

# **VARIASI TOTAL ELECTRON CONTENT IONOSFER PADA AWAL PENINGKATAN AKTIVITAS MATAHARI SIKLUS KE 24 (THE IONOSPHERIC TOTAL ELECTRON CONTENT VARIATION IN THE BEGINNING OF SOLAR ACTIVITY INCREASE CYCLE 24)**

**Asnawi, Sri Ekawati dan Dwiko U. Prabowo**

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Sains Antariksa, LAPAN

e-mail: asnawihs@yahoo.com

## **ABSTRACT**

This paper presents an analysis of ionospheric TEC (Total Electron Content) variation in the beginning of solar activity periode 2011, based on GPS observation by using GISTM (GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitoring) Pontianak (-0.06, 109.4). The results of the investigation obtained that the highest VTEC occurred in equinox months, March and September and formed asymmetric increased VTEC where the September equinox had stronger intensity and extended through October and November. The periodesity analysis using the Morlet wavelet obtained a period of 24 hours (1 day). The one day period (diurnal) appeared in every month from January to December, where strong signals occurred in March, September and October (equinox months). While weak signals occurred in January and June during wet and dry season respectively. The-distribution of TEC variation index showed tend to increase after 6 a.m but the difference between dry season, wet seasons and equinox did not obvious. However, the tendency of TEC variation index from January to December tend to increase with a coefficient  $R=0.14$ .

Keyword: *Sunspot number, GISTM, TEC Ionosphere*

## **ABSTRAK**

Tulisan ini membahas analisis perubahan variasi *Total Electron Content* (TEC) ionosfer di awal peningkatan aktivitas matahari periode 2011 dari pengamatan GPS menggunakan *GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitoring* (GISTM) stasiun Pontianak (-0.06, 109.4). Dari hasil investigasi diperoleh bahwa VTEC tertinggi terjadi pada bulan *equinox* Maret dan September, serta terbentuk asimetris peningkatan VTEC dimana untuk *equinox* September lebih intens dan melebar sampai Oktober dan Nopember. Analisis periodesitas menggunakan Morlet wavelet diperoleh periode 24 jam (1 hari). Periode 1 hari (diurnal) tersebut muncul pada setiap bulan dari Januari sampai Desember, dengan sinyal kuat terjadi pada bulan Maret, September dan Oktober (*equinox*). Sedangkan sinyal lemah terjadi pada bulan Januari dan Juni masing-masing bulan saat musim kering dan musim basah. Distribusi variasi TEC menunjukkan kecenderungan naik setelah jam 6 pagi tetapi perbedaan antara musim basah, kering dan bulan *equinox* tidak jelas terlihat. Namun demikian tren indeks variasi TEC dari Januari sampai Desember cenderung naik dengan koefisien regresi  $R=0.14$ .

Kata kunci: *Bilangan sunspot, GISTM, TEC Ionosfer*

## 1 LATAR BELAKANG

Untuk mendukung penelitian dinamika ionosfer, LAPAN telah memasang alat pengamat ionosfer yang berbasis satelit *Global Positioning System* (GPS) yaitu *GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitoring* (GISTM), di Pontianak (-0.06, 109.4). Jumlah elektron total ionosfer atau *Total Electron Content* (TEC) adalah parameter penting dari karakteristik ionosfer. TEC diturunkan dari kerapatan elektron yaitu dengan menghitung integral kerapatan elektron sepanjang sinyal satelit ke penerima di bumi. Telah dipahami bahwa variasi temporal dan spasial TEC ionosfer lintang rendah regional Indonesia bergantung dari banyak faktor, diantaranya adalah waktu lokal, equinoksial, lintang magnetik, aktivitas geomagnet dan aktivitas matahari, serta saat terjadi gangguan cuaca antariksa seperti terjadinya *flare* dan *Coronal Mass Ejection* (CME).

Ionosfer daerah ekuator lintang rendah mempunyai keunikan tersendiri dibandingkan dengan daerah lain karena dinamika dan proses ionisasinya dipengaruhi oleh fenomena *equatorial anomaly*. Fenomena ini ditandai dengan distribusi kerapatan ionisasi di sekitar magnetik ekuator dengan puncak-puncak ionisasi berada disekitar 15° lintang magnetik sebelah utara dan selatan. Secara sederhana, mekanisme fisik dari fenomena ini dapat dijelaskan sebagai efek air mancur. Seperti yang telah dilaporkan oleh Appleton (1946), Martyn (1947, 1955) dan Duncan (1960) bahwa saling tegak lurus medan listrik arah timur dengan medan magnet arah utara di sepanjang garis lintang geomagnet akan membawa *drift*  $E \times B$  keatas. Berikutnya terbentuk plasma yang terus bergerak naik keatas dan akan terjadi difusi sepanjang garis medan magnet yang disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan perubahan tekanan. Proses ini akan menghasilkan

