

# MODEL TOTAL ELECTRON CONTENT LINTANG RENDAH: PERSAMAAN TEC DI BANDUNG DAN SEKITARNYA

S. L. Manurung

Peneliti Matahari dan Lingkungan Antariksa  
Bidang Matahari dan Antariksa

## Ringkasan

Pola variasi harian frekuensi kritis ionosfer,  $f_oF_2$ , dari stasiun ionosonda Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang, serta Total Electron Content (TEC) Bandung yang berbentuk sinusoidal digunakan untuk menentukan persamaan semi empiris variasi TEC terhadap waktu. Persamaan tersebut adalah:

$$TEC = K + A (\text{SIN}^2(\pi/4T_r)t_i + 2 \text{COS}^2(\pi/T_o)t_i)$$

dengan  $K$  adalah konstanta atau TEC minimum,  $A$  amplitudo atau TEC maksimum,  $T_r$  interval waktu kenaikan (rising time),  $T_o$  perioda rotasi bumi, dan  $t_i$  waktu lokal. Karena persamaan di atas adalah persamaan TEC lokal, Bandung dan sekitarnya, harga  $K$  dan  $A$  sangat bergantung pada musim dan aktivitas matahari.

Persamaan ini telah digunakan untuk menghitung TEC Nopember-Desember 1993 dan 1-7 Maret 1998. Simpangan relatif maksimum dari TEC pengamatan dengan TEC perhitungan adalah 25%.

## Abstract

*The time profiles of the critical frequency of ionosphere,  $f_oF_2$ , observed at ionosonde stations of Pameungpeuk, Tanjungsari and Tangerang, and the daily time profile of TEC observed in Bandung that sinusoidal are used to derive the equation of TEC's time variation. The equation is:*

$$TEC = K + A (\text{SIN}^2(\pi/4T_r)t_i + 2 \text{COS}^2(\pi/T_o)t_i)$$

*where  $K$ ,  $A$ ,  $T_r$ ,  $T_o$ , and  $t_i$  are constant, amplitudo, interval of rising time, period of earth rotation and lokal time respectively. Because the equation is the local equation,  $K$  and  $A$  are strongly depend on season and solar activity.*

*The equation has been used to compute TEC of November and December 1993, and of 1-7 March 1998. The maximum relative deviation between observed and computed TEC is 25%.*

## 1. Pendahuluan.

Ketelitian pengukuran jarak dua objek di antariksa dan di bumi yang mempergunakan teknologi gelombang elektromagnetik, seperti penentuan jarak satelit GPS dengan penerima di bumi, dipengaruhi oleh media, lapisan ionosfer, yang dilalui signal itu. Kesalahan pengukuran jarak satelit-penerima itu adalah selisih panjang lintasan signal yang melengkung akibat pembiasan signal oleh elektron-elektron selama melalui lapisan ionosfer dengan panjang lintasan signal tanpa pembiasan atau jarak lurus, line-of-sight.

*Matahari dan Lingkungan Bumi 2 (2001), 53-67  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa-LAPAN*

Perbedaan panjang lintasan menjadikan gelombang atau signal satelit GPS lebih lama atau terlambat atau tertunda tiba di penerima di bumi. Perbedaan waktu tempuh signal tersebut dinamakan waktu tunda. Perbedaan panjang lintasan atau kesalahan jarak satelit ke penerima ( $\Delta R$ ) adalah hasil perkalian waktu tunda ( $\tau$ ) dengan kecepatan cahaya ( $c$ ), ( $\Delta R = c\tau$ ).

Penentuan posisi berbasis satelit yang mempergunakan receiver GPS frekuensi ganda dengan metoda tertentu, kesalahan bias ionosfer dapat dieliminir, sedangkan yang menggunakan penerima frekuensi tunggal tidak, (Klobuchar, 1987). Namun demikian, menurut Klobuchar kesalahan bias ionosfer yang terjadi pada penerima frekuensi tunggal dapat direduksi hingga 50% dengan menggunakan model waktu tunda Klobuchar yang menjadi bagian dari sistem pemroses data di penerima.

Waktu tunda signal yang melalui lapisan ionosfer berbanding lurus dengan jumlah elektron sepanjang lintasan signal, yang disebut Total Electron Content atau TEC, dan berbanding terbalik dengan kuadrat frekuensi yang digunakan, (Abidin, 1990). Oleh karena frekuensi sudah tertentu, misalnya penerima GPS frekuensi tunggal, 1575,42 MHz atau 1227,60 MHz, sedangkan TEC berubah setiap saat, bergantung pada perilaku ionosfer, maka waktu tunda dan kesalahan jarak karena bias ionosfer bergantung pada TEC.

Perilaku ionosfer dan kerapatan elektron bergantung pada waktu, musim, aktivitas matahari dan lintang, (Klobuchar, 1987). Ionosfer lintang rendah, ekuator dan tinggi lebih dinamis dari ionosfer lintang tengah, dan kerapatan elektron lintang rendah lebih besar dari kerapatan elektron lintang tengah dan tinggi. Berdasarkan perbedaan ini Klobuchar yang membuat model waktu tunda mengatakan model tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan kondisi ionosfer lokal atau regional.

