

# **ANALISIS PENINGKATAN JUMLAH KANDUNGAN ELEKTRON MALAM HARI DI LINTANG RENDAH INDONESIA [ANALYSIS ENHANCEMENT OF ELECTRON CONTENT AMOUNT NIGHT-TIME IN INDONESIAN TOTAL LOW LATITUDE]**

**Asnawi**

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Lapan  
e-mail: asnawihs@yahoo.com

Diterima 17 Juli 2012; Disetujui 20 September 2012

## **ABSTRACT**

This paper presents the investigations of the night-time total electron content (TEC) enhancement observed at low latitude Indonesia. Statistical analysis has been done by using GISTM data over two locations namely Bandung (-6,90° 107,6°) and Pontianak (-0,03° 109,33°) during minimum solar activity period 2009 and toward maximum solar activity period 2011. Spatial analysis based on IPP satellite trajectory over Bandung – Pontianak during the occurrences of night-time TEC enhancement found it distribution evenly but amplitude intensities are slightly higher around Pontianak which indicated there are waves movement cause weakening or strengthening of small-scale disturbance of TEC. Statistical occurrences of night-time TEC enhancement obtained higher during maximum solar activity in 2011 both in Pontianak and Bandung with the highest occurrence in the equinox months. The Effect of geomagnetic activity is not visible, because of the activity in case geomagnetic both in 2009 and in 2011 did not affect on the pattern of occurrence. Based on the appearance pattern of night-time TEC enhancement are the complement of plasma bubble occurrence.

Keywords: *GISTM, Ionosphere, Night-time TEC enhancement, TEC*

## **ABSTRAK**

Tulisan ini membahas investigasi peningkatan jumlah kandungan elektron (TEC) malam hari di lintang rendah Indonesia. Analisis statistik menggunakan data GISTM dari dua tempat, Bandung (6,90 °LS 107,6 °BT) dan Pontianak (0,03 °LS 109,33 °BT) pada saat aktivitas matahari minimum periode 2009 dan periode aktivitas matahari menuju naik tahun 2011. Analisis ruang berdasarkan IPP satelit yang melintas pada saat kemunculan peningkatan TEC malam hari antara Bandung dan Pontianak diperoleh distribusi kemunculan merata dengan intensitas amplitudo sedikit lebih tinggi sekitar Pontianak yang mengindikasikan adanya peran pergerakan gelombang yang dapat menyebabkan pelemahan ataupun penguatan gangguan skala kecil pada TEC. Dari statistik kemunculan peningkatan TEC malam hari diperoleh kemunculan yang tinggi saat aktivitas matahari maksimum tahun 2011 baik di Bandung maupun Pontianak dengan kemunculan tertinggi pada bulan-bulan equinoks. Pengaruh aktivitas geomagnet tidak tampak, karena aktivitas geomagnet baik pada tahun 2009 maupun tahun 2011 tidak mempengaruhi pola kemunculannya. Berdasarkan pola kemunculannya maka peningkatan TEC malam hari adalah komplemen dari kemunculan gelembung plasma.

Kata Kunci: *GISTM, Ionosfer, Peningkatan TEC malam hari, TEC*

## 1 PENDAHULUAN

Salah satu fenomena ionosfer daerah equator yang menyebabkan ketidakteraturan elektron di lapisan F adalah spread F ekuator (ESF, *Equatorial Spread F*). ESF adalah fenomena ketidakteraturan ionosfer yang sering terjadi pada malam hari di daerah equator dan dapat menyebabkan hamburan sinyal gelombang radio sehingga mempengaruhi kinerja sistem satelit komunikasi serta akurasi posisi satelit navigasi. Fenomena ESF sangat erat hubungannya dengan kemunculan *plasma bubble* yang menyebabkan penurunan kerapatan plasma (*plasma depletion*).

Fenomena lain dari ketidakteraturan ionosfer daerah equator adalah *plasma blob* yang merupakan peningkatan kerapatan plasma pada lokal tertentu dan pertama sekali diamati oleh satelit Hinotori (Oya et al., 1986). *Plasma blob* adalah komplemen dari *plasma bubble* dimana seringkali kemunculan *plasma blob* diasosiasikan juga terjadi peningkatan plasma dan juga penurunan plasma (Le et al. 2003; Pimenta et al. 2004).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa fenomena peningkatan kerapatan elektron pada malam hari terutama di daerah anomali ekuator, terkait dengan peningkatan drift  $E \times B$  yang bergerak ke atas tepat di atas equator magnetik (Anderson and Klobuchar, 1983; Balan et al., 1994). Peningkatan kerapatan elektron ionosfer lapisan F malam hari tersebut dapat diamati dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) yaitu dari variasi perubahan parameter jumlah kandungan elektron, *Total Electron Content* (TEC) malam hari. Dari pengamatan TEC tersebut, karakteristik peningkatan yaitu frekuensi kemunculan, amplitudo dan durasi terjadinya peningkatan elektron dilapisan F dapat diketahui secara temporal dan spasialnya. Karakteristik peningkatan TEC malam hari tersebut mempunyai variasi yang terkait dengan lokasi, musim dan aktivitas matahari. Beberapa peneliti juga telah melaporkan adanya pengaruh musim, pengaruh medan geomagnet dan aktivitas matahari terhadap peningkatan elektron malam hari di daerah lintang menengah dan lintang tinggi (Bailey et al. 1991, 1992; Lois et al., 1990; Sudhir Jain et al., 1995).