formasi seperti cucuran air mancur di mana peningkatan konsentrasi elektron daerah F berada pada dua sisi ekuator sedangkan konsentrasi elektron sepanjang ekuator magnetik akan berkurang. Fenomena *equatorial anomaly* juga terdeteksi dari pengamatan GPS TEC. TEC ionosfer daerah *equatorial anomaly* sektor India memperlihatkan adanya variasi *semiannual*, dengan puncak anomali terjadi pada siang hari waktu lokal antara jam 13:00 dan 16:00 LT. Puncak anomali tersebut terletak di lintang geografi 15 sampai 25 Utara atau 5 sampai 15 lintang geomagnet (Rama Rao et al. 2006). GISTM Pontianak terletak pada lintang geomagnet (9.81° Selatan, 178.20° Barat). Dengan posisi tersebut, data TEC ionosfer GISTM Pontianak mempresentasikan ionosfer daerah *anomaly equator* sebelah selatan. Bagaimanapun penelitian karakteristik ionosfer di daerah dekat puncak ekuator adalah suatu yang menarik, terutama di ekuatorial sektor Indonesia pada periode awal peningkatan aktivitas matahari yang belum banyak dilakukan.

Untuk melihat karakteristik ionosfer menjelang peningkatan aktivitas matahari di lintang rendah ekuator sektor Indonesia, data TEC ionosfer dari pengamatan GISTM Pontianak yang digunakan adalah data tahun 2011 dimana pada saat tersebut adalah fase moderat menjelang puncak maksimum peningkatan aktivitas matahari siklus 24. Untuk mengetahui tingkat variasi selama periode 2011 tersebut, maka ditentukan parameter-parameter seperti median bulanan, deviasi standar dan variasi relatif atau indeks variasi TEC yaitu deviasi standart X 100 dibagi dengan median bulanan. Analisis yang dilakukan adalah studi variasi musim dan korelasi antara presentase variasi relatif VTEC terhadap aktivitas matahari yaitu bilangan bintik matahari.

## 2 DATA DAN METODE ANALISIS

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 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):

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

Keterangan:

$P_{L2}$  dan  $P_{L1}$ : *pseudo-range* (meter) sinyal  $L_2$  dan  $L_1$ ,

$b_{c/a-p}$  : 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>),

$TEC_{RX}$  : besarnya TEC yang ditimbulkan dari bias penerima yaitu tunda  $L_1/L_2$  dan

$TEC_{cal}$  : TEC kalibrasi offset penerima.

Hasil 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).

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

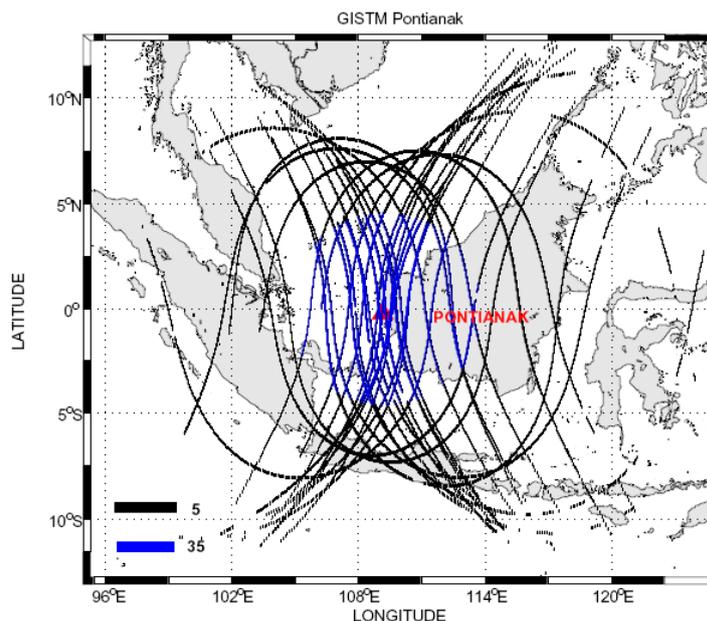
Keterangan:

$R_e$  : jejari bumi (6378 km),

$h_{max}$ : ketinggian lapisan ionosfer yaitu 350 km, dan

$\theta$  : sudut kemiringan (elevasi) sinyal satelit terhadap penerima di bumi.

