

Jumlah Kandungan Elektron Sewaktu Gangguan Ionosfera Bergerak di Parit Raja, Johor

(Total Electron Content During Travelling Ionospheric Disturbance in Parit Raja, Johor)

Mardina Abdullah*, Dayang Azra Awang Mat, Ahmad Faizal Mohd Zain, Sabirin Abdullah, Asnawi & Siti Sarah Nik Zulkifli

ABSTRAK

Gangguan ionosfera bergerak (*travelling ionospheric disturbance – TID*) merupakan salah satu fenomena yang disebabkan oleh aktiviti matahari dan tahap kekuatan TID berbeza-beza mengikut kawasan yang tertentu terutamanya di kawasan khatulistiwa. Fenomena ini memberi kesan terhadap jumlah kandungan elektron (*total electron content, TEC*) setempat, terutamanya pada waktu siang. Oleh yang demikian, kajian mengenai perubahan nilai TEC semasa berlakunya fenomena ini telah dilakukan dengan membandingkan nilai TEC yang diperolehi daripada model-model IRI2001 dan NeQuick dengan data nyata IONEX. Dengan menggunakan data GPS (*Global Positioning System*) yang diperolehi daripada stesen Parit Raja di selatan Malaysia ($1^{\circ} 52' N$, $103^{\circ} 06' E$) sebagai rujukan, kajian dijalankan pada hari tenang dan pada hari yang dilaporkan berlaku ribut geomagnet. Kejadian TID dapat dilihat dengan lebih jelas menggunakan data sebenar TEC daripada IONEX dan WARAS. Kesan kewujudan TID terhadap TEC yang ditunjukkan oleh hasil cerapan daripada stesen Parit Raja adalah lebih ketara berbanding yang ditunjukkan oleh data IONEX. Manakala bagi model-model IRI2001 dan NeQuick, didapati nilai TEC yang diperolehi adalah dipengaruhi oleh nombor tompok matahari dan hanya sesuai digunakan semasa keadaan geomagnetik tenang. Bagi mendapatkan nilai TEC yang lebih tepat pada masa akan datang, pembaharuan perlu dijalankan supaya TID disertakan pada model IRI2001 dan NeQuick.

Kata kunci: TEC; TID; ionosfera; IRI2001; NeQuick; IONEX

ABSTRACT

Travelling ionospheric disturbance (TID) is a phenomenon caused by solar activity and TID strength varies by locations, especially in equatorial regions. This phenomenon affects the local total electron content (TEC), especially during the daytime. Because of this, research regarding augmenting TEC values during TID is done by comparing TEC values obtained from the IRI2001 and NeQuick models with IONEX data. By using Global Positioning System (GPS) data obtained from the Parit Raja station in the southern part of Malaysia ($1^{\circ} 52' N$, $103^{\circ} 06' E$) as reference, research was conducted during geomagnetic quiet day as well as on the disturbed day. The occurrence of TID can clearly be seen when using the real TEC data from IONEX and WARAS. Result obtained from Parit Raja station shows a much more significant effect of TID occurrence on TEC than what was shown by IONEX data. However, the TEC values obtained from the IRI2001 and NeQuick models were influenced by the number of sunspots and were only applicable in geomagnetic quiet days. In order to obtain more accurate TEC values, it is necessary to ensure that TID condition is included in the IRI2001 and NeQuick models.

Keywords: TEC; TID; ionosphere; IRI2001; NeQuick; IONEX

PENGENALAN

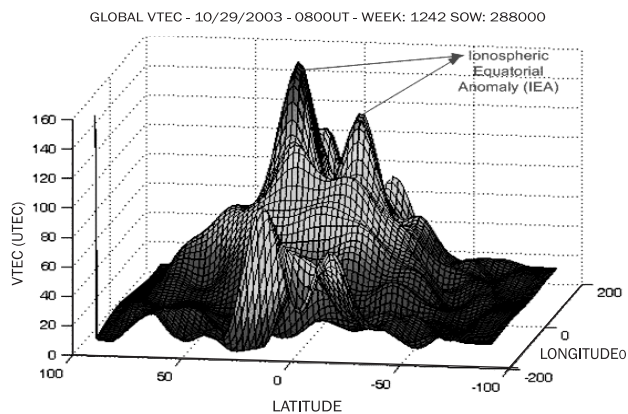
Kajian mengenai lapisan ionosfera bumi seringkali dikaitkan dengan jumlah kandungan elektron (*Total Electron Content, TEC*) memandangkan anggaran nilai TEC sangat diperlukan bagi membolehkan pembedaan dilakukan pada sistem pencarian lokasi menggunakan satelit (Iyer et al. 1996). Selain itu, pengetahuan mengenai TEC juga mempunyai kepentingan dalam bidang kejuruteraan telekomunikasi, terutamanya dalam perambatan trans-ionosfera. Dalam komunikasi radio contohnya, gelombang radio yang menembusi lapisan ionosfera akan mengalami beberapa gangguan dan lazimnya ini berkadar langsung dengan

