



Analisis Variasi Jumlah Kandungan Elektron Ionosfer Daerah Kupang (10,9°LS – 123°BT)

Angelikus Olla^{1*}, Asnawi Husin², Ali Warsito³, Yanti Boimau¹

¹Program Studi Fisika, Universitas San Pedro, Kupang, Indonesia

²Pusat Sains Antariksa, LAPAN, Bandung, Indonesia

³Jurusan Fisika, Universitas Nusa Cendana, Indonesia

Abstrak

Ionosfer merupakan bagian dari atmosfer yang mengandung elektron yang dikenal dengan *Total Electron Content* (TEC) dan berguna untuk propagasi gelombang *high frequency*. Nilai TEC dapat menyebabkan tunda ionosfer yang berimplikasi pada kesalahan penentuan posisi GPS. Artikel ini menganalisis variasi TEC ionosfer di daerah Kupang (10,9°LS – 123°BT), menggunakan data hasil pengukuran *GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM). GISTM ini berlokasi di Universitas Nusa Cendana (10,16°LS – 123,67°BT), yang diinstal Lembaga Penerbangan dan Antariksa (LAPAN) Bandung. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dengan elevasi > 30° untuk menghindari efek *multipath*. Diperoleh bahwa TEC tertinggi terjadi pada bulan equinox yaitu Maret, April dan September dengan maksimum TEC tertinggi terjadi di bulan Maret (73 TECu) sedangkan nilai TEC terendah terjadi di bulan Juli (31 TECu). Selanjutnya, terjadi ketidaksimetrisan peningkatan TEC yaitu untuk bulan equinox September peningkatan VTEC (*Vertical Total Electron content*) tidak begitu nampak namun lebih nampak pada bulan Oktober dan November yang diduga disebabkan oleh kejadian badai geomagnet kategori sedang. Selain itu, diperoleh bahwa badai geomagnet yang terjadi tanggal 9 November 2013 dengan penurunan indeks Dst hingga -81 nT memiliki dampak terhadap variasi TEC yang ditunjukkan dengan terjadinya peningkatan nilai maksimum VTEC hingga 83 TECU dengan simpangan VTEC sebesar 53,61%.

Masuk:

06 Juli 2022

Diterima:

12 September 2022

Diterbitkan:

10 November 2022

Kata kunci:

GISTM, TEC, VTEC, STEC, Waktu tunda ionosfer

PENDAHULUAN

Saat ini, teknologi komunikasi berkembang dengan sangat pesat. Teknologi berbasis satelit semakin banyak digunakan terutama dalam bidang komunikasi yang memanfaatkan ionosfer sebagai medium rambatnya, salah satunya adalah teknologi komunikasi *High Frequency (HF)*. Sialian itu, teknologi navigasi seperti GPS (*Global Positioning System*) merupakan teknologi yang memanfaatkan gelombang radio yang

merambat melewati lapisan ionosfer. Teknologi navigasi ini terkadang mengalami gangguan akibat adanya dinamika yang terjadi di lapisan ionosfer.

Ionosfer merupakan bagian dari ruang angkasa yang menempati ketinggian 60 km sampai 1000 km dari permukaan bumi. Dalam teknologi navigasi dan komunikasi berbasis satelit, sebelum sinyal satelit mencapai bumi, maka sinyal tersebut harus melalui ionosfer yang

*Korespondensi: Angelikus Olla ✉ angelikusolla@gmail.com 📍 Universitas San Pedro, Jalan Veteran no 1-4, Kupang, Nusa Tenggara Timur

