

## PENENTUAN GANGGUAN IONOSFERA BERGERAK MENGUNAKAN DATA GPS

MARDINA ABDULLAH<sup>1</sup>, AHMAD FAIZAL MOHD. ZAIN<sup>2</sup>, SABIRIN  
ABDULLAH<sup>3</sup>, NURBAYA MOHD. HASHIM<sup>4</sup> & HO YIH HWA<sup>5</sup>

**Abstrak.** Kajian ini bertujuan untuk menentukan kehadiran gangguan ionosfera bergerak (*Travelling Ionospheric Disturbances*, TID) di Malaysia bagi membantu dalam perambatan radio dengan menggunakan isyarat GPS (Global Positioning System) satelit. Hal ini dilakukan dengan mengenal pasti kehadiran gangguan ionosfera bergerak (*Travelling Ionospheric Disturbances*, TID) menggunakan data GPS. TID merupakan salah satu gangguan di ionosfera yang disebabkan oleh aktiviti suria. Parameter yang diambil kira dalam kajian ini ialah jumlah kandungan elektron (*Total Electron Content*, TEC). Kadar perubahan TEC,  $\Delta$ TEC, diambil untuk sela masa 15 minit bagi menentukan kehadiran TID. Data GPS diperoleh dari penerima GPS di Pusat WARAS KUiTHHO, Parit Raja, Batu Pahat ( $1^{\circ}52'N$ ,  $103^{\circ}06'E$ ). Nilai  $\Delta$ TEC dibandingkan mengikut indeks geomagnet, Kp harian terbesar pada 3 hari yang berbeza. Aktiviti ribut geomagnet menyebabkan perubahan di ionosfera bumi yang mana tumpuan lebih diberikan ke atas kesannya terhadap lapisan-F ionosfera. Hasil kajian menunjukkan wujudnya kehadiran TID di stesyen penerima. Hasil ini juga menunjukkan penambahan nilai indeks Kp memberikan peningkatan pada keamatan TID atau jumlah TID yang berjaya dikesan. Walau bagaimanapun, lebih banyak data perlu dianalisis untuk memahami variasi gangguan ini yang boleh digunakan untuk meramal keadaan cuaca di angkasa.

**Kata kunci:** Ionosfera, TEC, TID, GPS

**Abstract.** This study focuses on the determination of ionospheric disturbances over Malaysia using GPS (Global Positioning System) signals in order to have a better understanding of radio wave propagation. This is done by identifying the presence of Travelling Ionospheric Disturbance (TID) using GPS data. TID is one of the disturbances occurring in the ionosphere that is caused by solar activities. The important parameter taken into account is the Total Electron Content (TEC). The value of the rate of change of TEC,  $\Delta$ TEC, is taken within a period of 15 minutes in order to detect the occurrences of TID. The data is taken from a GPS receiver stationed at the WARAS Center KUiTHHO, in Parit Raja, Batu Pahat ( $1^{\circ}52'N$ ,  $103^{\circ}06'E$ ). The value of  $\Delta$ TEC is compared based on the largest daily geomagnetic index, Kp index for 3 different days. Geomagnetic storms affect the ionospheric and the layer that is of interest is the F-layer of ionosphere. Results show that there is an occurrence of TID above the receiving station. Results also shows that there is a close correlation between the occurrence of TIDs and Kp values; a higher Kp index show an increase in the number of TIDs. However, more

<sup>1&4</sup> Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

<sup>2&3</sup> Wireless and Radio Science Centre (WARAS), Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), 86400 Parit Raja, Johor, Malaysia.

<sup>5</sup> Fakulti Kejuruteraan Elektronik dan Komputer, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) 75450 Ayer Keroh, Melaka, Malaysia.

data need to be analysed in order to understand the variation of this disturbance to allow for space weather forecasting in the near future.

*Keywords:* Ionosphere, TEC, TID, GPS

## 1.0 PENGENALAN

Ionosfera merupakan lapisan atmosfera bumi yang wujud dalam bentuk medium berion pada ketinggian 50 hingga 1000 km dari permukaan bumi hasil dari sinaran suria. Ionosfera adalah penting dalam bidang komunikasi berfrekuensi tinggi kerana lapisan ini boleh memantulkan isyarat radio berfrekuensi tinggi (*high frequency*, HF), iaitu dalam julat 3 hingga 30 MHz. Selain itu, ionosfera juga boleh mengganggu perambatan isyarat trans-ionosfera seperti isyarat GPS (pada frekuensi 1575.042 MHz dan 1227.6 MHz). Antara pelbagai fenomena di ionosfera yang boleh mengganggu perambatan isyarat radio ialah gangguan ionosfera mengejut (*sudden ionospheric disturbance*, SID), ribut ionosfera (*ionospheric storms*), penyerapan kutub (*Polar cap absorption*), dan gangguan ionosfera bergerak (*travelling ionospheric disturbance*, TID) [1,2]. Kajian terhadap penentuan kehadiran TID adalah penting bagi komunikasi berfrekuensi tinggi (HF) pada jumlah kadar data yang banyak dan bagi menentukan lokasi alat pemancar isyarat berfrekuensi tinggi dalam skala jarak yang pendek [3]. Kehadiran TID di ionosfera perlu dikesan memandangkan gangguan yang timbul ini dapat memberi kesan terhadap komunikasi radio HF dan juga perambatan isyarat GPS.

