ANOMALI TEC IONOSFER DAN KETERKAITANNYA DENGAN GEMPA BUMI M ≥ 6,3 DI JAWA

Sri Ekawati
Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jl. Dr. Djundjunan No. 133 Bandung 40173 Indonesia
email : ekawa_srie@bdg.lapan.go.id, cie_demes@yahoo.com

ABSTRAK

Anomali TEC (*Total Electron Content*) Ionosfer dianalisis untuk dikaitkan dengan gempa Jogya (M 6,3) 26 Mei 2006, tsunami Pangandaran (M 7,7) 17 Juli 2006 dan gempa Indramayu (M 7,5) 8 Agustus 2007. Data Vertikal TEC (VTEC) yang digunakan diperoleh dari alat GPS Aztech Z-12 K-6000 yang ditempatkan di Bandung (6.53° S, 107.35°E) pada tahun 2006 dan di Watukosek (7°.57' S, 112°.65' E) pada tahun 2007. Grafik VTEC per-satelit pada saat terjadi gempa dan variasi harian median VTEC beberapa hari sebelum gempa di-plot menggunakan Matlab. Hasil yang diperoleh menunjukkan terdapat fluktuasi VTEC pada saat terjadi gempa dan terlihat penurunan puncak median VTEC beberapa hari sebelum gempa. Untuk meyakinkan bahwa anomali tersebut bersumber dari gempa bumi, maka anomali tersebut dibandingkan dengan data matahari (X-rays level) dan data geomagnet (Indeks Dst). Dari tiga fenoma gempa yang diamati, tidak terdapat anomali sebelum gempa Indramayu.

Kata Kunci : TEC, Ionosfer, gempa bumi

ABSTRACT

Anomaly of Ionospheric TEC (Total Electron Content) to associated with Jogya Earthquake M 6.3 26th May 2006, Pangandaran Tsunami M 7.7 17th July 2006 and Indramayu Earthquake M 7.5 8th August 2007 has been analyzed. The Vertical TEC data used was derived from GPS receiver Aztech Z-12 K-6000 which placed in Bandung (6.53° S, 107.35°E) on 2006 and in Watukosek (7°.57' S, 112°.65' E) on 2007. The VTEC per-satellite at the time of the earthquake and the variation median of daily VTEC several days before the earthquake was plotted using Matlab. The result showed there was the fluctuation of VTEC at the time of the earthquakes and several days before the earthquakes, the daily median of VTEC decrease obviously. To ensure this anomaly, the anomaly was compared with solar data (X-rays level) and geomagnetic data (Dst Index). From three earthquakes observed, it wasn't found any anomaly before Indramayu earthquake.

Keyword: *TEC, Ionosphere, earthquake*

1. Pendahuluan

Sampai saat ini tidak ada satu alatpun yang bisa mendeteksi akan terjadinya gempa bumi. Walaupun begitu, beberapa peneliti yakin bahwa tidak ada sesuatu yang tiba-tiba, ada beberapa tanda-tanda atau gejala-gejala sebelum terjadinya

gempa besar yang menelan korban jiwa, diantaranya adalah *pre-seismic anomalies of hidro-geochemical features, radon/helium emissions, telluric currents, geomagnetic field,* dan *electromagnetic wave transmission.*[1] Saat ini telah diluncurkan beberapa satelit (tepatnya *micro-satellite*) yang diluncurkan dengan tujuan untuk *precursor* gempa, yaitu Compass-1 (2001) dari Rusia, Quakesat (2002) dari USA, Demeter (2004) dari Francis, dan Compass-2 (2006) dari Russia.[1]

Penelitian seismo-ionosfer terus berkembang di dunia karena ionosfer sangat sensitif terhadap berbagai gangguan sehingga dapat dijadikan precursor gempa bumi beberapa hari sebelum kejadian gempa dari pengamatan *Total Electron Content* (TEC).[2] Hal inilah yang menyebabkan penelitian mengenai mekanisme seismo-ionosfer ini terus dilakukan karena menyangkut keselamatan hidup banyak jiwa bila penelitian ini berhasil. *Total Electron Content* (TEC) dapat ditinjau sebagai *space-seismometer* yang mengambang di ketinggian 350 km di atas permukaan bumi sebagai pemantau gangguan di ionosfer. Untuk dijadikan sebagai *precursor* gempa, ada indikasi anomaly TEC, yaitu berupa penurunan TEC 1 – 4 hari sebelum gempa.[2] Untuk kasus gempa Sumatra 26 Desember 2004, diperoleh penurunan TEC 2 – 7 hari sebelum gempa, bahkan anomali ini terekam sampai jarak 1600 Km dari episenter gempa.[3]

