

ANALISIS DAMPAK PENINGKATAN AKTIVITAS MATAHARI TERHADAP PERUBAHAN *TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC)*

Dessi Marlia dan Asnawi Husin

Pusat Sains Antariksa- LAPAN

dessy_m@bdg.lapan.go.id

Abstract

The Solar activity impact on changes in the electron density of the ionosphere. The disturbances of the ionosphere could cause be interrupted on propagation radio signals. Interference occurs of them error distance / position measurement, occurring fluctuations amplitude, and distortion in the phase , thereby degradation signals and reducing the level of accuracy. Monitoring TEC (Total Electron Content) towards to maximum of the solar activity in period of 2012 was done using receiver GISTM (GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitor) from the observation station Pontianak with latitude and longitude (-0.06, 109.4). Based on the events of flares class X.5.4 from the active region N17E27 11429 and CME (Coronal Mass Ejection) with speed up to 2544 km/s on 7 march 2012 caused geomagnetic strom on 9 march 2012 with minimum Dst index -133 nT. The results and analysis using a simple statistical method, showing increasing of daily VTEC values (Vertical Electron Content) on 9 march 2012 up to 70 TECU. In order to compare it with the median value about 59 TECU, and standard deviations about 10 TECU and occurences of flares class C region S30E71 DSF (Disappearing Solar Filament) on 19 april 2012 at 15: 24 UT followed CME with speed up to 400 km/s caused a geomagnetic strom on 24 april 2012 with minimum Dst- index -107 nT at 05.00 UT. The results and analysis showing increasing of daily VTEC values on 24 april 2012 at 05.00 UT up to 69 TECU and in order to compare it with median value about 61 TECU and standard deviations about 12 TECU.

Keywords: GPS, ionosphere, TEC, Geomagnetic Strom , flares and CME.

Abstrak

Aktivitas matahari berdampak pada perubahan kerapatan elektron di ionosfer. Ionosfer yang terganggu dapat menimbulkan gangguan pada propagasi sinyal radio. Gangguan yang timbul diantaranya kesalahan dalam pengukuran jarak/posisi , terjadi fluktuasi amplitudo, dan distorsi pada fasa sehingga terjadi degradasi sinyal serta penurunan tingkat akurasi. Monitoring *TEC (Total Electron Content)* menjelang aktivitas matahari maksimum tahun 2012 dilakukan menggunakan penerima *GISTM (GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitor)* dari stasiun pengamatan Pontianak (-0.06 LS, 109.4 BT). Flare kelas X.5.4 didaerah aktif N17E27 11429 dan *CME (Coronal Mass Ejection)* jam 01. 36 UT dengan kecepatan 2544 Km/s pada tanggal 7 Maret 2012 jam 05.10 UT mengakibatkan terjadinya badai geomagnetik pada tanggal 9 Maret 2012 pada jam 09.00 UT , dengan indeks DST -133 nT. Hasil dan Analisis menggunakan metode statistik sederhana, menunjukkan terjadi peningkatan nilai *VTEC (Vertical Electron Content)* harian pada tanggal 9 Maret 2012 menjadi 70 TECU dibandingkan dengan nilai median nya sebesar 59 TECU, dan standar deviasi sebesar 10 TECU. Flare kelas C didaerah S30E71 DSF (*Disappearing Solar Filament*) pada tanggal 19 April 2012 pada jam 15:24 UT diikuti CME dengan kecepatan 400 Km/s mengakibatkan terjadinya badai geomagnetik pada tanggal 24 April 2012, dengan indeks Dst -107 nT pada jam 05.00 UT. Hasil dan Analisis menunjukkan peningkatan nilai *VTEC* harian pada tanggal 24 April 2012 menjadi 69 TECU dibandingkan dengan nilai mediannya sebesar 61 TECU dan standar deviasi sebesar 12 TECU.

Kata kunci : GPS, Ionosfer, TEC, Badai Geomagetik, flare dan CME.