TID merupakan pergerakan seperti gelombang yang berlaku di ionosfera dan dianggap sebagai peredaran gelombang menerusi atmosfera neutral serta dipengaruhi oleh gelombang graviti pada taburan plasma terutamanya pada lapisan ionosfera F. TID boleh dikategorikan dalam tiga bentuk skala; iaitu besar (*Large Scale TID*, *LSTIDs*), pertengahan (*Medium Scale TID*, *MSTIDs*) dan kecil (*Small Scale TID*, *SSTIDs*) dengan kalaan antara 1 hingga 2 jam, 5 hingga 30 minit dan kurang daripada 20 minit bagi setiap bentuk [4,5]. Kehadiran TID boleh ditentukan dengan melihat kepada perubahan variasi TEC yang boleh dihitung dari data GPS [6-9]. Era pengukuran TEC dengan teknik Faraday telah digantikan dengan penggunaan satelit yang mempunyai penghantaran dwi-frekuensi dari GPS yang merupakan peralatan berguna dalam kajian global dan struktur kawasan ionosfera [10,11]. Menghitung TEC menggunakan sistem navigasi GPS boleh memberi keputusan pengiraan bagi TEC yang lebih baik berbanding dengan sistem satelit yang lain seperti GEOS (*Geosynchronous*) dan NNSS (*Navy Navigation Satellite System*) [12].

TEC ialah jumlah kandungan elektron yang berada di sepanjang laluan dari penerima ke satelit GPS pada keratan rentas 1 meter per segi. Satu unit TEC (TECU) sama dengan  $1 \times 10^{16}$  elektron/m<sup>2</sup> [14]. Kawasan ionosfera yang mempunyai ketumpatan elektron tertinggi berada di lapisan-F. Lebih dari satu per tiga kandungan elektron ionosfera berada di puncak lapisan F2. Parameter terpenting di ionosfera ialah

kewujudan kandungan elektron bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Ini dapat diperhatikan apabila gelombang tersebut melintasi lapisan ionosfera. Jumlah ketumpatan elektron se isipadu (*electron density*) merupakan kuantiti diskriptif yang penting bagi kajian fizik ionosfera dan aplikasi perambatan gelombang radio. Peningkatan kadar perubahan TEC semasa aktiviti ribut geomagnet juga boleh menyebabkan berlakunya penambahan jumlah TID.

Kajian literatur menunjukkan tidak banyak kajian mengenai TID dilakukan di kawasan latitud khatulistiwa seperti di Malaysia. Kebanyakan kajian dijalankan menggunakan data ionosfera di kawasan latitud tengah dan tinggi. Walau bagaimanapun kajian ini adalah penting memandangkan kawasan khatulistiwa (latitud rendah) mempunyai ciri dan struktur ionosfera yang berlainan seperti anomali khatulistiwa, serapan elektron yang lebih tinggi, orientasi geomagnet yang berlainan dan sebagainya berbanding dengan kawasan lain [3]. Oleh itu ia akan memberikan kesan perambatan isyarat yang berlainan. Kajian ini mengkhususkan pada pengiraan perubahan TEC,  $\Delta\text{TEC}$  dari data satelit GPS bagi menentukan kehadiran TID di Malaysia. Di samping itu, pilihan hari yang bersesuaian dalam kajian ini adalah mengikut indeks Kp (p: *planetary*) bagi memberikan perkaitan antara jumlah kehadiran TID dengan peningkatan gangguan aktiviti geomagnet di ionosfera. Indeks Kp merupakan ukuran global kekuatan medan geomagnet yang diukur dalam bentuk integer 0 – 9 dengan 9 adalah keadaan yang paling terganggu. Selain dari perkaitan kehadiran TID dengan aktiviti geomagnet, kehadiran TID turut dikaji berdasarkan pada variasinya pada waktu harian, iaitu pagi, siang dan malam.