Berdasarkan hal tersebut di atas penulis melakukan penyelidikan atas data pengamatan ionosfer yaitu TEC yang diamati di Bandung dan frekuensi kritis plasma lapisan F2, foF2, lapisan ionosfer dari stasiun Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangareng dan menurunkan persamaan empiris variasi TEC Bandung terhadap waktu. Dari perilaku variasi harian dan median bulanan TEC November dan Desember 1993 dan 1995 serta variasi foF2 di Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang pada bulan yang sama tahun 1985 didapatkan bahwa variasi TEC terhadap waktu berbentuk sinusoidal, seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah.

$$TEC = K + A (\text{SIN}^2(\pi/4T_r)t_i + 2 \text{COS}^2(\pi/T_o)t_i)$$

dengan  $K$  adalah konstanta atau TEC minimum,  $A$  amplitudo atau TEC maksimum,  $T_r$  interval waktu kenaikan (rising time),  $T_o$  perioda rotasi bumi, dan  $t_i$  waktu setempat. Harga  $K$  dan  $A$  bergantung pada respons ionosfer terhadap aktivitas matahari. Persamaan ini telah digunakan untuk menghitung TEC Nopember-Desember 1993 dan 1-7 Maret 1998. Simpangan relatif maksimum adalah 25%.

Dengan mengetahui TEC, waktu tunda dapat diperoleh dari hubungan:  $\tau = 40.3/cf^2$  TEC, dimana  $c$  kecepatan cahaya dan  $f$  frekuensi penerima GPS frekuensi tunggal.

## 2. Frekuensi Kritis, Waktu Tunda dan TEC

Gelombang elektromagnetik band HF berfrekuensi  $f$  yang lebih kecil dari frekuensi kritis plasma lapisan ionosfer yang dipancarkan tegak lurus ke lapisan ionosfer akan dipantulkan. Pemantulan terjadi pada saat frekuensi  $f$  sama dengan

frekuensi kritis atau indeks bias sama dengan nol. Hubungan frekuensi kritis dengan kerapatan elektron, dan hubungan indeks bias dengan frekuensi kritis dan frekuensi gelombang elektromagnetik memenuhi persamaan, (Appleton dan Hartree, (1954), dan Hundsucker, (1991)):

$$\begin{aligned}
 f_0 F_2 &= 8,98 \sqrt{N} && \text{(Mhz)} && 1 \\
 n &= 1 - X/2 \\
 X &= f_0^2 / f^2 \propto N \\
 X &= 40,3 N / f^2 \\
 N &= \text{kerapatan elektron, el/m}^3 \\
 n &= \text{indeks bias}
 \end{aligned}$$

Dalam penjalarnya dari satelit ke penerima di bumi melalui lapisan ionosfer, gelombang elektromagnetik band VHF dan UHF mengalami pembiasan sehingga lintasannya tidak lurus, line of sight, melainkan melengkung. Pembiasan bergantung pada jumlah elektron bebas sepanjang lintasan yang berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik. Jumlah elektron sepanjang penjalaran signal disebut Total Electron Content, TEC.

Perpanjangan lintasan karena pembiasan menjadikan waktu tempuh lebih besar dari waktu tempuh bila signal merambat lurus. Selisih waktu tempuh dari kedua lintasan tersebut dinamakan waktu tunda. Kesalahan jarak satelit ke penerima di bumi adalah hasil perkalian waktu tunda dengan kecepatan cahaya. Hubungan waktu tunda dengan selisih jarak dan TEC diperlihatkan pada persamaan di bawah:

$$\tau = \Delta r / c = 1/c \int (1 - c/v) dl \tag{2}$$

$$\tau = \Delta r / c = 1/c \int (1 - n) dl$$

$$\tau = 40,3 / cf^2 \int N dl$$

$$\tau = 40,3 / cf^2 \text{TEC} \tag{3}$$

$$\text{TEC} = \int N dl$$

$$\text{TEC} = \sum N_i h_i \tag{4}$$

dengan:  $v$  = kecepatan gelombang elektromagnetik di lapisan ionosfer  
 $N_i$  = kerapatan elektron elemen ke-i lapisan ionosfer  
 $h_i$  = tebal elemen ke-i lapisan ionosfer

Dari persamaan (1) dan persamaan (3) dan dengan cara pendekatan, hubungan TEC dengan  $f_oF_2$  dapat dituliskan,

$$\begin{aligned} \text{TEC} &\propto (f_oF_2)^2, \text{ atau} & 5 \\ \text{TEC} &= d N_m F_2 \end{aligned}$$

dengan  $N_m F_2$  adalah konsentrasi elektron maksimum lapisan  $F_2$ . Konstanta perbandingan kedua besaran tersebut, yaitu  $d$ , dinamakan ketebalan ionosfer atau ionospheric slab thickness, (Goodwin, et.al.,1994).

Lapisan ionosfer yang terletak di permukaan bumi mulai dari ketinggian 50 sampai dengan ketinggian di atas 1000 km terdiri dari lapisan D (50-90 km), lapisan E (90-140 km) dan lapisan F (140-1000 km, bahkan lebih tinggi dari 1000 km) dengan kerapatan masing-masing sangat berbeda. Menurut Tyagi et.al (1977), pada waktu matahari tenang, kerapatan elektron rata-rata ditunjukkan pada tabel di bawah.

LAPISAN	TINGGI (km)	TEBAL (km)	KERAPATAN (el/m <sup>3</sup> )	T E C (TECU)
F	140-1000	860	0,75 E12	42.5
E	90-140	50	10E11	0.5
D	50-90	40	10E10	0.04
TEC Total				43.04

Berdasarkan ketebalan dan kerapatan elektron tersebut, TEC di lapisan ionosfer (lapisan D,E, dan F) sebesar 43,04 TECU, sedangkan TEC lapisan F sama dengan 42,5 TECU, sehingga TEC lapisan ionosfer di dominasi oleh TEC lapisan F ionosfer.

