

# PERBANDINGAN JUMLAH KANDUNGAN ELEKTRON DI ATAS VARIASI LONGITUD KHATULISTIWA DAN LATITUD MENGGUNAKAN MODEL IRI, NEQUICK DAN DATA IONEX

(Date received: 27.6.2008)

Mardina Abdullah<sup>1,2</sup>, D.A.A. Mat<sup>3</sup> dan S. S.N. Zulkifli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

<sup>2</sup>Felo Bersekutu, Institut Sains Angkasa, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

<sup>3</sup>Fakulti Kejuruteraan, Universiti Malaysia Sarawak, 94300 Kota Samarahan, Sarawak

E-mail: <sup>1</sup>mardina@eng.ukm.my

## ABSTRACT

Pengetahuan mengenai jumlah kandungan elektron (total electron content, TEC) di sesebuah kawasan terutamanya di kawasan khatulistiwa adalah penting bagi pembangunan sistem komunikasi menggunakan lapisan ionosfera. Kajian ini meliputi perbandingan nilai TEC di sepanjang longitud di khatulistiwa dan latitud dengan mengkaji nilai TEC yang dianggarkan oleh model ionosfera iaitu International Reference Ionosphere (IRI) dan NeQuick. Sebagai perbandingan dan rujukan, data-data TEC harian yang diperolehi daripada Centre for Orbit Determination in Europe (CODE) dalam format IONosphere Map Exchange (IONEX) digunakan. Berdasarkan kajian tersebut, didapati nilai TEC yang dianggarkan oleh model IRI dan NeQuick mengalami sama ada terlebih anggar (overestimation) atau terkurang (underestimation) yang disebabkan oleh pengaruh nombor tompok matahari,  $R_{12}$ . Keputusan juga menunjukkan nilai TEC mencapai nilai maksima di sekitar kawasan laut yang disebabkan oleh kekurangan data yang diperolehi dari stesen-stesen penerima. Secara keseluruhannya, TEC yang dikira dari IRI, NeQuick dan IONEX menunjukkan corak yang hampir sama. Kajian yang lebih mendalam boleh dilakukan untuk mengkaji permasalahan yang dialami bagi setiap model dengan menggunakan versi baru IRI dan NeQuick yang mengalami pengubahsuaian pada beberapa bahagian tertentu dan lebih banyak data Khatulistiwa perlu dimasukkan bagi mendapatkan bacaan yang lebih tepat.

**Kata Kunci:** Ionosfera, IONEX, IRI, NeQuick, TEC

## COMPARISON OF TOTAL ELECTRON CONTENT OVER EQUATORIAL LONGITUDE AND LATITUDE VARIATIONS USING IRI, NEQUICK MODELS AND IONEX DATA

### ABSTRACT

Knowledge regarding total electron content (TEC) in a specific location, particularly at the equator, is necessary for the development of a communications system utilising the ionosphere. This research covers the comparison of TEC values along the equatorial longitude and latitude by analysing estimated TEC values using the International Reference Ionosphere model (IRI) and NeQuick. Daily TEC values obtained from the Centre for Orbit Determination in Europe (CODE) in Ionosphere Map Exchange format (IONEX) are used for comparison and reference purposes. Based on this research, it is found that TEC values estimated by the IRI model and NeQuick experience either overestimation or underestimation, caused by the number of sunspots present,  $R_{12}$ . Results also show that TEC values are at their maximum over larger bodies of water, due to the lack of data obtained from the receiving stations. Overall, the TEC calculated by IRI, NeQuick and IONEX show similar patterns. More thorough research can be done to study the problems encountered for each model by using newer versions of IRI and NeQuick that have been modified in several key areas. More equatorial data should also be input to obtain more accurate readings.

**Keywords:** Ionosphere, IONEX, IRI, NeQuick, TEC

## 1.0 INTRODUCTION

Ionosfera merupakan satu kawasan di atmosfera bumi yang memiliki zarah-zarah bercas dengan ketinggian sekitar 50 km

hingga 2000 km dari aras laut [1]. Secara amnya, lapisan ionosfera terdiri daripada beberapa lapisan yang mempunyai perbezaan dari segi kandungan molekul-molekul, ketinggian dari aras laut

dan ketumpatan elektron yang bergantung kepada keadaan siang dan malam. Hanya sebilangan daripada molekul-molekul atom yang terkandung dalam lapisan ini merupakan molekul-molekul yang berion, manakala selebihnya merupakan molekul-molekul neutral. Namun, para penganalisis lebih memberikan tumpuan kepada kawasan ionosfera yang kurang daripada 1000 km yang memainkan peranan penting dalam sistem komunikasi radio khususnya pada frekuensi tinggi (*High Frequency*, HF) sejak beberapa dekad yang lalu.

Kajian mengenai lapisan ionosfera bumi seringkali dikaitkan dengan TEC memandangkan anggaran nilai TEC sangat diperlukan bagi membolehkan pembetulan dilakukan pada sistem pencarian lokasi satelit [2]. TEC boleh ditakrifkan sebagai bilangan 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:

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

Penghasilan model-model ionosfera telah membantu para penyelidik untuk mengkaji nilai TEC ini terutama semasa keadaan geomagnet tenang. Model yang mula-mula diperkenalkan ialah *International Reference Ionosphere* (IRI) yang banyak mengalami perubahan sehingga kini. IRI merupakan projek kerjasama antara *Committee on Space Research* (COSPAR) dan *International Union of Radio Science* (URSI) yang mempunyai objektif dalam menghasilkan satu model piawai untuk mengkaji lapisan ionosfera secara terperinci. 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 aman di ionosfera. Dengan usaha yang berterusan, terbitan pertama IRI telah merangkumi liputan global ketumpatan elektron [3].

Satu lagi model yang menggunakan parameter *ionosonde* telah dihasilkan berdasarkan pembaikan ke atas profil bahagian bawah (*bottomside*) ionosfera yang dilakukan oleh Dio Givanni dan Radicella (DGR). *Quick-run model* ini yang dikenali sebagai model NeQuick telah dibangunkan di makmal *Aeronomy and Radiopropagation Laboratory-International Centre for Theoretical Physics* (ARPL-ICTP) dan *IGAM-University of Graz* (Austria). NeQuick memberikan profil ketumpatan elektron menegak dan condong. Model ini yang telah diuji di sekitar kawasan latitud pertengahan 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 [4].

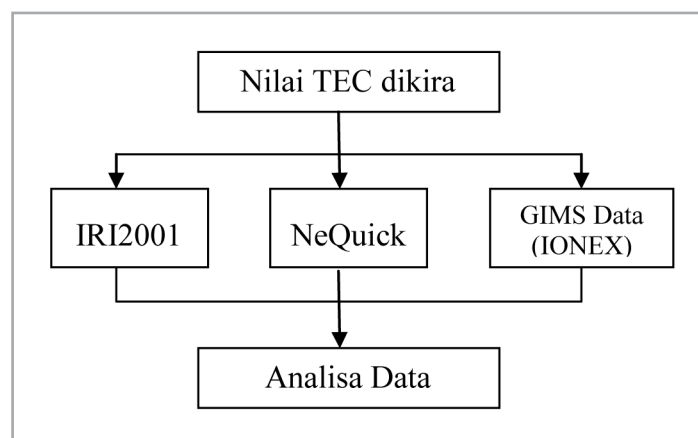
Selain menggunakan model teori, nilai TEC juga boleh didapati dengan menggunakan Peta Ionosfera Global (*Global Ionosphere Maps*, GIMS). GIMS telah dihasilkan dengan mengumpulkan data-data dalam format *IONosphere map Exchange* (IONEX) daripada kira-kira 150 stesen *International GNSS Service* (IGS) dan institusi-institusi yang berkaitan di *Centre for Orbit Determination in Europe* (CODE), *University of Berne* di Switzerland [5]. TEC global ini dihasilkan secara harian dengan nilai TEC dicerap daripada stesen-stesen IGS. Walaubagaimanapun, di Malaysia tidak terdapat stesen IGS yang

dinyatakan tersebut.