## 2.0 DATA DAN PELAKSANAAN KAJIAN

Data yang digunakan untuk kajian ini dicerap daripada alat penerima GPS yang ditempatkan pada stesyen penerima di Parit Raja, Johor ( $1^{\circ}52'N$ ,  $103^{\circ}06'E$ ). Data GPS tersebut yakni dalam bentuk TEC condong dan telah diproses di WARAS (*Wireless and Radio Science Centre*) yang terletak di KUiTTHO (Kolej Universiti Teknikal Tun Hussein Onn). Alat pengukuran TEC ini merupakan alat penerima GPS dwi-frekuensi. Setiap satelit GPS menghantar dua frekuensi dalam jalur-L bagi spektrum gelombang mikro, iaitu pada  $L1 = 1575.042$  MHz dan  $L2 = 1227.6$  MHz. Oleh itu alat penerima tersebut dapat menerima kod-kod yang dihantar menggunakan frekuensi tersebut. Isyarat dwi- frekuensi L1 dan L2 akan mengalami lengah masa apabila melalui lapisan ionosfera perbezaannya boleh digunakan untuk mengira TEC di sepanjang laluan isyarat tersebut seperti Persamaan (1) berikut [13];

$$\text{TEC} = [9.483(\text{PR}_{L2} - \text{PR}_{L1} - D)] + \text{CAL} \quad (1)$$

dengan,

- $\text{PR}_{L2}$  : julat semu (*pseudorange*) pada L2  
 $\text{PR}_{L1}$  : julat semu pada L1

- D : bias masukan antara kod-kod  
 CAL : jumlah TEC dari lengah masa L1 dan L2 dalam alat penerima dan offset

Lengah masa ini boleh diperolehi melalui dua cara, iaitu secara kod daripada julat semu dan secara fasa. Nilai TEC bagi kajian ini ialah hasil gabungan kedua-dua cara, iaitu dengan julat semu di sini data ini akan memberikan nilai mutlak bagi TEC sementara perbezaan fasa pula akan meningkatkan ketepatan pengiraan TEC kerana kurangnya hingar. Dengan itu kaedah penskalaan mutlak dilakukan untuk mendapatkan bacaan yang lebih jitu.

Persamaan (1) memberikan nilai TEC condong ( $TEC_s$ ) sekiranya sudut dongak tidak sama dengan  $90^\circ$  atau sudut zenit satelit tidak  $0^\circ$ , iaitu satelit tidak berada betul-betul di atas alat penerima. Pengiraan TEC secara condong adalah bergantung kepada lokasi sesuatu penerima, manakala perhitungan secara menegak pula tidak bergantung kepada lokasi penerima. Oleh itu untuk perbandingan yang lebih baik nilai TEC menegak ( $TEC_v$ ) telah di kira. Sudut dongakan bagi satelit GPS yang dipilih bermula dari  $5^\circ$  hingga  $80^\circ$ . TEC secara menegak dapat diwakilkan seperti Persamaan (2) berikut;

$$TEC_v = TEC_s \cos \chi' \quad (2)$$

dengan  $\chi'$  merupakan sudut zenit titik penyucukan ionosfera (*ionospheric pierce point-IPP*). Dengan menggunakan TEC menegak seperti Persamaan (2), perubahan kadar TEC ( $\Delta TEC$ ) dapat diperolehi daripada persamaan berikut;

$$\Delta TEC^i(t_k) = \frac{TEC^i(t_k) - TEC^i(t_{k-1})}{(t_k - t_{k-1})} \quad (3)$$

dengan  $TEC^i(t_k)$  merupakan nilai TEC pada masa ke- $k$  untuk satelit ke- $i$  manakala  $t_k$  pula ialah masa ke- $k$  [9]. Unit  $\Delta TEC$  adalah dalam TECU/min.

Kehadiran TID dapat dikesan menggunakan Persamaan (3) dan di sini nilai  $|0.1|$  dipilih sebagai nilai ambang untuk mengesan dan membuat keputusan bagi menentukan kehadiran TID dalam sela masa 15 minit [9]. Nilai ambang ini dipilih memadai kebesaran nilainya untuk menyalahertikannya dengan kehadiran fenomena laluan pelbagai (*multipath*) dan juga fenomena ionosfera yang lain. Apabila didapati nilai TEC melebihi nilai ambang tersebut maka TID berjaya dikesan pada sela masa yang berkaitan.