### 3. Pengamatan Frekuensi Kritis dan TEC

Gelombang elektromagnetik pita HF, 3 - 30 MHz, yang dipancarkan tegak lurus ke lapisan ionosfer akan dipantulkan oleh lapisan itu pada ketinggian tertentu ketika frekuensi plasma di titik itu sama dengan frekuensi signal datang. Gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh pemancar sebuah ionosonda dan gelombang pantul diterima oleh penerima ionosonda yang sama. Frekuensi dari pita frekuensi di sapu dengan kelajuan 250 KHz per second, sehingga interval waktu pancaran kurang lebih 90 detik. Pada umumnya selang interval waktu pancar satu pancaran pertama dengan kedua dan seterusnya adalah 15 menit, dengan demikian dalam satu hari terdapat 96 kali pancaran dan penerimaan.

Informasi yang diperoleh dari ionosonda ini adalah ionogram yang mengandung data frekuensi kritis dan ketinggian lapisan pemantul, salah satu diantaranya adalah frekuensi kritis lapisan  $F_2$  ionosfer atau  $f_oF_2$ . Dalam satu hari diperoleh 96 harga  $f_oF_2$ , yang berasal dari 4 harga setiap jam. Ploting median jam-an  $f_oF_2$  terhadap waktu menggambarkan profil harian  $f_oF_2$ .

Untuk mengetahui perilaku ionosfer lintang rendah di atas Indonesia, LAPAN Bandung melakukan pengamatan ionosfer dengan jaringan ionosonda tipe IPS diantaranya adalah stasiun ionosonda Pameungpeuk (7.38:107.26; 18.07:178.20), Tanjungsari (6.50:107.57; 18.02:178.42) yang sampai saat ini masih beroperasi. Stasiun ionosonda lainnya adalah stasiun ionosonda Tangerang (6.10:106.38; 17.21:177.20) yang tidak beroperasi lagi.

Pengamatan Total Electron Content, TEC, dilakukan di Bandung (6.55:107.326; 18.07,178.20) oleh Communication Research Laboratory, Ministry of Posts and Telecommunication, Jepang bekerjasama dengan ITB yang di mulai pada Nopember 1993. Peralatan yang dipakai adalah penerima GPS tipe Nitsuhi 7633 pada frekuensi band L1, 1670.60 MHz. Sejak Juli 1997 LAPAN Bandung melakukan pengamatan TEC dengan TEC meter yang memiliki frekuensi, 1575.42 Mhz dan 1227.60 MHz. TEC meter di Bandung menerima data dari 6 sampai 9 buah satelit tiap selang waktu 30 detik.

Sesuai dengan topik makalah penyelidikan perilaku lapisan ionosfer untuk penentuan pola variasi TEC di atas kota Bandung diperlukan data pengukuran  $f_oF_2$  simultan dan lengkap dari stasiun ionosonda di atas serta data TEC. Dengan keadaan demikian itu didapat data  $f_oF_2$  Nopember dan Desember 1985 dari stasiun ionosonda Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang. Profil  $f_oF_2$  median ditunjukkan pada gambar 3.1. Data pengamatan TEC yang tersedia dan digunakan sebagai sample adalah data TEC Nopember- Desember 1993 dari CRL. Pada saat yang sama diambil juga data  $f_oF_2$  dari stasiun ionosonda Tanjungsari. Profil TEC dan  $f_oF_2$  digambarkan pada gambar 3.2. Data lainnya adalah data TEC 1-7 Maret 1998 dari LAPAN Bandung diperlihatkan pada gambar 3.3.

#### 4. Analisis Data

Sebagaimana dinyatakan pada bab 2, TEC sepanjang lintasan signal dari kendaraan antariksa ke penerima di bumi didominasi oleh elektron yang terdapat di lapisan F. Kerapatan setiap elemen lapisan berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi kritis. Karena TEC adalah penjumlahan elektron dari elemen-elemen lapisan dari lapisan ionosfer, variasi TEC terhadap waktu akan mengikuti pola atau variasi  $f_oF_2$  sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.2.

Pola harian  $f_oF_2$  dan TEC yang berbentuk sinusoidal mengandung beberapa parameter yang menjadi karakteristik bentuk sinusoidal dimaksud. Parameter itu adalah konstanta yaitu harga minimum, amplitudo atau harga maksimum, interval waktu kenaikan (rising time) dan perioda. Masing-masing parameter itu dinyatakan oleh besaran K, A,  $T_r$  dan  $T_o$ . Besaran ini terlihat pada gambar 3.1, 3.2, dan 3.3. Interval waktu kenaikan dapat dilihat dari ketiga gambar itu namun lebih jelas dari gambar 3.1. Interval waktu kenaikan adalah 6.5 jam dari waktu kurva mulai naik pukul 5.30 dan hampir mencapai maksimum pukul 12.00. Kurva hampir konstant dari pukul 13.00 hingga pukul 15.00, kemudian disusul dengan interval waktu penurunan. Perulangan bentuk sinusoidal terjadi setiap 24 jam seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 dan gambar 3.3, sehingga perioda sinusoidal  $T_o$  sama dengan 24 jam.