1. PENDAHULUAN

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer atas (100 km diatas permukaan bumi) terdiri dari elektron-elektron yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik. Propagasi gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui lapisan tersebut berupa tambahan waktu tunda propagasi [2]. Ionosfer mempengaruhi propagasi sinyal kode GPS berupa waktu tempuh perjalanan yang besarnya tergantung dari proses penjalarnya yang besarnya tergantung pada *Total Electron Content (TEC)* di ionosfer dan frekuensi sinyal GPS. TEC adalah kandungan elektron total dalam suatu silinder berpenampang 1 meter persegi yang panjangnya sama dengan jarak dari satelit ke penerima GPS (*1 TECU sama dengan 10^{16} el/m²*). Dalam kondisi normal pengaruh ionosfer pada sinyal GPS berkisar antara beberapa meter sampai beberapa puluh meter.

Aktivitas matahari adalah sumber utama dari perubahan kondisi cuaca antariksa. Data dan pengamatan matahari menunjukkan adanya siklus 11 tahun aktivitas matahari. Pada siklus maksimum, evolusi bintik matahari (*SSN, sunspot number*) meningkat dengan diikuti adanya badai matahari dengan ditandai terjadinya flare dan CME.

Badai matahari terbentuk karena terjadinya gejolak di atmosfer yang dipicu terbentuknya bintik hitam (*sunspot*). Kondisi tersebut memicu solar flare dan CME atau terlontarnya materi matahari yang juga mencapai bumi. Badai geomagnetik yang ditandai dengan indeks gangguan Dst (*Disturbance Storm Time index*) turun melebihi -100 nanotesla akan mendorong penetrasi medan listrik ke dalam ionosfer lintang rendah equatorial dan indeks Kp.

Aspek terpenting saat siklus maksimum matahari adalah rerata peningkatan ultra violet. Peningkatan ultra violet berdampak langsung pada proses ionisasi dan pemanasan termosfer dimana kerapatan ionosfer akan dipengaruhi saat aktivitas maksimum matahari, sehingga sinyal GPS akan sangat dipengaruhi oleh saat aktivitas matahari maksimum.

Makalah ini akan merumuskan masalah yaitu melihat seberapa besar perubahan TEC pada saat terjadi flare dan CME dan bagaimana variasi TEC sebelum dan sesudah adanya gangguan dari matahari, serta menganalisis perubahan aktivitas maksimum matahari periode 2012 dan dampaknya terhadap ionosfer dari pengamatan TEC menggunakan penerima GPS yaitu GISTM Pontianak (-0.06 LS dan 109.4 BT) pada kondisi ionosfer tenang dan terganggu akibat adanya flare/ CME.

2. DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data TEC menggunakan penerima GPS yaitu GISTM adalah penerima GPS, yang menangkap sinyal frekuensi ganda f_1 (1575,42 MHz) dan f_2 (1227,26 MHz) dari satelit GPS dan secara kontinu akan merekam dua

sinyal pseudo-range (P_1 dan P_2) dan fasa f_{L1} dan f_{L2} di stasiun pontianak dengan lintang dan bujur (-0.06 LS dan 109.4 BT), yang dimiliki oleh Lapan. GISTM dengan sistem model gsv4004b. Mengukur fase dan amplitudo dengan sampling rate 50-Hz dan sampling rate 1 Hz untuk divergensi code/ carrier, data kejadian flare berdasarkan kelasnya (C,M,X) bulan Maret – April tahun 2012, bisa dilihat di NOAA / SWPC. Data kemunculan CME bulan Maret – April 2012 diambil dari SOHO dan LASCO, serta data Geomagnet Dst Indeks dan Kp Indeks bulan Maret- April 2012 yang bisa diambil di WDC for Geomagnetism dan IAGA. Data yang akan dianalisis adalah data pengamatan bulan Maret dan April tahun 2012 dengan menggunakan metode statistika sederhana.