TEC semasa pertembungan berlaku. TEC boleh ditakrifkan sebagai jumlah kandungan elektron di dalam suatu ruang yang berpusat di atas laluan isyarat dengan keluasan 1 meter persegi. TEC dikira dalam unitnya tersendiri dan satu unit TEC (TECU) mewakili 10^{16} elektron per meter persegi:

$$1 \text{ unit TECU} = 1 \times 10^{16} \text{ el.m}^{-2} \quad (1)$$

Bentuk TEC bervariasi mengikut latitud geografi, masa tempatan, musim dan kitaran matahari. Kawasan berdekatan garisan geomagnet khatulistiwa, iaitu terletak diantara -20° dan $+20^{\circ}$ didapati berlaku anomali ionosfera,

yang dikenali sebagai fenomena Ionosfera Anomali Khatulistiwa (*Ionospheric Equatorial Anomaly, IEA*). Ianya dicirikan dengan penurunan ketumpatan pengionan pada geomagnet khatulistiwa, tetapi pada kedua-dua sisi $\pm 20^\circ$ geomagnet khatulistiwa, berlaku kemuncak ketumpatan pengionan. Rajah 1 menunjukkan fenomena IEA pada 29 Oktober 2003 yang dicirikan dengan puncak VTEC pada $\pm 20^\circ$ geomagnet khatulistiwa, maksimum VTEC berlaku sekitar pukul 4 petang waktu tempatan (Oliveira & Walter 2005). Menurut Martyn (1947), medan elektrik timur-barat saling berserenjang dengan medan geomagnet utara-selatan yang menyebabkan elektrodinamik hanyutan ExB (*ExB drift*) plasma mengarah ke atas. Pada masa plasma bergerak ke atas, berlaku resapan ke bawah di sepanjang garis medan magnet yang menuju ke latitud lebih tinggi di bawah pengaruh graviti dan tekanan kecerunan sehingga mencetuskan fenomena anomali.



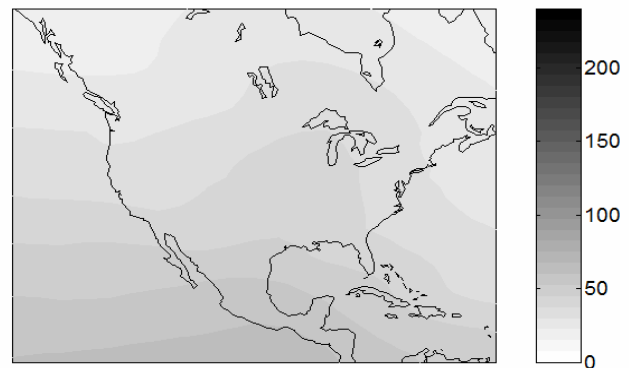
RAJAH 1. TEC yang Tinggi Semasa Fenomena IEA pada 29 Oktober 2003 (8-UT)
Sumber: Oliveira & Walter 2005 (dicetak semula dengan izin)

Gangguan ionosfera bergerak (*travelling ionospheric disturbances, TID*) merupakan satu gangguan di lapisan ionosfera yang disebabkan oleh aktiviti matahari dan ia memberikan kesan yang ketara terutamanya pada waktu siang. Sesetengah daripada gangguan ini adalah berkait dengan ribut magnetik dan berasal daripada zon aurora (Abdullah et al. 2007). Ia merupakan suatu pergerakan seolah-olah gelombang oleh plasma-plasma di lapisan ionosfera yang boleh menyebabkan pemfokusan dan nyahfokus pada gelombang radio (Australian Space Weather Agency 2008). Panjang gelombangnya adalah sekitar 50 hingga 500 km dan bergerak pada kelajuan 5 hingga 10 km per minut (Abdullah et al. 2007). Isyarat gelombang radio pada frekuensi yang kurang daripada 3 GHz akan mengalami gangguan di sepanjang laluan perambatan trans-ionosfera. Ini adalah disebabkan oleh pemesanan dan penyelerakan isyarat tersebut yang berpunca dari ketidakseimbangan struktur ionosfera.

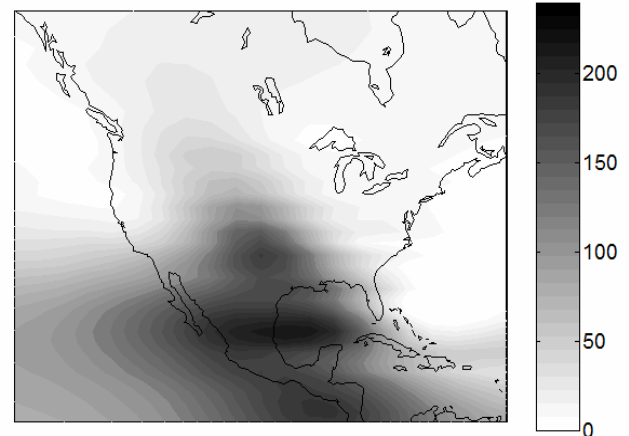
TID boleh dibahagikan kepada 3 skala mengikut kekuatan iaitu, *Large Scale TID* (LSTID), *Medium Scale TID* (MSTID) and *Small Scale TID* (SSTID) dengan tempoh