Berdasarkan perilaku harian atau profil waktu (time profile), peramaan TEC di Bandung dinyatakan dalam persamaan:

$$TEC = K + A (\text{SIN}^2(\pi/4T_r)t_i + 2 \text{COS}^2(\pi/T_o)t_i)$$

Harga konstanta,  $K$ , dan amplitudo  $A$  ditentukan oleh harga ekstrim minimum dan maksimum. Harga konstanta  $K$  biasanya dikatakan komponen DC yang berasal dari direct current berkombinasi dengan alternating current, AC.

Persamaan TEC di atas digunakan untuk menghitung TEC Nopember-Desember 1993 dan 1-7 Maret 1998. Hasil perhitungan tersebut adalah:

- a. TEC Nopember-Desember 1993, tabel 4.1 dan gambar 4.1:  
 $K = 8$ ,  $A = 35$ .  
 Simpangan relatif maksimum dan rata-rata masing-masing 25 % dan 8 %.
- b. TEC 1 Maret 1998, tabel 4-2 dan gambar 4.2:  
 $K = 30$ ,  $A = 40$ .  
 Simpangan relatif maksimum dan rata-rata masing-masing 12% dan 5%.
- c. TEC 3 Maret 1998, tabel 4.3 dan gambar 4.3:  
 $K = 30$ ,  $A = 40$ .  
 Simpangan relatif maksimum dan rata-rata masing-masing 18% dan 8.7%.
- d. TEC 1-7 Maret 1998, tabel 4.4 dan gambar 4.4:  
 $K = 30$ ,  $A = 45$ .  
 Simpangan relatif maksimum dan rata-rata masing-masing 25% dan 11.6%.

Simpangan relatif dihitung berdasarkan persamaan:

$$SR = \frac{ABS((TEC \text{ Pengamatan} - TEC \text{ Hitungan}) / TEC \text{ Pengamatan}) \times 100\%}{}$$

## 5. Pembahasan

Perilaku variasi harian  $f_oF_2$  dan TEC yang berbentuk sinusoidal ditentukan oleh parameter  $K$ , amplitudo  $A$ , interval waktu kenaikan dan perioda. Pengambilan interval waktu kenaikan profil  $f_oF_2$  dari ketiga stasiun ionosonda Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang dilakukan karena:

- a. Informasi ionosfer dari satu stasiun ionosonda adalah informasi dari ionosfer di atas stasiun ionosfer tersebut dengan luas cakupan suatu daerah berdiameter 1000 km arah timur-barat dan 600 km arah utara-selatan, sesuai dengan anomali ionosfer. Oleh karena itu ionosfer di atas Bandung berada dalam cakupan ionosfer di atas ketiga stasiun tersebut.
- b. Penurunan variasi TEC terhadap waktu ditujukan hanya untuk daerah Bandung dan sekitarnya sesuai dengan keterbatasan data TEC yang tersedia.
- c. Data  $f_oF_2$  bulan Nopember dan Desember 1985 adalah data lengkap dan simultan dari stasiun ionosonda Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang. Tahun 1985 mendekati tahun minimum siklus ke-22 yang terjadi pada tahun 1986. Bilangan sunspot rata-rata tahun 1985 sama dengan 17.9, dan tahun 1986 adalah 13.4. Bilangan sunspot bulan Nopember dan Desember 1985 masing-masing 16.2 dan 17.3. Dengan demikian bulan Nopember dan Desember adalah bagian dari bulan matahari minimum atau matahari dalam

keadaan tenang. Pada waktu matahari tenang, intensitas radiasi pengionisasi, sinar UV tidak variatif tetapi berubah secara lambat sehingga  $f_oF_2$  ionosfer tidak cepat berubah, seperti ketika matahari dalam keadaan matahari aktif. Variasi  $f_oF_2$  yang lambat memudahkan penentuan interval waktu kenaikan  $f_oF_2$  dan TEC. Waktu kenaikan dan waktu perulangan bentuk sinusoidal masing-masing sebesar 6.5 jam dan 24 jam.

- d. Terbatasnya data TEC pengamatan pada waktu matahari tenang serta kesediaan data di lintang rendah seperti Bandung, maka TEC Nopember-Desember 1993 yang diperoleh dari CRL, dan TEC yang diamati bulan Maret tahun 1998 di LAPAN Bandung digunakan sebagai sampel penyelidikan. Aktivitas matahari (dinyatakan oleh nilai bilangan sunspot, R) pada waktu pengamatan Nopember 1993 dan Maret 1998 masing-masing sebesar 35.6 dan 48.9. Menurut besarnya bilangan sunspot tersebut aktivitas matahari masih di bawah kondisi aktivitas moderat dan termasuk dalam masa matahari tenang. Namun harga TEC ekstrim pada kedua bulan itu berbeda, gambar 3.2 dan gambar 3.3. Pada bulan Nopember 1993 TEC minimum sekitar 10 TECU (1 TECU =  $10^{16}$  elektron  $\text{cm}^{-2}$ ) dan maksimum lebih kecil dari 45 TECU. Pada bulan Maret 1998, TEC minimum dan maksimum masing-masing sekitar 30 TECU dan kurang dari 80 TECU. Keadaan aktivitas matahari pada kedua tahun itu berbeda. Tahun 1985 adalah aktivitas matahari menuju minimum dari siklus ke-22 sedangkan tahun 1998 menuju aktivitas matahari maksimum, tahun 1999-2000 dari siklus ke-23 siklus aktivitas matahari (1996-2006).