Hasil analisis beberapa peristiwa gempa bumi di Indonesia dengan M > 5, menunjukkan deviasi prosentase TEC sehari setelah gempa mengalami kenaikan dan penurunan yang signifikan. Sedangkan untuk mengetahui pola pre-seismik telah dilakukan median TEC 15 hari sebelum kejadian dari 9 peristiwa gempa.[4] Peningkatan aktivitas yang terjadi di Sumatera dan Jawa dengan magnitude M > 5, hasil analisis menunjukan bahwa deviasi prosentasi TEC sehari setelah gempa berlangsung pada peristiwa EQ 26 Des 2004 terlihat kenaikan prosentase TEC mulai -13 % sampai dengan 6 %, demikian pula diperoleh gelombang Rayleigh mencapai ionosfer dengan kecepatan sekitar 298.6 m/s, dari pengamatan global terdapat peningkatan TEC secara signifikan ketika terjadi gempa bumi, mekanisme tersebut menunjukan adanya perubahan profil kerapatan ionosfer akibat proses komplek pelepasan energi saat peningkatan seismik.[5]

Sebelum terjadi gempa berupa pelepasan energi, lempeng-lempeng, material-material, bebatuan di kerak bumi bergesekan. Gesekan-gesekan ini menimbulkan muatan-muatan positif yang mengalir ke arah atas. Aliran muatan menimbulkan gangguan elektromagnetik yang dapat di deteksi di permukaan bahkan dari antariksa. Faktor ionisasi partikel di ionosfer, adalah ionisasi oleh sinar matahari, ionisasi oleh radiasi partikel-partikel, dan ionisasi oleh meteor. Sedangkan berkurangnya konsentrasi partikel-partikel bermuatan di suatu tempat di atmosfer disebabkan dua macam proses, yaitu netralisasi dan transport.[6]

Penggunaan GPS (*Global Positioning System*) dalam pengukuran ionosfer sangat berkembang. Penentuan nilai TEC (VTEC maupun STEC) dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan jarak ukuran (*pseudorange* maupun jarak fase) pada dua frekuensi yang berbeda. Karena besarnya bias jarak ionosfer bergantung pada frekuensi, maka dengan membandingkan kedua jarak ukuran tersebut, dengan menggunakan formulasi matematik tertentu, nilai VTEC mapun STEC dapat ditentukan. Ketinggian lapisan ionosfer yang dianggap representatif

adalah 350 Km. Hal itu karena kandungan total elektron bebas pada lapisan ionosfer terkonsentrasi secara homogen pada ketinggian tersebut.[7]

VTEC adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas 1 m^2 sepanjang lintasan sinyal dalam lapisan ionosfer. TEC diukur dalam satuan TEC unit, di mana 1 TEC Unit sama dengan 10^{16} elektron/m^2. Besarnya TEC di setiap daerah bervariasi berdasarkan aktivitas matahari, lintang geomegnet, waktu (harian, bulanan, tahunan), dan letak geografis.[7]

Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis anomali VTEC ionosfer dikaitkan dengan gempa bumi, dan sasaran penelitian ini adalah diketahuinya faktor pendukung yang mengindikasikan bahwa anomali VTEC terkait dengan gempa bumi.

