

# Penentuan TEC Menggunakan Data Ionogram

Bambang Suhandi, Sarmoko Saroso, Effendi  
Bidang Ionosfer Telekomunikasi, Pusfat Sainsa, LAPAN

## ABSTRACT

An empirical model developed by Ezquer and Adler (1991) was used to determine Total Electron Content (TEC) from ionogram data. The ionogram data needed to determine TEC include  $f_oF_2$ ,  $h_mF_2$  and  $M(3000)F_2$ . A value of  $TEC = 3.7 N_m \times H$  was obtained. A comparison between TEC data obtained from ionogram and from GPS satellites show a fairly good correlation. Semi-diurnal variation of TEC ranges 10-80 TECU and reaches maximum at noon. The TEC calculation with ionogram data base is only observed in the day time. The result may TEC can be determined in the ionosphere observatory which has not been equipped with TEC meter.

## ABSTRAK

Penentuan Total Electron Content (TEC) dengan basis data ionogram dihitung berdasarkan Model empiris yang dikembangkan oleh Ezquer dan Adler (1991). Data ionogram yang diperlukan untuk menentukan TEC meliputi  $f_oF_2$ ,  $h_mF_2$  dan  $M(3000)F_2$ . Dari hasil perhitungan diperoleh besarnya  $TEC = 3.7 N_m \times H$ . Perbandingan antara data TEC dari ionogram dengan data satelit GPS berkorelasi cukup baik. Variasi 12 jam-an TEC berkisar 10-80 TECU dan mencapai maksimum pada tengah hari. Perhitungan TEC dengan basis data ionogram hanya teramati pada siang hari saja. Hasil yang diperoleh memungkinkan penentuan TEC dapat dilakukan di stasiun pengamat ionosfer yang belum dilengkapi peralatan TEC meter.

## 1. PENDAHULUAN

Faktor penting yang menentukan keberhasilan pembuatan model TEC (Total Electron Content, kandungan elektron total) ionosfer Indonesia adalah kelengkapan datanya. Sehubungan dengan itu pengamatan TEC selain menggunakan satelit sebagai pembanding TEC ionosfer Indonesia akan diamati dengan ionosonda variabel. Perbedaan dari kedua data tersebut adalah hanya tempat pengamatannya, apakah dari atas atau dari bawah ionosfernya. Dengan menggunakan satelit pengamatan TEC dihitung dari permukaan atas ionosfer hingga ke lapisan bawah ionosfer, sedangkan dengan menggunakan ionosonda variabel adalah sebaliknya.

Manfaat dari penentuan TEC dengan basis ionogram memungkinkan untuk menghitung TEC di stasiun pengamat ionosfer yang belum dilengkapi peralatan TEC meter seperti Biak,

Kupang, dan Menado yang merupakan fasilitas pengamat ionosfer yang dimiliki LAPAN saat ini.

Sebelumnya Herwita et al. (1993) sudah melakukan penelitian TEC, dengan menggunakan model yang sama, yaitu model yang dikembangkan oleh Adler dan Ezquer (1989) namun berbeda dalam masukan data  $h_mF_2$ . Herwita et al. (1993) menggunakan persamaan empiris  $[h_mF_2 = 1496 / M(3000)F_2 - 176]$  sedangkan pada penelitian ini data  $h_mF_2$  diperoleh dari pengukuran ionosonda variabel IPS-71 yang berlokasi di SPMI Sumedang yang berjarak sekitar 30 km dari Bandung.

## 2. TEORI

Pengamatan TEC bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu dari atas atau bawah ionosfernya. Pengukuran TEC dari bawah ionosfer biasanya memakai radar sedangkan untuk pengamatan TEC dari

atas ionosfer menggunakan satelit. Penggunaan pengukuran dengan radar memerlukan biaya mahal juga perhitungan yang agak rumit sehingga dicari alternatif yang lebih murah dan efisien yaitu menggunakan data ionogram.