banyak mengandung ion-ion dan elektron yang dapat memantulkan dan membelokkan bahkan melemahkan sinyal satelit, sehingga dapat mengganggu keberhasilan teknologi-teknologi tersebut. Dengan demikian, keadaan ionosfer memiliki pengaruh terhadap propagasi gelombang radio *High Frequency* (HF) dan propagasi lintas ionosfer (*trans - ionospheric propagation*). Pada sistem satelit, pengaruh ionosfer pada perambatan gelombang radio atau sinyal satelit dicirikan dengan Kandungan Elektron Total atau TEC (*Total Electron Content*). TEC adalah jumlah kandungan elektron dalam kolom vertikal (silinder) memiliki penampang seluas 1 m^2 sepanjang lintasan sinyal GPS yang melalui lapisan ionosfer pada ketinggian sekitar 350 km. Jumlah elektron ini menyebabkan waktu tunda ionosfer (*delay time ionosphere*) pada perambatan sinyal, sehingga menyebabkan penentuan posisi dengan menggunakan GPS kurang akurat.

Penelitian tentang variasi jumlah kandungan elektron atau TEC di ionosfer telah dilakukan diantaranya oleh Asnawi dan kawan-kawan pada tahun 2012. Penelitian tersebut menganalisis variasi TEC di awal siklus peningkatan aktivitas matahari ke 24 periode tahun 2011 dari pengamatan *GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitor* (GISTM) Pontianak. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah nilai Vertikal TEC (VTEC) tertinggi terjadi pada bulan equinox yaitu pada bulan Maret dan September yang disebabkan pada bulan-bulan tersebut posisi matahari tepat berada di ekuator. Selain itu, diperoleh bahwa distribusi variasi TEC cenderung meningkat setelah jam 6 pagi, (Ansawi dkk.,2012).

Melihat peran ionosfer yang sangat penting dalam teknologi Antariksa, maka dilakukan penelitian tentang variasi jumlah kandungan elektron atau TEC pada ionosfer di atas Kupang dengan menggunakan data TEC tahun 2013 yang merupakan tahun peningkatan siklus aktivitas matahari ke 24.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data TEC bulan Maret – November 2013, hasil pengamatan menggunakan GISTM milik LAPAN yang ditempatkan di laboratorium Jurusan Fisika, Universitas Nusa Cendana (UNDANA) Kupang ($10.16^\circ\text{LS}-123.67^\circ\text{BT}$).

GISTM adalah penerima sinyal GPS yang menangkap sinyal frekuensi ganda f_1 (1575,42MHz) dan f_2 (1227,60MHz) dari satelit GPS, dan secara kontinu akan merekam dua sinyal *pseudorange* (P1 dan P2). TEC adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas 1m^2 , sepanjang lintasan sinyal perangkat GPS yang melalui lapisan ionosfer. Definisi TEC ini secara spesifik dinamakan *Slant TEC* (STEC) atau TEC miring. Selain STEC dikenal juga VTEC (*vertical TEC*) yang mempresentasikan TEC dalam arah vertikal. Nilai TEC biasanya dinyatakan dalam TECU (TEC Unit), dengan $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ elektron/m}^2$. TEC ditentukan dengan integral perambatan sinyal sepanjang satelit GPS ke penerima (Klobuchar, 1996; Klobuchar, 1996).

$$TEC = \int_S^R N dl \quad (1)$$

dengan R menyatakan posisi penerima sinyal GPS (km); S adalah posisi satelit GPS (km); dan N menyatakan kerapatan elektron dalam satuan elektron per m^3 . TEC adalah jumlah kandungan elektron dalam satuan elektron per m^2 . *Vertical TEC* dapat dihitung dengan persamaan yang diberikan Rothacer dan Mervart (Subakti dkk.,2008).

$$VTEC = STEC \left\{ 1 - \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 \cos^2 E \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$$VTEC = STEC \sqrt{1 - \frac{\cos^2 E}{\left(1 + \frac{h}{R}\right)^2}} \quad (3)$$

Nilai STEC dapat ditentukan berdasarkan perkalian TEC^* dengan fungsi *slant S*(e).

$$STEC = TEC^* S(e)$$

dengan $S(e)$ merupakan fungsi *slant* yang perumusannya seperti persamaan (4).

$$S(e) = \frac{1}{h_1 - h_2} \left(\sqrt{R^2 \sin^2 e - R^2 + (R + h_1)^2} - \sqrt{R^2 \sin^2 e - R^2 + (R + h_2)^2} \right) \quad (4)$$

dengan R menyatakan rerata jari-jari bumi (km), h adalah ketinggian ionosfer (km), dan e menyatakan muatan elektron (Coulomb).