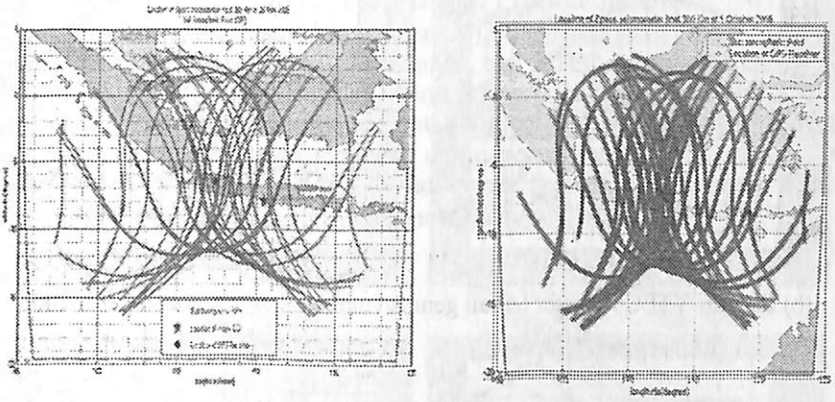
2. Metodologi

Data yang digunakan adalah data VTEC dan data gempa. Data VTEC diperoleh dari GPS *Receiver* Aztech Z-12 K-6000 yang terpasang di Bandung (-6,53° LS, 107,35° BT) dan di Watukosek (-7°,57' LS, 112°,65' BT) dengan sampling pengamatan setiap 30 detik. Sedangkan data gempa diperoleh dari www.usgs.gov. Gempa yang dianalisis adalah gempa Jogya 26 Mei 2006, gempa Pangandaran 17 Juli 2006, dan gempa Indramayu 8 Agustus 2007.

Gempa-gempa tersebut diidentifikasi berdasarkan waktunya, magnitudenya, kedalamannya dan lokasinya. Kemudian untuk mengetahui anomali TEC dilakukan *plotting* fluktuasi VTEC per-satelit pada saat terjadi gempa bumi. Setelah itu melakukan *plotting* median TEC 2 - 5 hari sebelum, saat kejadian, dan 1 hari setelah kejadian, untuk mengetahui variasi VTEC. Langkah terakhir adalah membandingkan dengan data Matahari (*X-rays data*) diperoleh dari http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR dan geomagnet (*Dst-Index*) diperoleh dari http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/.

3..Hasil dan Analisa

Untuk meneliti kejadian gempa tahun 2006, cakupan alat GPS dalam mendeteksi fenomena seismo-ionosfer (fenomena anomali ionosfer terkait gempa bumi) ditunjukkan pada gambar 1 (a). Sedangkan untuk kejadian gempa 2007 menggunakan alat GPS Receiver K-6000 yang berlokasi di Watukosek, cakupan alat ditunjukkan oleh gambar 1(b). Sudut elevasi GPS receiver tersebut adalah 10°.



(a) (b)

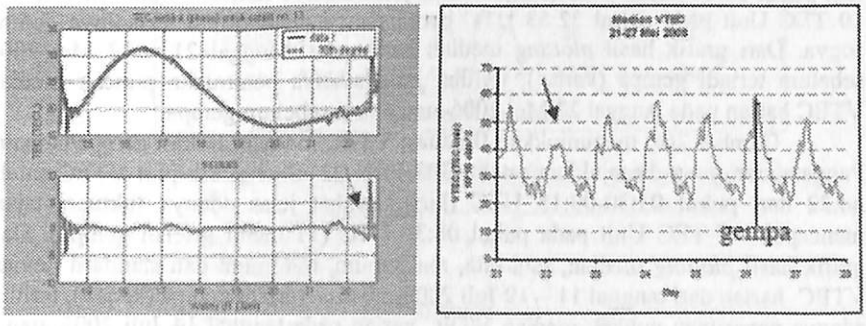
Gambar 1 Lokasi Sub-ionospheric point GPS Receiver K-6000
(a) di Bandung (1996-2006) (b) di Watukosek (2007-sekarang)

Tabel 1 menunjukkan identifikasi gempa berdasarkan waktunya, magnitudenya, lokasinya dan kedalamannya serta kaitannya dengan anomali TEC sebelum terjadinya gempa. Gempa no.1 dan 2 merupakan gempa dangkal (kedalaman $\leq$ 50 Km) yang menimbulkan kerusakan material dan immaterial yang cukup besar. Sedangkan gempa no.3 merupakan gempa yang dalam.