Untuk daerah anomali ionosfer equator Indonesia penelitian fenomena peningkatan TEC malam hari belum banyak dilakukan. Karakteristik fenomena peningkatan TEC malam hari untuk daerah equator anomali sektor Indonesia masih terbuka untuk dilakukan kajian, karena ionosfer wilayah Indonesia termasuk ionosfer equator anomali yang berada dekat puncak anomali (*crash region*). Dalam tulisan ini investigasi dan analisis karakteristik peningkatan TEC malam hari dilakukan untuk dua tempat yaitu dari pengamatan stasiun GPS Bandung dan Pontianak. Penerima GPS untuk pengamatan TEC ionosfer yang digunakan dalam penelitian ini adalah *GPS Ionospheric TEC and Scintillation Monitor* (GISTM) yaitu GSV4004B yang menangkap dua frekuensi dari satelit GPS. Data yang digunakan untuk analisis adalah data tahun 2009 dan tahun 2011.

## 2 DATA DAN METODE

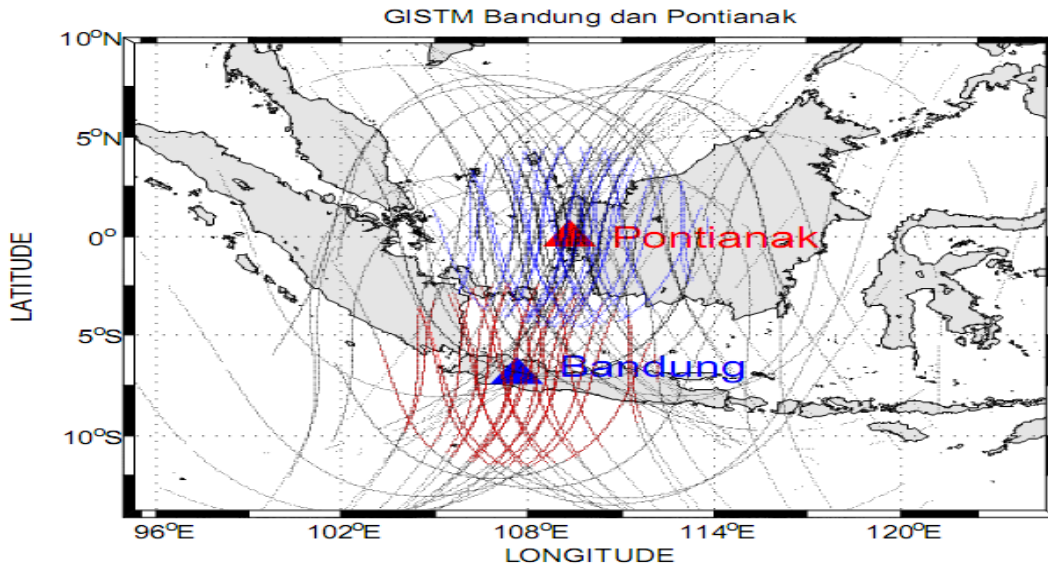
Data yang digunakan untuk kajian peningkatan TEC malam hari adalah data TEC dari pengamatan GISTM di dua tempat yaitu Bandung (6,90 °LS 107,6 °BT) dan Pontianak (0,03 °LS 109,33 °BT). GISTM adalah penerima GPS yang menangkap sinyal frekuensi ganda  $f_1$  (1575.42 MHz) dan  $f_2$  (1227.60 MHz) dari satelit GPS dan secara kontinyu akan merekam dua sinyal *pseudo-range* ( $P_1$  dan  $P_2$ ) dan fasa ( $L_1$  dan  $L_2$ ). TEC adalah jumlah kandungan elektron sepanjang sinyal satelit dalam satuan TEC Unit (1 TEC Unit =  $10^{16}$  elektron/m<sup>2</sup>). TEC dihitung dengan metode kombinasi antara pengukuran fasa (L) dan *pseudo-range* (P) yang merupakan TEC miring (*STEC*) dan secara matematis ditulis sebagai berikut (GSV4004B 2007):

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

Dimana  $P_{L2}$  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 diunduh 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. TEC pada persamaan (2-1) dikonversi untuk mendapatkan TEC tegak dengan menggunakan model pendekatan yang disebut model lapisan tipis ionosfer yang menganggap ionosfer berada pada ketinggian 350 km (Klobuchar 1986). Hasil kalibrasi tersebut adalah:

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

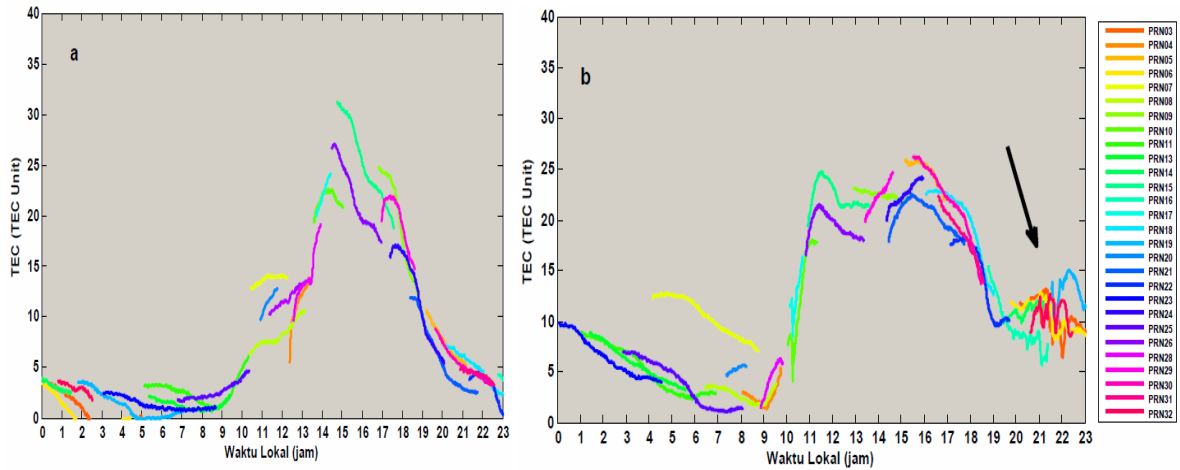
dimana  $R_e$  adalah jejari bumi (6378 km),  $h_{max}$  adalah ketinggian lapisan ionosfer yaitu 350 km, dan  $\theta$  adalah sudut kemiringan (elevasi) sinyal satelit terhadap penerima di bumi. Untuk menghindari salah interpretasi gangguan akibat *multipath* maka data dipilih dengan sudut kemiringan lebih dari  $35^\circ$ .