masing-masingnya 1-2 jam, 5-30 minit dan kurang daripada 20 minit (Abdullah et al. 2006). Hernandez-Pajares et al. (2006) menunjukkan bahawa halaju MSTID pada kebiasaannya adalah *equatorward* pada waktu siang semasa musim sejuk (± 100 -400 m/s) dan *westward* pada waktu malam semasa musim panas (± 50 -200 m/s). Walaupun kewujudannya mencapai nilai maksimum pada waktu-waktu tertentu terutamanya sewaktu solar maksimum, namun MSTID masih boleh diperhatikan pada musim-musim lain (Warnant et al. 2002). Parameter penting yang sering digunakan dalam pengiraan keamatan ketidakstabilan ini ialah indeks kelipan (*scintillation index*), S_4 . Pada nilai $S_4 > 0.7$, stesen penerima akan mengalami masalah dan gangguan terutamanya stesen yang berkaitan dengan pelayaran. Rajah 2 menunjukkan perbezaan nilai TEC yang dicerap semasa keadaan geomagnetik tenang dan berlakunya gangguan ribut pada 28 dan 29 Oktober 2003.

Inversion TEC(TECU) 28-Oct-2003 21:15:00UT

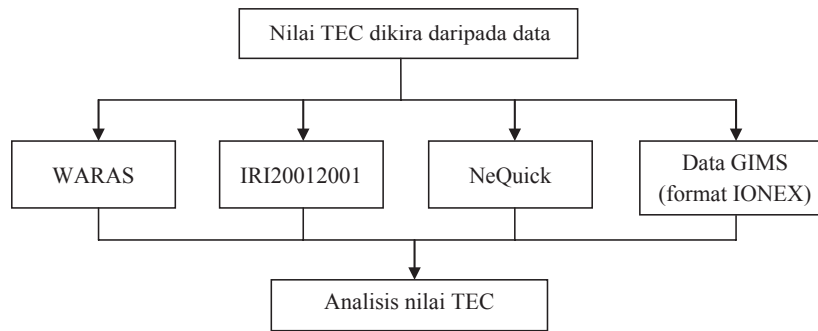


Inversion TEC(TECU) 29-Oct-2003 21:00:00UT



RAJAH 2. Nilai TEC Semasa
(a) Keadaan Tenang
(b) Berlakunya Ribu Geomagnetik
Sumber: Spencer et al. 2004 (dicetak semula dengan izin)

Dalam kajian ini, hanya kesan kewujudan MSTID terhadap perubahan TEC di kawasan khatulistiwa dikaji dengan membandingkan nilai TEC pada hari yang mengalami TID dengan nilai TEC pada hari tanpa TID. MSTID yang dikesan adalah bagi keadaan gangguan iaitu hari



RAJAH 3. Kaedah Kajian untuk Menganalisis Perubahan Nilai TEC

berlakunya ribut minor geomagnet dengan gred 1 dengan nilai indeks harian, K_p ialah 5 dan semasa keadaan tenang dengan nilai K_p pada hari tersebut adalah 3. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan data GPS yang diperolehi daripada stesen Parit Raja di selatan Malaysia yang diuruskan oleh *Wireless & Radio Science Centre* (WARAS), Universiti Tun Hussein Onn (UTHM). Selain itu, model-model *International Reference Ionosphere 2001* (IRI2001) dan NeQuick serta nilai TEC yang diperolehi daripada Peta Ionosfera Global (*Global Ionosphere Maps*, GIMS) digunakan dalam kajian ini.

KAEDAH KAJIAN

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3, perbandingan dilakukan dengan menggunakan data GPS yang diperolehi daripada WARAS, data dalam format *IONosphere map Exchange* (IONEX) dari GIMS serta nilai TEC yang diperolehi dari model-model IRI2001 dan NeQuick. Nilai TEC bagi keadaan gangguan diperolehi pada 24 Ogos 2005 iaitu hari berlakunya ribut minor bagi geomagnet dengan gred 1 di sekitar kawasan Parit Raja, dengan nilai indeks harian, K_p ialah 5 (Abdullah et al. 2006). Manakala bagi nilai TEC semasa keadaan tenang, kajian dijalankan pada 20 Ogos 2005 dengan nilai K_p pada hari tersebut adalah 3. Nilai sebenar nombor tompok matahari, R_{12} pada kedua-dua hari tersebut adalah 42 (24 Ogos 2005) dan 48 (20 Ogos 2005).

Nilai TEC yang didapati daripada GIMS dihasilkan dengan mengumpulkan data-data dalam format IONEX daripada kira-kira 150 stesen *International GNSS Service* (IGS) dan institusi-institusi yang berkaitan di *Centre for Orbit Determination in Europe* (CODE), *University of Berne* di Switzerland (Schaer et al. 1997; Schaer et al. 1998; Walker 2006). TEC global ini dihasilkan secara harian dengan nilai TEC dicerap daripada stesen-stesen IGS. Walaubagaimanapun, di Malaysia tidak terdapat stesen IGS yang dinyatakan tersebut.