### 2.1 Penentuan TEC Menggunakan Satelit

Satelit dibuat oleh manusia dengan bermacam tujuan diantaranya untuk kepentingan militer, sipil, dan penelitian ilmiah. Dalam rangka penelitian ionosfer dunia pada umumnya menggunakan sistem *Global Positioning Satellites* (GPS) karena selain penggunaannya masih gratis cukup menyediakan penerimanya saja begitu juga dukungan teknologinya banyak tersedia. Penentuan TEC menggunakan satelit GPS ditentukan oleh besaran jarak akibat bias ionosfer ( $d$ ) dan frekuensi sinyal yang dipancarkan satelit ( $f$ ), dirumuskan sebagai berikut :

$$d = 4.28 \frac{STEC}{f^2} \text{ (dalam unit meter) } \dots\dots (2-1)$$

(Sumber: Abidin, 1995)

STEC adalah jumlah elektron sepanjang lintasan. Pada awalnya pembuatan satelit GPS bertujuan untuk menentukan posisi di permukaan bumi berdasarkan jarak penerima ke satelit, dipantau dari beberapa satelit (minimal empat buah) secara bersamaan sehingga diperoleh koordinat penerima ( $x, y, z$ ) dan waktu  $t$ . Namun dalam dekade selanjutnya GPS dapat juga dimanfaatkan untuk mengamati ionosfer terutama mengenai TEC ionosfer. Dari persamaan (2-1) dapat ditentukan STEC bila diketahui besaran jarak dan frekuensi pancarnya dikenal sebagai penyelesaian terbalik (invers problem) dari problem GPS karena yang semula dicari besaran jarak untuk penentuan posisi namun sebaliknya setelah diperoleh besaran jaraknya dapat

dicari STEC. Penerima GPS terbagi dua jenis ada yang disebut tipe navigasi dan tipe geodetik tergantung data Pseudorange (code) atau data fase yang digunakannya. Jelasnya tipe geodetik memberikan ketelitian sampai orde milimeter, sementara tipe navigasi bisa melenceng sampai 150 m dalam penentuan jaraknya. Jadi data dari receiver GPS tipe geodetik dapat dijadikan sebagai data pembanding dalam rangka pembuatan model TEC untuk mengkoreksi data penerima tipe navigasi.

### 2.2 Penentuan TEC Menggunakan Data Ionogram

Penentuan TEC dengan basis data ionogram telah banyak dilakukan dan masih terus disempurnakan, tergantung pada penentuan profil kerapatan elektron dan pemahaman proses fisis yang terjadi di ionosfer. Ezquer dan Adler (1989) mengembangkan berdasarkan fungsi Chapman karena fungsi Chapman dapat menjelaskan struktur vertikal plasma di atmosfer atas.

Dalam teorinya Chapman merumuskan profil kerapatan elektron dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$N(Z) = N_m \exp(c [1 - Z - \exp(-Z)]) \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan

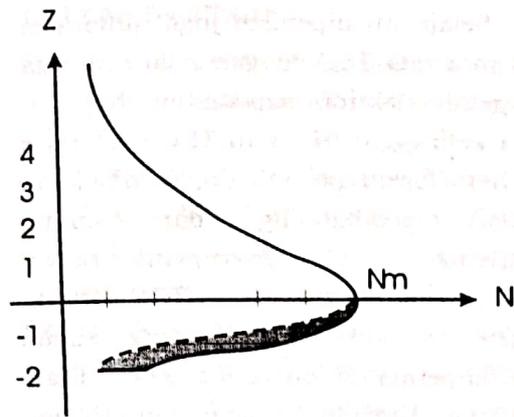
$$Z = (h - h_m) / H$$

$H$  : Skala ketinggian (jarak tegak di atmosfer dengan tekanan adalah  $e^{-1}$  dari tekanan di bawah)