Dari hasil TEC perhitungan dan data TEC pengamatan, simpangan relatif di bawah 25 % dan simpangan relatif rata-rata 9 % maka persamaan TEC tersebut cukup baik dibandingkan dengan model TEC yang sudah pernah dibuat dengan simpangan yang sama, (Klobuchar 1987).

Biasanya pengamatan  $f_oF_2$  dan TEC dilakukan terus menerus selama 24 jam. Dari pengamatan sebelumnya dan awal pengamatan harga DC atau K dapat diperkirakan. Harga A ditentukan dari harga TEC maksimum pengamatan sebelumnya. Dengan demikian persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan atau prakiraan TEC 24 jam ke muka.

Kerapatan elektron di ionosfer bergantung pada waktu, musim, aktivitas matahari dan lintang. Karena persamaan digunakan untuk lokal atau regional maka yang perlu dilakukan pada penyelidikan selanjutnya adalah mencari hubungan K dan A dengan bilangan sunspot atau fluks 10.7 cm sebagai indeks aktivitas matahari.

## 6. Kesimpulan

Perubahan TEC terhadap waktu atau variasi harian TEC menunjukkan bentuk yang sinusoidal. Bentuk itu dinyatakan oleh kombinasi kuadrat sinus dan cosinus dan konstanta K dan A serta perioda dan interval waktu kenaikannya. Persamaan ini telah digunakan untuk menghitung harga TEC dari TEC yang sudah diamati. Simpangan relatif tertinggi adalah 25% yang hanya terjadi pada sebagian kecil data pengamatan, tetapi sebagian besar simpangan relatif jauh lebih kecil dari harga itu.

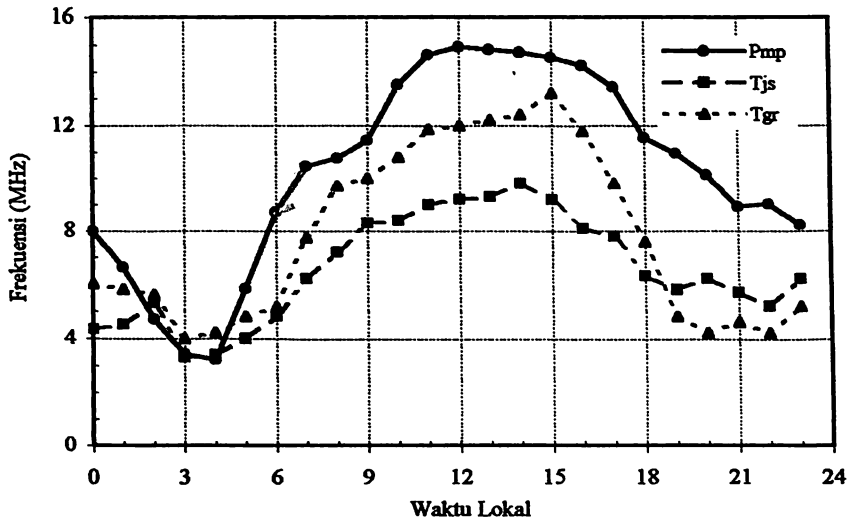
Untuk mengoperasikan persamaan ini data pendukung yang diperlukan adalah data pengamatan sebelumnya. Dengan demikian persamaan dapat digunakan untuk prakiraan atau prediksi TEC 24 jam ke depan.

Karena A dan K bergantung pada musim dan aktivitas matahari untuk lintang tertentu maka hubungan kedua besaran tersebut dengan musim dan indeks aktivitas matahari masih diperlukan.