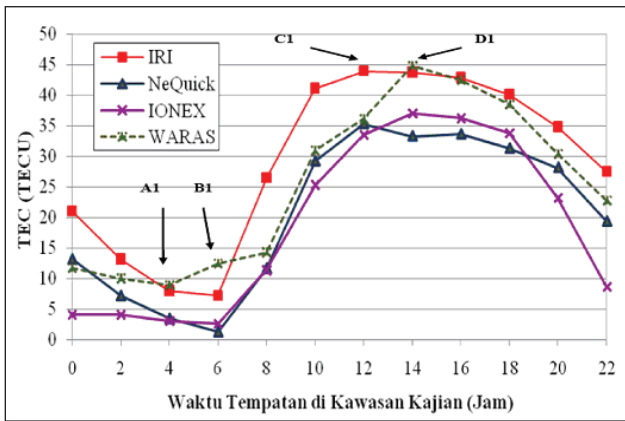
IRI2001 adalah antara model ionosfera yang terawal diperkenalkan yang mana ia merupakan projek kerjasama antara *Committee on Space Research* (COSPAR) dan *International Union of Radio Science* (URSI) (Bilitza 2008). Model ini memberikan nilai median dan purata ketumpatan dan kandungan elektron, komposisi ion dan

suhu berdasarkan ketinggian, tempat, waktu tempatan dan nombor tompok matahari, R_{12} pada keadaan tenang di ionosfera. Dalam kajian ini, IRI2001 yang dimuat turun daripada *University of Mass Lowell Massachusetts* (UMLCR 2008) digunakan. Selain itu, model baru yang menggunakan parameter *ionosonde* telah dihasilkan berdasarkan pembaikan ke atas profil bahagian bawah (*bottomside*) (300 km ke bawah) ionosfera yang dilakukan oleh Dio Givanni dan Radicella. Model *quick-run* ini yang dikenali sebagai NeQuick terdaftar di *International Telecommunication Union-Radiocommunication* (ITU-R) dan turut digunakan di *European Space Agency* (ESA). NeQuick memberikan profil ketumpatan elektron menegak dan condong. Model ini yang telah diuji di sekitar kawasan pertengahan latitud dan kawasan kutub di Hemisfera Utara dari altitud 500 km hingga 1000 km telah memberikan nilai TEC yang lebih tepat berbanding data eksperimen yang diperolehi melalui satelit Intercosmos-19 (Coisson et al. 2002).

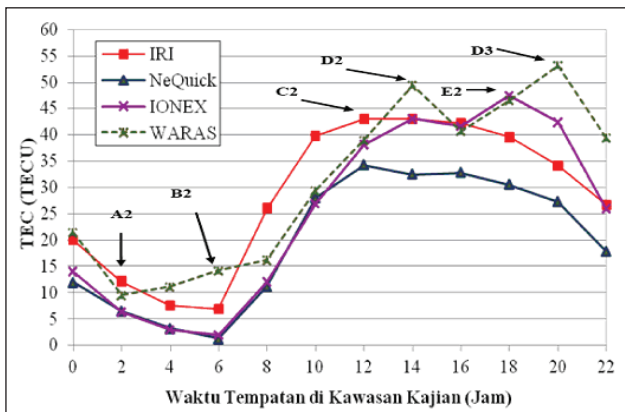
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Kajian perubahan nilai TEC terhadap kesan kewujudan TID dijalankan dengan membandingkan nilai TEC yang diperolehi semasa TID berlaku (hari dengan gangguan) dan semasa tiada TID berlaku (hari tenang). Perbandingan dijalankan di antara nilai-nilai TEC dari stesen Parit Raja dengan nilai TEC dari model-model IRI2001 dan NeQuick serta data nyata dari IONEX. Hasil kajian dicerap pada Rajah 4 dan perbandingan dijalankan berdasarkan kepada beberapa keadaan yang telah dikenalpasti, seperti yang telah dilabelkan dalam rajah tersebut.

Sekitar awal pagi iaitu 0-LT (*local time*) pada hari tenang (Rajah 4 (a)), nilai TEC yang diperolehi dari stesen GPS Parit Raja adalah lebih rendah berbanding nilai TEC dari model-model IRI2001 dan NeQuick dengan perbezaan sebanyak 9.36 TECU (IRI2001) dan 1.51 TECU (NeQuick). Keadaan ini mungkin disebabkan oleh penggunaan nombor tompok matahari, R_{12} yang tinggi oleh kedua-dua model tersebut. Walaupun begitu, nilai TEC daripada data IONEX adalah yang paling rendah pada 0-LT iaitu kurang 7.69 TECU kurang daripada nilai TEC dari WARAS. Manakala pada hari dengan gangguan (Rajah 4 (b)), nilai TEC daripada WARAS pada sekitar 0-LT adalah lebih tinggi berbanding yang



(a)



(b)

RAJAH 4. TEC yang Diperolehi pada
(a) 20 Ogos 2005
(b) 24 Ogos 2005

lain iaitu dengan perbezaan 1.40 TECU (IRI2001), 9.52 TECU (NeQuick) dan 7.44 TECU (IONEX). Pada kedua-dua hari kajian, nilai TEC mula menyusut bermula dari 14-LT hingga ke tengah malam ekoran dari sinar matahari yang berkurang.