Gambar 2-1: Lintasan IPP satelit diatas penerima GISTM Pontianak, garis biru adalah data dengan elevasi  $>35^\circ$ , garis hitam elevasi  $>5^\circ$

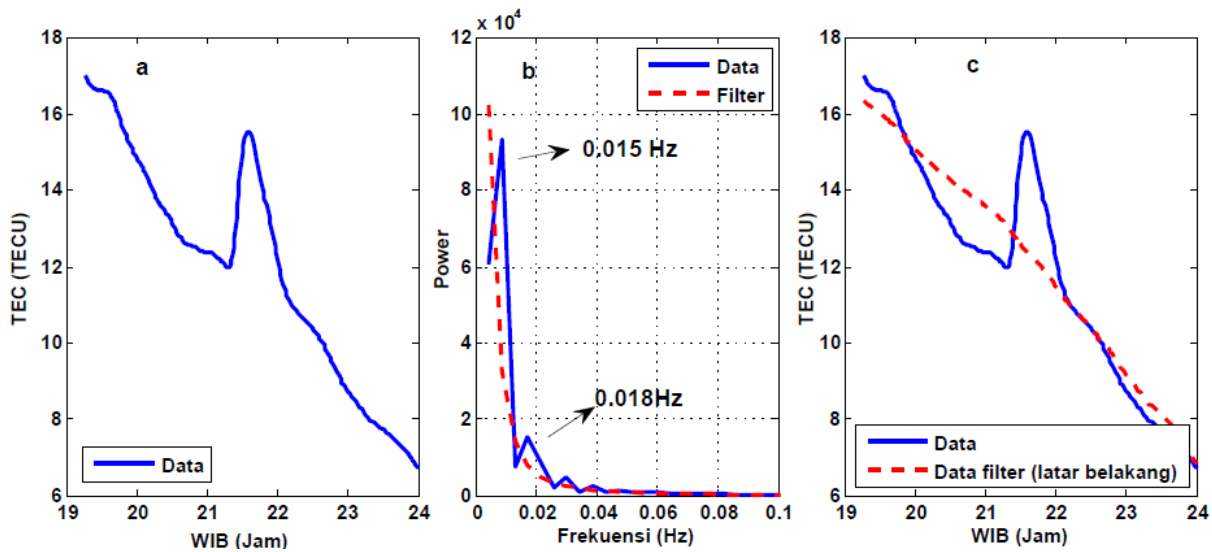
Gambar 2-1 menunjukkan lintasan *Ionospheric Pierce Point* (IPP) satelit di atas penerima GISTM Pontianak dan Bandung dimana garis biru dan merah adalah data dengan sudut kemiringan  $>35^\circ$  dan garis hitam adalah data dengan kemiringan  $>5^\circ$ . Seleksi data dengan kemiringan  $>35^\circ$  juga merepresentasikan TEC di atas Bandung dan Pontianak seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-1.

Peningkatan TEC malam hari secara umum dapat diketahui dari profil variasi harian TEC yang memperlihatkan adanya anomali peningkatan TEC menjelang sore, tengah malam dan setelah tengah malam. Sebagai contoh profil variasi TEC harian yang menunjukkan adanya peningkatan TEC malam hari ditunjukkan pada Gambar 2-2. Data diambil dari stasiun Pontianak dimana Gambar 2-2 (a) adalah data TEC tanggal 20 Januari 2009 yang tidak memperlihatkan adanya anomali peningkatan di malam hari dan gambar (b) data TEC tanggal 10 Maret 2009 yang memperlihatkan adanya anomali peningkatan TEC malam hari (tanda panah). Profil warna dalam Gambar 2-2 menunjukkan TEC dari satelit yang berbeda, sehingga untuk memperoleh analisis yang komperhensif maka dalam satu hari pengamatan investigasi dilakukan per satelit karena masing-masing satelit mempunyai sudut kemiringan berbeda dan berbeda pula posisi IPP nya.



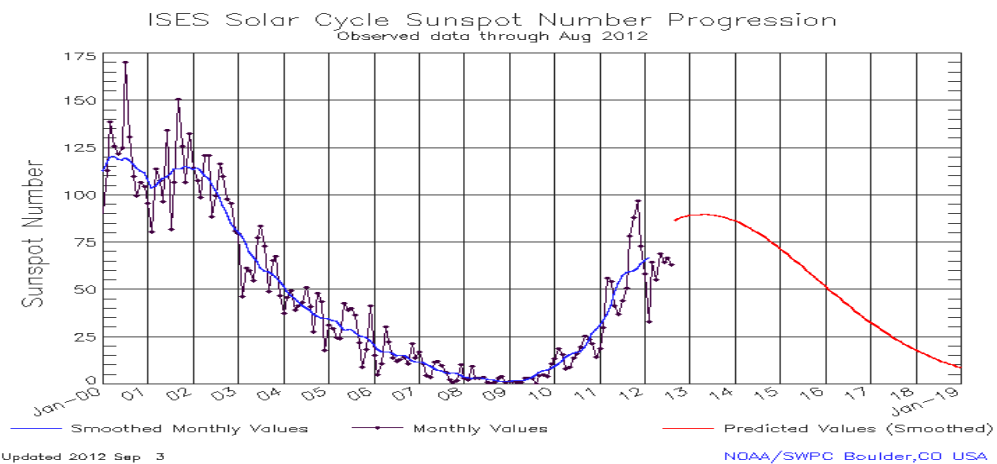
Gambar 2-2: Contoh profil VTEC dari pengamatan Pontianak tahun 2009, a) adalah TEC tanggal 20 Januari 2009 yang tidak terjadi kenaikan pada malam hari dan b) TEC tanggal 10 Maret 2009 terjadi kenaikan malam hari (tanda panah)