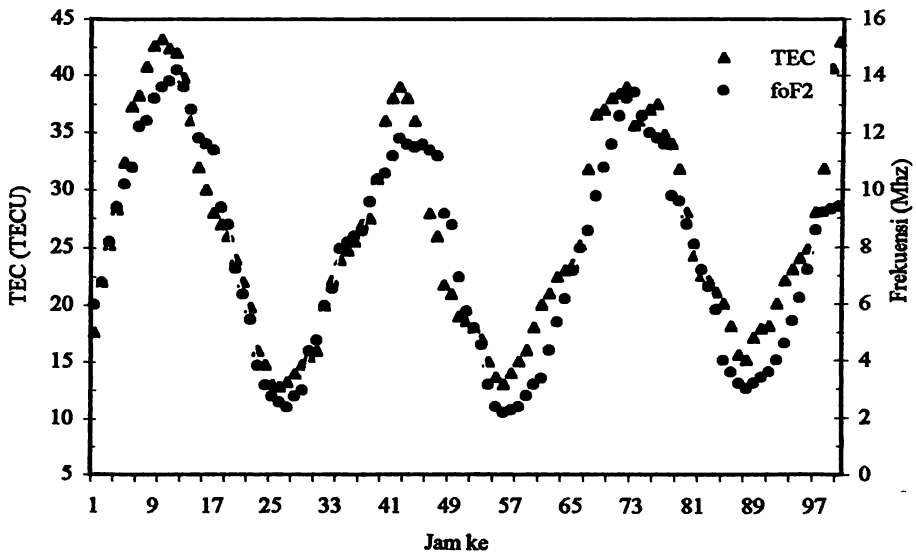
### Daftar Rujukan

- Abidin H.Z.,(1995), "Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya", PT Pradya Paramita Jakarta.
- Goodwin G.L., Silby J.H., Lynn K.J.W., Breed A.M., and A.S. Essex, (1995), "Ionospheric slabthickness measurement using GPS satellittes in Southern Australia", *Adv. Space Res.* Vol.15, No.2 pp 125-135.
- Hunsucker R.D.,(1991), "Radio Techniques for Probing the Terrestrial Ionosphere" Springer Verlag Berlin, pp8-13 and 47-49.
- Klobuchar J.A., (1987), "Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Sytems*, Vol AES-23, No.3, 1987, 332-338.
- Klobuchar J.A., (1998), "Modern TEC measurement Techniques", *World Ionospheric/Thermosphere Study with Hand Book*, Vol 2, pp.1137-147.
- Tyagi T. R.,(1977), *Indian J.Radio Space Physic*, Vol. 16, p. 241
- Reports of experiments in the 1993 fiscal year March,1994, Ministry of Posts and Telecommunication Research and Development Center for Radio Science System , p.35.

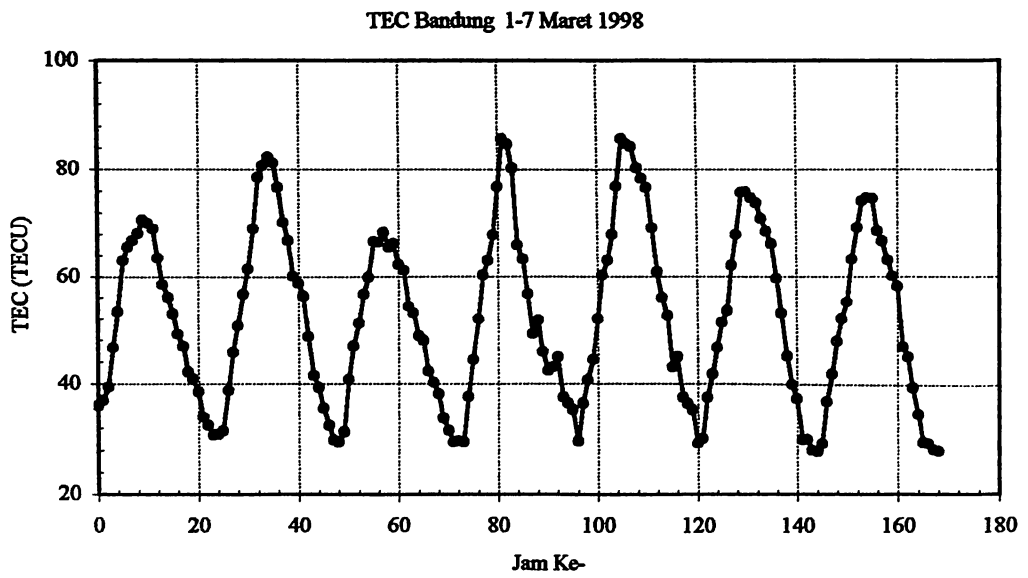




Gambar 3.1: Profil median foF2 Nopember dan Desember 1985 di atas Pameungpeuk, Tanjungsari dan Tangerang



Gambar 3.2: Profil median TEC di Bandung dan median foF2 Tanjungsari, Nopember dan Desember 1993



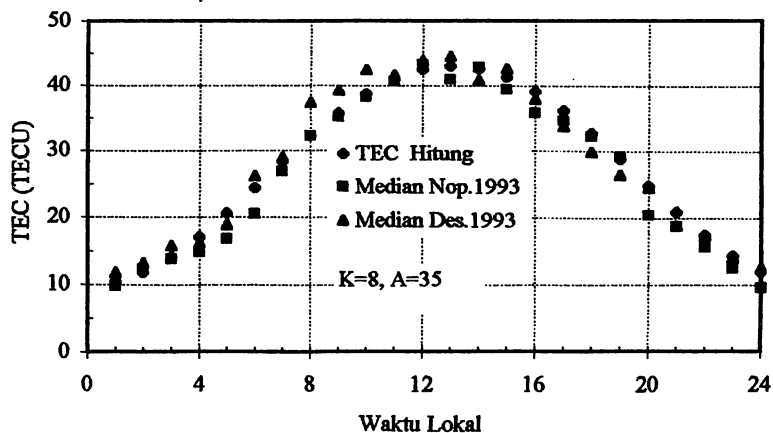
Gambar 3.3: Variasi TEC Bandung 1-7 Maret 1998