Kajian ini menggunakan sebanyak tiga set data bagi melihat kehadiran TID. Data juga dipilih merujuk kepada aktiviti geomagnet, iaitu merangkumi hari yang tiada gangguan geomagnet (*quiet days*) serta hari yang mempunyai gangguan geomagnet (*disturbed days*). Data GPS sedia ada juga agak terhad di stesyen penerima tersebut. Tiga set data dipilih, iaitu bermula pada set data pertama bertarikh 20 Ogos 2005 yang

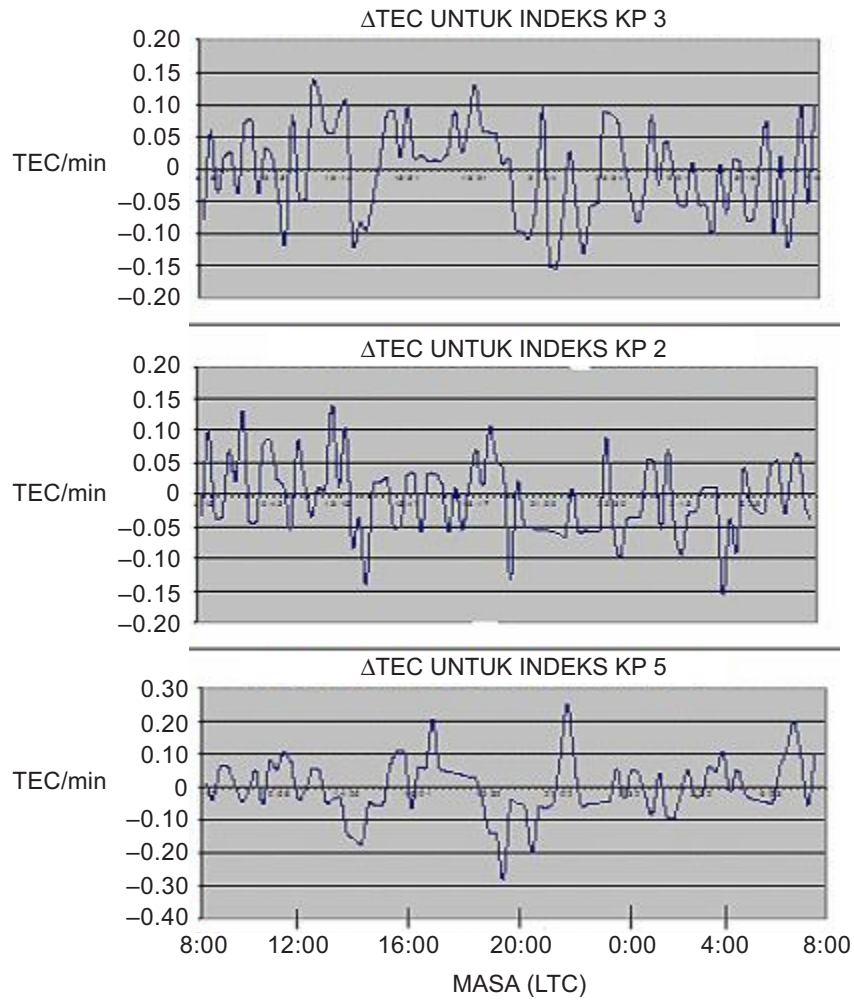
mempunyai indeks Kp harian sama dengan 3, set data kedua bertarikh 21 Ogos 2005 yang mempunyai indeks Kp harian yang lebih rendah, iaitu 2 dan diikuti dengan set data ketiga bertarikh 24 Ogos 2005, iaitu hari yang mempunyai nilai indeks Kp harian yang terbesar berbanding dengan kedua-dua hari sebelumnya, iaitu 5.

### 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

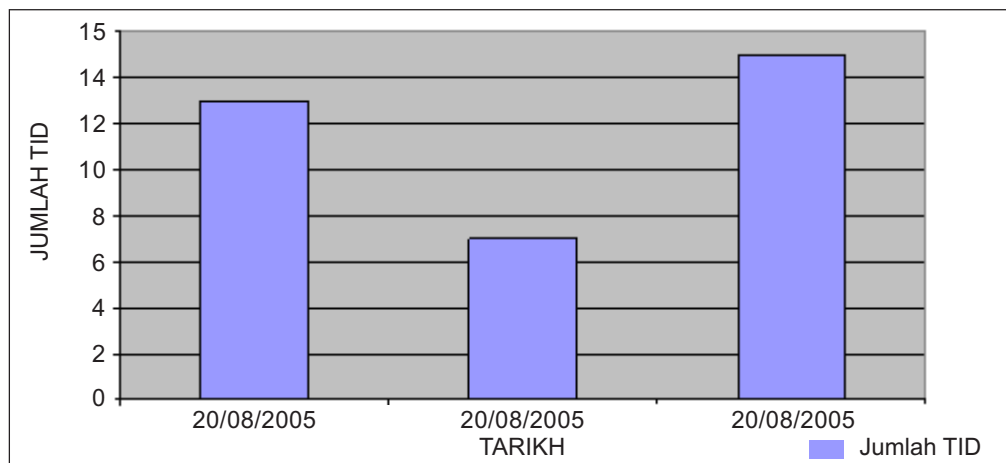
Data yang dicerap dari stesyen penerima di WARAS merangkumi cerapan selama 24 jam dan data dianalisis dalam sela masa 15 minit. Dalam tempoh tersebut data telah dipilih dari empat satelit yang berbeza, iaitu PRN 30, PRN 3, PRN 24 dan PRN 9. Data mentah ini juga disusun mengikut kalender GPS dan dalam unit masa UTC (*Universal Time Coordinate*). Perubahan kadar TEC, iaitu  $\Delta\text{TEC}$  telah di kira menggunakan Persamaan (2) dan (3). Rajah 1 menunjukkan graf bagi bacaan data tersebut yang menunjukkan kehadiran TID pada ketiga-tiga hari yang dipilih. Masa dinyatakan dalam UTC (*Local Time Coordinate*). Graf juga dipaparkan dengan indeks Kp masing-masing bagi ketiga-tiga hari tersebut. Manakala Rajah 2 menunjukkan jumlah kandungan TID yang berjaya di kesan, iaitu sama atau melebihi nilai ambang  $|0.1|$ . Rajah-rajah ini juga menunjukkan peningkatan indeks Kp memberikan peningkatan pada jumlah TID yang dapat dikesan. Hari yang mencatat jumlah TID yang paling tinggi ialah pada 24 Ogos. iaitu dengan indeks Kp 5 di mana pada hari tersebut merupakan permulaan terjadinya ribut geomagnet dan mencatatkan Gred 1, iaitu menandakan ribut yang minor atau kurang kekuatannya berbanding dengan hari yang tiada gangguan, iaitu pada 20-21 Ogos di sini indeks Kp masing-masing ialah 3 dan 2 [15]. Jumlah TID yang berjaya dikesan pada 24 Ogos ialah sebanyak 15 diikuti dengan 20 Ogos sebanyak 13 dan pada 21 Ogos hanya 7 sahaja.