TEC dihitung menggunakan rumus metoda kombinasi antara pengukuran fasa (L) dan pseudo-range (P) yang merupakan TEC miring (STEC) dan secara matematis ditulis sebagai berikut [3] :

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

Dengan :

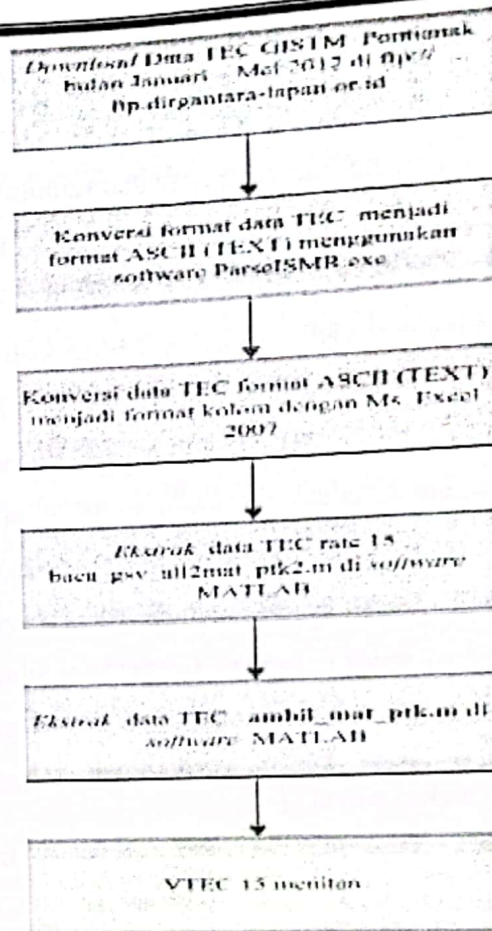
P_{L2} dan P_{L1} adalah pseudo-range (meter) sinyal $L_2 - L_1$

$b_{c/a-p}$ adalah bias transisi sinyal C/A ke P (dikonversi ke dalam meter dan dapat diambil di university of Berne (<http://www.aiub-download.unibe.ch/CODE/P1C1.DCB>)). TEC_{RX} adalah besarnya TEC yang ditimbulkan dari bias penerima yaitu L_1/L_2 . TEC_{cal} adalah TEC kalibrasi offset penerima.

Hasil persamaan (1) dikonversi untuk mendapatkan VTEC dengan menggunakan model pendekatan yang disebut model lapisan ionosfer tipis yang menganggap ionosfer berada pada ketinggian 350 km [3], yaitu dengan persamaan (2) dibawah ini :

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

Dimana $R_e = 6378$ km, $h_{max} = 350$ km, $\theta =$ Sudut kemiringan / elevasi sinyal satelit terhadap penerima di bumi. Data yang digunakan untuk analisis adalah data dengan *lock-time* lebih dari 240 detik karena waktu tersebut diperlukan untuk detrending filter lolos atas fasa sinyal pembawa saat akan memulai kembali penguncian dan mengambil data dengan sudut elevasi (*cut off*) $> 35^\circ$, dan sudut zenith 55° [3]. Adapun diagram alir metodologi penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 1 berikut ini :



Gambar.1 : Diagram Alir Metodologi Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Variasi VTEC di Pontianak saat terjadinya badai geomagnetik tanggal 9 Maret 2012