Kajian ini bertujuan untuk mengenalpasti variasi TEC di kawasan ionosfera khatulistiwa pada kedudukan longitud yang berbeza. Di samping itu, variasi TEC pada latitud yang berbeza juga dikaji. Perbandingan nilai-nilai TEC dilakukan dengan menggunakan model-model ionosfera dan data IONEX yang didapati daripada data nyata GPS sebagai rujukan.

## 2.0 KAEDAH KAJIAN

Penganalisan data-data TEC yang diperolehi dilakukan dalam dua bahagian berdasarkan Rajah 1.



Rajah 1 : Kaedah analisa nilai bacaan TEC daripada model IRI2001, NeQuick dan IONEX

Nilai TEC yang diperolehi melalui model-model IRI2001 dan NeQuick dibandingkan dengan data IONEX yang diperolehi. Nilai TEC dari data nyata IONEX diambil dengan menginterpolasi sebahagian daripada data tersebut. Ini adalah kerana data yang diperlukan pada kedudukan yang dikehendaki adakalanya tidak terdapat dalam data IONEX tersebut. Perbandingan dibuat dengan merujuk kepada faktor-faktor kedudukan longitud dan latitud bumi. Analisa data dihasilkan dengan berpandukan permasalahan yang dihadapi dan ralat yang dianggarkan oleh setiap model mahupun IONEX. Ini dilakukan dengan menggunakan perisian Microsoft Excel untuk mengira nilai ralat TEC yang dianggarkan oleh setiap model. Malah sebuah program yang dihasilkan melalui perisian Matlab telah dihasilkan untuk mengira data interpolasi bagi menentukan bacaan TEC pada kedudukan yang dikaji. Sebagai contoh, untuk menganggarkan data TEC pada kedudukan latitud  $X$ , data TEC pada latitud yang berhampiran dengan latitud  $X$  iaitu pada latitud  $X_1$  dan  $X_2$  diinterpolasikan dengan menggunakan persamaan (2).

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} (\text{TEC pada } X_2 - \text{TEC pada } X_1) + \text{TEC pada } X_1 \quad (2)$$

Selain itu juga, penentuan penggunaan parameter merupakan faktor penting dalam kajian ini khasnya melalui model IRI2001 yang mana setiap parameter bahagian atas (*topside*) (800 km ke atas) dan bahagian bawah (300 km ke bawah) ionosfera boleh diubah mengikut kesesuaian pengguna [6]. Walaubagaimanapun, hanya parameter bahagian bawah yang menjadi tumpuan dan mengalami perbezaan. Kawasan di bahagian bawah puncak

lapisan F2 atau dikenali sebagai *bottomside F region*, dihasilkan berdasarkan berdasarkan persamaan (3).

$$N(h) / NmF2 = \exp(-x^{B1}) / \cosh(x) \tag{3}$$

Dimana *NmF2* ialah ketumpatan elektron maksimum bagi puncak lapisan F2, dengan  $x = (hmF2 - h)/B0$ . *hmF2* ialah ketinggian puncak bagi lapisan F2 dan parameter *B0* diperolehi dari pengukuran empirik bahagian bawah lapisan ionosfera iaitu daripada pengukuran ionosonde dari pelbagai ionosonde yang terlalu banyak bilangannya di seluruh negara lain di dunia. Walaubagaimanapun data ini tidak terdapat di Malaysia. *B0* ialah parameter ketebalan bahagian bawah yang memberikan perbezaan antara ketinggian di antara lapisan puncak F2, *hmF2* dengan nilai profil ketumpatan elektron yang jatuh pada nilai  $0.24 * NmF2(x=1)$ , serta pada titik anchor,  $(hmF2/NmF2)$  dan  $(hmF2-B0/0.24 * NmF2)$ . Senarai *B0* yang digunakan dalam model IRI telah ada dalam model itu sendiri. Manakala parameter *B1* menjelaskan bentuk profil di antara titik-titik ini. Nilai *B1* yang tinggi memberi maksud bahawa kawasan tersebut mengandungi nilai kandungan elektron yang tumpat. Pada semua keadaan, model IRI menghadkan nilai *B1*=3. Parameter bahagian atas bagi model IRI2001 hanya menggunakan model yang disediakan dalam program tersebut. Dalam kajian ini juga, pungutan data TEC yang diperolehi melalui model IRI2001 adalah berdasarkan penggunaan parameter URSI kerana bacaan yang diperolehi adalah lebih baik berbanding dengan penggunaan parameter *International Radio Consultative Committee* (CCIR) berdasarkan kajian yang telah dibuat oleh Zhang *et al.* [7].

Namun bagi model NeQuick, parameter-parameter bahagian bawah dan bahagian atas yang digunakan dalam kajian ini berdasarkan kepada model itu sendiri yang tidak boleh diubah seperti mana model IRI2001. Selain itu juga, perisian *Satellite Pointer Controller* yang telah dihasilkan oleh Ling dan Masri [8] telah digunakan (dengan izin) untuk mengesan lokasi kawasan kajian pada peta dunia.

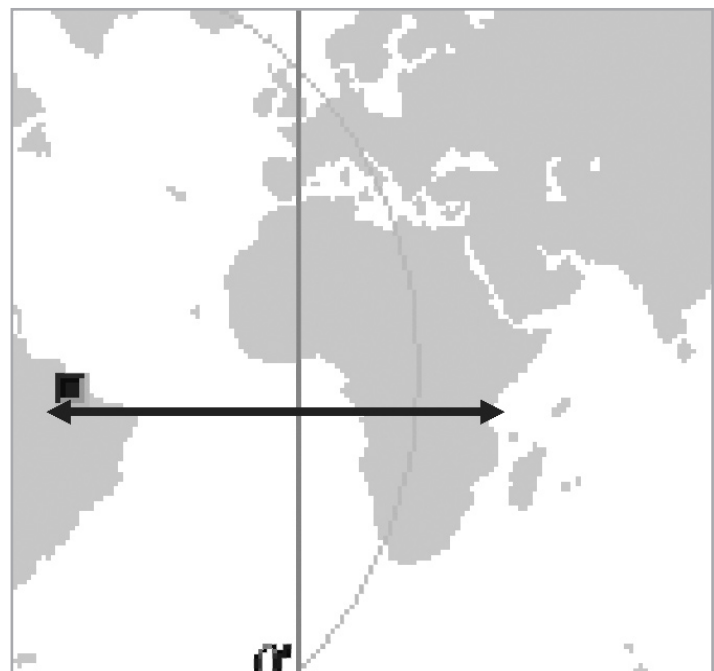
### 3.0 HASIL DAN PERBINCANGAN

Bagi mendapatkan perbandingan variasi TEC daripada model-model dan IONEX, bacaan dikira pada masa-masa tertentu di sekitar garisan geografi Khatulistiwa dengan nilai  $R_{12}$  yang berbeza-beza. Kajian ini terbahagi kepada dua bahagian yang mana bahagian pertama dijalankan bagi membandingkan nilai bacaan TEC pada kawasan sekitar longitud bumi manakala bahagian kedua bagi mendapatkan perbandingan nilai bacaan TEC pada kawasan sekitar latitud bumi.