Kategori TID yang berjaya dikesan ialah dari kategori MSTIDs. Sela masa berlakunya MSTIDs ialah dari 5 hingga 30 minit dan pilihan sela masa 15 minit merupakan pilihan yang sesuai bagi kehadiran MSTIDs. Umumnya, nilai  $\Delta\text{TEC}$  adalah maksimum yakni bermula pada lewat petang sehingga lewat pagi (jam 17:00 hingga sekitar jam 4:00). Bacaan  $\Delta\text{TEC}$  paling maksimum ialah 0.27 TECU/min, iaitu pada sekitar jam 20:02 bagi hari yang mempunyai indeks Kp paling tinggi, iaitu 5. Manakala bacaan  $\Delta\text{TEC}$  paling minimum ialah 0.1 TECU/min pada jam 3:59 bagi hari yang mempunyai indeks Kp 3. Penerangan ini adalah konsisten, iaitu nilai sisihan piawai daripada Rajah 3 menunjukkan bacaan yang tertinggi bagi hari yang mempunyai indeks Kp 5, iaitu sebanyak 0.1 TECU/min berbanding dengan hari-hari lain.

Bagi hari yang tiada gangguan geomagnet seperti 20 dan 21 Ogos aktiviti suria adalah tidak aktif, iaitu tiada kesan yang berlaku terhadap medan geomagnet. Jika proses pengionan adalah berkurang dan ketumpatan TEC turut berkurang maka  $\Delta\text{TEC}$  tidak menunjukkan perubahan yang ketara, iaitu jumlah kehadiran TID adalah sedikit. Keputusan ini berbeza berbanding dengan hari yang mempunyai gangguan geomagnet, iaitu pada 24 Ogos. Pada hari tersebut berlakunya ribut minor geomagnet, bermula



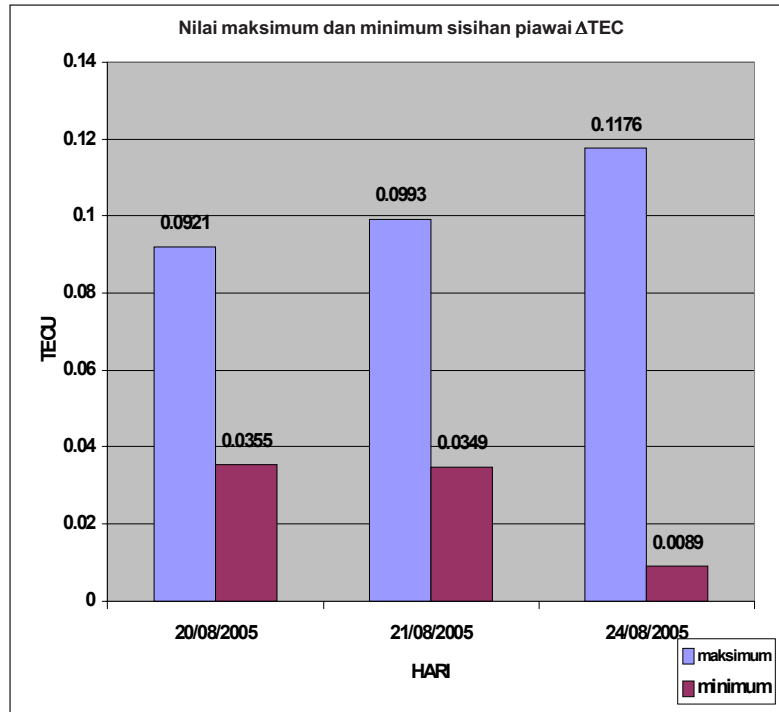
**Rajah 1**  $\Delta\text{TEC}$  pada 20, 21 dan 24 Ogos dan indeks Kp masing-masing