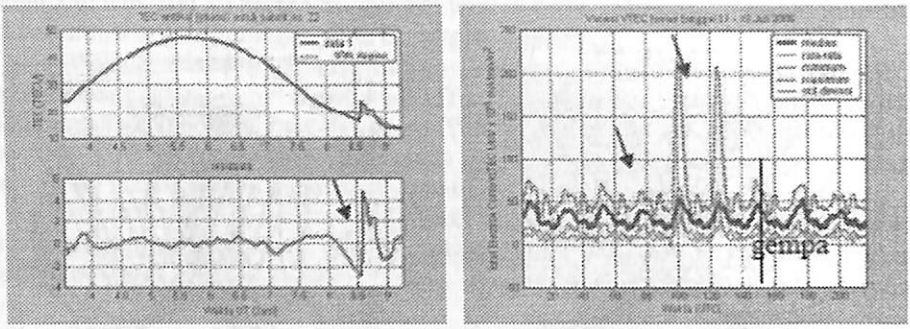
Tabel 1 Daftar identifikasi gempa bumi terkait anomali TEC (sumber : USGS)

Parameter beberapa gempa di daerah Jawa, Indonesia

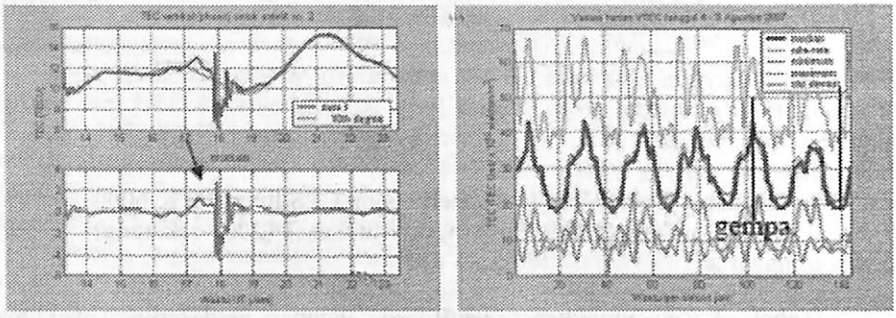
No.	Gempa	Tahun	Bulan	Tanggal	Jam	Menit	Detik	BT	LS	M	D (Km)	Pre-cursor
1	Jogya	2006	5	26	22	53	58	110,458	7,962	6,3	10	H-4
2	Pangandaran	2006	7	17	8	19	28	107,32	9,222	7,7	34	H-3
3	Indramayu	2007	8	8	17	4	58	107,655	5,968	7,5	289,2	no



(a) Kondisi VTEC Ionosfer terkait gempa Jogya 26 Mei 2006



(b) Kondisi VTEC Ionosfer terkait gempa/tsunami Pangandaran 17 Juli 2006



(c) Kondisi VTEC Ionosfer terkait gempa Jawa 8 Agustus 2007

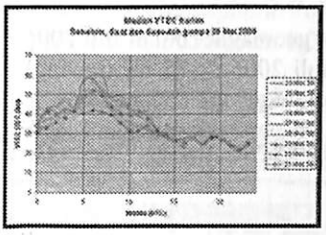
Gambar 2 Plot VTEC Ionosfer per-satelit pada saat terjadi gempa bumi (kiri) dan median harian VTEC beberapa hari sebelum gempa bumi (kanan) (anomali ditunjukkan oleh gambar panah)

Gambar 2(a) menunjukkan fluktuasi VTEC ionosfer terkait gempa Jogya yang ditunjukkan satelit GPS PRN 13. Tidak semua satelit dapat menunjukkan kondisi VTEC, karena satelit selalu bergerak mengelilingi bumi dan GPS reciever hanya menerima sinyal satelit untuk sudut elevasi $\geq 10^{o}$. Hanya 8 – 11 satelit yang dapat memberikan informasi dalam satu waktu. Dari grafik plot VTEC satelit no.13 dari pukul 14:00-23:00 UTC (kiri), terlihat jelas adanya fuktuasi tajam mencapai ± 10 TEC Unit pada pukul 22:53 UTC bertepatan dengan waktu terjadinya gempa Jogya. Dari grafik hasil *plotting* median harian dari tanggal 21 – 27 Mei 2006 sebelum terjadi gempa (kanan), terlihat jelas adanya penurunan puncak median VTEC harian pada tanggal 22 Mei 2006 atau 4 hari sebelum gempa.