Nilai TEC minimum dari stesen GPS WARAS didapati pada waktu yang berbeza iaitu pada 4-LT (titik A1) sewaktu hari tenang dan pada 2-LT (titik A2) sewaktu hari TID berlaku. Sedangkan bagi data IONEX dan model-model yang digunakan, nilai-nilai TEC minimum sewaktu hari tenang (titik B1) dan sewaktu hari gangguan (titik B2) diperolehi pada waktu yang sama iaitu pada 6-LT. Pada hari tenang, nilai minimum TEC yang dicerap adalah 7.33 TECU (IRI2001), 1.36 TECU (NeQuick), 2.61 TECU (IONEX) dan 8.93 TECU (WARAS). Manakala pada hari dengan gangguan, nilai minimum TEC yang diperolehi adalah 6.91 TECU (IRI2001), 1.24 TECU (NeQuick), 1.95 TECU (IONEX) dan 9.50 TECU (WARAS).

Dengan menggunakan model IRI2001 dan NeQuick bagi mendapatkan nilai TEC pada hari tenang, nilai maksimum diperolehi pada 12-LT (titik C1) dengan nilai masing-masing 43.88 TECU dan 36.95 TECU. Bagi data yang diperolehi dari stesen WARAS pula, nilai maksimum TEC

pada hari tenang dicerap sekitar 14-LT (titik D1) dengan nilai 44.80 TECU. Pada waktu yang sama, nilai maksimum TEC yang diberikan oleh data IONEX menunjukkan perbezaan kira-kira 7.85 TECU kurang berbanding data WARAS. Sementara itu pada hari TID berlaku, kesan kewujudannya dapat dilihat pada data cerapan yang diperolehi dari WARAS. Ketidakstabilan TEC berlaku dari 14-LT hingga 20-LT dengan nilai yang naik turun di antara 49.43 TECU (titik D2) dan 53.17 TECU (titik D3). Corak yang sama juga ditunjukkan pada TEC dari data nyata IONEX walaupun terdapat sedikit ralat bacaan. Bagi data IONEX, ketidakstabilan TEC berlaku di antara 14-LT hingga 18-LT dengan nilai maksimum 47.43 TECU diperolehi pada 18-LT (titik E1). Ini kerana penghasilan data IONEX adalah berdasarkan data-data harian yang diperolehi melalui 150 stesen IGS serata dunia. Sehubungan itu, ralat TEC berlaku disebabkan oleh persamaan yang digunakan adalah berbeza dari model yang lain.

Walau bagaimanapun, model-model IRI2001 dan NeQuick tidak menunjukkan apa-apa perubahan pada corak variasi TEC semasa TID berlaku. Yang berbeza hanyalah nilai TEC yang dianggarkan lebih rendah berbanding dengan hari tenang. Ini disebabkan oleh nilai R_{12} pada kedua-dua masa kajian yang mana nilai R_{12} pada hari tenang adalah lebih tinggi berbanding semasa kewujudan gangguan. Oleh yang demikian, nilai TEC juga meningkat terutamanya bagi model IRI2001. Nilai indeks suria ini akan mempengaruhi nilai frekuensi kritikal pada lapisan ionosfera kerana penggunaan peralatan *in situ* akan mengalami gangguan untuk menembusi penghadang yang terdapat pada lapisan bawah ionosfera bumi bagi memperoleh nilai TEC pada kedudukan atas ionosfera. Dengan ini, nilai-nilai purata, minimum dan maksimum TEC yang diperolehi daripada WARAS, model-model IRI2001 dan NeQuick serta data IONEX diringkaskan dalam Jadual 1.

Seperti yang dapat dilihat dari Jadual 1, nilai purata bagi data yang dicerap daripada WARAS menghampiri IRI2001 nilai TEC yang diberikan oleh model IRI2001 berbanding NeQuick dan IONEX. Walau bagaimanapun, nilai TEC yang dianggarkan oleh model ini hanyalah berdasarkan nilai R_{12} sahaja. Oleh yang demikian, model ini tidak dapat menganggarkan nilai TEC yang tepat semasa TID melanda dan hanya sesuai digunakan pada hari tenang sahaja. Taburan TEC daripada IONEX semasa berlakunya TID menunjukkan corak yang hampir serupa dengan taburan TEC yang dicerap daripada WARAS walaupun terdapat perbezaan pada nilai TEC yang diberikan. Ini menjelaskan bahawa dengan perolehan data harian, gangguan ionosfera dapat dikenalpasti bagi setiap stesen di mana berlakunya gangguan melalui penggunaan data yang diperolehi daripada IONEX.