Jika nilai $R = 6378$ km, $h = 350$ km maka nilai VTEC pada persamaan (2) dapat diperoleh berdasarkan persamaan (5) berikut:

$$\text{VTEC} = \text{STEC} \sqrt{1 - 0.89 \cos^2 E} \quad (5)$$

dengan E adalah sudut inklinasi yang dibentuk antara satelit dan stasiun penerima ($^\circ$).

Untuk interpretasi, maka data yang digunakan adalah data TEC dengan elevasi $> 30^\circ$, sementara itu, data dengan elevasi $< 30^\circ$ direduksi dengan tujuan menghindari efek *multipath*. Selanjutnya dari data tersebut, ditentukan nilai rata-rata VTEC setiap jam, median VTEC beserta simpangannya, kemudian diplot dalam grafik VTEC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi harian TEC menunjukkan, TEC terendah terjadi pada bulan Juli dengan nilai VTEC 31 TECU sedangkan TEC tertinggi terjadi pada bulan Maret dengan nilai VTEC 75 TECU yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Secara umum terlihat bahwa VTEC cenderung meningkat setelah pukul 00.00 UT atau pukul 08.00 WITA (UT + 8) dan maksimum pada pukul 06.00 UT (pukul 14.00 WITA), kemudian TEC menurun hingga kembali minimum menjelang pukul 23.00 UT. Simpangan VTEC tertinggi terjadi pada Mei, Oktober dan November. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan cuaca antariksa pada bulan-bulan tersebut berupa *flare*, CME (*Coronal Mass Ejection*) dan badai geomagnet. Dari pola waktu peningkatan VTEC

menunjukkan bahwa variasi harian TEC meningkat seiring meningkatnya intensitas radiasi matahari yaitu nilai VTEC minimum pada pagi hari kemudian meningkat hingga maksimum saat siang hari. Selanjutnya VTEC menurun pada sore hari dan kembali minimum menjelang tengah malam. Selain itu terlihat pula bahwa variasi TEC terbesar terjadi setelah matahari terbit sedangkan pada malam hari cenderung konstan.

Bila dibandingkan dengan variasi TEC daerah Pontianak yang dalam Asnawi dkk., (2012), maka terdapat perbedaan pada waktu terjadinya maksimum VTEC. Maksimum VTEC daerah Pontianak secara umum terjadi sekitar pukul 13.00 WIB (UT + 7) sedangkan maksimum VTEC daerah Kupang terjadi sekitar pukul 14.00 WITA. Perbedaan waktu terjadinya maksimum VTEC ini disebabkan oleh pengaruh faktor waktu lokal yaitu perbedaan daerah waktu antara kedua kota ini yaitu Kupang termasuk dalam daerah Waktu Indonesia Tengah (WITA) dan Pontianak Waktu Indonesia Barat (WIB), dengan selisih waktu satu jam.

Variasi bulanan TEC dapat dilihat pada Gambar 2. Variasi Bulanan TEC menunjukkan bahwa TEC tertinggi terdapat pada bulan *equinox* yaitu Maret, April. Selanjutnya, untuk *equinox* September, peningkatan VTEC kurang nampak justru lebih nampak pada bulan Oktober dan November. Terlihat bahwa maksimum VTEC tertinggi terjadi pada bulan Maret (75 TECU).