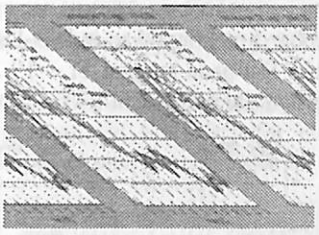
Gambar 2(b) menunjukkan fluktuasi VTEC ionosfer terkait gempa/tsunami Pangandaran yang ditunjukkan satelit GPS PRN 22. Dari grafik plot VTEC satelit no.22 dari pukul 03:30-09:15 UTC (kiri), terlihat jelas adanya fuktuasi tajam mencapai ± 7 TEC Unit pada pukul 08:30 UTC (11 menit setelah gempa). Dari grafik hasil *plotting* median, rata-rata, maksimum, minimum dan standard deviasi VTEC harian dari tanggal 11 – 19 Juli 2006 sebelum terjadi gempa (kanan), terlihat adanya penurunan puncak median VTEC harian pada tanggal 14 Juli 2006 atau 3

hari sebelum gempa. Dari grafik terlihat jelas pula pada nilai maksimum yang sangat kuat mencapai ± 210 TECU pada tanggal 15 dan 16 Juli 2006.

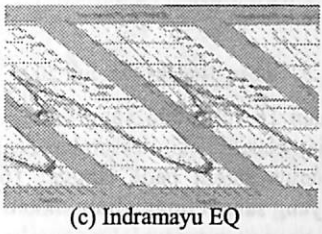
Gambar 2(c) menunjukkan fluktuasi VTEC ionosfer terkait Indramayu yang ditunjukkan satelit GPS PRN 2. Dari grafik plot VTEC satelit no.2 dari pukul 14:00-23:00 UTC (kiri), terlihat jelas adanya fuktuasi tajam mencapai ± 4 TEC Unit pada pukul 17:50 UTC (± 45 menit setelah gempa). Dari grafik hasil *plotting* median, rata-rata, maksimum, minimum dan standard deviasi VTEC harian dari tanggal 4-9 Agustus 2006 sebelum terjadi gempa (kanan), tidak memperlihatkan adanya penurunan median ataupun nilai maksimum yang besar.



(a) Jogya EQ



(b) Pangandaran EQ



(c) Indramayu EQ

Gambar 3 Plot median VTEC beberapa hari sebelum gempa

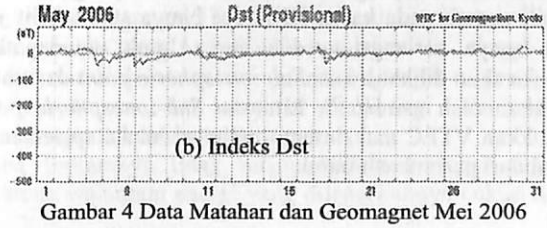
Dari tiga sample kejadian gempa bumi yang diperoleh, hanya dua gempa memperlihatkan adanya anomali beberapa hari sebelum gempa (Gambar 3), yaitu penurunan puncak VTEC 4 hari sebelum gempa Jogya dan 3 hari sebelum gempa Pangandaran.

GOES X-RAYS Background levels (Watts/m^2)