Dengan menggunakan perisian Matlab (*Curve Fitting Tool*), nilai ralat min punca kuasa dua (*root mean square error*; RMSE) telah dikira berdasarkan data-data yang dicerap daripada model-model IRI2001, NeQuick dan IONEX berbanding dengan data TEC yang dicerap di WARAS dan hasilnya diberikan dalam Jadual 2.

JADUAL 1. Perbandingan Nilai TEC Semasa Hari Tenang dan Semasa Kejadian TID (TECU)

	20 Ogos 2005 (keadaan tenang)			24 Ogos 2005 (keadaan gangguan)		
	Maksimum	Minimum	Purata	Maksimum	Minimum	Purata
WARAS	44.80	8.93	25.27	53.17	11.05	30.84
IRI2001	43.48	7.33	29.16	43.00	6.91	28.41
NeQuick	35.29	1.36	20.61	34.25	1.24	19.78
IONEX	36.95	2.61	18.52	47.43	1.95	25.21

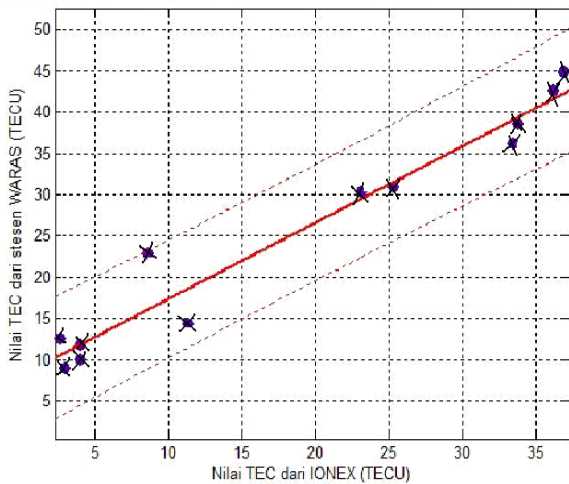
JADUAL 2. Nilai RMSE bagi IRI2001, NeQuick dan IONEX Berbanding Data WARAS

	IRI2001	NeQuick	IONEX
20 Ogos 2005 (keadaan tenang)	5.27	4.36	3.03
24 Ogos 2005 (keadaan gangguan)	9.15	7.93	4.73

Berdasarkan nilai RMSE ini yang merujuk kepada data TEC dari WARAS, ditunjukkan bahawa nilai TEC yang diperolehi daripada IONEX memiliki ralat yang lebih kecil berbanding nilai TEC oleh model-model IRI2001 dan NeQuick pada kedua-dua hari kajian. Kesesuaian penggunaan model-model ionosfera hanyalah pada hari tenang sahaja iaitu dengan nilai R_{12} yang rendah seperti yang diterangkan sebelum ini. Rajah 5 menunjukkan taburan data yang dicerap daripada stesen WARAS berbanding dengan data TEC yang diperolehi daripada IONEX pada kedua-dua hari kajian. Manakala Rajah 6 dan 7 menunjukkan nilai TEC bagi model-model IRI2001 dan NeQuick dengan nilai RMSE yang lebih besar daripada IONEX.

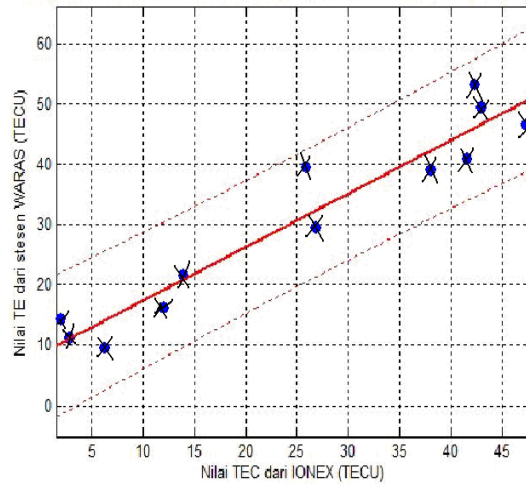
Berdasarkan Rajah 5, jelas menunjukkan nilai RMSE bagi IONEX adalah rendah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2 dan menghampiri IRI2001 nilai data TEC yang dicerap daripada stesen WARAS. Walaubagaimanapun, data TEC yang dicerap dengan menggunakan model-model IRI2001 dan NeQuick menunjukkan sempadan yang lebih jauh daripada garis linear dengan nilai RMSE yang besar seperti yang ditunjukkan pada Rajah 6 dan 7. Ini menunjukkan bahawa penganggaran TEC yang dihasilkan melalui penggunaan model mengalami ralat yang besar sewaktu hari tenang mahupun sewaktu hari adanya gangguan ionosfera berbanding dengan IONEX.