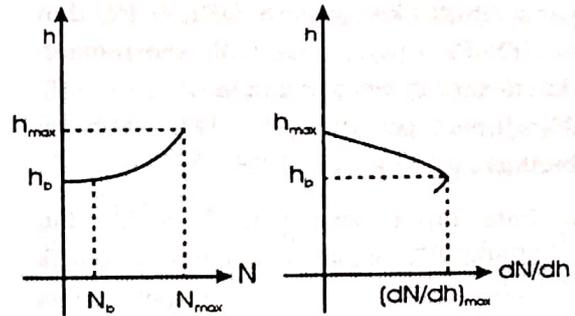
$h_m$  : Ketinggian dimana  $N(Z) = N_m$

$N_m$  : Kerapatan elektron maksimum

Selanjutnya Chiu (1975) mengembangkan model empiris kerapatan elektron ( $N$ ) lapisan F2 berdasarkan persamaan (2-2) dengan mengambil nilai  $c=1$  dan perumusan  $Z$  dibagi menjadi dua bagian yaitu *bottom side* dan *top side* di sekitar  $N_m$  (Gambar 2-1).



Gambar 2-1 : Profil kerapatan elektron *bottom side* diwakili garis putus-putus. Profil kerapatan elektron *topside* diwakili garis penuh (Sumber: Ezqueret al., 1991)



Gambar 2-2 : Profil kerapatan elektron (N) dan Gradien N *Base point* daerah F ditunjukkan oleh  $(N_b, h_b)$  (Sumber : Ezquer, 1991)

Jadi menurut Chiu, (1975) persamaan (2-2) menjadi

$$N(Z) = N_m \exp( [1-Z-\exp(-Z)] ) \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan

$$Z_{lo} = (h - h_m) / H_{lo} \text{ untuk menghitung profil kerapatan elektron bagian bawah } N_m$$

$$Z_{up} = (h - h_m) / H_{up} \text{ untuk menghitung profil kerapatan elektron bagian atas } N_m$$

Berbeda dengan Chiu (1975), Model yang dikembangkan Ezquer dan Adler (1989) adalah untuk bagian bawah  $c=1$ , untuk bagian atas  $c=0,5$  dan  $H_{lo}=H_{up}$  sehingga diperoleh perumusan sebagai berikut :

$$N(Z) = N_m \exp[1-Z-\exp(-Z)] \dots\dots\dots(2-4)$$

$$N(Z) = N_m \exp\{ [ 0,5[1-Z-\exp(-Z)] ] \} \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\text{dengan } Z = (h - h_m) / H$$

Parameter  $N_m$  dan  $h_m$  diperoleh dari data ionogram sedangkan skala ketinggian (H) diturunkan dari persamaan (2-6) menggunakan metode iterasi Newton-Rapson. Persamaan (2-6) merupakan model empiris yang mendefinisikan karakteristik titik pada profile N disebut *base point* lapisan F adalah bagian bawah ionogram (profil kerapatan elektron sebenarnya) dengan gradien N maksimum (Gambar 2-2).

Gradien pada *base point* lapisan F dirumuskan oleh Gonzales dan Radicela (1990) sebagai berikut:

$$(dN/dh)_b = N_b \{ -1 + \exp[(-h_b + h_m) / H] \} / H \dots\dots\dots(2-6)$$

dengan

$N_b$  : *Base point* kerapatan elektron

$h_b$  : *Base point* ketinggian

$N_m$  : Kerapatan elektron maksimum

$$\ln(N_b F2) = -3,05 + 1,11 \ln(foF2) \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\ln(h_b F2) = 7,21 - 1,52 \ln [ M(3000)F2 ] \dots\dots\dots(2-8)$$

$$\ln(dN/dh F2) = -3,47 + 0,86 \ln(foF2) + 2,02 \ln[M(3000)F2] \dots\dots\dots(2-9)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2-4) diperoleh total elektron content bagian bawah ( $EC_{lo}$ ) dan dengan mengintegrasikan persamaan (2-5) diperoleh total elektron content bagian atas ( $EC_{up}$ ). Selanjutnya dengan menjumlahkan keduanya diperoleh nilai TEC maka,