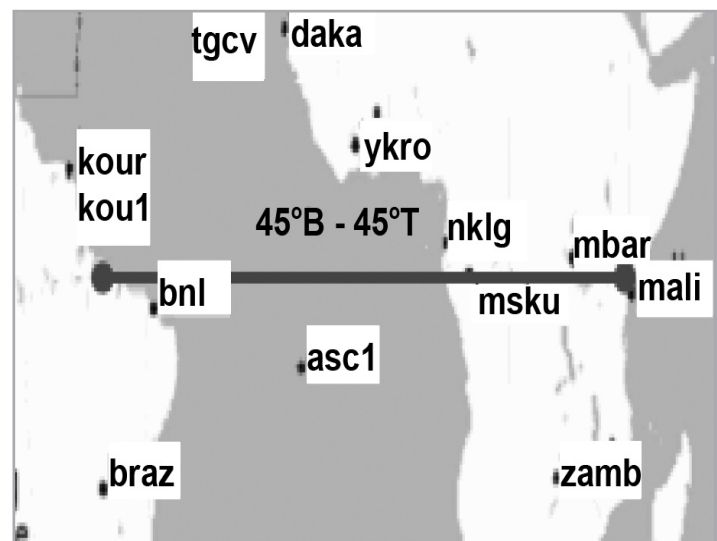
#### 3.1 Perbandingan nilai bacaan TEC pada longitud bumi - Khatulistiwa

Bagi mengelakkan kesan nombor tompok matahari,  $R_{12}$  (*Sun Spot Number, SSN*) mempengaruhi nilai TEC yang diperolehi melalui model-model ionosfera, bacaan TEC pada tarikh 23 Julai 2006 telah diplotkan dengan nilai  $R_{12} = 0$  iaitu yang berdasarkan kepada data IONEX. Pengaruh SSN ke atas bacaan TEC perlu dielakkan kerana nilai SSN yang tinggi akan menyebabkan anggaran berlebihan (*overestimation*) dan berkurangan (*underestimation*) yang ketara pada bacaan TEC pada kedua-

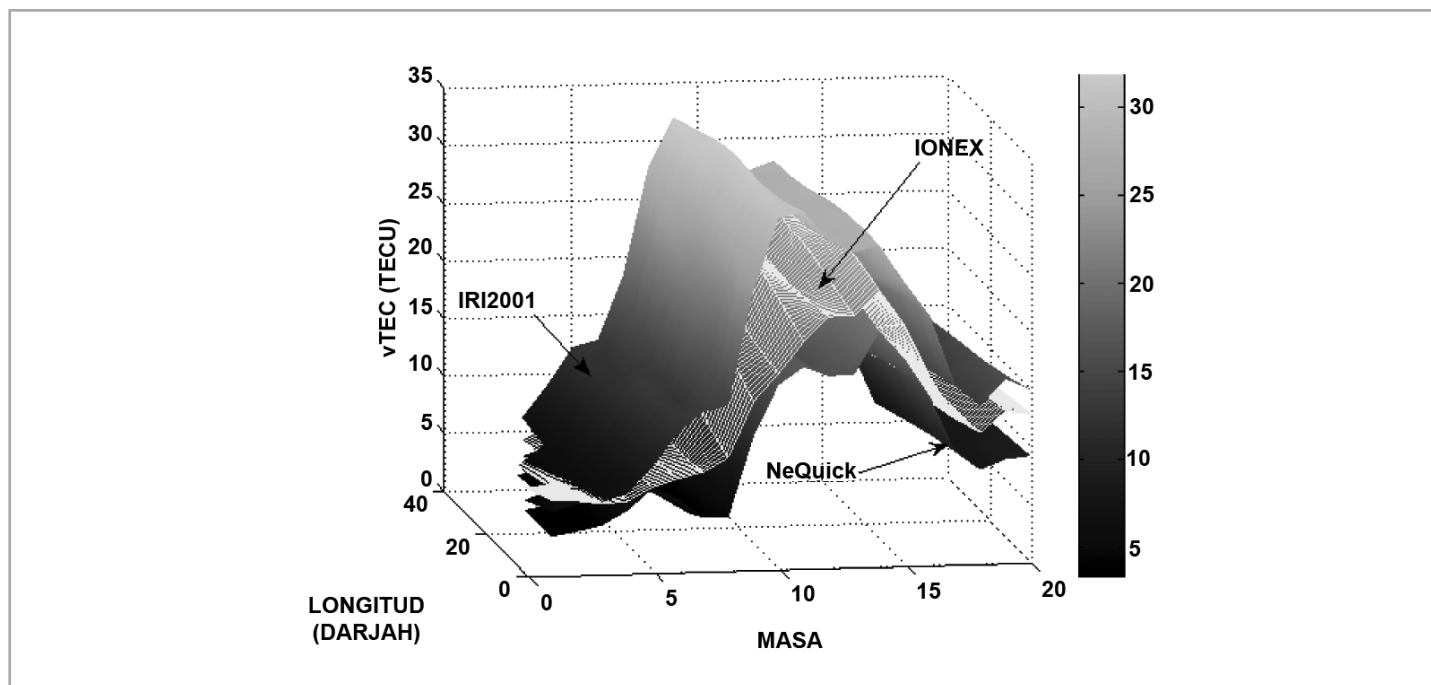
dua model. Hal ini telah dijelaskan dalam kajian yang dilakukan oleh Trísková dan Chum [9]. Rajah 2 dan 3 menunjukkan lokasi kawasan kajian dan kedudukan stesen-stesen penerima di bumi yang digunakan untuk data IONEX. Seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 2, kajian dijalankan di sepanjang longitud 45°B ke 45°T dengan latitud 0 darjah Utara (kawasan Khatulistiwa) yang terdiri daripada kawasan lautan dan daratan bagi mendapatkan perbezaan nilai bacaan TEC antara kedua-dua bahagian bumi ini secara tidak langsung. Selain itu, kawasan kajian ini juga dipilih supaya kajian mengenai kesan keberadaan/kewujudan stesen-stesen penerima kepada nilai-nilai TEC yang diperolehi dapat dijalankan. Seperti yang kelihatan dalam Rajah 3, terdapat 8 buah stesen IGS yang berdekatan di sekitar kawasan kajian tersebut. Kajian dijalankan dengan perbezaan masa waktu tempatan (*local time, LT*) di kawasan kajian ialah  $\pm 3$ -LT bagi mengelakkan kesan radiasi matahari pada bacaan TEC.