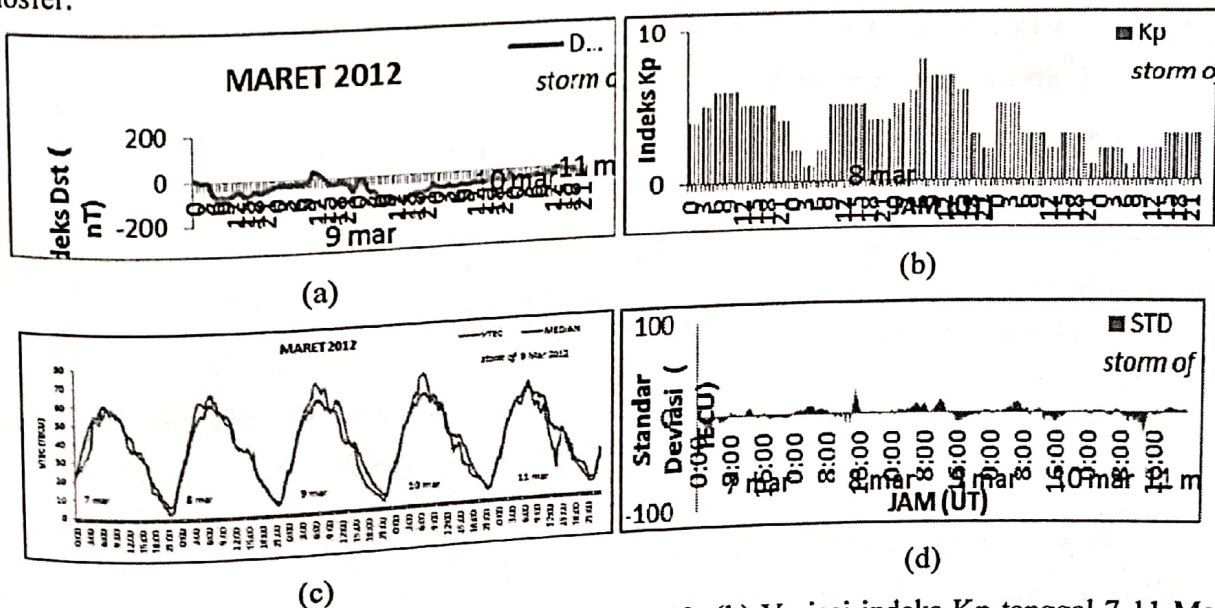
Berdasarkan kejadian flare kelas X.5.4 di daerah aktif N17E27 11429 dan CME dengan kecepatan 2544 Km/s pada tanggal 7 Maret 2012 mengakibatkan terjadinya badai geomagnetik pada tanggal 9 Maret 2012 pada jam 09.00 UT, dengan indeks Dst -133 nT (Gambar 2(a)). Dimana nilai indeks Dst menunjukkan besarnya kekuatan gangguan badai geomagnet dengan Indeks Kp pada tanggal 9 maret 2012 jam 6 UT, 7 UT, dan 8 UT menunjukkan indeks KP : 8 dan jam 9 UT - 14 UT menunjukkan nilai indeks KP : 7 (mempunyai kekuatan badai geomagnetik skala kuat).

Variasi TEC ionosfer pada saat aktivitas matahari maksimum periode 2012 ditunjukkan pada data pengamatan di Pontianak pada bulan Maret tahun 2012, dimana menunjukkan variasi harian VTEC terhadap nilai median VTEC ditunjukkan Gambar 2(c) dan nilai Standar Deviasi VTEC ditunjukkan Gambar 2(d). Variasi VTEC terhadap nilai median VTEC yaitu pada tanggal 8 Maret 2012 terjadi peningkatan nilai VTEC pada jam 5.45 - 07.00 UT menjadi 62 - 66 TECU dengan nilai median sebesar 58 - 60 TECU ditunjukkan Gambar 2(c), dan nilai simpangan sekitar 4- 6 TECU ditunjukkan Gambar 2(d).

Variasi grafik indeks Dst masa *main fase* yaitu pada tanggal 9 Maret 2012 terjadi peningkatan VTEC pada jam 6.00 – 06.15 UT sebesar 70 TECU sehingga ada kenaikan VTEC sebesar 4TECU dari hari sebelumnya, dengan nilai mediannya sebesar 59-60 TECU ditunjukkan Gambar 2(c), dan nilai simpangan sebesar 10 TECU ditunjukkan Gambar 2(d).