$$TEC = EC_{lo} + EC_{up} \dots\dots\dots(2-10)$$

### 3. DATA DAN PENGOLAHAN

Data TEC diperoleh menggunakan TEC meter, dan data ionogram diperoleh dari ionosonda variabel IPS-71 di SPMI Sumedang. Pengamatan dipilih pada tanggal 21 Maret, 23 Juni, 24 Juli, 24 Agustus, dan 24 Desember 1997 untuk melihat variasi TEC dilihat dari posisi mataharinya apabila berada di lintang utara, ekuator, dan lintang selatan bumi. Sebenarnya data ionogram yang terkumpul cukup banyak hanya kebanyakan

tidak menampilkan parameter ionosfer yang dibutuhkan seperti  $f_oF_2$ ,  $h_mF_2$ , dan  $M(3000)F_2$  yang muncul bersamaan dalam satu *epoch* pengamatan.

Algoritma perhitungan TEC sebagai berikut :

- a. Data input berupa  $f_oF_2$ ,  $h_mF_2$ , dan  $M(3000)F_2$  sebagai konstanta untuk menghitung variabel-variabel pada persamaan (2-7), (2-8), dan (2-9).
- b. Menghitung skala ketinggian (H) dengan menggunakan persamaan (2-6) diselesaikan menggunakan metode Newton-Rapson
- c. Mengintegrasikan persamaan (2-4) dan persamaan (2-5) diselesaikan menggunakan metode Romberg diperoleh  $EC_{lo}$  dan  $EC_{up}$
- d. Menentukan TEC berdasarkan perumusan persamaan (2-10)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4-1 menunjukkan plot data pengukuran TEC (garis penuh) terhadap waktu dan data perhitungan TEC dari ionogram (garis putus-putus) terhadap waktu di atas SPMI. Secara umum polanya hampir mirip, dimulai rendah pada pagi hari, menaik hingga maksimum pada tengah hari kemudian menurun menjelang sore hari hingga malam hari. Data TEC dari ionogram hanya teramati pada siang hari, karena tidak diperolehnya parameter ionosfer yang diperlukan sepanjang malam hari. Hasil perhitungan dengan pengukuran berkorelasi 54% memperlihatkan ada hubungan kuat antara model dengan pengukuran TEC. Koreksi model dapat dilihat dari penyimpangan model terhadap pengukuran dibandingkan dengan rata-rata data pengukuran menghasilkan  $r.m.s. = 35,5\%$  maka koreksi model terhadap pengukuran adalah 64,5 %.

Selain itu diperoleh juga hubungan nilai rata-rata TEC dengan nilai rata-rata kerapatan elektron maksimum ( $N_m$ ) dan skala ketinggian (H) yaitu  $TEC = 3,7 N_m \times H$ . Jadi formulasi ini dapat dijadikan sebagai pembanding dan cukup sederhana untuk diterapkan dalam rangka mengetahui besaran TEC disuatu tempat terutama daerah yang sudah tersedia peralatan ionosonda seperti Biak, Pontianak, Manado, Kupang, dan sebagainya. Perumusan ini hampir mirip dengan yang dikemukakan oleh Wright (1960) bahwa  $TEC = 4,13 N_m \times H$  juga oleh Ezquer et. al. (1991) bahwa  $TEC = 3,8 N_m \times H$  hanya saja mereka melakukannya di lintang menengah bumi.

Keuntungan dari penggunaan perhitungan TEC berbasis data ionosonda adalah kemampuan menentukan variasi 12 jam-an TEC, padahal umumnya pemodelan TEC yang lain hanya menghitung median bulanan TEC saja. Selain itu dengan asumsi bahwa pengamatan ionosonda variabel bisa mencakup areal radius 1000 km maka hasil yang diperoleh ini dapat diaplikasikan ke sebagian besar wilayah Indonesia barat.