Rajah 2 : Kedudukan kawasan kajian pada peta dunia [8]



Rajah 3 : Kedudukan stesen-stesen IGS di sekitar kawasan kajian [10]



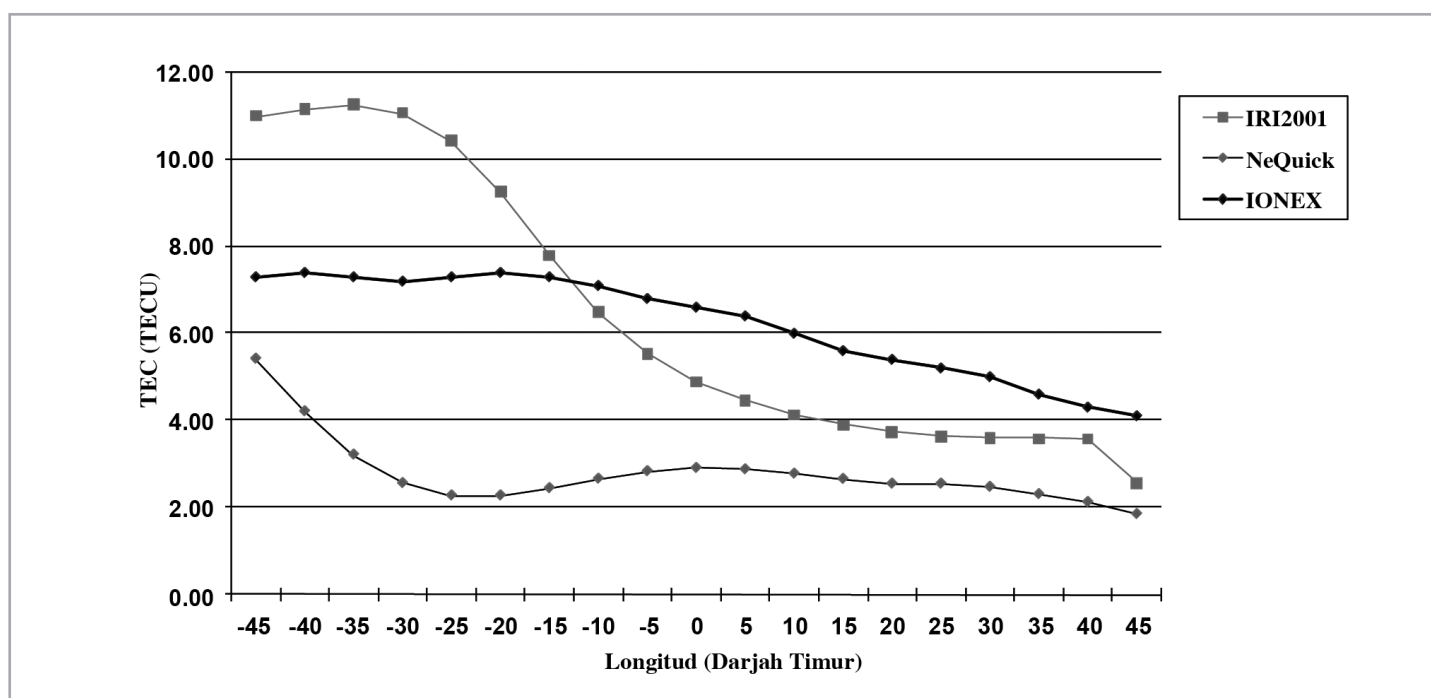
Rajah 4 : Nilai-nilai TEC yang diberikan oleh model-model IRI2001, NeQuick dan IONEX

Pengiraan TEC di sekitar kawasan kajian telah dilakukan dengan menggunakan model-model IRI2001, NeQuick serta data IONEX dan hasilnya telah diplotkan bersama dalam 3 dimensi seperti dalam Rajah 4. Perbandingan data-data TEC yang diceraip menunjukkan bahawa nilai TEC IONEX berada di antara nilai TEC yang dianggarkan oleh kedua-dua model IRI2001 dan NeQuick. Perolehan data-data TEC pada Rajah 4 diplotkan semula dalam Rajah 5 dengan menggunakan hasil interpolasi data TEC pada 3-LT di kawasan kajian.

Berdasarkan data IONEX yang diperolehi, nilai TEC yang diberikan pada kedudukan 45°B hingga 15°B adalah

hampir sekata dengan nilai TEC di antara 7.10 TECU dan 7.40 TECU. Seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 2, kawasan ini merupakan kawasan lautan yang mana bacaan TEC di sekitar kawasan ini tidak dipengaruhi oleh sesen-stesen penerima yang pada kebiasaannya terletak di kawasan daratan. Berdasarkan kajian yang telah dijalankan oleh Zhao *et al.* [11], ketepatan bacaan IONEX yang diberikan di sekitar kawasan lautan adalah sekitar 1-2 rms dengan data yang diberikan adalah stabil melalui penggunaan altimeter radar khusus untuk mengenalpasti perubahan paras laut.

Pada kedudukan 0° hingga 45°T, nilai TEC daripada



Rajah 5 : Perbandingan nilai TEC oleh model-model IRI2001, NeQuick dan IONEX

IONEX mengalami penurunan yang ketara. Perubahan ini adalah disebabkan oleh data-data daripada pelbagai stesen penerima *in situ* pada permukaan bumi yang menyebabkan berlakunya gangguan major pada nilai bacaan TEC [12]. Hal sebegini jarang berlaku di sekitar longitud bumi dan kawasan yang terletak pada permukaan lautan kerana kurangnya bilangan stesen-stesen penerima. Perbezaan yang terdapat dalam sistem pemodelan dan pengiraan nilai TEC bagi setiap stesen IGS yang berbeza juga menyebabkan berlakunya ralat dan ketidaktepatan pada bacaan TEC yang diberikan oleh CODE ini [13].

Bagi model IRI2001, bacaan TEC di sekitar garisan 45°B hingga 0° menunjukkan nilai yang tinggi berbanding dengan IONEX dengan nilai maksimum TEC dicerap pada kedudukan 35°B iaitu 11.26 TECU. Hal ini disebabkan oleh kekurangan data yang dihasilkan oleh satelit, *incoherent scatter radar* dan pengiraan roket [14]. Stesen bumi yang menyediakan data kepada IRI menghadapi masalah terutama semasa mengganggu bacaan kandungan elektron pada lapisan atas ionosfera kerana wujudnya plasma-plasma yang memiliki frekuensi yang tinggi untuk ditembusi oleh peralatan *in situ*. Oleh sebab itu, berlaku anggaran berlebihan pada nilai TEC yang diberikan oleh IRI semasa mengganggu kandungan ketumpatan elektron pada bahagian atas ionosfera tersebut. Pada kedudukan 0° hingga 45°T pula, bacaan TEC yang diberikan oleh model IRI2001 mengalami penganggaran yang kurang bermula pada kedudukan -15°T hingga 45°T.

Bagi model NeQuick pula, keseluruhan nilai TEC yang diberikan adalah kurang berbanding IONEX dan IRI2001 dengan nilai maksimum anggaran berlaku pada kedudukan 45°B iaitu 3.22 TECU. Walau bagaimanapun, nilai TEC yang dianggarkan menunjukkan bacaan TEC yang lebih sekata berbanding dengan IRI2001 dan IONEX. Untuk mengelakkan berlakunya ralat kepada bacaan TEC khasnya dengan penggunaan model NeQuick ini, waktu  $\pm 3$ - LT dipilih pada kawasan kajian. Walaubagaimanapun, perisian NeQuick ini telah dikaji semula [15]. Ini kerana terdapat kekeliruan pada model John Titheridge dengan peta klasik CCIR terutamanya pada waktu siang dan pertukaran antara siang dan malam yang berkaitan dengan parameter frekuensi kritikal pada waktu tersebut. Oleh yang demikian, pemilihan waktu kajian adalah bersesuaian bagi model NeQuick ini.

NeQuick menghasilkan nilai anggaran TEC berdasarkan data-data daripada rangkaian *ionosonde* dan diringkaskan ke dalam formula matematik yang dikenali sebagai *semi epstein layer*. Walaupun kelebihan lapisan ini ialah ia tidak dipengaruhi oleh nilai ketinggian ionosfera, namun ralat berlaku disebabkan oleh siri Fourier yang digunakan dalam peta CCIR bagi model NeQuick ini. Berdasarkan teknik pemetaan yang dihasilkan oleh Jones dan Gallet, yang dinyatakan dalam Rush [16], setiap data yang diperolehi akan ditukarkan dalam bentuk siri masa Fourier dan seterusnya diwakilkan dengan setiap pekali Fourier. Namun begitu jumlah pekali ini adalah terhad. Menurut Rush, peta CCIR terhad kepada kawasan terutamanya pada kawasan lautan dan selatan hemisfera kerana terdapatnya kekurangan alat ukur *ionosonde*. Disebabkan oleh permasalahan ini, nilai TEC yang dianggarkan oleh NeQuick mengalami ralat yang besar berbanding dengan IONEX dan IRI2001.