**Rajah 2** Jumlah kehadiran TID yang dapat dikesan bagi ketiga-tiga hari yang dipilih



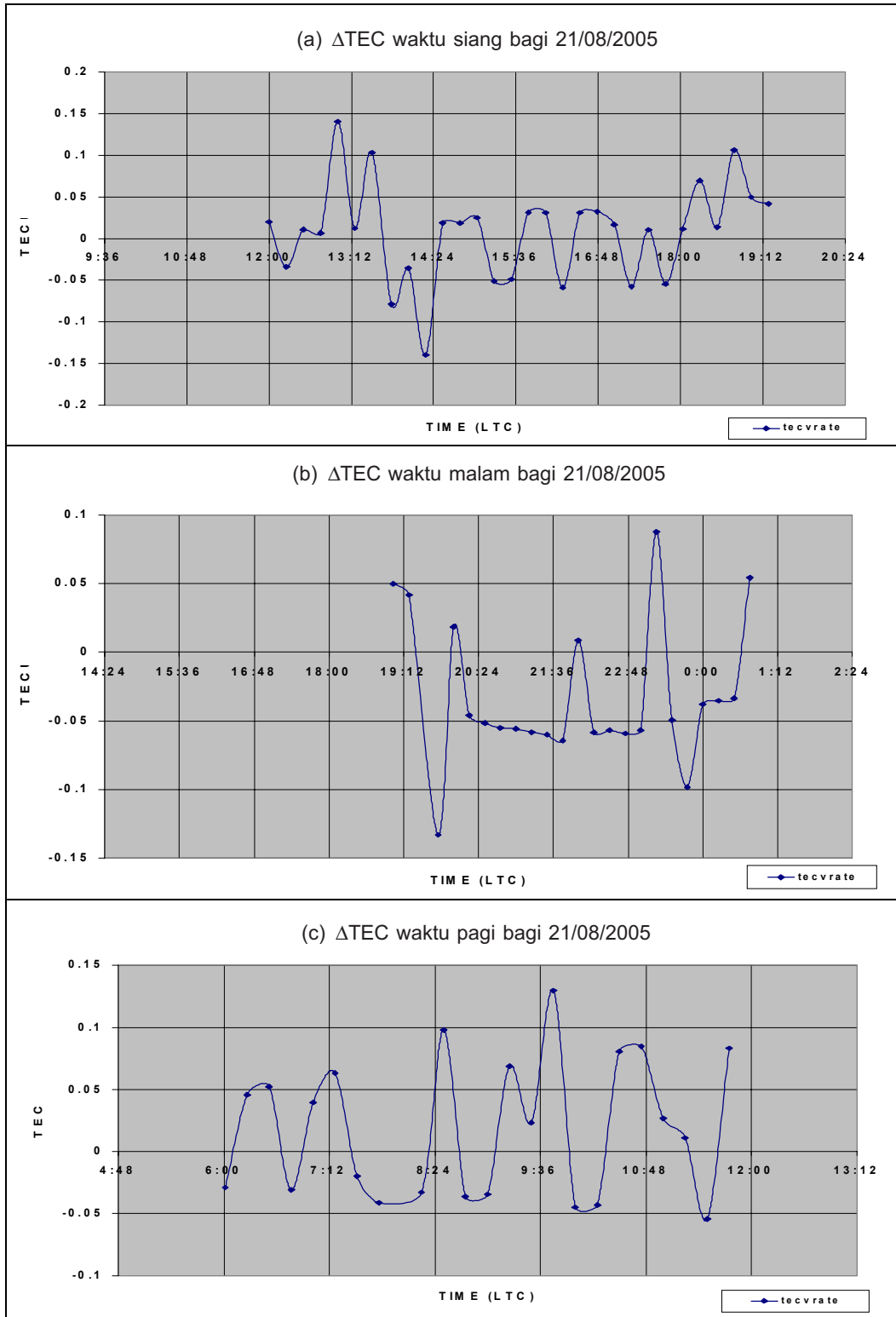




**Rajah 3** Sisihan piawai untuk ketiga-tiga hari

dengan impak perlanggaran CME (*coronal mass ejection*) terhadap medan magnet, nyala sinar suria (*solar flare*) dan angin suria yang terhasil akan memampatkan medan magnet dan seterusnya mencetuskan penghasilan arus elektrik sekitar bumi [2, 15]. Peningkatan terhadap medan elektrik akan menghasilkan lebih banyak gangguan bentuk gelombang graviti, iaitu merujuk pada kehadiran TID. Ini adalah kerana gelombang jenis ini bergantung pada taburan plasma, iaitu apabila plasma dipaksa bergerak sepanjang garisan magnet, gelombang ini akan menyebabkan ion meningkat naik dari bahagian bawah latitud dan seterusnya meningkatkan ketumpatan elektron. Oleh itu, semakin banyak plasma yang bergerak maka lebih banyak TEC akan terhasil dan seterusnya kadar perubahan elektron turut meningkat.

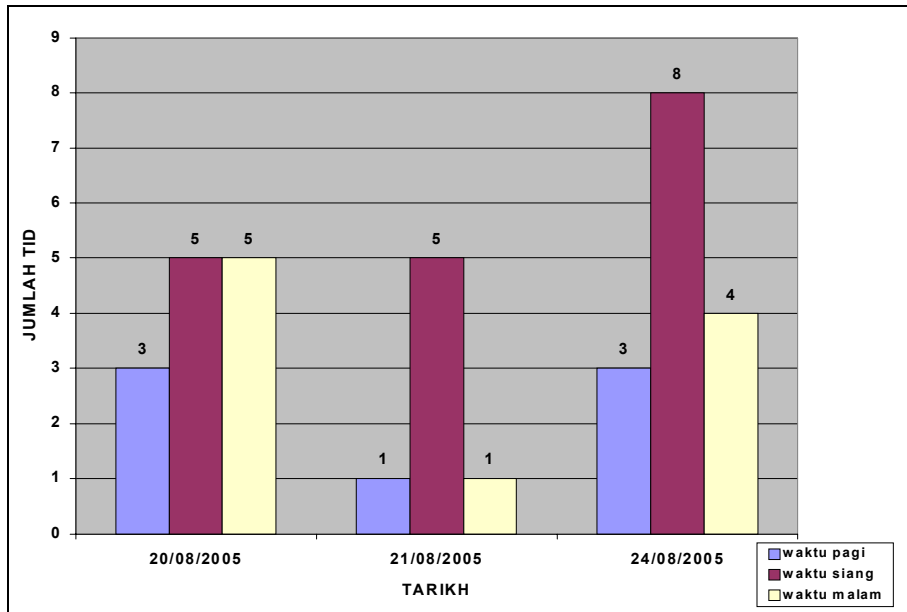