Variasi VTEC terhadap nilai median VTEC yaitu pada tanggal 10 Maret 2012 terjadi penurunan indeks Kp hingga mencapai 3 ditunjukkan Gambar.2(b) dan terjadi peningkatan nilai VTEC pada jam 06.00 – 07.00 UT sebesar 69 – 71 TECU dengan nilai median VTEC sebesar 59-60 TECU ditunjukkan Gambar.2(c), dan nilai simpangan VTEC sekitar 10-12 TECU ditunjukkan Gambar.2(d). Variasi VTEC terhadap nilai median VTEC yaitu pada tanggal 11 Maret 2012 terjadi penurunan nilai VTEC pada jam 06.00- 07.00 UT sebesar 14 TECU menjadi sekitar 57- 63 TECU, dengan nilai median VTEC sebesar 59- 60 TECU ditunjukkan Gambar 2(c), dan nilai simpangan VTEC sekitar -2 sampai 2 TECU (sangat kecil) ditunjukkan Gambar.2(d).

Mekanisme terjadinya badai positif menyebabkan peningkatan penetrasi didaerah medan listrik ke arah timur di daerah ekuator magnetik. Dalam kasus ini persilangan medan magnet (**B**) dengan medan listrik (**E**) di ekuator mengangkat plasma di ketinggian tertentu, selanjutnya plasma akan turun mengikuti garis geomagnet dan terkumpul di daerah lintang rendah, sehingga kerapatan plasma di lintang rendah meningkat. Itulah yang menyebabkan nilai TEC di Pontianak meningkat selama terjadinya badai geomagnetik. Peningkatan nilai TEC ini merupakan badai ionosfer positif yang mengawali respon ionosfer tak langsung terhadap CME, melalui interaksi magnetosfer-ionosfer.



Gambar 2. (a) Variasi indeks Dst tgl 7-11 Maret 2012, (b) Variasi indeks Kp tanggal 7-11 Maret 2012, (c) Variasi VTEC Vs Median VTEC tgl 7-11 Maret 2012, (d) Std.Deviasi VTEC tgl 7-11 Maret 2012

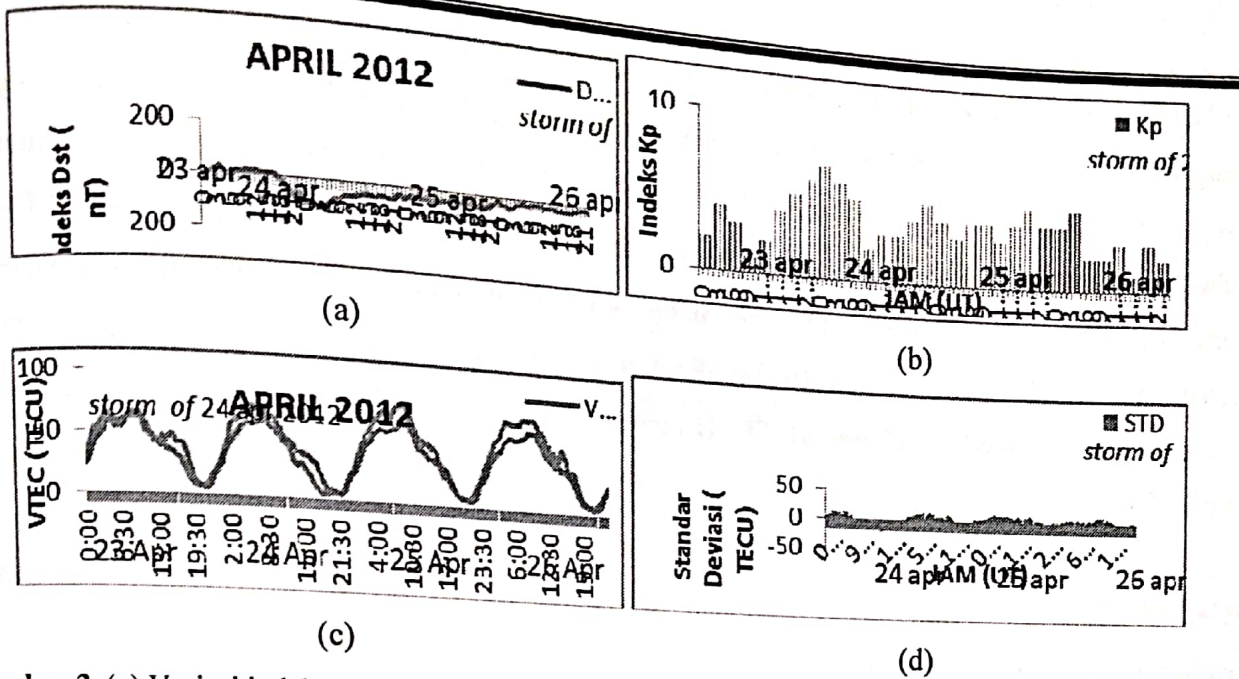
b. Variasi VTEC di Pontianak saat terjadinya badai geomagnetik tanggal 24 April 2012
Flare kelas C (Flare onset/ Imp/ Location/ Ar) : 13: 42 ---S3OE71 DSF dan yang terjadi pada tanggal 19 April 2012 pada jam 15:24 UT dengan kecepatan (V) 400 km/s, dan CME onset pada tgl 19 April 2012 jam 15:24 UT. Data geomagnet yang dilihat yaitu nilai indeks Dst dan indeks Kp. Dimana nilai indeks Dst menunjukkan besarnya kekuatan gangguan badai geomagnet. Terjadinya badai geomagnetik pada tanggal 24 April 2012 dengan nilai indeks Dst minimumnya pada jam 5 UT sebesar -107 nT dan Indeks Kp pada tgl 24 April 2012 jam 00.00 -2.00 UT menunjukkan indeks KP : 7 (mempunyai kekuatan badai geomagnetik skala kuat).