Jadual 1 : Perbezaan nilai TEC (TECU) pada longitud bumi

	Nilai Purata	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
IONEX	6.23	4.10	7.40
IRI2001	6.42	2.56	11.26
NeQuick	2.79	1.86	5.42

Perbezaan bagi ketiga-tiga sumber TEC ini dijelaskan dalam Jadual 1. Daripada jadual ini didapati nilai purata bagi keseluruhan data TEC yang dianggarkan oleh setiap model dan IONEX adalah berbeza. Walau bagaimanapun, terdapat perkaitan yang hampir pada anggaran TEC yang diberikan oleh model IRI2001 dan IONEX, dengan nilai purata yang berdekatan iaitu 6.23 TECU (IONEX) dan 6.42 TECU (IRI2001) berbanding dengan 2.79 TECU (NeQuick). Selain itu juga, nilai minimum dan maksimum bagi TEC yang dianggarkan masing-masing menunjukkan perbezaan yang ketara. Ini kerana nilai maksimum model IRI2001, 11.26 TECU, merupakan nilai TEC yang tertinggi dibandingkan dengan IONEX dan NeQuick. Walau bagaimanapun, nilai minimum TEC yang dianggarkan oleh model NeQuick memberikan nilai yang terendah iaitu 1.86 TECU. Terdapat persamaan antara IRI2001, IONEX dan NeQuick di mana nilai maksimum TEC yang dicerap adalah pada kawasan lautan manakala nilai minimum TEC dicerap pada kawasan daratan. Ini jelas menunjukkan bahawa kesan kedudukan stesen-stesen penerima di bumi menyebabkan berlakunya ralat pada bacaan TEC terutamanya bagi model-model. Walaupun model IRI2001 juga memperolehi data daripada *topside sounder*, tetapi masalah berlaku kerana bacaan yang diperolehi ini hanya terhad kepada tempat-tempat tertentu sahaja dan data hanya boleh diambil pada dua atau tiga hari sahaja dalam jangka masa satu bulan [17]. Penghasilan *topside sounder* ini bertujuan untuk merekodkan amplitud dan tundaan masa hingar (*echo delay times*) pada hingar yang terdapat dalam lapisan ionosfera melalui penggunaan *topside sounder Alouette/ISIS* dengan frekuensi di antara 0.1 hingga 20 MHz. Selain itu, penggunaan parameter B0 bagi data *ionosonde* yang digunakan oleh model ini menyebabkan nilai bacaan TEC yang diberikan tidak dapat mengganggu ketepatan nilai di bahagian atas ionosfera [7].

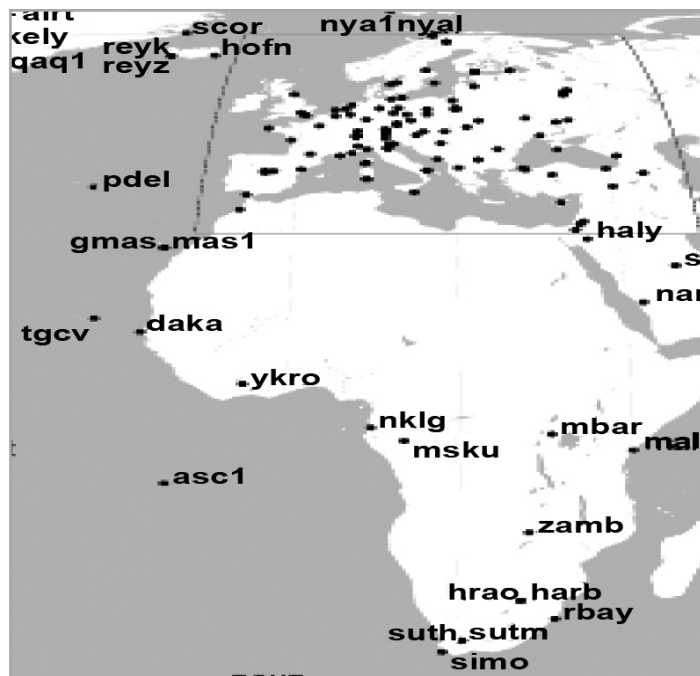
Penggunaan peta klasik CCIR juga menyebabkan ralat pada bacaan TEC bagi model NeQuick. Disebabkan terdapat kekurangan rangkaian *ionosonde* di dunia, data yang diperolehi untuk menghasilkan peta CCIR ini agak terhad berbanding dengan penggunaan model pekali URSI yang digunakan oleh model IRI2001 dalam kajian ini. Walaupun kaedah pemetaan yang digunakan adalah sama dengan peta CCIR namun terdapat pengubahsuaian yang dilakukan melalui pengadaptasian teori aerodinamik kepada setiap ruang kosong antara data-data yang diperolehi daripada *ionosonde* sebelum pemetaan secara harmonik dilakukan [17; 18]. Malahan melalui model URSI ini, data yang diperolehi adalah dari kira-kira 180 stesen seluruh dunia (data bulanan sebanyak 45 000) berbanding CCIR yang hanya daripada 150 stesen dengan kira-kira 10 000 data bulanan sekitar tahun 1954 dan 1958 [20].

### 3.2 Perbandingan nilai bacaan TEC pada latitud bumi

Kajian turut dijalankan bagi mengenalpasti pengaruh kedudukan latitud bumi kepada nilai TEC yang dianggarkan bagi setiap model dan IONEX dan faktor-faktor yang mempengaruhi perbezaan nilai TEC tersebut. Pemilihan lokasi kawasan kajian adalah berdasarkan jumlah stesen IGS di kawasan tersebut dan mestilah berada pada bahagian daratan bumi. Ini adalah berdasarkan kajian yang dijalankan di sekitar longitud bumi, yang mendapati bahawa ralat daripada data IONEX dan model-model adalah disebabkan kekurangan stesen-stesen IGS. Kedudukan kawasan kajian yang dipilih dan lokasi stesen-stesen penerima IGS dapat dilihat pada Rajah 6 dan 7.