Variasi TEC pada bulan *equinox* telah dibahas sebelumnya oleh Asnawi dkk. (2012), dan Bhattacharya dkk (2009) yaitu TEC tertinggi terjadi pada bulan-bulan *equinox* karena pada bulan *equinox* posisi matahari tepat berada di equator. Menurut Bagiya dkk. (2009), variasi TEC terbesar terjadi di bulan-bulan *equinox* karena pada bulan *equinox* angin meridional

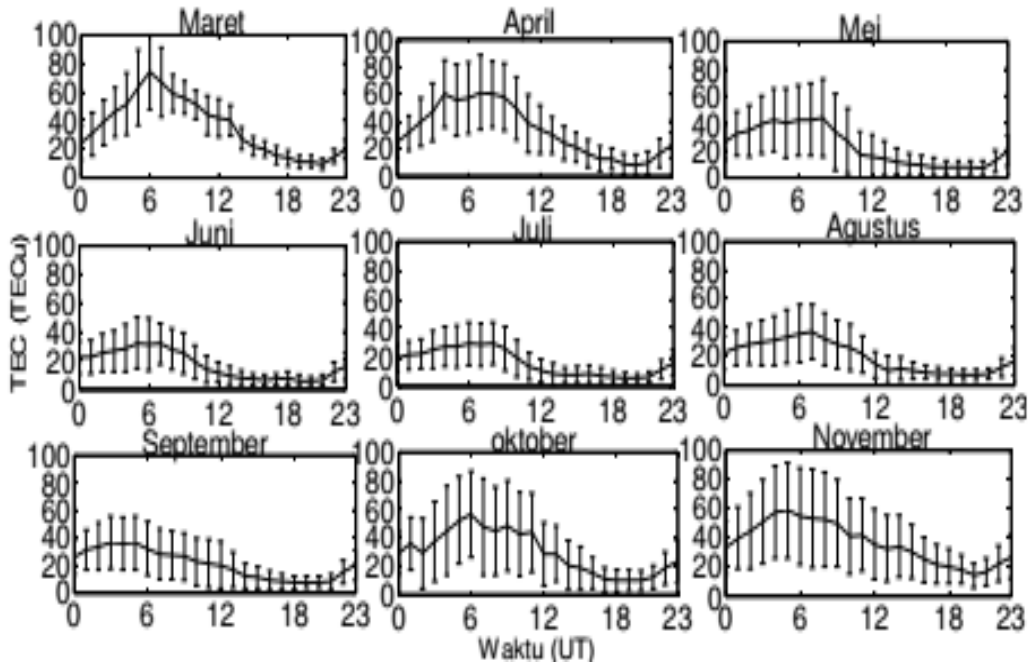
bertiup dari equator ke kutub menyebabkan perubahan terhadap komposisi neutral dan terjadi penurunan rasio atom O dan molekul N_2 di daerah equator dan daerah lintang rendah.

Pada lapisan F2 ionosfer N_2 terurai dan memisah sehingga terjadi proses pelepasan elektron. Penurunan rasio atom O dan molekul N_2 menghasilkan peningkatan terhadap densitas elektron. Penurunan rasio atom O dan molekul N_2 ini maksimum pada bulan-bulan *equinox* sehingga TEC menjadi lebih tinggi pada bulan-bulan tersebut. Sementara itu terkait tidak simetrisnya TEC menurut Bhuyan dan Borah, dalam Ansawi dkk (2012) disebabkan oleh tidak meratanya distribusi atmosfer dan angin netral, perbedaan temperatur serta terjadi perubahan angin netral dari belahan bumi utara dan selatan. Angin netral berhembus dari belahan bumi yang mengalami musim panas ke belahan bumi yang mengalami musim dingin yang menyebabkan berkurangnya maksimum TEC karena hembusan angin tersebut berlawanan dengan proses difusi plasma yang berasal dari ekuator magnetik.