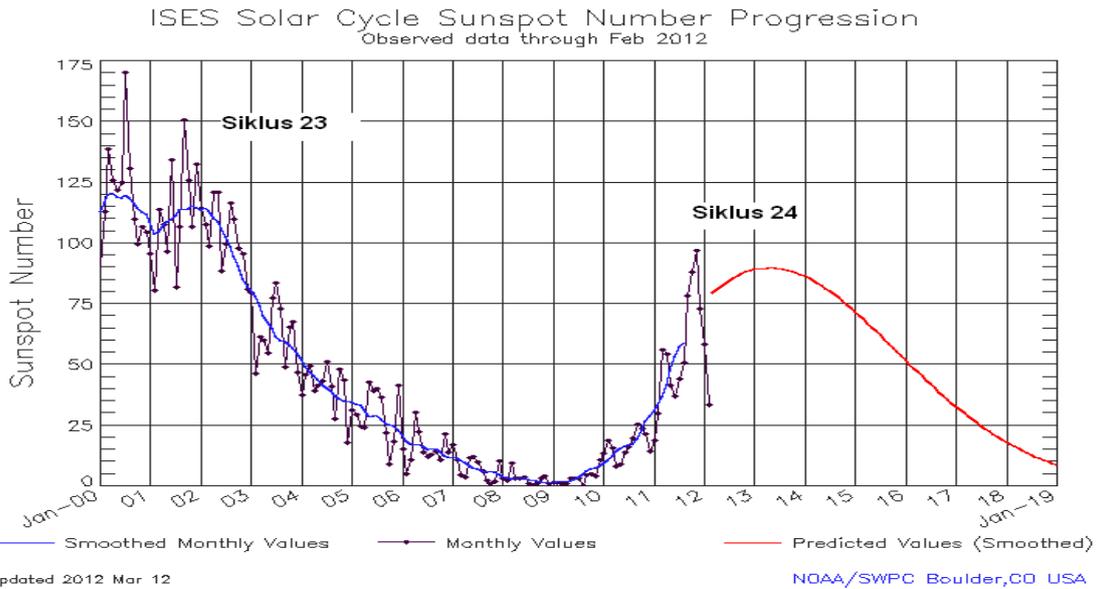
Untuk menghindari salah interpretasi gangguan akibat *multipath* maka data dipilih dengan sudut elevasi lebih dari  $35^\circ$ . Gambar 2-1 menunjukkan lintasan *Ionospheric Pierce Point* (IPP) satelit di atas penerima GISTM Pontianak, dimana garis biru adalah data dengan sudut elevasi  $>35^\circ$  dan garis hitam adalah data dengan elevasi  $>5^\circ$ . Seleksi data dengan elevasi  $>35^\circ$  merepresentasikan pengamatan di atas stasiun GPS. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-1.



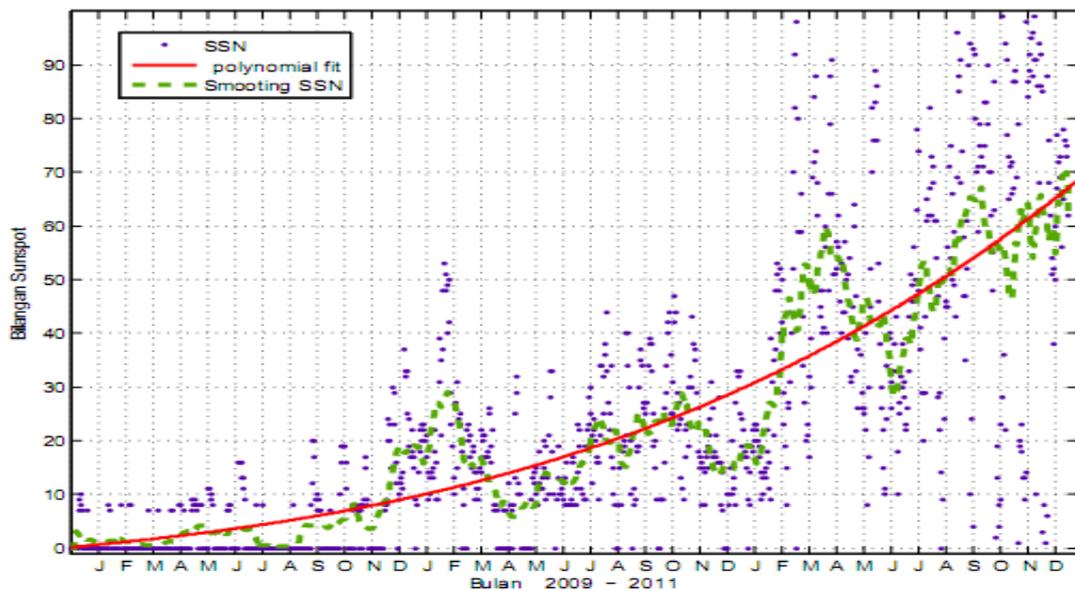
Gambar 2-1: Lintasan IPP satelit di atas penerima GISTM Pontianak, garis biru adalah data dengan elevasi  $>35^\circ$ , garis hitam elevasi  $>5^\circ$

Tahun 2011 adalah fase moderat menjelang kenaikan aktivitas matahari siklus 24. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 2-2, yaitu data bilangan bintik matahari yang menunjukkan berakhirnya puncak maksimum siklus 23 dengan ditandai aktivitas menurun dan mencapai minimum sekitar tahun 2008-2009 dan cenderung meningkat pada tahun

2011. Prediksi dari pusat cuaca antariksa *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) bahwa puncak maksimum aktivitas ke 24 adalah sekitar tahun 2013. Gambar 2-3 adalah grafik data bilangan bintik matahari tahun 2009-2011, yang menunjukkan bahwa tahun 2011 adalah fase awal mulai kenaikan aktivitas matahari siklus 24.