Untuk menentukan peningkatan TEC, maka data dipilih pada waktu malam hari yaitu setelah pukul 17:00 WIB sampai pukul 05:00 WIB. Bandung dan Pontianak masuk dalam zona Waktu Indonesia Bagian Barat (WIB) dengan perbedaan waktu sekitar 8 menit. Selanjutnya data harus memenuhi kriteria dua faktor yaitu peningkatan TEC berdurasi kurang 1 jam dan kenaikan TEC melebihi 1 TECU terhadap latar belakangnya (Dashora dan Pandey, 2005). Latar belakang adalah 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 filter lolos atas. Data runtun waktu TEC per satelit terlebih dahulu dikonversi dalam domain frekuensi menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT).



Gambar 2-3: (a) Contoh data runtun waktu TEC pada tanggal 18 Maret 2009 satelit nomor (PRN) 13 (b) Konversi dalam domain frekuensi yang memperlihatkan gangguan pada TEC pada frekuensi 0,018 Hz (periode 55 menit) garis kontinyu dan data setelah difilter (garis putus-putus). (c) Perbandingan data asli dengan data yang telah difilter yang merupakan latar belakang TEC (garis putus-putus)

Frekuensi yang diloloskan adalah frekuensi-frekuensi tinggi yaitu di atas 0.018 Hz (periode di atas 55 menit), karena pada dasarnya variasi tidak tetap atau gangguan yang muncul pada TEC mempunyai frekuensi tinggi. Sebagai contoh pada Gambar 2-3 (a) adalah data runtun waktu TEC satelit nomor (PRN) 13 pada tanggal 14 Maret 2009, yang menunjukkan adanya kenaikan TEC pada sekitar pukul 21:30 WIB. Data tersebut dikonversi dalam domain frekuensi yang memperlihatkan dua frekuensi yang muncul yaitu 0.015 Hz dan frekuensi tinggi 0.018 Hz yang merupakan gangguan pada TEC seperti ditunjukkan garis kontinyu dalam Gambar 2-3(b). Dengan filter lolos atas, frekuensi tinggi dapat dihilangkan seperti yang ditunjukkan garis putus-putus pada Gambar 2-3(b). Perbandingan data asli dengan data yang telah difilter ditunjukkan pada Gambar 2-3(c). Berdasarkan hasil pada Gambar 2-3(c) latar belakang TEC (garis merah putus-putus) sebagai variasi TEC tetap telah dapat didekati dengan analisis filter lolos atas. Analisis statistik kemunculan dan karakteristik peningkatan TEC malam hari dilakukan untuk dua tahun pengamatan yaitu tahun 2009 dan 2011 yaitu masing-masing pada periode aktivitas minimum dan maksimum matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-4. Untuk melihat pengaruh medan geomagnet, investigasi dilakukan pada dua keadaan yaitu saat tidak ada gangguan dan saat terjadi gangguan geomagnet.

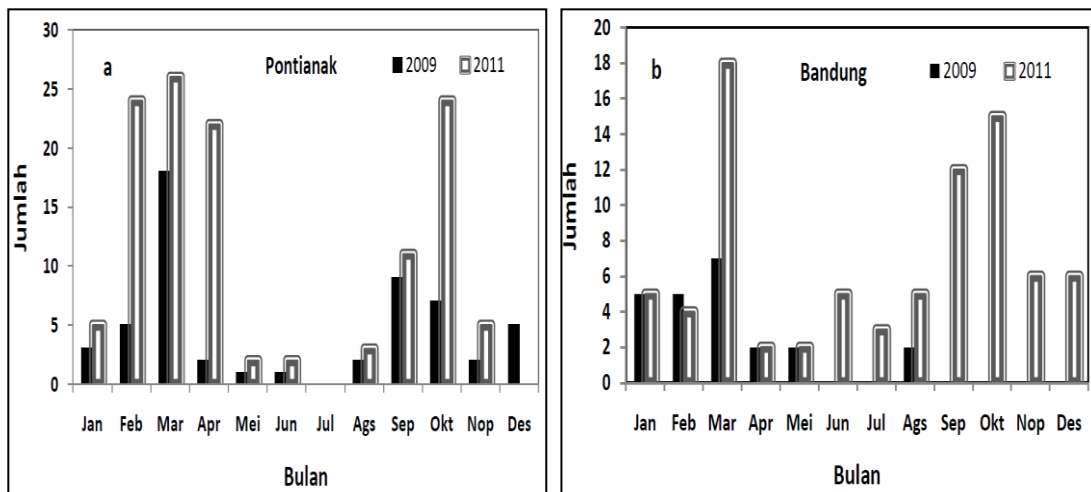


Gambar 2-4: Jumlah bilangan bintik matahari pada aktivitas minimum tahun 2009 dan mulai meningkat tahun 2011 (<http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle>)