Kehadiran TID ini juga dibandingkan mengikut variasi harian, iaitu pada waktu pagi, siang dan malam. Perbandingan ini ditunjukkan dalam Rajah 4 dan Rajah 5. Rajah 4 menunjukkan kehadiran TID mengikut variasi harian untuk 21 Ogos dan Rajah 5 menunjukkan kehadiran TID untuk ketiga-tiga hari tersebut. Untuk variasi harian ini waktu siang di pilih, iaitu waktu petang tempatan (selepas jam 12:00) kerana kebanyakan TEC maksimum untuk latitud khatulistiwa berlaku pada waktu tersebut. Rajah 5 menunjukkan kehadiran TID yang kebanyakannya berlaku pada waktu siang berbanding dengan waktu yang lain. Hal ini demikian kerana secara amnya pada waktu siang pancaran matahari adalah maksimum (terutamanya di latitud khatulistiwa)



**Rajah 4** Variasi TEC bermula dari waktu pagi, siang dan malam LTC pada 21 Ogos 2005







**Rajah 5** Jumlah TID yang dikesan untuk variasi harian ketiga-tiga hari yang dipilih

dan jumlah elektron bebas yang terhasil daripada pengionan adalah banyak. Fenomena ini menyebabkan lebih banyak TID berjaya dikesan memandangkan TID adalah terdiri daripada struktur berbentuk gelombang yang bergantung kepada kepekatan elektron di ionosfera.