Gambar 2-2: Grafik bilangan bintik matahari siklus ke 23 dan prediksi puncak siklus ke 24 sekitar tahun 2013 (sumber NOAA 2012)



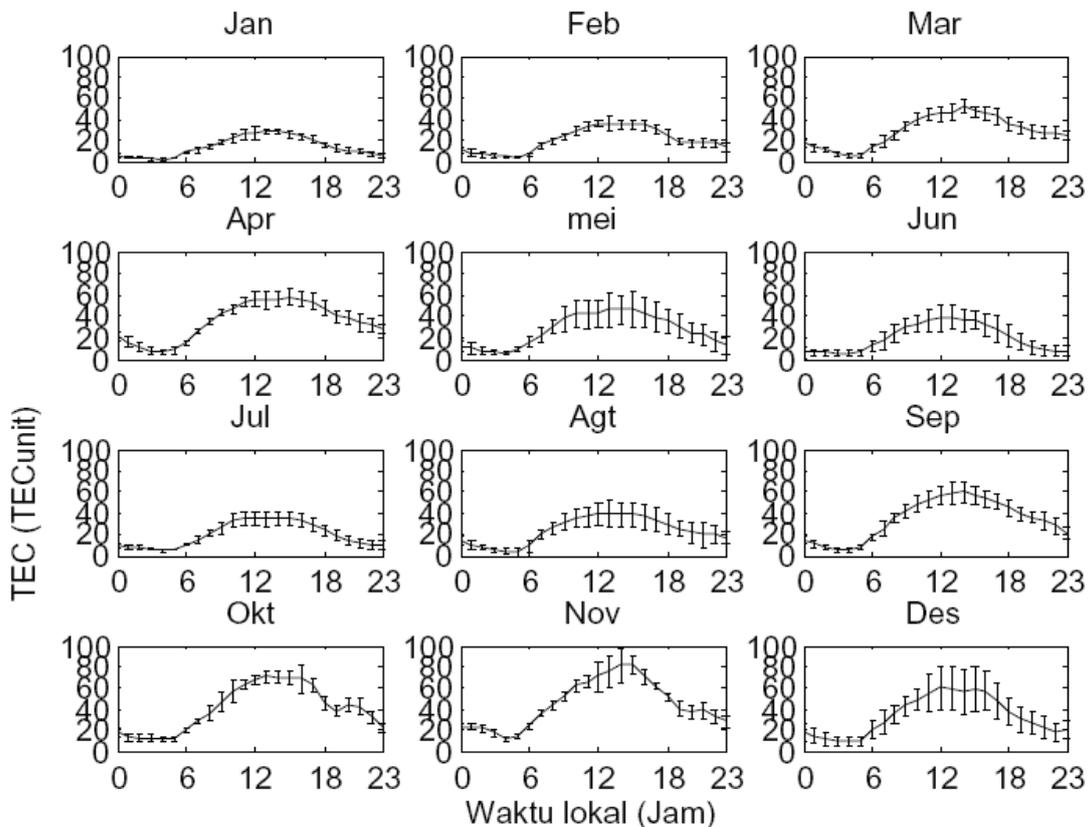
Gambar 2-3: Grafik evolusi peningkatan bilangan bintik matahari dari tahun 2009 sampai tahun 2011

Data yang digunakan untuk analisis korelasi antara indeks variasi VTEC dengan aktivitas matahari yaitu bilangan bintik matahari di laman <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi harian memperlihatkan variabel VTEC setiap jam dalam satu hari. Untuk melihat variasi harian dalam satu bulan, data VTEC disajikan dalam grafik median bulanan disertai dengan deviasi standartnya. Variasi harian VTEC tahun 2011 disajikan dalam Gambar 3-1, yang menunjukkan median harian VTEC setiap bulan dalam tahun 2011 (garis kontinu) dan deviasi standartnya (garis bar). Dari Gambar 3-1 terlihat bahwa evolusi kenaikan VTEC dalam tahun 2011 cukup drastis dimana nilai median maksimum terendah adalah 25 TECU (Januari) hingga maksimum tertinggi mencapai 90 TECU (Oktober). Deviasi

VTEC terbesar terjadi pada bulan Mei, Nopember dan bulan Desember, hal ini disebabkan kontribusi dari aktivitas cuaca antariksa yang terjadi pada bulan-bulan tersebut, yaitu kemunculan CME pada bulan Oktober dan Nopember dan badai geomagnet pada awal bulan Mei 2011. Dari *release* yang dikeluarkan oleh badan antariksa Amerika Serikat (NASA) tercatat pada bulan Nopember terjadi *flare* kelas X dan CME, bulan Oktober terbentuk awan aurora di daerah kutub, kemunculan komet dan CME di matahari. Selain itu, nilai deviasi standart mulai meninggi setelah jam 7 pagi yaitu saat aktivitas matahari mulai tinggi. Secara umum maksimum VTEC terjadi pada sekitar pukul 13:00 dan 14:00 waktu lokal, dan ada pergeseran yaitu pukul 15:00 waktu lokal untuk bulan-bulan equinox yaitu Maret, April, September, Oktober dan Nopember.