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik kemunculan peningkatan TEC malam hari untuk stasiun Pontianak dan Bandung tahun 2009 dan 2011 ditampilkan dalam Gambar 3-1. Sebagian besar kejadian peningkatan TEC malam hari pada Gambar 3-1 tersebut teramati sebelum tengah malam. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3-1a, maka jumlah kejadian peningkatan TEC malam hari tahun 2011 lebih tinggi dibanding tahun 2009 untuk stasiun Pontianak. Kecenderungan sama juga ditunjukkan hasil pada Gambar 3-1, dimana jumlah kejadian peningkatan TEC malam hari tahun 2011 lebih tinggi untuk pengamatan di Bandung. Hasil ini menunjukkan bahwa kemunculan peningkatan TEC malam hari lebih tinggi pada saat aktivitas matahari tinggi, karena periode tahun 2011 aktivitas matahari lebih tinggi dibanding dengan tahun 2009 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-4. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3-1(a) dan (b) juga memperlihatkan kemunculan tertinggi terjadi di sekitar bulan Maret-April dan September-Oktober baik pada tahun 2009 maupun tahun 2011 yang merupakan bulan-bulan equinoks. Selain itu juga terlihat adanya asimetris dimana jumlah peningkatan TEC malam hari pada equinoks Maret lebih tinggi dibanding equinoks September. Secara umum mekanisme kerapatan ionofser malam hari telah dipahami sebagai akibat proses rekombinasi dan dinamika angin netral, perubahan medan listrik

serta proses difusi akibat perbedaan temperatur. Terjadinya peningkatan kerapatan ionosfer malam hari terutama di lapisan F2 ( $NmF2$ ) terkait dengan aktivitas matahari telah dilaporkan sebagai efek saturasi pada siang hari (Chen et al., 2008 dan Liu and Chen., 2009). Namun demikian hasil pada Gambar 3-1 mempunyai kesamaan dengan laporan Ogawa et al (2006) yang melakukan penelitian gangguan ionosfer di Indonesia menggunakan data GPS Sampali Sumatera Utara ( $3,6^{\circ}LU$   $98,7^{\circ}BT$ ) dan GPS Kototabang ( $0,3^{\circ}LS$   $100,35^{\circ}BT$ ) periode tahun 2003 dan 2004. Dengan kajian indeks perubahan TEC (*Rate of TEC index*) dari pengamatan GPS Sampali dan data sintilasi ionosfer GPS Kototabang, Ogawa melaporkan hubungan yang erat antara kemunculan gelembung plasma dengan kejadian sintilasi ionosfer. Kedua fenomena tersebut kemunculannya tertinggi pada bulan Maret dan September yaitu bulan-bulan equinoks dengan equinoks Maret lebih tinggi dibanding September.

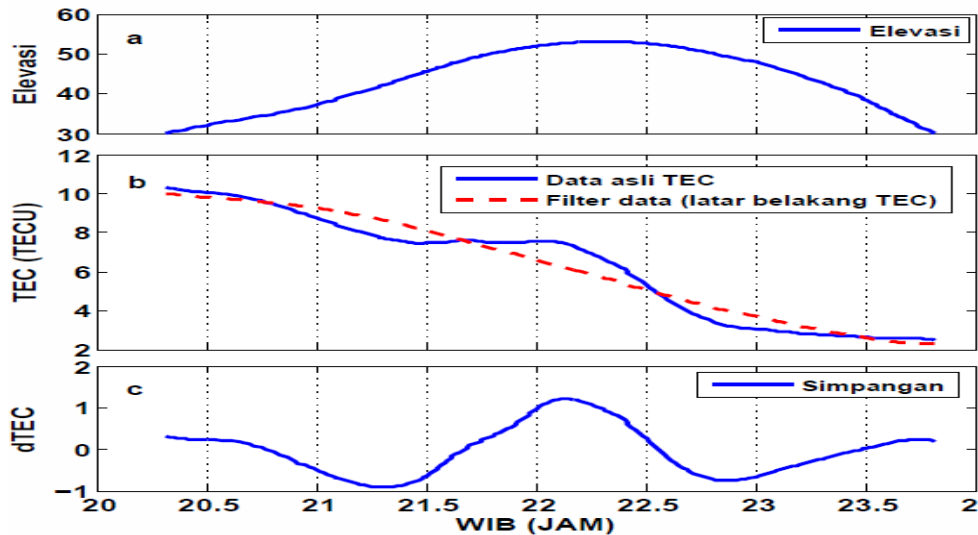


Gambar 3-1: Kemunculan peningkatan TEC malam hari setiap bulan pada tahun 2009 dan 2011 (a) Pontianak dan (b) Bandung

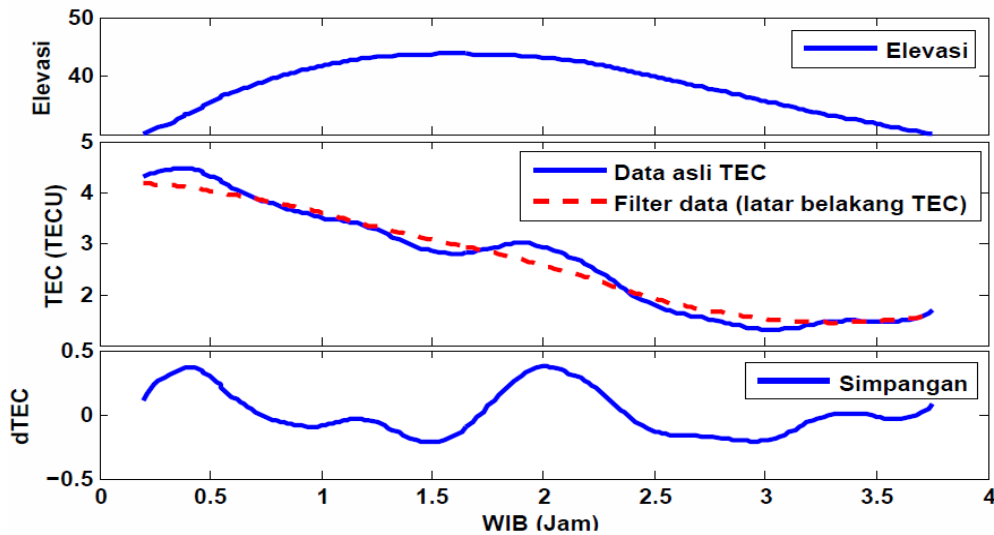
Peningkatan TEC malam hari diamati per satelit dengan investigasi berdasarkan kaidah dan metode yang sudah dijelaskan pada bagian 2. Contoh hasil ditunjukkan dalam Gambar 3-2 yang memperlihatkan tingkat kenaikan TEC malam hari tanggal 14 Maret 2009 satelit nomor 13 yaitu sekitar pukul 21:30 WIB hingga 22:30 ketika tidak terjadi gangguan geomagnet (tenang) dengan indeks Dst adalah  $-18$  nT. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3-2 (a) memperlihatkan kenaikan TEC terjadi pada saat satelit mencapai elevasi  $45^{\circ}$ . Besarnya kenaikan TEC tersebut relatif terhadap latar belakangnya dengan simpangan sekitar 1 TECU seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2 (b) dan (c). Untuk Gambar 3-3 adalah kenaikan TEC pada tanggal 20 Januari 2009 di stasiun Pontianak yaitu TEC dari satelit nomor 32. Kenaikan TEC pada Gambar 3-3 tidak masuk dalam kategori peningkatan TEC malam hari, karena tingkat kenaikan tidak mencapai 1 TECU. Gangguan lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-3 dapat disebabkan oleh noise penerima yang tidak digunakan dalam analisis.