Tabel 4.1: TEC pengamatan, perhitungan dan simpangan, Nop-Des 1993

Jam Ke	Total Electron Content						
	TEC Hitung	Median		SA		SR(%)	
		Nop.1993	Des.1993	Nop.1993	Des.1993	Nop.1993	Des.1993
1	10.47444402	9.8	11.8	0.674444	1.325556	6.88208185	11.233525
2	11.87054495	12.4	13.2	0.529455	1.329455	4.26979875	10.071629
3	14.10816869	13.8	15.8	0.3081687	1.6918313	2.23310644	10.707793
4	17.05886693	14.8	16.2	2.2588669	0.8588669	15.2626144	5.3016477
5	20.55323352	16.8	18.9	3.7532335	1.6532335	22.3406757	8.7472673
6	24.3906081	20.5	26.1	3.8906081	1.7093919	18.9785761	6.5493943
7	28.35057286	26.8	28.9	1.5505729	0.5494271	5.78571962	1.901132
8	32.20558552	32.2	37.3	0.0055855	5.0944145	0.01734635	<b>13.657948</b>
9	35.73402629	35.1	39.2	0.6340263	3.4659737	1.8063427	8.8417697
10	38.73291269	38.2	42.4	0.5329127	3.6670873	1.3950594	8.6487908
11	41.02955462	40.6	41.6	0.4295546	0.5704454	1.05801631	1.3712629
12	42.4914818	43.2	43.8	0.7085182	1.3085182	1.64008841	2.9874845
13	43.03407417	40.9	44.5	2.1340742	1.4659258	5.21778527	3.2942153
14	42.6254564	42.8	40.8	0.1745436	1.8254564	0.40781215	4.4741578
15	41.28837367	39.4	42.6	1.8883737	1.3116263	4.79282657	3.0789351
16	39.09893809	35.8	37.9	3.2989381	1.1989381	9.21491087	3.163425
17	36.18231402	34.6	33.7	1.582314	2.482314	4.57316192	7.365917
18	32.70558552	32.2	29.8	0.5055855	2.9055855	1.57014138	9.750287
19	28.86821095	29.1	26.4	0.2317891	2.4682109	0.79652595	9.3492839
20	24.8906081	20.5	24.6	4.3906081	0.2906081	21.4176005	1.1813337
21	21.00152126	18.8	18.9	2.2015213	2.1015213	11.7102195	11.11916
22	17.42489234	15.7	17.4	1.7248923	0.0248923	10.9865754	0.1430594
23	14.36698773	12.5	14.1	1.8669877	0.2669877	14.9359019	1.89353
24	12.00451955	9.6	12.5	2.4045196	0.4954804	<b>25.0470787</b>	3.9638436

Simpangan Rata-rata: **8.01416525** **6.1998663**

Gambar 4.1 : TEC pengamatan dan perhitungan Nopember dan Desember 1993

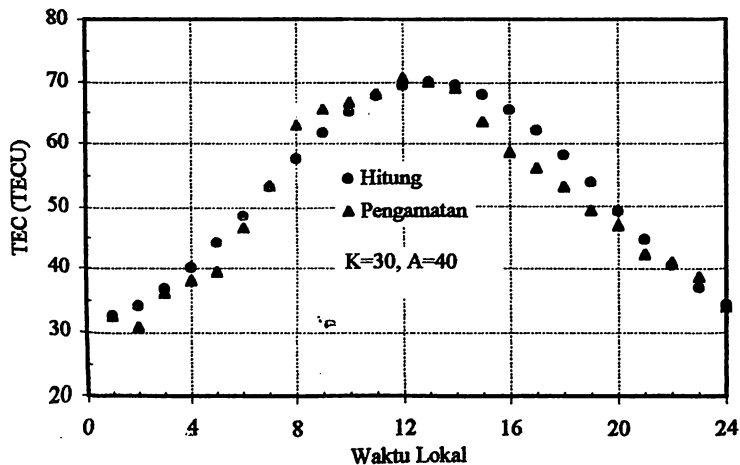


Tabel 4.2: TEC pengamatan, perhitungan dan simpangan

1 Maret 1998

Jam ke	Total Electron Content			
	Hitung	Pengamatan	SA	SR (%)
1	32.54708948	32.53	0.017089478	0.052534515
2	34.15690489	30.81	3.346904891	10.86304736
3	36.73689182	36.12	0.616891818	1.707895398
4	40.13870507	37.98	2.158705065	5.683794274
5	44.1667213	39.38	4.786721304	12.155209
6	48.58926639	46.63	1.959266395	4.201729348
7	53.15191456	53.44	0.28808544	0.539082036
8	57.59209774	62.97	5.377902259	8.540419659
9	61.65418815	65.51	3.855811847	5.885837043
10	65.10418956	66.73	1.62581044	2.43640108
11	67.74319469	68.03	0.286805313	0.421586525
12	69.41883635	70.59	1.171163651	1.659107029
13	70.03407417	70	0.034074174	0.048677391
14	69.55281094	68.98	0.572810945	0.830401486
15	68.00201373	63.44	4.562013732	7.191068304
16	65.47021496	58.53	6.940214963	11.85753454
17	62.10247589	56	6.10247589	10.89727837
18	58.09209774	53	5.092097741	9.607731587
19	53.66955265	49.19	4.47955265	9.106632751
20	49.08926639	46.79	2.299266395	4.914012385
21	44.61500904	42.17	2.44500904	5.797982073
22	40.50473047	40.98	0.475269531	1.159759714
23	36.99571086	38.63	1.634289137	4.230621634
24	34.29087949	33.94	0.350879487	1.033822884
	Simpangan Rata-Rata:		2.519962983	5.034256933

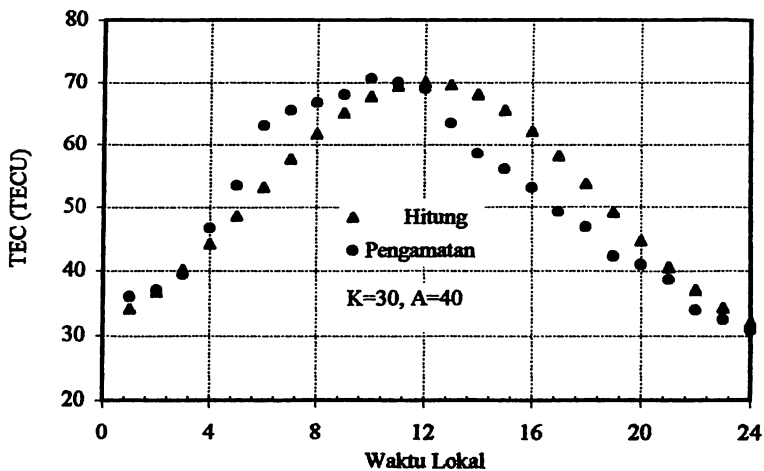
Gambar 4.2: TEC pengamatan dan perhitungan 1 Maret 1998