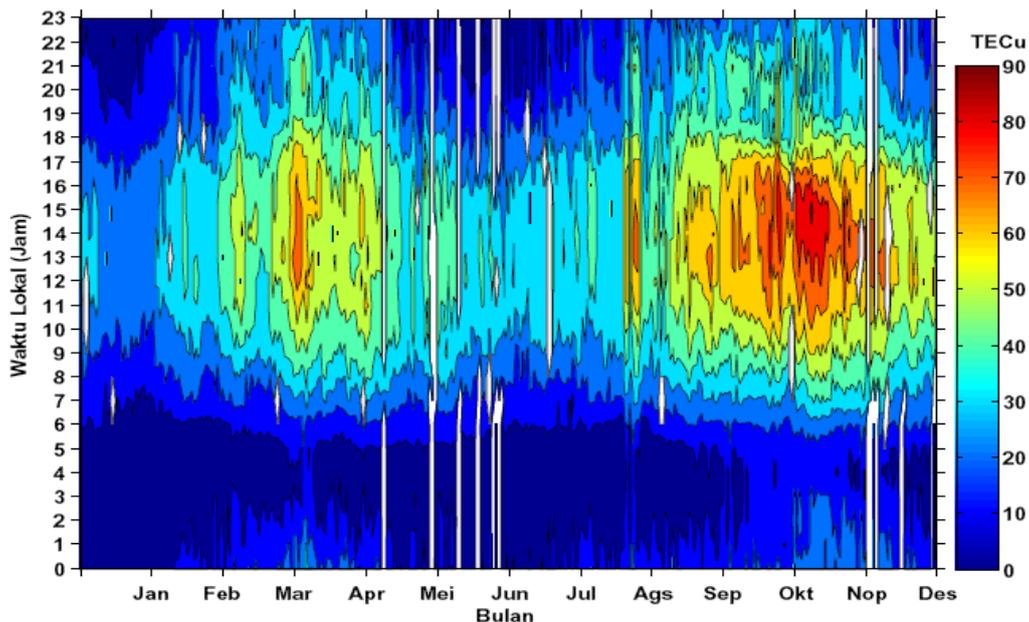


Gambar 3-1: Grafik median VTEC (garis kontinu) dan deviasi standartnya (garis bar) bulan Januari sampai Desember tahun 2011

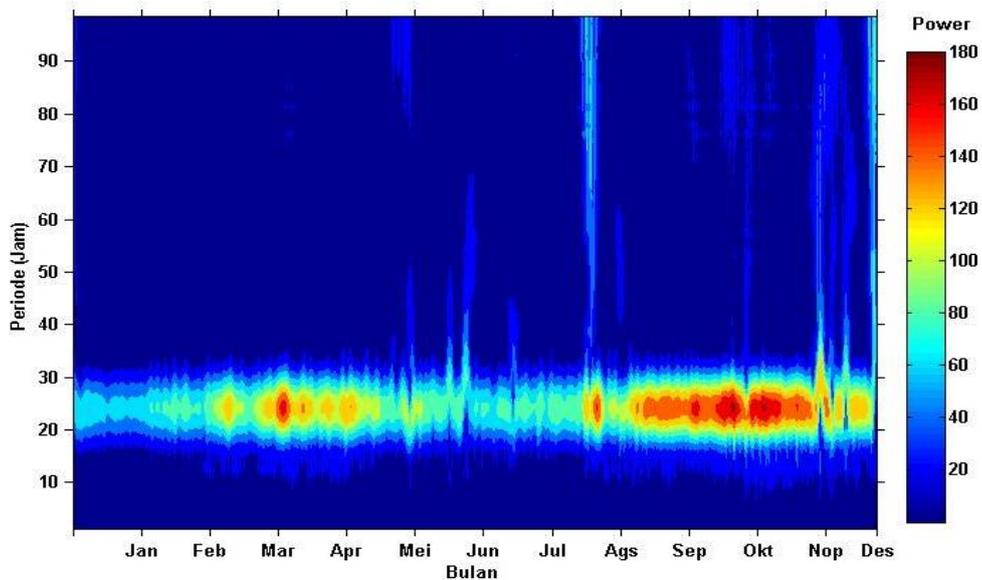
Variasi musim bulanan adalah peningkatan VTEC secara keseluruhan pada bulan tertentu berbanding dengan bulan yang lain terkait dengan faktor musim dan posisi matahari. Gambar 3-2 adalah variasi bulanan VTEC dari bulan Januari sampai Desember 2011 dimana nampak bahwa VTEC tertinggi adalah pada bulan-bulan *equinox* yaitu Maret dan September. Namun demikian terbentuk asimetris peningkatan VTEC dimana untuk *equinox* September lebih intens dan melebar sampai Oktober dan Nopember. Mekanisme peningkatan pada bulan *equinox* disebabkan posisi matahari yang tepat di atas equator selama bulan tersebut. Menurut Wu et al. (2004, 2008) bahwa pada saat itu elektrojet dalam arah timur yang dikaitkan dengan medan listrik terjadi peningkatan. Sehingga pada bulan tersebut foto elektron melimpah, terutama pada daerah dengan medan listrik arah timur dan selanjutnya efek air mancur juga akan terbentuk. Sementara itu asimetris terkait dengan tidak meratanya distribusi atmosfer dan angin netral, perbedaan temperatur sertanya adanya perubahan arah angin netral antara belahan bumi utara dan