21-27 Mei 2006

Tanggal	21	22	23	24	25	26	27
Levels	A2.1	A2.7	A3.4	A2.9	A3.7	A2.8	A3.5

(a) level X-rays data

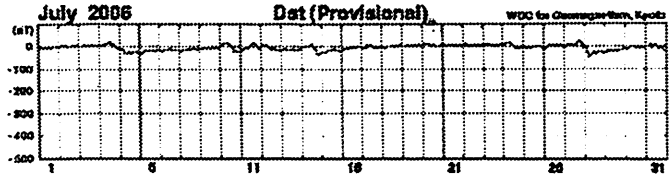


(b) Indeks Dst

Gambar 4 Data Matahari dan Geomagnet Mei 2006

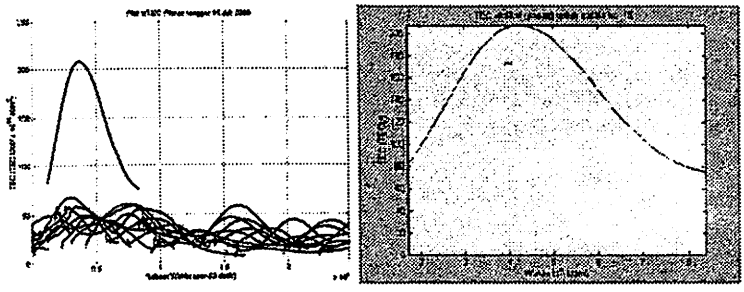
Berdasarkan teori, penurunan VTEC dapat diakibatkan gangguan geomagnet atau badai geomagnet (indeks Dst ≥ -100 nT) yang berada diatas lapisan ionosfer. Selain itu dapat juga pengaruh dari radiasi sinar-X yang tinggi (level X) dari Matahari.[1,10] Badai magnet dan sinar-X yang kuat menyebabkan kerapatan elektron di ionosfer berkurang. Gambar 4(a) menggambarkan level X-rays dari tanggal 21 – 27 Mei 2006 dan Gambar 4(b) Indeks Dst bulan Mei 2006 (b). Dari dua grafik tersebut menunjukkan kondisi radiasi sinar-X yang lemah (level A) dan Indeks Dst yang tenang (≤ -12 nano Testla) pada tanggal 21 – 27 Mei 2006. Sehingga penurunan VTEC sebelum gempa Jogya bukan pengaruh dari radiasi Matahari dan geomagnet.

Gambar 5 menunjukkan indeks-Dst geomagnet bulan Juli 2006. Dari grafik, terlihat indeks Dst pada tanggal 11 – 19 Juli 2006 ≤ -25 nT (tenang). Geomagnet tidak mempengaruhi penurunan VTEC sebelum gempa Pangandaran.



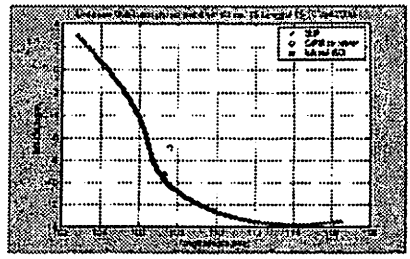
Gambar 5 Indeks-Dst Juli 2006

Pada tanggal 15 dan 16 Juli 2006 yang ditunjukkan Gambar 2(c) terlihat nilai maksimum mencapai ± 210 TEC Unit. Gambar 6(a) menunjukkan data VTEC yang ditunjukkan oleh semua satelit pada tanggal 16 Juli 2006. Gambar 6(b) menunjukkan data VTEC yang sangat tinggi ditunjukkan oleh satelit no.15.



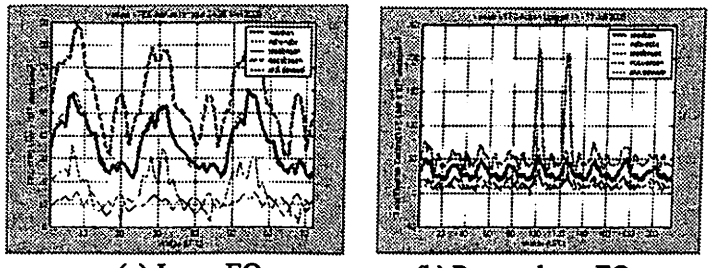
Gambar 6 Plot VTEC tanggal 16 Juli 2006

Kenaikan VTEC yang berasal dari radiasi yang diterima matahari akan bersifat global, namun pada kasus ini hanya hanya satu satelit yang menunjukkan anomali dan hanya berlangsung dua hari. Untuk mendapatkan analisis yang mendalam maka akan dilihat lokasi *Sub-ionospheric point* dari satelit no. 15, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7. Lintasan *Sub-ionospheric point* satelit no. 15, yang menunjukkan VTEC maksimum, melintasi lokasi episenter gempa bumi tepat secara vertikal dari permukaan bumi.



Gambar 7 Lokasi Sub-Ionospheric Point satelit GPS no. 15 yang menunjukkan Anomali VTEC maksimum 1-2 hari sebelum gempa Pangandaran

Walaupun lokasi lintasan sub-ionospheric point tepat secara vertical di atas episenter gempa Pangandaran, namun anomali ini tidak bersifat umum. Pada gambar 8 terlihat tidak ada nilai maksimum pada kasus gempa Jogya.



(a) Jogya EQ (b) Pangandaran EQ

Gambar 8 Perbandingan nilai maksimum variasi VTEC harian

4. Kesimpulan

Ionosfer memberikan respon berupa fluktuasi Vertical TEC pada saat terjadinya gempa bumi. Namun respon VTEC ionosfer ini tidak sama untuk semua gempa. Pada kasus gempa Jogya, ionosfer langsung memberi respons pada saat terjadi gempa. Pada kasus gempa Pangandaran, ionosfer memberi respon setelah 7 menit dan pada kasus gempa Indramayu, ionosfer memberi respon setelah 45 menit.