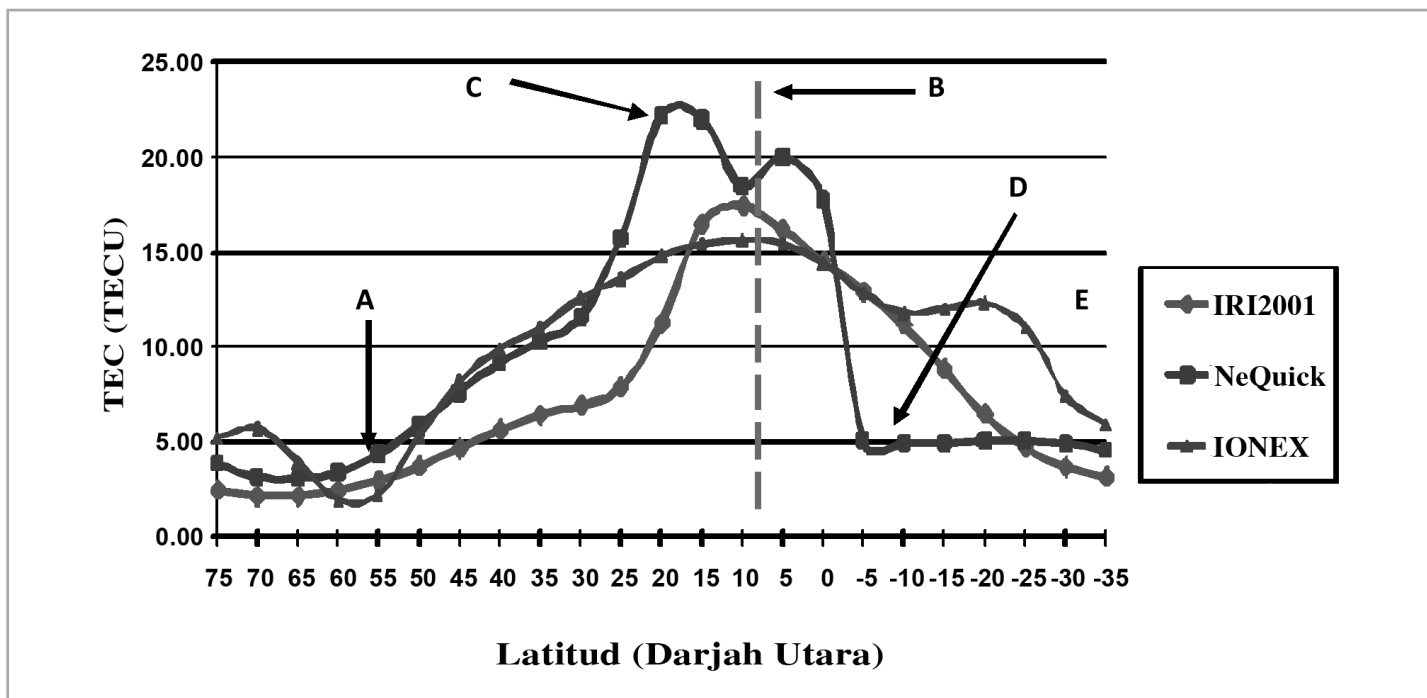


Rajah 6 : Kawasan kajian pada kedudukan 20°T, 75°U-35°S [8]



Rajah 7 : Lokasi stesen-stesen IGS di kawasan kajian [10]

Kajian telah dijalankan sewaktu berlakunya ekuinoks pada 8 Mac 2005 di kedudukan longitud 20°T dan latitud dari 75°U ke 35°S dengan nilai  $R_{12}$  pada hari tersebut ialah 33. Tujuan utama kajian ini dijalankan pada musim ekuinoks adalah bagi mengelakkan kesan angin neutral yang bertiup dari Hemisfera Utara atau Hemisfera Selatan menuju ke garisan Khatulistiwa bumi atau ke bahagian Kutub Bumi [21]. Ini kerana kesan angin neutral hanya berlaku pada musim panas dengan tiupan angin yang menuju ke khatulistiwa (*equatorward*) dan menuju ke kutub (*poleward*). Selain itu, kesan tiupan angin neutral ini akan menyebabkan berlakunya bacaan TEC yang tidak simetri antara Hemisfera Utara dan Hemisfera Selatan bumi yang merujuk



Rajah 8 : Nilai bacaan TEC pada kedudukan latitud bumi

kepada garis geomagnet [21]. Tiupan angin neutral ini akan mempengaruhi elektron-elektron bertenaga tinggi di kawasan sekitar garisan Khatulistiwa yang terhasil semasa berlakunya kejadian Anomali Khatulistiwa melalui proses pertembungan medan magnet dan medan elektrik bumi. Fenomena ini akan menyebabkan elektron-elektron tersebut bergerak ke kawasan yang mempunyai daya tarikan yang kuat terutamanya pada waktu siang dan lewat petang yang mempunyai nilai  $R_{12}$  yang tinggi.

Dengan menggunakan data daripada model-model dan IONEX, nilai-nilai TEC dikira dengan menggunakan data pada 1-LT di kawasan kajian iaitu waktu awal pagi. Waktu ini dipilih bagi mengelakkan sinaran radiasi matahari yang kuat terutamanya pada waktu tengahari dan petang yang akan menyebabkan ralat pada nilai TEC yang dianggarkan oleh setiap model. Jika tidak, nilai TEC yang dianggarkan model IRI2001 akan mengalami ralat yang besar disebabkan oleh penggunaan parameter  $B_0$  dan pekali bagi model ini [7]. Bagi model NeQuick, penggunaan pekali CCIR juga akan menyebabkan ralat bacaan TEC khususnya pada waktu siang [16]. Rajah 8 menunjukkan hasil analisis dari setiap model dan data IONEX.

Seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 8, kawasan A dengan latitud di antara  $50^{\circ}U$  dan  $65^{\circ}U$ , bacaan TEC yang dianggarkan oleh model-model IRI2001, NeQuick dan IONEX memberikan nilai yang hampir serupa iaitu dengan perbezaan nilai TEC  $\pm 2$  TECU. Ini kerana jumlah stesen-stesen penerima di kawasan tersebut adalah lebih banyak berbanding kawasan yang lain. Kawasan ini adalah kawasan latitud tengah yang terdiri dari negara-negara di Eropah. Bacaan TEC yang diberikan oleh IONEX secara puratanya menghampiri nilai TEC yang dianggarkan oleh model-model, walaupun masih terdapat ralat kerana data-data TEC yang dihasilkan oleh setiap stesen-stesen tersebut adalah berbeza terutamanya dari segi penggunaan teknik pengiraan TEC yang berlainan.

Ini merupakan kelebihan kepada model IRI2001 kerana dengan data yang diperolehi daripada banyak stesen-stesen ini, ralat yang diberikan adalah berkurangan berbanding sebaliknya. Namun penggunaan parameter  $B_0$  bagi peralatan *in situ* telah menyebabkan berlakunya perbezaan bacaan TEC yang dianggarkan oleh model ini berbanding NeQuick dan IONEX. Ini kerana parameter ini terhad kepada lapisan bawah ionosfera bumi sahaja. Kawasan atas ionosfera yang memiliki zarah-zarah yang berfrekuensi tinggi tidak dapat ditembusi oleh parameter ini.

Bagi model NeQuick, ketepatan nilai TEC yang dianggarkan juga sekitar  $\pm 2$  TECU berbanding dengan IONEX. Hasil data-data yang diperolehi daripada *ionosonde* yang diadaptasikan dengan penggunaan formula matematik menyebabkan model ini tidak mengalami permasalahan seperti yang dialami oleh model IRI2001. Namun, ralat TEC berlaku disebabkan oleh penggunaan formula matematik yang terlalu ringkas pada profil bahagian atasnya seperti yang dinyatakan juga oleh Cander *et al.* [15].

Kajian ini telah dilakukan pada musim ekuinoks, oleh itu kesan angin neutral sepatutnya tidak berlaku kepada bacaan TEC yang dianggarkan bagi setiap model dan IONEX. Namun seperti yang dilihat pada titik *B*, garis simetri telah dilukis untuk

menunjukkan bahawa nilai TEC yang diberikan oleh data IONEX hampir sama pada kawasan Hemisfera Utara dan Selatan bumi dan nilai maksima TEC diperolehi sekitar garisan khatulistiwa. Garisan simetri ini merujuk kepada garis geomagnet khatulistiwa yang bernilai  $0^{\circ}$  pada garisan geografi khatulistiwa  $10^{\circ}U$ . Ini juga ditunjukkan oleh nilai TEC yang dianggarkan oleh kedua-dua model. Walau bagaimanapun masih terdapat kekeliruan pada nilai TEC yang dianggarkan oleh model-model dengan merujuk garis *B* ini.