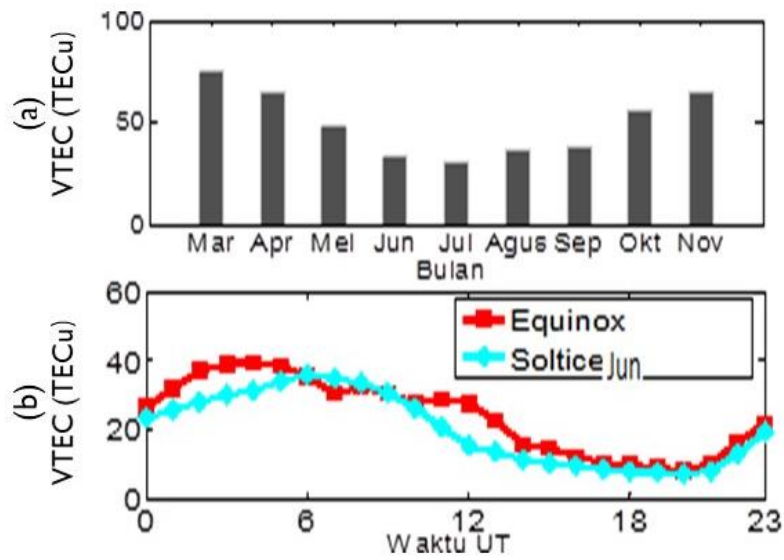
TEC terendah berada pada *solstice June* yakni bulan Mei, Juni, Juli dan Agustus dengan TEC terendah berada pada bulan Juli (31 TECU), sedangkan variasi TEC untuk *solstice December* tidak dapat ditampilkan karena keterbatasan

data pengamatan. Meski demikian, dalam penelitian-penelitian sebelumnya seperti Asnawi dkk. (2012) (Pontianak-Indonesia), Bhattacharya dkk. (2009) (Bhopal-India) dan Bagiya dkk. (2009) (Rakjot-India) mampu menunjukkan perbedaan antara variasi *TEC solstice June, solstice December* dan *equinox*, yaitu variasi TEC tertinggi ada pada musim *equinox*, menengah pada *solstice June* dan terendah pada *solstice December*.

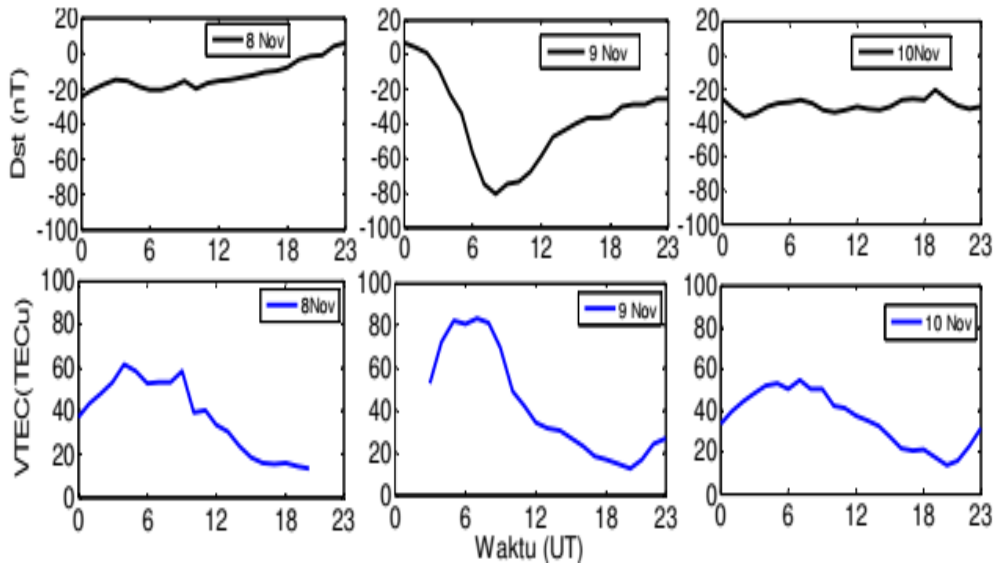
Variasi TEC sebagai respon terhadap aktivitas cuaca antariksa menunjukkan bahwa badai geomagnet tanggal 9 November 2013 sehingga menyebabkan peningkatan terhadap nilai TEC. Nuraeni, (2014) dalam penelitiannya yang mengulas tentang aktivitas geomagnet sepanjang September-November 2013 dalam Buletin "Cuaca Antariksa", memberikan informasi bahwa pada bulan November terjadi 3 peristiwa badai geomagnet moderat dalam rentang waktu yang berdekatan yaitu tanggal 7, 9 dan 11 November. Ketiga badai geomagnet ini disebabkan oleh *flare* kelas X yang diikuti dengan *Corona Mass Ejection* (CME). Data *real time* indeks *Dst* yang diperoleh dari *World Data Center* (WDC) *for geomagnetism* Kyoto menunjukkan bahwa, badai geomagnet tanggal 9 November menyebabkan penurunan indeks *Dst* hingga -81nT, (<http://Realtime Dst Index Monthly Plot and Table.html>).