Perbandingan peningkatan TEC malam hari di dua tempat pengamatan yaitu Bandung dan Pontianak pada tanggal 10 Maret 2009 untuk satelit yang melintas pada saat itu ditunjukkan pada Gambar 3-4. Hasil pada Gambar 3-4(a) menunjukkan beberapa sinyal satelit yang terdeteksi mengalami peningkatan TEC malam hari untuk stasiun Bandung adalah dari satelit nomor 3, 6, 16, 19, 22 dan 32. Sinyal satelit yang sama yang mengalami kenaikan TEC malam hari dijumpai juga di Pontianak yaitu dari satelit nomor 3, 16, 19 dan 32 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4(b). Namun demikian jumlah sinyal satelit yang mengalami peningkatan TEC di Pontianak lebih sedikit dibanding dengan di Bandung. Dari perbandingan waktu dimulainya

peningkatan TEC pada Gambar 3-4(a) dan 3-4(b) maka dapat dilihat bahwa peningkatan TEC mulai terjadi pada pukul 20:30 WIB sampai pukul 22:00 WIB di Pontianak seperti yang ditunjukkan oleh satelit nomor 3 dan juga satelit nomor 32 dalam Gambar 3-4(b). Kemudian peningkatan TEC kedua sinyal satelit itu juga terekam di Bandung sekitar pukul 22:00 WIB dengan intensitas amplitudo yang lebih kecil. Sehingga secara umum menunjukkan bahwa peningkatan TEC malam hari pada kejadian Gambar 3-4 bukan hanya disebabkan oleh faktor lokal karena peningkatan TEC malam hari terekam oleh sinyal satelit yang sama pada dua tempat yang berbeda.

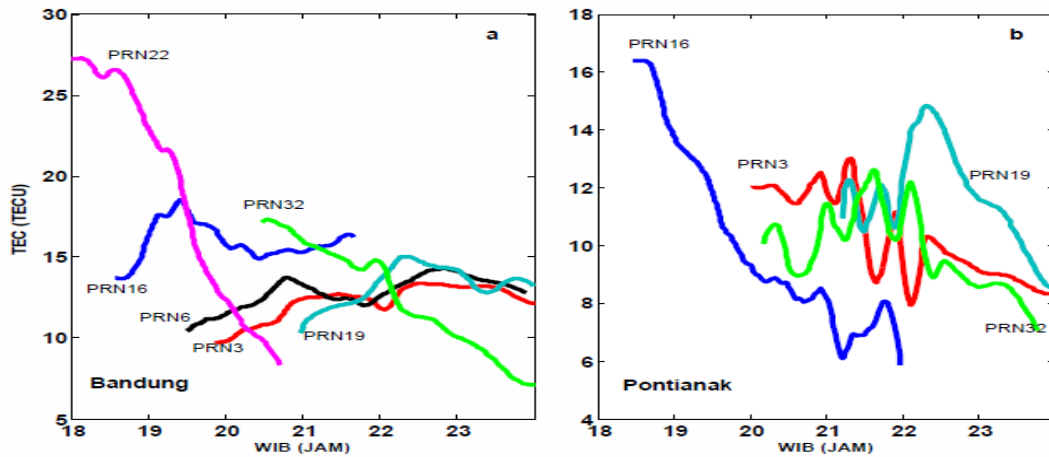


Gambar 3-2: Kenaikan TEC malam hari berdurasi 1 jam dengan tingkat kenaikan sekitar 1 TECU dan terjadi pada saat satelit melintas dengan elevasi sekitar 43°. Data diambil dari satelit nomor 13 pada tanggal 14 Maret 2009 stasiun Pontianak



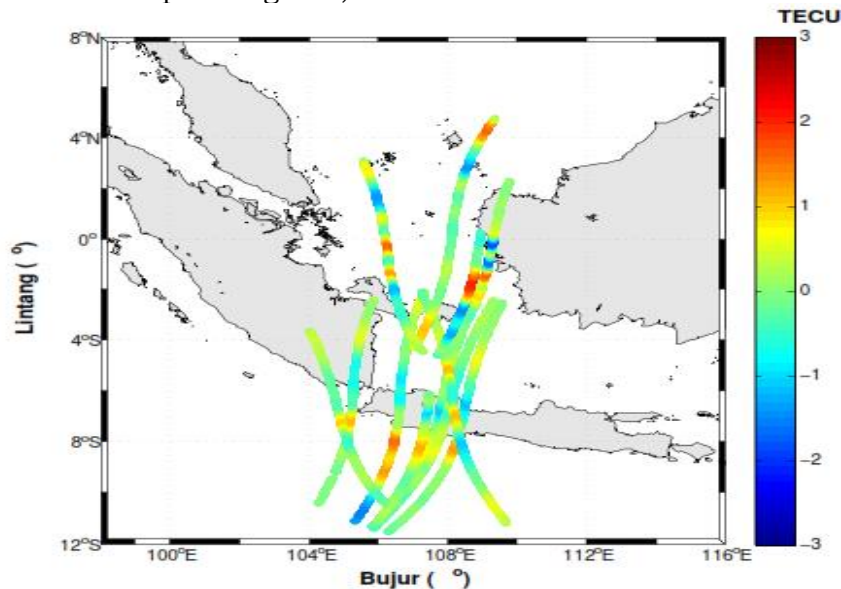
Gambar 3-3: Kenaikan TEC malam hari pada 20 Januari 2009 stasiun Pontianak yaitu satelit 32 dengan tingkat kenaikan kurang 1 TECU sehingga tidak dikategorikan sebagai peningkatan TEC malam hari dan tidak dimasukkan dalam analisis data