selatan. Komponen meridional angin netral akan berhembus dari belahan bumi yang sedang mengalami musim panas ke belahan musim dingin yang akan mengurangi nilai maksimum, karena hembusan tersebut belawan arah dengan proses difusi plasma yang berasal dari equator magnetik (Bhuyan and Borah, 2007).

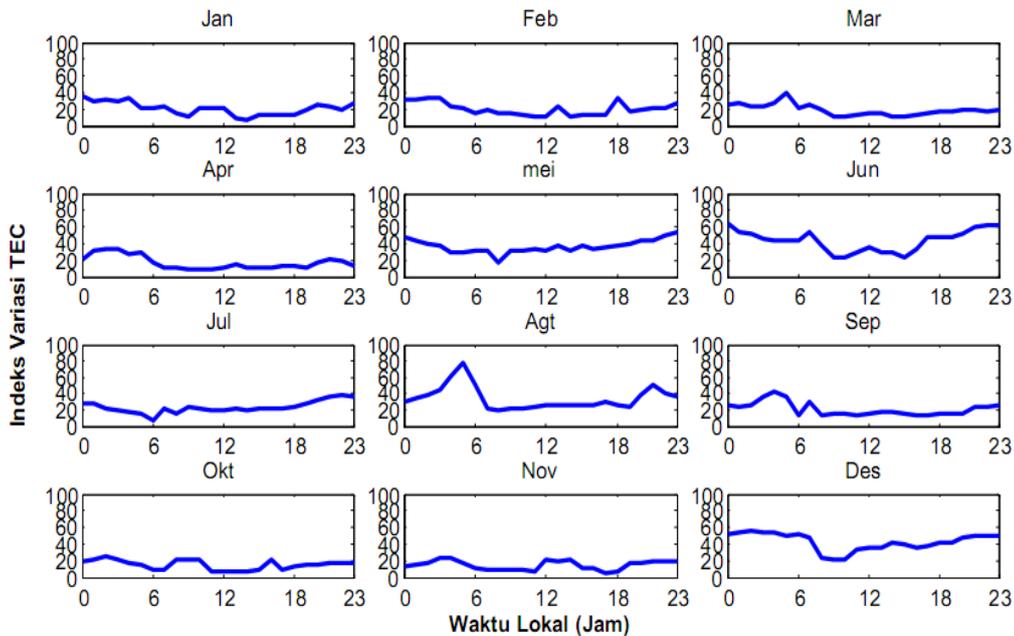
Untuk memperkuat analisis, data variasi VTEC bulanan seperti dalam Gambar 3-2, dilakukan transformasi dalam domain frekuensi menggunakan Morlet wavelet. Hasil analisis Morlet wavelet, data runtun waktu VTEC untuk mendapatkan periode dominan dapat dilihat dalam Gambar 3-3. Periode dominan yang diperoleh adalah periode 24 jam (1 hari) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-3. Periode 1 hari (*diurnal*) tersebut muncul pada setiap bulan dari bulan Januari sampai Desember, dimana sinyal kuat terjadi pada bulan Maret, September dan Oktober yaitu bulan-bulan *equinox*. Sedangkan sinyal lemah terjadi pada bulan Januari dan Juni yaitu bulan saat musim kering dan musim basah.



Gambar 3-2: Variasi VTEC bulanan dari Januari sampai Desember tahun 2011



Gambar 3-3: Amplitudo spektra variasi waktu bulanan VTEC dari Januari sampai Desember tahun 2011