Cerapan Nilai TEC dari stesen WARAS melawan data TEC IONEX semasa keadaan tenang



(a)

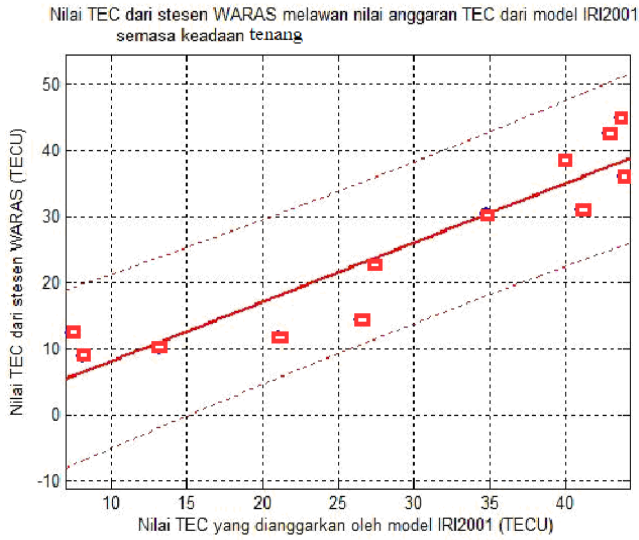
Cerapan nilai TEC dari stesen WARAS melawan data TEC IONEX semasa gangguan



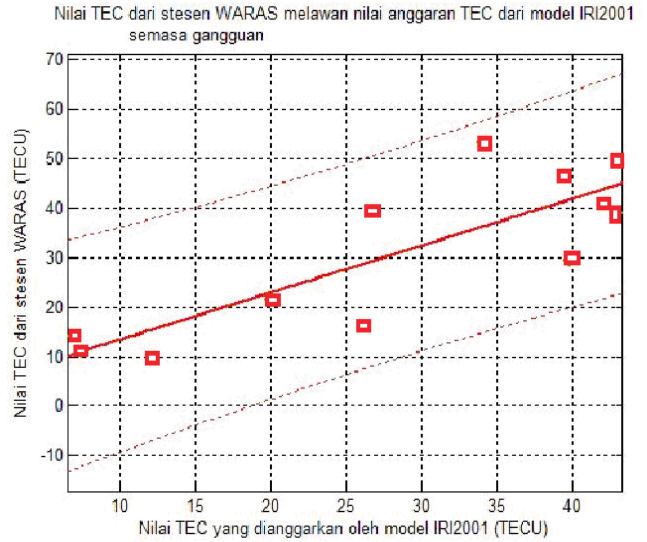
(b)

RAJAH 5. Taburan TEC dari Stesen WARAS Berbanding Taburan TEC dari Data IONEX pada:

- (a) Hari Tenang
- (b) Hari dengan Gangguan



(a)

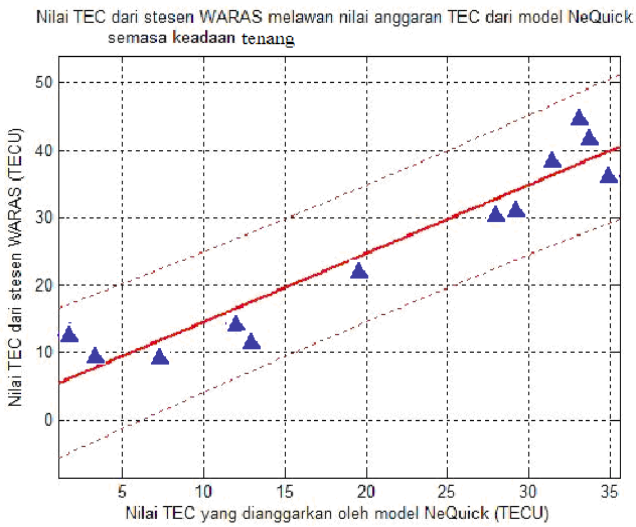


(b)

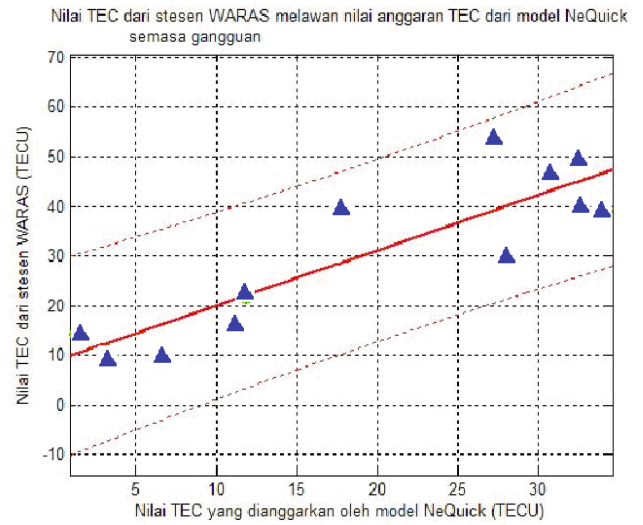
RAJAH 6. Taburan TEC dari Stesen WARAS Berbanding Taburan TEC dari Model IRI2001

pada:

- (a) Hari Tenang
- (b) Hari dengan Gangguan



(a)



(b)

RAJAH 7. Taburan TEC dari Stesen WARAS Berbanding Taburan TEC dari Model NeQuick

pada:

- (a) Hari Tenang
- (b) Hari dengan Gangguan

KESIMPULAN

Daripada hasil kajian yang diperolehi, dapat disimpulkan bahawa terdapat perbezaan TEC yang ketara pada hari berlakunya fenomena TID berbanding dengan TEC pada hari tenang. Sementara itu, dengan merujuk kepada data TEC dari WARAS pada hari TID berlaku, didapati nilai TEC yang diperolehi daripada IONEX memiliki ralat yang kecil berbanding nilai TEC yang dianggarkan oleh model-model IRI2001 dan NeQuick. Oleh yang demikian, model-model ini hanya sesuai digunakan bagi meramal nilai TEC pada hari tanpa TID, yang mana semua pengiraan hanya bergantung kepada R_{12} . Corak peningkatan nilai TEC terhadap kewujudan TID ini perlulah sentiasa diawasi memandangkan TEC mempunyai peranan yang penting dalam perambatan isyarat trans-ionosfera.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada pihak MOSTI dan UKM di atas pembiayaan penyelidikan (SF04-01-02-SF191 dan UKM-KK-01-FRGS0042-206) yang diberikan. Penghargaan turut ditujukan kepada pihak WARAS yang telah menyediakan data GPS bagi kajian ini.

RUJUKAN

- Abdullah M., Strangeways, H. J. & Walsh, D. M. A. 2007. Effects of ionospheric horizontal gradients on differential GPS. *Acta Geophysica* 55(4):509-523.
- Abdullah, M., Zain, A. F. M., Abdullah, S., Hashim, N. B. M. & Norazuan, M. H. 2006. Determination of ionospheric disturbances over Malaysia. *3rd Bangi World Conference on Environmental Management*, hlm. 103-108.
- Australian Space Weather Agency 2008. IPS Radio and Space Services: Glossary of solar terrestrial terms. <http://www.ips.gov.au/Educational/1/2/1/T>
- Bilitza, D. 2008. International Reference Ionosphere. <http://IRI2001.gsfc.nasa.gov> [11 Mei 2008]
- Coisson, P., Radicella, S. M. & Nava, B. 2002. Comparisons of experimental topside electron concentration profiles with IRI2001 and NeQuick models. *Annals of Geophysics* 45(1):111-116.
- Hernandez-Pajares, M., Juan, J. M. & Sanz, J. 2006. Medium-scale traveling ionospheric disturbance affecting GPS measurements: spatial and temporal analysis. *Journal Geophysical Research A: Space Physics* 111(7), doi:10.1029/2005JA011474.
- Iyer, K. N., Joshi, H. P., Jivrajani, R. D. & Aravindakshan, P. 1996. Comparative Study of TEC near the crest of the equatorial anomaly with IRI2001 model for solar minimum to solar maximum. *Advances in Space Research* 18(6):233-236.
- Martyn, D. F. 1947. Atmospheric tides in the ionosphere, I. Solar tides in the F2 region. *Proc. Royal Soc. Lond. A* 189, hlm. 241–260,
- Oliveira, A. B. V. & Walter, F. 2005. Ionospheric equatorial anomaly studies during solar storms. http://www.ips.gov.au/IPshosted/NCRS/commg_ursi2005/oral/g02_01378.pdf
- Schaer, S., Gurtner, W. & Feltens, J. 1998. IONEX: The IONosphere Map Exchange format ver 1. *Proceedings of the IGS Analysis Center Workshop, Darmstadt, Germany*, hlm. 233-248.
- Schaer, S., Markus R., Gerhard, B. & Timon, A. S. 1997. Daily global ionosphere maps based on GPS carrier phase data routinely produced by the CODE Analysis Center. *Proceeding of the IGS Analysis Center Workshop, Maryland, USA*, hlm. 181-192.
- Spencer, P. S. J., Robertson, D. S. & Mader, G. L. 2004. Ionospheric data assimilation methods for geodetic applications. University of Colorado. <http://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/>
- UMLCR 2008. University of Massachusetts Lowell Centre for Atmospheric Research http://ulcer.uml.edu/IRI2001-/IRI_2001.ZIP [11 Jun 2008]
- Walker, C. 2006. The global ionosphere models. http://www.vlba.nrao.edu/memos/sci/gps_ion/node3.html
- Warnant, R., Stankov, S., Jodogne, J. C. & Nebdi, H. 2002. The monitoring of the ionospheric activity using GPS measurements. *Conference on European Co-operation in the field of Scientific and Technical, COST271, Faro, Portugal*.
- Asnawi & Siti Sarah Nik Zulkiffi
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi,
Malaysia.
- Mardina Abdullah
Felo Bersekutu, Institut Sains Angkasa,
Universiti Kebangsaan Malaysia 43600 UKM Bangi,
Malaysia
- Dayang Azra Awang Mat
Fakulti Kejuruteraan, Universiti Malaysia Sarawak,
94300 Kota Samarahan, Sarawak,
Malaysia
- Ahmad Faizal Mohd Zain & Sabirin Abdullah
Wireless and Radio Science Centre (WARAS),
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia,
86400 Parit Raja, Johor,
Malaysia.

*Corresponding author; email: mardina@eng.ukm.my

Received Date : 7th October 2008

Accepted Date : 14th May 2010