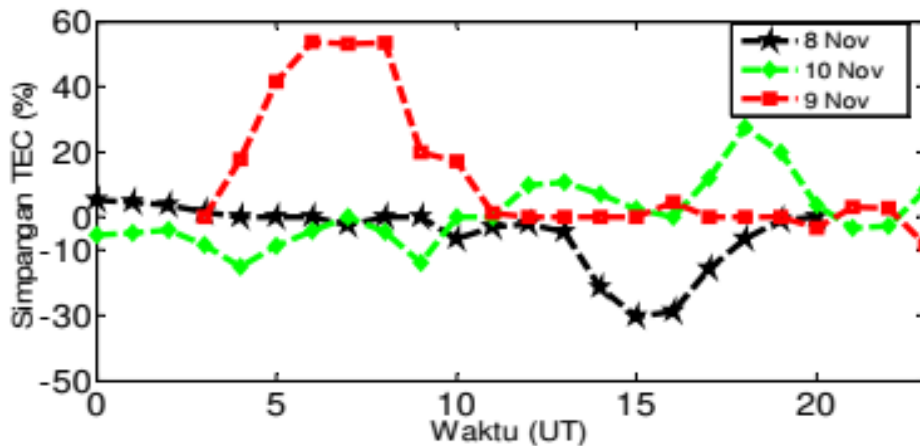
Gambar 1. Grafik Median VTEC (garis kontinu) dan simpangannya (garis bar) bulan Maret-November 2013



Gambar 2. Variasi VTEC bulanan (a) dan perbedaan variasi VTEC *solstice June* dan VTEC *equinox* (b)



Gambar 3. Grafik indeks *Dst* dan VTEC tanggal 8, 9 dan 10 November 2013



Gambar 4. Grafik simpangan VTEC tanggal 8, 9,10 November 2013

Dampak badai geomagnet tanggal 9 November terhadap variasi TEC di ionosfer daerah Kupang adalah terjadinya peningkatan maksimum VTEC hingga 83 TECU. Hal ini juga diperkuat oleh simpangan VTEC yang menunjukkan bahwa simpangan VTEC pada tanggal 9 November lebih tinggi (53,61%) dari dua hari sebelumnya (tanggal 7 dan 8 November). Hal ini menunjukkan bahwa badai geomagnet tanggal 9 November memiliki dampak terhadap variasi TEC pada hari tersebut. Dampak badai geomagnet tanggal 9 November 2013 dan

grafik simpangan VTEC dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

SIMPULAN

Variasi TEC pada ionosfer di atas Kupang pada tahun 2013 mulai dari Maret-November terdiri atas: variasi harian TEC menunjukkan bahwa nilai TEC minimum terjadi pada pukul 00.00 UT atau pukul 08.00 WITA (UT + 8), TEC selanjutnya meningkat setelah pukul 00.00 UT hingga maksimum pada pukul 06.00 UT atau pukul 14.00 WITA, TEC kemudian menurun hingga kembali minimum menjelang pukul 23.00 UT. Variasi