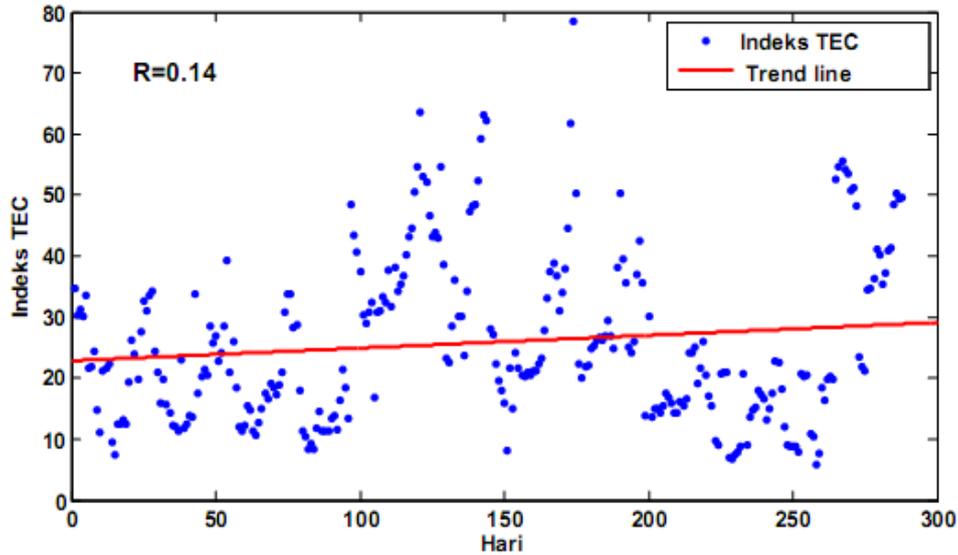
Gambar 3-4: Indeks variasi TEC bulanan dari Januari sampai Desember tahun 2011

Indeks variasi TEC seperti yang telah disebutkan sebelumnya dapat digunakan untuk melihat distribusi variasi TEC. Indeks variasi TEC dalam tahun 2011 setiap bulannya dapat dilihat pada Gambar 3-4. Secara umum distribusi variasi TEC menunjukkan kecenderungan naik setelah pukul 6 pagi dan perbedaan antara musim basah, kering dan bulan *equinox* kurang terlihat. Namun demikian *trend* indeks

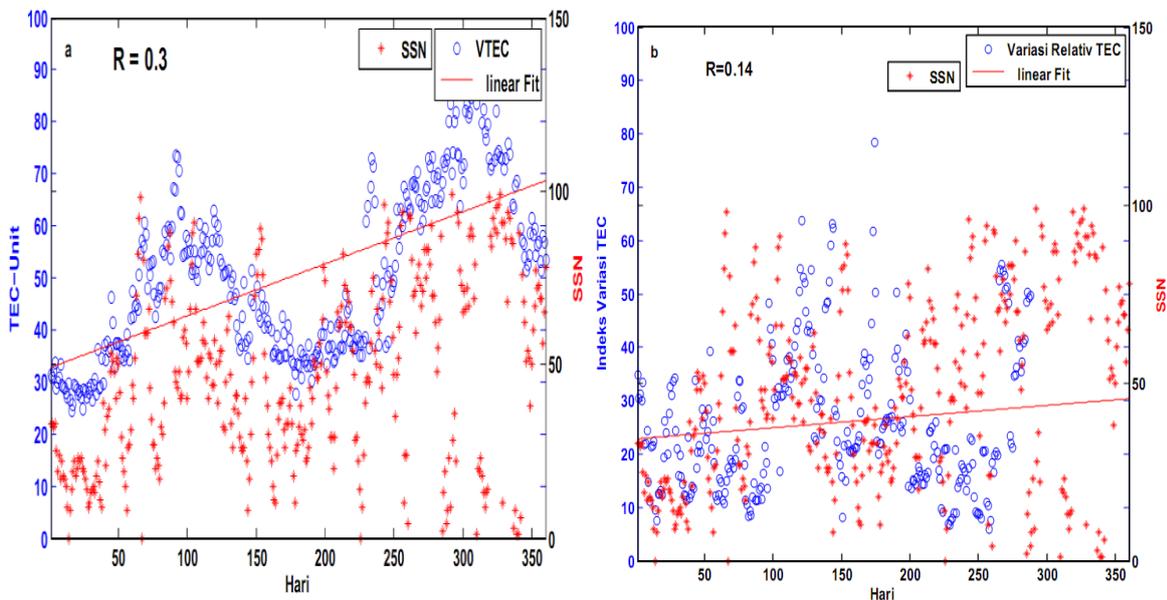
ini dari Januari sampai Desember cenderung naik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-5 dengan koefisien regresi  $R=0.14$ . Beberapa peneliti telah melaporkan distribusi indeks TEC untuk penelitian di equator sektor India dan Brasil yang memperlihatkan perbedaan distribusi antara bulan *equinox* dengan musim kering dan basah (Lazo et al. 2004, Mukherjee et al. 2010).

Parameter TEC ionosfer yang diturunkan dari perhitungan sinyal GPS adalah representatif dari jumlah elektron yang berada pada ketinggian sekitar 350-400 km yaitu ionosfer lapisan F. Dengan demikian, secara umum bahwa maksimum dan variasi TEC ionosfer daerah Pontianak adalah wilayah pertengahan dari puncak anomali sebelah selatan yaitu sekitar  $10^\circ$  lintang geomagnet. Untuk melihat pengaruh

aktivitas matahari pada awal peningkatan yaitu periode 2011, maka dilakukan analisis korelasi antara maksimum TEC harian dengan bilangan *sunspot* dan juga indeks variasi TEC dengan bilangan *sunspot*. Hasil analisis korelasi dapat dilihat dalam Gambar 3-6 dengan koefisien korelasi  $R=0.3$  untuk maksimum TEC harian dan  $R=0.14$  untuk indeks variasi TEC.