Perbedaan intensitas amplitudo kenaikan antara Pontianak dan Bandung menunjukkan adanya peran pergerakan gelombang. Untuk memperkuat analisis ruang maka dilihat distribusi lintang dan bujur peningkatan TEC malam hari antara Bandung dan Pontianak untuk masing-masing sinyal satelit pada tanggal 10 Maret 2009 yang ditunjukkan dalam Gambar 3-5. Gambar 3-5 adalah lintasan satelit dari sinyal satelit yang mengalami peningkatan TEC malam hari, dari pukul 18:00 WIB sampai 24:00 WIB stasiun Pontianak dan Bandung.



Gambar 3-4: Variasi peningkatan TEC malam hari dari beberapa satelit di dua tempat; (a) Bandung dan (b) Pontianak tanggal 10 Maret 2009

Distribusi peningkatan TEC antara Bandung dan Pontianak memperlihatkan intensitas amplitudo lebih tinggi yaitu sekitar 3 TEC Unit di Pontianak seperti ditunjukkan dari hasil Gambar 3-5. Sedangkan intensitas amplitudo peningkatan TEC di Bandung lebih lemah yaitu antara 1 sampai dengan 1,5 TEC Unit.

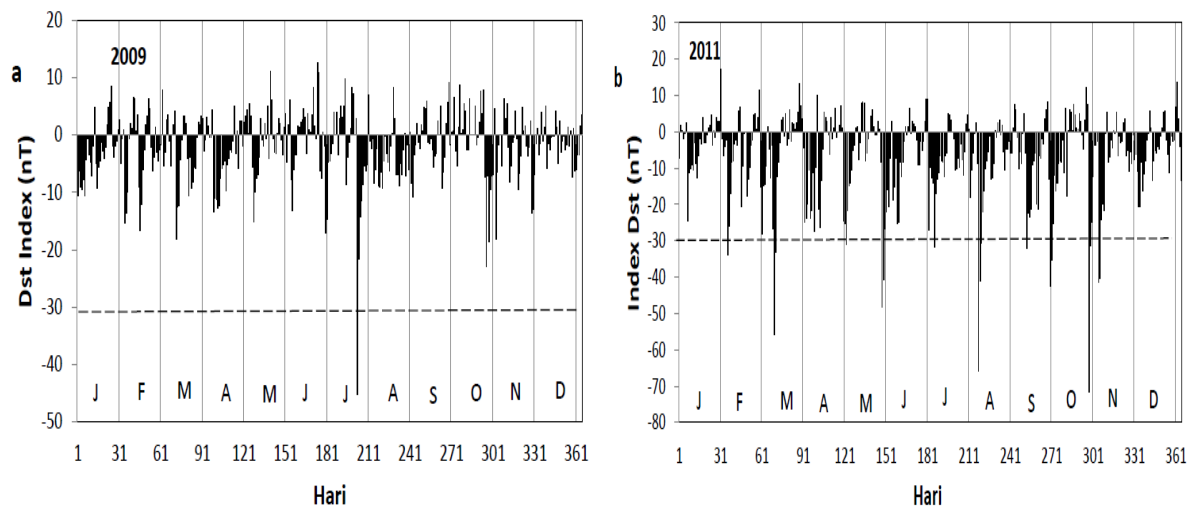


Gambar 3-5: Variasi peningkatan TEC malam hari 10 Maret 2009 dari lintasan satelit di dua tempat Bandung dan Pontianak

Analisis pengaruh aktivitas geomagnet terhadap peningkatan TEC malam hari dilakukan dengan melihat pola peningkatan terhadap gangguan geomagnet yang terjadi. Gambar 3-6 (a) dan (b) masing-masing adalah grafik indeks Dst yang menunjukkan aktivitas geomagnet pada tahun 2009 dan 2011 yang diperoleh dari Pusat Data Geomagnet Dunia Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc>). Berdasarkan hasil pada Gambar 3-6 (a) dapat dilihat bahwa aktivitas geomagnet selama periode tahun 2009 dikategorikan kecil atau tidak ada gangguan dengan rata-rata di bawah -30 nT. Sedangkan Gambar 3-6 (b) adalah grafik indeks Dst tahun 2011 yang masih dikategorikan tenang namun ada beberapa kali gangguan geomagnet yang terjadi yaitu bulan Agustus, September dan Oktober dengan indeks Dst mencapai -100 nT. Aktivitas geomagnet selama periode tahun 2009 dan tahun 2011 tidak berpengaruh pada peningkatan TEC malam hari. Hal ini dapat dilihat dari pola peningkatan TEC malam hari yang memperlihatkan pola peningkatan pada bulan-bulan equinoks. Pola yang diperlihatkan dari hasil pada Gambar 3-1 lebih dekat dengan karakteristik kemunculan



gelembung plasma dan sintilasi ionosfer seperti yang dilaporkan oleh Ogawa. Hal ini diperkuat juga waktu kemunculan peningkatan TEC malam hari baik di Bandung maupun di Pontianak yang sebagian besar adalah sebelum tengah malam. Seperti yang telah disebutkan dalam bagian pendahuluan bahwa peningkatan kerapatan plasma pada malam hari diasosiasikan juga dengan kemunculan gelembung plasma. Berdasarkan pola kemunculannya maka hasil investigasi dari penelitain ini bahwa peningkatan TEC malam hari adalah komplemen dari kemunculan gelembung plasma.