#### 5. KESIMPULAN

Penentuan TEC menggunakan data ionogram cukup representatif ditunjukkan oleh korelasi 54% dan koreksi model adalah 64,5 % terhadap hasil TEC dari pengukuran dan terbatas pada siang hari saja. Formulasinya cukup mudah yaitu  $TEC = 3,7 N_m \times H$  yang langsung dapat diterapkan khususnya untuk daerah Bandung dan umumnya di wilayah Indonesia barat. Variasi 12 jam-an TEC berkisar antara 10 – 80 TECU (1 TECU =  $10^{-16}$  elektron/ $m^2$ ), dimulai rendah pada pagi hari dan menaik menuju siang hari kemudian menurun hingga sore hari.

**DAFTAR RUJUKAN**

Abidin, H.Z.,1995, *Penentuan Posisi GPS dan Aplikasinya*, PT Pradya Paramita, Jakarta.

Chiu, Y.T.,1975, *An Improve Phenomenological Model of Ionospheric Density*, Volume 37, Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics.

Ezquer, R. G.;Adler, N. O., 1989, *Electron Content Over Tucuman*, Volume 94, Journal of Geophysical Research, Radio Science.

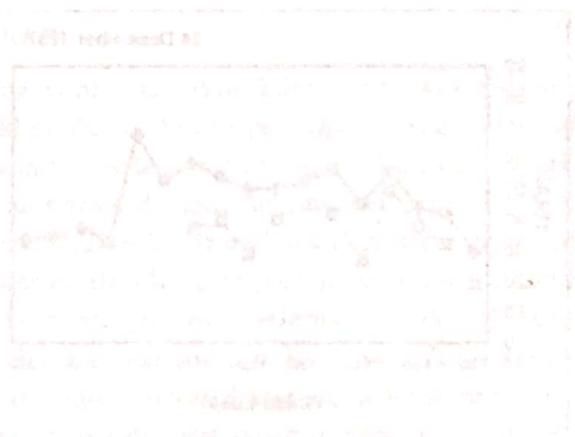
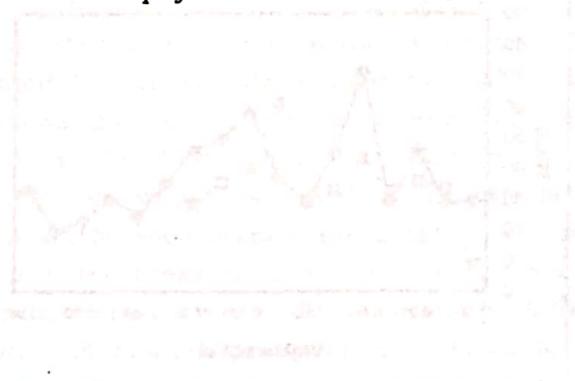
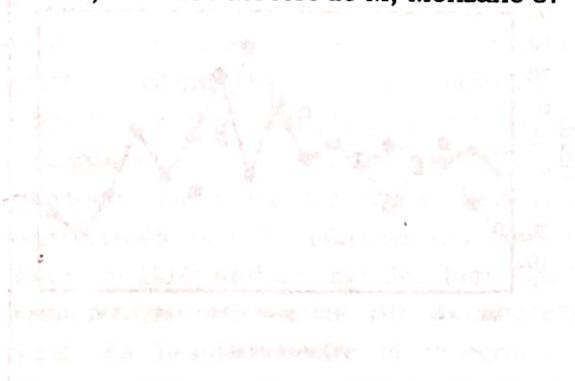
Ezquer, R. G.;Adler, N. O.; Radicella S. M.;Gonzales Mosert de M; Monzano J.