bulanan TEC menunjukkan bahwa TEC tertinggi berada pada bulan *equinox* yaitu Maret, April, September dan melebar ke bulan Oktober dan November dengan maksimum VTEC tertinggi berada pada bulan Maret yaitu 75 TECU dan terendah pada bulan Juli yaitu 31 TECU. Variasi TEC akibat aktivitas geomagnet menunjukkan bahwa terjadi peningkatan VTEC hingga mencapai 83 TECU akibat badai geomagnet pada tanggal 9 November. Dari hasil penelitian yang diperoleh dalam penelitian ini, maka dapat dikatakan bahwa gangguan terbesar ionosfer daerah Kupang terjadi di bulan *equinox* Maret-April, September dan Oktober. Oleh karena itu kesalahan penentuan posisi GPS terbesar terjadi pada bulan *equinox*. Untuk mendapatkan variasi TEC ionosfer daerah Kupang yang komprehensif maka diperlukan penelitian dengan data yang lebih lengkap (dari Januari-Desember) dengan jumlah data yang lebih banyak (lebih dari satu tahun).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa (LAPAN) dan Jurusan Fisika Universitas Nusa Cendana (UNDANA) yang telah mengizinkan penulis untuk mengakses data GISTM untuk digunakan dalam penelitian ini. Terimakasih kepada rekan-rekan penulis atas kesediaannya dalam memberikan saran, dan ide dalam penyempurnaan makalah ini.

PUSTAKA

Klobuchar, J. A. (1985). *Ionospheric Total Electron Content (TEC) in A. S. Jursa* (ed.), *Handbook of Geophysics and the Space Environment*, Bedford (Mass), Air Force Geophysical Laboratory, 1985, pp.10- 89:10-96.

Klobuchar, J. A. (1996). *Ionospheric Effects on GPS*. In: *Global Positioning System: Theory and Applications*,

- Volume 1, ed. by B. W. Parkinson and J. J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 370 L'Enfant Promenade, SW. Washington DC, 1996.
- Subakti, H., Puspito, N. T., Widarto, D. S. (2008). Analisis Variasi GPS – TEC yang Berhubungan Dengan Gempa Bumi Besar Di Sumatra, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 9, No. 1. 2008.
- Bhattacharya, S, Purohit, P. K, Gwal, A. K. (2009). Ionospheric Time Delay Variations in The Equatorial Anomaly Region During Low Solar Activity Using GPS, *Indian Journal of Radio and Space Physic*, Vol.38, October, 2009, pp.266-274.
- Bagiya, M. S., Jhosi, H. P., Iyer, K. N, Aggarwal, M, Ravindran. S, Pathan, B. M. (2009). *TEC Variations During Low Solar Activity Period (2005-2007) Near the Equatorial Ionospheric Anomaly Crest Region in India*. www.anngeophys.net, diakses tanggal 23 Juli 2014.
- Asnawi, H, Ekawati, S, & Prabowo, U.D. (2012). 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),” *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*. vol. 7, no. 1, pp. 1–10.
- Alizadeh, M. M, Wijaya, D. D, Hobiger, T, Weber, R and Schuh, H. (2013). *Ionospheric Effects on Microwave Signals*. Department for Geodesy and Geoinformation Science, Technical University of Berlin Press, doi: 10.1007/978-3-642-36932-2_2.
- Nuraeni, F. (2013). Aktivitas Geomagnet September –November 2013, *Buletin Cuaca Antariksa*, Vol. 3. No. 1 Januari, Maret 2014:13.
- Parkinson & Spilker, (2019). *Global Positioning System Theory and Applications*. Washington DC, American Institute of Aeronautics and Astronautics.

WDC for geomagnetism, Kyoto, Website:
[http://Realtime Dst Index Monthly
Plot and Table.html](http://Realtime Dst Index Monthly Plot and Table.html), diakses tanggal
15 Juli 2014.