Bagi model IRI2001 pula, nilai TEC yang dianggarkan berbeza dan tidak simetri seperti yang ditunjukkan pada titik *C*. Nilai TEC pada kawasan Hemisfera Utara adalah lebih tinggi berbanding dengan Hemisfera Selatan bumi. Ini membuktikan kewujudan kesan angin neutral yang bertiup menuju ke arah garisan Khatulistiwa dengan nilai TEC pada kawasan ini adalah tinggi berbanding sebaliknya. Nilai TEC yang tidak simetri juga berlaku bagi model NeQuick dengan nilai TEC yang banyak pada kawasan Hemisfera Utara berbanding sebaliknya. Bacaan TEC NeQuick juga menunjukkan kewujudan angin neutral yang menyebabkan elektron-elektron berada pada kawasan yang mempunyai daya tarikan yang kuat.

Pada titik *D*, berlaku perubahan yang ketara pada nilai TEC yang diberikan oleh model NeQuick berbanding IONEX dan IRI2001. Model NeQuick menganggarkan nilai TEC yang paling rendah diikuti oleh IONEX dan IRI2001. Penurunan nilai TEC yang ketara pada kedudukan  $5^{\circ}S$  hingga  $35^{\circ}S$  menunjukkan bahawa model NeQuick hanya bersesuaian digunakan pada bahagian Hemisfera Utara berbanding Hemisfera Selatan bumi yang mana kebanyakan data-data hanya diperolehi dari kawasan tersebut. Pada titik *E*, ralat yang diberikan oleh model-model dan IONEX adalah sekitar  $\pm 3$  TECU berbanding satu sama lain.

Nilai maksimum dan minimum TEC yang diperolehi melalui kajian ini telah diringkaskan pada Jadual 2.

Jadual 2 : Perbezaan nilai TEC (TECU) pada latitud

	Nilai Purata	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
IONEX	9.93	1.90	15.60
IRI2001	7.55	2.16	17.37
NeQuick	9.25	3.17	22.14

Nilai purata bagi model NeQuick menghampiri nilai purata IONEX berbanding dengan IRI2001 seperti yang dilihat pada Jadual 2. Ini menyatakan bahawa model NeQuick dari segi purata yang menggunakan formula matematik dalam penganggaran nilai TEC memberikan ketepatan yang hampir serupa dengan IONEX bagi kajian di Hemisfera Utara dan Hemisfera Selatan. Nilai TEC maksimum telah diperolehi di kawasan sekitar garisan khatulistiwa manakala nilai minimum TEC diperolehi di kawasan jauh daripada kawasan khatulistiwa. Ini menunjukkan bahawa walaupun pengaruh angin neutral kepada kelajuan dan arah pergerakan zarah-zarah elektron dapat dielakkan dengan pemilihan musim ekuinoks, namun kesan anomali tidak dapat

dilakkan pada pengiraan di sekitar garisan Khatulistiwa bumi ini. Ini kerana pada musim ini, matahari berada pada kedudukan  $0^\circ$  daripada garisan geografi Khatulistiwa dan kadar pengionan berlaku dengan kadar yang cepat. Ini dapat dilihat dengan jelas dari model NeQuick yang kelihatan seperti bongkah menunjukkan kewujudan anomali khatulistiwa.

Daripada analisis ini, dapat disimpulkan bahawa faktor lokasi kedudukan stesen-stesen bumi memberikan perbezaan bacaan TEC yang ketara bagi setiap model dan IONEX disebabkan oleh sumber utama data yang digunakan khususnya dalam permodelan IRI2001 ialah berdasarkan data *in situ* dan *ionosonde*. Selain itu, jumlah stesen-stesen penerima yang banyak di bahagian Hemisfera Utara berbanding dengan Hemisfera Selatan juga menyebabkan data yang dianggarkan oleh IRI2001 menunjukkan nilai TEC yang tinggi dan menghampiri nilai TEC IONEX pada kawasan tersebut berbanding sebaliknya. Faktor ini kurang mempengaruhi nilai anggaran yang diberikan oleh model NeQuick kerana pengiraan TEC yang dibuat adalah berdasarkan penggunaan formula matematik yang telah sedia ada dalam permodelannya.

Selain itu juga, kesan angin neutral menyebabkan tumpuan kawasan elektron berubah-ubah mengikut keadaan tertentu. Bagi IONEX, nilai TEC yang diberikan adalah simetri dengan merujuk garis geomagnet khatulistiwa yang dilukis pada garisan geografi  $10^\circ\text{U}$ . Namun, kesan ini mempengaruhi bacaan TEC bagi setiap model. Daripada analisis, jelas menunjukkan bahawa dengan penggunaan model-model ini, berlakunya fenomena angin neutral yang menyebabkan tumpuan kawasan nilai TEC yang tinggi hanya pada kedudukan yang mempunyai kesan daya tarikan yang kuat iaitu menuju ke arah garisan khatulistiwa. Fenomena ini akan memberikan kesan yang amat ketara jika berlakunya fenomena anomali khatulistiwa yang selalunya berlaku pada waktu tengahari dan petang waktu tempatan. Dengan nilai elektron yang tinggi, nilai simetri yang diberikan akan lebih ketara lagi. Namun, walaupun analisis dilakukan pada awal pagi waktu tempatan di kawasan kajian, terdapat kekeliruan pada nilai TEC yang diberikan oleh setiap model terutamanya model IRI2001. Ini kerana kesan tidak simetri (adanya fenomena

angin neutral) pada bacaan TEC di kedua-dua bahagian bumi telah ditunjukkan dalam anggaran TEC yang diberikan oleh model-model tersebut.

#### 4.0 KESIMPULAN

Melalui kajian yang dijalankan di sekitar garisan longitud Khatulistiwa, didapati terdapat perbezaan pada TEC yang diperolehi dari kawasan daratan dan kawasan lautan kesan daripada kewujudan stesen-stesen penerima IGS di kawasan daratan. Namun kajian di sepanjang latitud bumi mendapati faktor lain yang turut mempengaruhi bacaan TEC adalah kesan angin neutral yang bergerak menuju ke garis Khatulistiwa pada musim panas dan menuju ke kutub pada musim sejuk. Jika tiada kehadiran angin ini, bacaan TEC akan mengalami keseimbangan dan simetri dengan garis geomagnet sebagai garis rujukan.

Dengan penggunaan model-model IRI2001 dan NeQuick, terdapat ralat berlaku dalam bacaan TEC yang diberikan jika dibandingkan dengan nilai TEC dari IONEX. Di antara kedua-dua model, tidak ada yang lebih unggul. Ini adalah disebabkan nilai  $R_{12}$  yang mempengaruhi nilai bacaan TEC yang dianggarkan bagi setiap model. Dengan nilai  $R_{12}$  yang tinggi, frekuensi kritikal isyarat radio akan meningkat dengan tidak linear. Ini berlaku terutamanya dalam nilai anggaran TEC yang diberikan oleh model IRI2001 seperti yang ditunjukkan dalam kajian ini. Walaubagaimanapun, pada keseluruhannya variasi TEC menunjukkan corak maksimum dan minimum yang sama pada kedua-dua model, IRI dan NeQuick. Adalah diharapkan hasil kajian ini dapat menyumbang kepada kajian ramalan cuaca angkasa yang sedang hangat dibincangkan pada masa ini, selain dari kajian perambatan radio. Model-model sedia ada juga perlu diperbaiki dari semasa ke semasa supaya lebih fleksibel pada mana-mana lokasi secara global.