Anomali VTEC sebelum terjadinya gempa terlihat pada kasus gempa Jogya (H-4) dan gempa Pangandaran (H-3), berupa penurunan variasi harian median VTEC. Dugaan ini diperkuat dengan tidak adanya faktor yang mempengaruhi penurunan VTEC dari data level sinar-X matahari dan Indeks Dst geomagnet.

Sedangkan anomali VTEC berupa nilai yang sangat besar sebelum gempa/tsunami Pangandaran tanggal 17 Juli 2006 dapat dijadikan indikasi pengaruh dari deformasi awal gempa yang menyebabkan nilai VTEC tinggi. Hal tersebut terlihat dari lokasi lintasan *Sub-ionospheric point yang* tepat secara vertical di atas episenter gempa bumi. Namun, hal ini perlu dikaji lagi karena kenaikan nilai maksimum tidak terlihat pada kasus gempa Jogya.

Pada gempa Indramayu tidak memperlihatkan adanya anomali VTEC sebelum gempa. Karena walaupun energi yang dilepaskannya cukup tinggi (M 7,5)

namun kedalaman episenter gempa sangat dalam yaitu 289,2 Km. Sehingga pengaruh pelepasan energi yang diterima ionosfer sangat kecil.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai posisi setiap satelit terhadap sesar gempa, *contour* TEC ionosfer terhadap lokasi episenter gempa, dan analisis untuk gempa-gempa lainnya.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Bapak Drs. Effendy dan Kelompok penelitian TEC dan Sintilasi LAPAN Bandung terkait dengan data-data dalam penulisan Karya Tulis Ilmiah ini. Terima kasih kepada Bapak Dr. Sarmoko Saroso dan Ibu Dra. Nancy Ristanti.

Daftar Pustaka

[1]Sergey Pullinets, Kirill Boyarchuk. 2004. *Ionospheric Precursors Of Earthquakes*. Germany.

[2]Liu, J.Y, Et Al. 2002. *A Study On The TEC Perturbations Prior To The Rei-Li, Chi-Cho And Chia-Yi Earthquakes*. Terrapub; Tokyo.

[3]Sarmoko Saroso, Jann-Yenq Liu, Katsumi Hattori, and Chia-Hung Chen. 2008. *Ionospheric GPS TEC Anomalies and M ≥ 5,9 Earthquakes in Indonesia during 1993-2002*. Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 19, No.5, 481-488, October 2008.

[4]Effendy, Dkk. 2005. *Kajian Gangguan Ionosfer Wilayah Indonesia Berbasis Satelit (tahun ke-2)*. Laporan RUKK. LAPAN. Bandung.

[5]Effendy. 2008. *Ionospheric Total Electron Content (TEC) Anomalies Associated with an Earthquake Over Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Fisika 2008. ISBN : 978-979-98010-3-6

[6]Soegeng, R. 1994. *Ionosfir*. Yogyakarta : Andi Offset.

[7]Abidin, H.Z. 2000. *Penentuan Posisi Dengan GPS Dan Aplikasinya*. Paramita. Second edition. ISBN 979-408-377-1.268 pp. PT. Pradnya. Jakarta.

[8]C.H. Chen, J.Y. Liu, K. Yumoto, C.H. Lin, T.W. Fang. 2008. *Equatorial Ionization Anomaly of The Total Electron Content and Equatorial Electrojet of Ground-based Geomagnet field Strength*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Volume 7 Issue 17 ISSN 3364-6826 December 2008.

[9]Ting-Kuo Jung, Jann-Yenq Liu, Et Al. 2006. *Ionospheric Disturbances Triggered By The Mw 7,6 Earthquake Off The Coast Of El Salvador On 13 January 2001*. Tao, Vol. 17, No. 2, 345-351, June 2006.

[10]Sarmoko Saroso., Dkk. 2003. *Penentuan Precursor Gempa Bumi Berdasarkan Variabilitas Ionosfer Dan Aktivitas Geomagnet*. Laporan RUKK, LAPAN. Bandung.