Gambar 3-5: Tren kenaikan distribusi Indeks Variasi TEC tahun 2011



Gambar 3-6: Koefisien korelasi antara bilangan *sunspot* (SSN) tahun 2011 dengan maksimum VTEC harian (a) dan dengan indeks variasi TEC (b)

#### 4 KESIMPULAN

Variasi TEC ionosfer pada awal peningkatan aktivitas matahari periode 2011 telah dilakukan dengan analisis data TEC ionosfer GISTM stasiun Pontianak (lintang geomagnet:  $9.81^\circ$  Selatan,  $178.20^\circ$  Barat). Berdasarkan letaknya terhadap lintang geomagnet, GISTM Pontianak berada di daerah pertengahan sebelum puncak *anomaly equatorial* sebelah selatan. Secara umum hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Variasi harian maksimum TEC memperlihatkan evolusi kenaikan cukup drastis dimana nilai median maksimum terendah adalah 25 TECU (Januari) hingga maksimum tertinggi mencapai 90 TECU (Oktober). Deviasi VTEC terbesar terjadi pada bulan Mei, November dan bulan Desember. Hal ini disebabkan kontribusi dari aktivitas cuaca antariksa yang terjadi pada bulan-bulan tersebut.
- Variasi bulanan VTEC tertinggi adalah pada bulan-bulan *equinox* yaitu Maret dan September. Namun demikian terbentuk asimetris peningkatan VTEC dimana untuk *equinox* September lebih intens dan melebar sampai Oktober dan Nopember.
- Analisis Morlet wavelet data runtun waktu VTEC untuk mendapatkan periode dominan diperoleh periode 24 jam (1 hari). Periode 1 hari (diurnal) tersebut muncul pada setiap bulan dari bulan Januari sampai Desember, dimana sinyal kuat terjadi pada bulan Maret, September dan Oktober yaitu bulan-bulan *equinox*. Sedangkan sinyal lemah terjadi pada bulan Januari dan Juni yaitu bulan saat musim kering dan musim basah.
- Distribusi variasi TEC menunjukkan kecenderungan naik setelah jam 6 pagi dan perbedaan antara musim basah,

kering dan bulan *equinox* kurang terlihat. Namun demikian trend indeks ini dari Januari sampai Desember cenderung naik dengan koefisien regresi  $R=0.14$ .

- Analisis korelasi antara maksimum TEC harian dengan bilangan *sunspot* dan juga indeks variasi TEC dengan bilangan *sunspot* diperoleh koefisien korelasi  $R=0.3$  untuk maksimum TEC harian dan  $R=0.14$  untuk indeks variasi TEC.

Penelitian ini adalah tahap awal untuk kajian yang lebih luas karena data yang digunakan dalam penelitian ini hanya satu tahun data dan hanya difokuskan pada awal peningkatan aktivitas matahari periode 2011.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Appleton, E.V., 1946. *Two Anomalies in the Ionosphere*, Nature 157, 691.
- Bhuyan, P.K., Borah, R.R., 2007. *TEC Derived from GPS Network in India and Comparison with the IRI*. Adv. Space Res. 39, 830–840.
- Duncan, R.A., 1960. *The Equatorial F Region of the Ionosphere*, J. Atmos. Terr. Phys. 18, 89.
- GSV 4004B., 2007. *GPS Ionospheric Scintillation & TEC Monitor (GISTM) User's Manual*, GSV GPS Silicon Valley.
- 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.
- Lazo, B., Alazo, K., Rodriguez, M., Calzadilla, A., 2004. *TEC Variability over Havana for Different Solar Activity Conditions*, Adv. Space Res. 34, 2044–2048.

- Martyn, D.F., 1947. *Atmospheric Tides in the Ionosphere. I: Solar Tides in the F2 Region*, Proc. R. Soc. London A 189, 241–260.
- Martyn, D.F., 1995. *Theory of Height and Ionization Density Changes at the Maximum of a Chapman-like Region, Taking Account of Ion Production, Decay, Diffusion and Total Drift*, Proceedings Cambridge Conference, Physical Society, London, pp. 254–259.
- Mukherjee, S., Sarkar, S., Purobit, P.K., Gwal, A.K., 2010. *Seasonal Variation of Total Electron Content at Crest of Equatorial Anomaly Station During Low Solar Activity Conditions*, Adv. Space Res., doi:10.1016/j.ars.2010.03.024.
- Wu, C.C., Fry, C.D., Liou, K., Shan, Shao-Ju, Tseng, C.L., 2008. *Variation of Ionospheric Total Electron Content in Taiwan Region of the Equatorial Anomaly from 1994 to 2003*, Adv. Space Res. 41, 611–616.
- Wu, C.C., Fry, C.D., Liou, K., Tseng, C.L., 2004. *Annual TEC Variation in the Equatorial Anomaly Region During the Solar Minimum: September 1996–August 1997*, J. Atmos. Terr. Phys. 66, 199–207.