#### 5.0 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. ■

1	END OF TEC MAP														
2	START OF TEC MAP														
2007	11	3	1	30	0										
0.0	90.0	110.0	1.0	450.0	EPOCH OF CURRENT MAP										
102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132
135	137	139	141	144	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
1.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
105	107	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	131	133	135	137
139	141	144	146	148	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
2.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
108	110	112	115	117	119	121	123	126	128	130	132	134	137	139	141
143	145	148	150	152	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
3.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
109	112	114	116	119	121	124	126	128	130	133	135	137	139	142	144
146	148	151	153	155	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
4.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
110	112	115	117	120	122	125	127	130	132	134	137	139	141	144	146
148	150	153	155	157	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
5.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
109	112	114	117	120	122	125	127	130	132	135	137	140	142	144	147
149	151	153	156	158	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
6.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
107	110	113	116	119	121	124	127	129	132	135	137	140	142	144	147
149	151	154	156	158	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
7.0	90.0	110.0	1.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
105	108	111	114	117	120	123	126	128	131	134	136	139	141	144	146
149	151	153	155	158	LAT/LON1/LON2/DLON/H										

Contoh Data IONEX



## RUJUKAN

- [1] Alnutt, J.E. 1989. *Satellite to ground radiowave propagation: Theory, Practice and System impact at frequency above 1GHz*. Peter Peregrinus Limited.
- [2] Iyer, K.N., Joshi, H.P., Jivrajani, R.D. dan Aravindakshan, P. 1996. Comparative study of TEC near the crest of the equatorial anomaly with IRI model for solar minimum to solar maximum. *Advances in Space Research*, 18(6): pp. 233-236
- [3] Bilitza, D. 2004. 35 years of International Reference Ionosphere – Karl Rawer’s legacy. *Advances in Radio Science* 2(G.2): pp. 283-287.
- [4] Coisson, P., Radicella, S.M. dan Nava, B. 2002. Comparisons of experimental topside electron concentration profiles with IRI and NeQuick models. *Annals of Geophysics* 45(1): pp. 111-116
- [5] Walker, C. 2006. The global ionosphere models. [http://www.vlba.nrao.edu/memos/sci/gps\\_ion/node3.html](http://www.vlba.nrao.edu/memos/sci/gps_ion/node3.html) [20 Julai 2008].
- [6] Bilitza, D. 2001. International Reference Ionosphere model. <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/iri.html> [6 Mei 2008]
- [7] Zhang, M.L., Shi, J.K., Wang, X., Wu, S.Z. dan Zhang, S.R. 2004. Comparative study of ionospheric characteristic parameters obtained by DPS-4 digisonde with IRI2001 for low latitude station in China. *Advances in Space Research* 33(6): pp. 869-873.
- [8] Ling, K.S. dan Masri, T. 2002. Satellite pointer controller. Software, Universiti Malaysia Sarawak.
- [9] Trísková, L. dan Chum, J. 1996. Hysteris in dependence of foF2 on solar indices. *Advance in Space Research* 18(6): pp. 145-148.
- [10] Moore, A.W. 2006. IGS site guidelines. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/projects/iglos/index.html> [25 April 2008].
- [11] Zhao, C.Y., Shum, C.K. dan Yi, Y.C. t.th. Ionosphere corrections of radar altimeters and calibration results of GFO. <http://space.cr.nctu.edu.to/altimetryworkshop/Abstracts/028.doc> [25 April 2008].
- [12] Aarons, J. 1982. Global Morphology of ionospheric scintillations. *Proceedings of the IEEE* 70(4): pp. 360-378.
- [13] Pawel, W., Dorota, G.-B. dan Israel, K. 2003. Regional ionosphere mapping with kridging and multiquadric methods. *Journal of Global Positioning Systems* 2(1): pp. 48-55.
- [14] Su, S., Chao, C., Liu, C. dan Ho, H. 1996. Meridional Wind Effect on the seasonal/longitudinal distribution of equatorial density irregularities inferred from ROCSAT-1 observation. [http://www.agu.org/meetings/sm06\\_sessions/sm06\\_SAA43C.html](http://www.agu.org/meetings/sm06_sessions/sm06_SAA43C.html) [20 Oktober 2005].
- [15] Cander, Lj.R., Bertram, A.-B., Barclay, L., Casimiro, A., Patrick, L.-D., Nava, B., Martinecz, C., Kouris, S., dan Leitinger, R. 2005. Meeting of COST296 Rapporteur Group on ITU Iono Work, IGAM, University of Graz, 4-5 Julai. [http://www.cost296.rl.ac.uk/pdf/COST296\\_ITUR\\_Rapp\\_group\\_RL.pdf](http://www.cost296.rl.ac.uk/pdf/COST296_ITUR_Rapp_group_RL.pdf) [25 April 2008].
- [16] Rush, C.M. 1988. URSI foF2 Model Maps 1988. <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/ursi.html> [25 April 2008].
- [17] Franklin, C.A. dan Maclean, M.A. 1969. The design of swept-frequency topside sounders. *Proceeding of IEEE*, 57(6): pp. 897-929.
- [18] Rush, C.M., Pokempner, M., Anderson, D.N., Stewart, F.G. dan Perry, J. 1983. Improving ionospheric maps using theoretically derived values of foF2. *Radio Science* 18(1): pp. 95.
- [19] Rush, C.M., Pokempner, M., Anderson, D.N., Perry, J., Stewart, F.G. dan Reasoner, R. 1984. Maps of foF2 derived from observations and theoretical data. *Radio Science* 19(4): pp. 1083.
- [20] Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) t.th. CCIR foF2 and M(3000)F2 Model Maps 1982. <http://modelweb.gsfc.nasa.gov/ionos/ccir.html> [28 April 2008].
- [21] Rama Rao, P.V.S., Sri Ram, P., Jayachandran, P.T. dan Prasad, D.V.V.D. 1996. Seasonal variation in ionospheric electron content and irregularities over Waltair – a comparison with SLIM model. *Advance Space Research* 18(6): pp. 259-262.

## PROFILES



### IR. ASSOC. PROF. DR MARDINA ABDULLAH

Dr Mardina Abdullah received her B. Eng degree from University of the Ryukyus, Japan in Electronics and Information Engineering in 1991. She obtained her M.Sc degree from Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) in Electrical, Electronic and System Engineering in 1995. In 2004, she was awarded a PhD degree in Electrical Engineering from The University of Leeds, UK for a work on ionospheric effects on GPS range finding and precise positioning. She is interested in ionospheric studies, GPS satellite error mitigation and expert systems.

### MS. DAYANG AZRA AWANG MAT

Dayang Azra Awang Mat received her bachelor degree in Electronic and Telecommunication from Universiti Malaysia Sarawak in 2002, and obtained her M.Sc degree from Universiti Kebangsaan Malaysia in 2006. She is currently a lecturer at Faculty of Engineering at Universiti Malaysia Sarawak (UNIMAS). Her research interests are mobile and wireless technology and ionospheric sciences.



### MS. SITI SARAH NIK ZULKIFLI

Siti Sarah Nik Zulkifli received her B. Information Technology degree majoring in Software Engineering from University Malaysia Terengganu (2005). She is currently pursuing her masters’ degree in the Department of Electrical, Electronic and Systems Engineering at Universiti Kebangsaan Malaysia. Her research of interests lies in the field of transionospheric propagation focusing on ionospheric effect on Global Positioning System.