Gambar 3-6: Data indeks Dst setiap bulan pada tahun a) 2009 dan b) 2011, di atas garis putus-putus -30nT adalah gangguan geomagnet minor

#### 4 KESIMPULAN

Investigasi peningkatan TEC malam hari yaitu gangguan skala kecil durasi kurang dari satu jam dengan deviasi kenaikan TEC lebih dari 1 TECU yang muncul sebelum tengah malam telah dilakukan di dua tempat, Bandung dan Pontianak. Analisis statistik kemunculan peningkatan TEC malam hari menunjukkan kemunculan yang tinggi saat aktivitas matahari maksimum tahun 2011 baik di Bandung maupun Pontianak. Pola kemunculan tertinggi pada bulan-bulan equinoks baik pada aktivitas minimum matahari tahun 2009 maupun pada aktivitas maksimum tahun 2011 di dua tempat tersebut. Analisis ruang berdasarkan lintasan satelit (IPP) yang melintas pada saat kemunculan peningkatan TEC malam hari antara Bandung dan Pontianak menunjukkan distribusi yang merata dengan intensitas amplitudo sedikit lebih tinggi di lintang dan bujur sekitar Pontianak. Hal ini menunjukkan adanya peran pergerakan gelombang yang menyebabkan pelemahan ataupun penguatan gangguan skala kecil pada TEC pada malam hari yang belum dapat diketahui arah pergerakannya. Pengaruh aktivitas geomagnet tidak tampak, karena aktivitas geomagnet baik pada tahun 2009 maupun tahun 2011 tidak mempengaruhi pola kemunculannya. Berdasarkan pola kemunculannya maka peningkatan TEC malam hari adalah komplemen dari kemunculan gelembung plasma. Hasil dari kajian ini dapat dilanjutkan dengan data dari peralatan pengamatan lain seperti ionosonda yaitu data foF2 dan spread F, airglow dan medium frekuensi radar yaitu data gelombang gravitasi dan gelombang plasma serta GPS Sintilasi, sehingga diperoleh informasi mekanisme paripurna dari kemunculan gangguan ionosfer skala kecil dan menengah di regional Indonesia.

#### DAFTAR RUJUKAN

Anderson, D. N. and Klobuchar, J. A, 1983. *Modeling the Total Electron Content Observations above Ascension Island*, J. Geophys. Res. 88, 8020–8024.

- Balan, N., Bailey, G. J., Balachandran Nair, R., and Titheridge, J. E., 1994. *Nighttime Enhancement in Ionospheric Electron Content in the Northern and Southern Hemispheres*, J. Atmos. Terr. Phys., 56, 67–79.
- Bailey, G. J., Sellek, R., and Balan, N., 1991. *The Effect of Interhemi-Spheric Coupling on Night-Time Enhancements in Ionospheric Total Electron Content During Winter at Solar Minimum*, Ann. Geo-physicae, 9, 738–747.
- Bailey, G. J., Sellek, R., and Balan, N., 1992. *Night-time Enhancements in TEC During Winter at Solar Minimum: the effect of the conjugate hemisphere*, Adv. Space Res., 12, 309–312.
- Chen Y, Liu L, Le H, 2008. *Solar Activity Variations of Nighttime Ionospheric Peak Electron Density*, J Geophys Res, 113: A11306, doi:10.1029/2008JA013114.
- Dashora, D., Pandey, R., 2005. *Observations in Equatorial Anomaly Region of Total Electron Content Enhancements and Depletions*, Ann. Geophys. 23, 2449–2456.
- Klobuchar, J., 1986. *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.
- Le, G., Huang, C.S., Pfaff, R.F., 2003. *Plasma Density Enhancements Associated with Equatorial Spread F: ROCSAT-1 and DMSP Observations*, J. Geophys. Res. 108 (A8), 1318.
- Liu L and Chen Y, 2009. *Statistical Analysis on The Solar Activity Variations of The TEC Derived at JPL from Global GPS Observations*, J Geophys Res, 114: A10311, doi:10.1029/2009JA014533.
- Lois, L., Peres, X., Latso, B., Yakovski, N., and Landrok, R., 1990. *Night Time Increases of Ionisation in The F-Region Above Cuba: The Relation to Solar Activity, Geomagnetism and Aeronomy*, 301, 76–82.
- 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.
- Oya, H.T., Takahashi, T., Watanabe, S., , 1986. *Observation of Low-Latitude Ionosphere by The Impedance Probe on Board The Hinotori Satellite*, J. Geomagn. Geoelectr. 38, 111–123.
- Pimenta, A.A., Sahai, Y., and Bittencourt, J.A , 2004. *Plasma Blobs Observed by Ground-Based Optical and Radio Techniques in The Brazilian Tropical Sector*, Geophys. Res. Lett. 31, L12810, doi:10.1029/2004GL02023.
- Sudhir Jain, Vijay, S. K., Gwal, A. K., and Huang, Y. N., 1995. *Night-time Enhancements in Ionospheric Electron Content: Seasonal and Solar Cycle Variation*, Ann. Geophysicae, 13, 256–261.
- GSV 4004B, 2007. *GPS Ionospheric Scintillation & TEC Monitor (GISTM) User's Manual*. GSV GPS Silicon Valley.
- NOAA, 2012. *Space Weather Prediction Center*, <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle> download September 2012.
- WDC, 2012. *Geomagnetic Data Service*, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc> download September 2012.