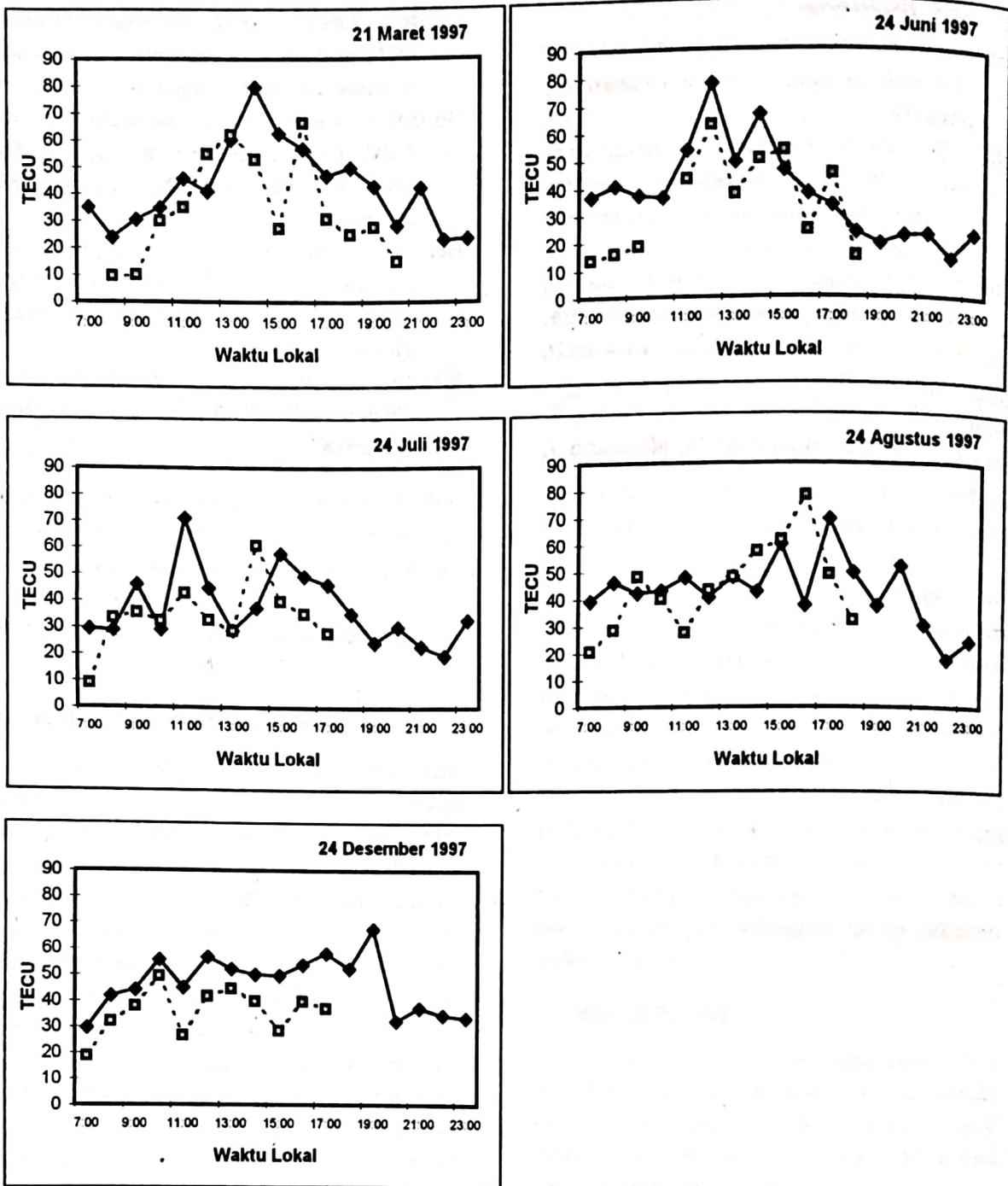
R., 1991, *Total Electron Content Obtained from Ionogram Data Alone*, Volume 27, Radio Science.

Gonzales, Mosert de M; Radicella, S. M., 1990, *On a Characteristic Point at The Base of F2 layer*, Adv Space Res, Argentina.

Herwita ; Wikanto, G.; Suhandi, B.; Hamzah, N.A., 1993, *Penelitian Total Electron Content (TEC) di Atas Biak*. Tidak diterbitkan.

Wright, J. W.,1960, *A model of The F Region above hmax F2*, Journal Geophys.





Gambar 4-1: Plot data pengukuran TEC (garis penuh) dan data perhitungan TEC (garis putus-putus) di SPMI Sumedang tahun 1997.