#### 4.0 KESIMPULAN

Kajian ini dijalankan bagi menentukan kehadiran TID di ionosfera Malaysia yang merupakan kajian awal menggunakan data GPS. Dalam pada itu data yang diambil juga dihubungkan dengan hari yang tiada gangguan geomagnet (keadaan senyap) dan hari yang berlaku gangguan geomagnet, iaitu ribut minor geomagnet. Hari yang dipilih ditentukan berdasarkan pada indeks Kp hari tersebut. Hasil kajian dan analisis menunjukkan kehadiran TID dapat dikesan pada ketiga-tiga hari yang dipilih. Kehadiran TID ini juga dihubungkan dengan indeks Kp dengan didapati peningkatan indeks Kp pada hari tersebut memberikan jumlah kehadiran TID yang lebih berbanding dengan hari yang indeks Kp rendah. Ini disebabkan oleh aktiviti suria yang aktif pada hari terdapatnya gangguan geomagnet dan ini menyumbang pada peningkatan proses pengionan dan seterusnya meningkatkan  $\Delta\text{TEC}$ , iaitu kehadiran TID. Hasil kajian juga menunjukkan kehadiran TID yang dapat dikesan adalah lebih banyak pada waktu siang berbanding dengan waktu pagi dan malam. Kajian menentukan kehadiran TID ini perlu diteruskan untuk mengenal pasti perlakuan sebenar kehadiran TID di Malaysia khususnya dan amnya di garisan khatulistiwa.

Kajian ini dapat menyumbangkan contohnya untuk ramalan perambatan isyarat sama ada menggunakan pantulan di ionosfera ataupun melalui ionosfera. Untuk kajian seterusnya lebih banyak lagi data perlu dianalisis terutamanya data yang berhampiran dengan dip geomagnet, iaitu pada kedudukan di sebelah utara Malaysia. Indeks Kp geomagnet yang lebih tinggi seperti 8 dan 9 boleh dikaji.

## RUJUKAN

- [1] Davies, K. 1990. *Ionospheric Radio. IEE Electromagnetic Waves Series 31*. London: Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers.
- [2] Abdullah, M. dan A. F. M. Zain. 2005. Determination of Enhancement in D-Region Electron Density using a Solar Flare Model and GOES-7 Measurements. *Jurnal Kejuruteraan*. 17: 13-26.
- [3] Mcnamara, F. 1994. *Radio Amateurs Guide*. Malabar: Krieger Publishing Company.
- [4] Aframoivich, E. L., E. A. Kosogorov, O. S. Lesyuta, I. I. Ushakov, dan A. F. Yakovets. 2001. Geomagnetism Control of the Spectrum of Travelling Ionospheric Disturbance based on Data from Global GPS Network. *Annales Geophysicae*. 19: 723-731.
- [5] Georges, T. M. 1968. HF Doppler Studies of Travelling Ionospheric Disturbance. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. 30: 735-746.
- [6] Afraimovich, E. L., E. A. Kosogrov, L. A. Leonovich, O. S. Lesyuta, dan I. I. Ushakov. 2001. Novel Technology for Detecting Atmospheric Disturbances using GPS. Instantaneous Response of the Ionosphere to a Sudden Commencement of the Strong Magnetic Storms. *Advances in Space Research*. 27(6-7): 1345-1350.
- [7] Feltens, J. 2001. The International GPS Service (IGS) Ionosphere Working Group Activities. *Antarctic Geodesy Symposium 2001*. St Petersburg, Russia.
- [8] Rieger, M. dan R. Leitinger. 2002. The Effect of Travelling Ionospheric Disturbances (TIDs) on GNSS User Systems. *27<sup>th</sup> General Assembly of URSI*. Maastricht, the Netherlands.
- [9] Warnant, R., S. Stankov, J. C. Jodogne, dan H. Nebdi. 2002. The Monitoring of the Ionospheric Activity using GPS Measurements. *COST277*. Faro, Portugal.
- [10] Davies, K. dan G. K. Hartmann, 1997. Studying the Ionosphere with the Global Positioning System. *Radio Science*. 32(4): 1695-1703.
- [11] Abdullah, M., H. J. Strangeways, dan D. M. A. Walsh. 2003. Accurate Ionospheric Error Correction for Differential GPS. *12<sup>th</sup> International Conference on Antennas and Propagation ICAP 2003*. Exeter, UK. 135-138.
- [12] Konkright, R. O., K. Davies, dan S. Musman, 1997. Comparison of Ionospheric Total Electron Contents made at Boulder, Colorado, Using the Global Positioning System. *Radio Science*. 32(4): 1491-1497.
- [13] Zain, A. F. M., Y. H. Ho, M. Abdullah, Z. A. Rhazali, S. Abdullah, dan F. Marsinin. 2005. First Ionospheric Experimental Campaign and Observations at Fraser's Hill, Malaysia: Total Electron Content and Scintillation Measurements. *The 2005 IEEE Asia Pacific Conference on Applied Electromagnetics, APACE 2005*. Johor Baharu, Johor.
- [14] Abdullah, M. 2004. Modelling and Determination of Ionospheric effects on Relative GPS Measurements. 2004. Ph.D. Thesis. The University of Leeds, Leeds, United Kingdom.
- [15] Space Weather Highlights. <http://sel.noaa.gov/weekly/pdf2005/prf1565.pdf> (5 Februari 2006).