkitan yang sama sehingga hasil temuan gelembung plasma setelah tengah malam dari pengamatan penurunan TEC pada periode minimum aktivitas matahari 2009 di Pontianak memperlihatkan kecenderungan yang berbeda dengan Kototabang. Faktor lokal yang mempengaruhi ITCZ diduga menyebabkan perbedaan tersebut. Namun demikian masih diperlukan kajian lebih dalam untuk mengungkap kecenderungan perbedaan tersebut. Sedangkan gelembung plasma yang muncul setelah matahari terbenam mempunyai pola kemunculan yang sama dengan pengamatan yang dilakukan oleh Otsuka et al (2012) dan Ogawa et al (2006) di Kototabang.



Gambar 3-3. Data indeks Dst setiap bulan pada tahun 2009 diatas garis putus-putus pada skala -30nT adalah batas gangguan geomagnet minor (sumber: (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc> tahun 2012).

Pengaruh aktivitas geomagnet tidak tampak pada pola kemunculan gelembung plasma, baik gelembung plasma setelah matahari terbenam maupun gelembung plasma setelah tengah malam. Hal ini disebabkan aktivitas geomagnet sepanjang tahun 2009 dikategorikan kecil atau tidak ada gangguan dengan rata-rata dibawah -30 nT seperti ditunjukkan pada Gambar 3-3.

4. KESIMPULAN

Gelembung plasma menyebabkan penurunan TEC dan sintilasi ionosfer. Sinyal satelit yang melewati gelembung plasma akan mengalami gangguan sehingga menurunkan tingkat akurasi. Dengan metoda yang dikembangkan pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan gelembung plasma menggunakan GPS TEC di Pontianak pada tahun 2009 yaitu saat minimum aktivitas

matahari. Gelembung plasma hasil pengamatan dibedakan dalam dua tipe yaitu tipe kemunculan setelah matahari terbenam dan setelah tengah malam. Setiap kemunculan gelembung plasma juga disertai kejadian sintilasi ionosfer. Pola kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam tertinggi pada bulan-bulan ekuinok dengan ekuinok Maret-April lebih tinggi berbanding dengan ekuinok September-Oktober. Kemunculan gelembung plasma setelah tengah malam mempunyai pertumbuhan yang lebih kecil sehingga diduga merupakan pelemahan dari pertumbuhan gelembung plasma setelah matahari terbenam yang muncul pada bulan September. Pola kemunculan gelembung plasma setelah matahari terbenam dari pengamatan di Pontianak ini mempunyai kemiripan dengan hasil penelitian serupa di Kototabang yaitu kemunculan tertinggi pada bulan-bulan ekuinok. Untuk gelembung plasma tipe kemunculan setelah tengah malam mempunyai perbedaan dengan laporan dari penelitian serupa yang dilakukan di Kototabang. Perbedaan ini mungkin disebabkan faktor lokal yang mempengaruhi ITCZ (*inter-tropical convergence zone*) dan troposfer. Pengaruh medan geomagnet tidak tampak pada pola kemunculan dua tipe gelembung plasma karena aktivitas geomagnet sepanjang tahun 2009 dikategorikan kecil atau tidak ada gangguan dengan rata-rata dibawah -30 nT.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdu, M.A., *Equatorial Ionosphere-Thermosphere System: Electrodynamics and Irregularities*, *Advances in Space Research*, 35, 771-787, 2005.
- Abdu, M.A., Iyer, K.N., de Medeiros, R. T., Batista, I.S., and Sobral, J. H. A., Thermospheric Meridional Wind Control of Equatorial Spread F and Evening Prereversal Electric Field, *Geophys. Res. Lett.*, VOL. 33, L07106, 4 PP., 2006 doi:10.1029/2005GL024835. 2006.
- , *GPS Ionospheric Scintillation & TEC Monitor (GISTM) User's Manual*. GSV GPS Silicon Valley. 2007.
- Heelis, R.A., Stoneback, R., Earle, G.D., Haaser R.A and Abdu M.A., Medium-scale Equatorial Plasma Irregularities Observed by Coupled Ion Neutral Dynamic Investigation Sensors Aboard the Communication Navigation Outage Forecast System in a Prolonged Solar Minimum, *J. Geophys. Res.*, 115. A10321, doi: 10.1029/2010JA015596, 2010.
- Huang, C.Y., Burke, W.J., Machuzak, J.S., Gentile, L.C., and Sultan, P.J., DMSP Observations of Equatorial Plasma Bubbles in The Topside Ionosphere Near Solar Maximum, *J. Geophys. Res.*, 106 (A5), 8131-8142, 2001.
- Klobuchar, *Design and Characteristics of The GPS Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single Frequency Users*, Proceedings of PLANS'86 - Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas, Nevada, p. 280-286, 4-7 November, 1986.
- McClure, J.P., Hanson, W.B., Hoffman, J.H., Plasma Bubbles and Irregularities in The Equatorial Ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 82 (19), 2650-2656. 1977.

- Mendillo, M., Baumgardner, J., Airglow Characteristics Of Equatorial Plasma Depletions, *J. Geophys. Res.*, 87 (A9), 7641–7652, 1982.
- Ogawa T, Otsuka Y., Shiokawa K., Saito A., and Nishioka M., 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, 2006.
- Otsuka Y., Shiokawa., Nishioka M and Effendy, 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, 2012.
- Tsunoda, R.T., Control of The Seasonal and Longitudinal Occurance of Equatorial Scintillatioans by The Longitudinal Gradient in Integrated E Region Pedersen Conductivity, *J. Geophys. Res.*, 90, 447, 1988.
- Tsunoda R.T., On Seeding Equatorial Spread F During Solstice, *Geophys. Res. Lett.*, 37. L05102. doi: 10.1029/2011JA016798, 2010.
- Whalen, J.A., Equatorial Bubbles Observed at The North and South Anomaly Crest: Dependence on Season, Local Time and Dip Latitude, *Radio Science* 32 (4), 1559–1566, 1997.
- Woodman, R.F., La Hoz, C., Radar Observations of F Region Equatorial Irregularities, *J. Geophys. Res.*, 81 (31), 5447–5466, 1976.