Variasi TEC ionosfer pada saat aktivitas matahari maksimum periode 2012 dari data pengamatan di Pontianak pada bulan April tahun 2012, dimana menunjukkan variasi harian VTEC terhadap nilai median VTEC ditunjukkan Gambar 3(c) dan nilai Standar Deviasi VTEC ditunjukkan Gambar 3(d). Variasi grafik indeks Dst masa *main fase* yaitu pada tanggal 24 April 2012 terjadi peningkatan nilai VTEC pada jam 05.00 – 06.15 UT menjadi 69 – 73 TECU, dengan nilai median nya sekitar 58- 61 TECU ditunjukkan Gambar 3(c), dan simpangan VTEC sekitar 12- 16 TECU ditunjukkan Gambar 3(d).

Variasi VTEC terhadap nilai median VTEC yaitu pada tanggal 25 April 2012 terjadi peningkatan nilai VTEC pada jam 05.00 – 06.15 UT menjadi 73 – 76 TECU (cukup signifikan), dengan nilai median VTEC nya sebesar 58-61 TECU ditunjukkan Gambar 3(c), dan nilai simpangan VTEC nya sebesar 10 – 12 TECU yang ditunjukkan pada Gambar 3(d).

Variasi VTEC terhadap nilai median VTEC yaitu pada tanggal 26 April 2012 terjadi penurunan nilai VTEC pada jam 03.45 – 04.30 UT sebesar 5 TECU dari hari sebelumnya menjadi 71 – 73 TECU, dengan nilai median VTEC nya sebesar 56- 58 TECU ditunjukkan Gambar 3(c), dan nilai simpangan VTEC nya sebesar 6- 8 TECU ditunjukkan Gambar 3(d).

Kemudian pada jam 09 .00 UT terjadi peningkatan VTEC kembali mencapai maksimum 77 TECU, dengan nilai median VTEC nya sebesar 65 TECU ditunjukkan Gambar 3(c), dan nilai simpangan VTEC mencapai sekitar 6 TECU ditunjukkan Gambar 3(d).



Gambar 3. (a) Variasi indeks Dst tgl 23-26 April 2012, (b) Variasi indeks Kp tanggal 23-26 April 2012, (c) Variasi VTEC Vs Median VTEC tanggal 23-26 April 2012, (d) Std.Deviasi VTEC tgl 23-26 April 2012

Mekanisme terjadinya badai positif menyebabkan peningkatan penetrasi didaerah medan listrik ke arah timur di daerah ekuator magnetik. Dalam kasus ini persilangan medan magnet (**B**) dengan medan listrik (**E**) di ekuator mengangkat plasma di ketinggian tertentu, selanjutnya plasma akan turun mengikuti garis geomagnet dan terkumpul di daerah lintang rendah, sehingga kerapatan plasma di lintang rendah meningkat. Itulah yang menyebabkan nilai TEC di Pontianak meningkat selama terjadinya badai geomagnetik. Peningkatan nilai TEC ini merupakan badai ionosfer positif yang mengawali respon ionosfer tak langsung terhadap CME, melalui interaksi magnetosfer-ionosfer.

4. KESIMPULAN

Dampak dari flare kelas X.5.4 di daerah aktif N17E27 11429 dan CME dengan kecepatan 2544 Km/s pada tanggal 7 Maret 2012 menyebabkan badai geomagnetik yang terjadi pada tanggal 9 Maret 2012 jam 9.00 UT dengan penurunan nilai indeks Dst sebesar -133nT yang menyebabkan perubahan di ionosfer. Dampak badai geomagnetik tersebut menyebabkan peningkatan nilai VTEC di Pontianak pada tanggal 7-11 Maret 2012 terhadap nilai mediannya. Fenomena dampak geomagnetik ini disebut badai positif. Peningkatan nilai VTEC di stasiun Pontianak pada tanggal 8, 9, 10, 11 Maret tahun 2012 dibandingkan nilai mediannya sebesar 60 TECU menjadi 66,70,71,63 TECU dan nilai simpangan VTEC sebesar 6,10,12,2 TECU. Dampak Flare kelas C (Flare onset/ Imp/ Location/ Ar) : 13: 42 ---S3OE71 DSF yang terjadi pada tanggal 19 April 2012 pada jam

15:24 UT dengan kecepatan (V) 400 km/s, dan CME onset pada tgl 19 April 2012 jam 15:24 UT menyebabkan badai geomagnetik yang terjadi pada tanggal 24 April 2012 jam 5.00 UT dengan penurunan nilai indeks Dst sebesar -107 nT yang menyebabkan perubahan di ionosfer. Dampak badai geomagnetik tersebut menyebabkan peningkatan nilai VTEC di Pontianak pada tanggal 23-26 April 2012 terhadap nilai mediannya. Fenomena dampak geomagnetik ini disebut badai positif. terjadinya peningkatan VTEC di stasiun Pontianak pada tanggal 24,25,26 April tahun 2012 dibandingkan nilai median sebesar 61 TECU menjadi 73,76,73 TECU dan nilai simpangan VTEC sebesar 16,12,8 TECU.

UCAPAN TERIMA KASIH. Nat Gopalswamy. PHD- NASA atas diskusinya mengenai *space weather events of solar cycle 24.*

DAFTAR RUJUKAN

Klobuchar J., *Design And Characteristics Of The GPS Ionospheric Time-Delay Algorithm For Single Frequency Users*, in: Proceedings of PLANS'86 – Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas, Nevada, p.280-286, 4-7 November 1986.

Gopalswamy, Nat, *Energetic Particle and Other Space Weather Events of Solar Cycle 24*, NASA Goddard Space Flight Center, Code 671, Greenbelt, MD 20771, USA.

VAN DIERENDONCK Albert John., *GSV 4004B.2007 GPS Ionospheric Scintillation & Tec Monitor (User's Manual) GISTM*, 2009.

<http://www.aiub-download.unibe.ch/CODE/P1C1.DCB>.