Tabel 4-3: TEC Pengamatan dan Perhitungan, dan Simpangan  
3 Maret 1998

Total Electron Content				
Jam ke	Hitung	Pengamatan	Simp. Abs	Simp. Rel (%)
1	34.16	36	1.84	5.119708637
2	36.74	37	0.26	0.711103195
3	40.14	39.38	0.76	1.926625356
4	44.17	46.63	2.46	5.282604966
5	48.59	53.44	4.85	9.068463751
6	53.15	62.97	9.82	15.59168722
7	57.59	65.51	7.92	12.08655512
8	61.65	66.73	5.08	7.606491603
9	65.10	68.03	2.93	4.300765016
10	67.74	70.59	2.85	4.032873372
11	69.42	70.00	0.58	0.830233788
12	70.03	68.98	1.05	1.528086654
13	69.55	63.44	6.11	9.635578412
14	68.00	58.53	9.47	16.1831774
15	65.47	56.00	9.47	16.91109815
16	62.10	53.00	9.10	17.17448281
17	58.09	49.19	8.90	<b>18.09737292</b>
18	53.67	46.79	6.88	14.7030405
19	49.09	42.17	6.92	16.40803034
20	44.62	40.98	3.64	8.870202636
21	40.50	38.63	1.87	4.853042892
22	37.00	33.94	3.06	9.00327302
23	34.29	32.53	1.76	5.413094027
24	32.00	30.81	1.19	3.862382343
Simpangan Rata-rata:			4.53	<b>8.716665589</b>

Gambar 4.3 : TEC pengamatan dan perhitungan 3 Maret 1998



Tabel 4.4: TEC median 1-7 Maret 1988, perhitungan dan simpangan

Jam ke	TEC	Hitung	Median	Absolut	Simpangan		TEC Maret 1998 dan Tanggal						
					Relatif	1	2	3	4	5	6	7	
1		32.61973493	29.725	2.894734994	9.778384976	36	30.93	29.59	29.73	29.73	29.37	27.89	
2		34.44326483	31.39	3.053264827	9.726871063	37	31.59	31.39	29.63	36.57	30.24	29.39	
3		37.36561495	38.875	1.509385053	3.882662515	39.38	38.88	40.84	37.78	40.78	37.60	37.00	
4		41.2185432	44.45	3.231456801	7.26986907	46.63	45.80	47.00	44.45	44.45	41.91	41.94	
5		45.78020909	51.04	5.259790913	10.30522298	53.44	50.73	51.04	51.86	51.86	46.63	47.98	
6		50.78792469	56.72	5.932075306	10.45852487	62.97	56.62	56.72	60.14	60.14	51.26	52.11	
7		55.95325626	61.355	5.401743739	8.804080742	65.51	61.36	59.82	62.84	62.84	53.37	55.15	
8		60.97860996	66.73	5.751390042	8.61889711	66.73	68.98	66.52	67.66	67.66	62.05	63.17	
9		65.57435002	68.99	3.41564998	4.950934889	68.03	78.53	66.41	76.76	76.76	67.75	68.99	
10		69.47546643	68.47	1.00546643	1.468477333	63.44	76.67	62.14	65.71	80.18	73.62	68.47	
11		72.45683475	74.67	2.213165249	2.963928283	68.98	81.24	66.14	80.18	84.20	74.67	74.55	
12		74.34619089	75.54	1.193809108	1.580366836	70.59	80.65	68.22	85.71	85.71	75.54	74.07	
13		75.03407417	75.73	0.695925826	0.918956591	70.00	82.28	65.37	84.65	84.65	75.73	74.59	
14		74.48016549	66.6	7.880165488	11.83208031	58.53	70.15	61.02	63.05	78.25	70.69	66.60	
15		72.7156538	63.095	9.620653796	15.2478862	56.00	66.68	54.40	56.63	76.63	68.28	63.10	
16		69.84149183	60.02	9.821491834	16.36369849	53.00	60.12	52.97	49.12	68.90	66.00	60.02	
17		66.02263776	58.135	7.887637756	13.56779523	49.19	58.74	48.81	51.62	60.79	59.60	58.14	
18		61.47860996	52.98	8.498609958	16.0411664	54.79	56.26	47.89	48.83	55.83	52.98	46.96	
19		56.47089435	45.17	11.30089435	25.01858391	45.17	48.62	42.30	42.41	52.41	45.12	45.19	
20		51.28792469	40.98	10.30792469	25.15354977	40.98	41.63	40.26	43.02	43.02	40.01	39.54	
21		46.22849682	38.63	7.598496823	19.66993741	38.63	39.34	38.21	44.85	44.85	37.51	34.65	
22		41.5845686	33.94	7.644568602	22.52377314	33.94	35.63	33.80	37.59	37.59	30.12	29.64	
23		37.62443399	32.53	5.094433992	15.66072546	32.53	32.56	31.60	36.46	36.46	30.10	29.31	
24		34.57723942	29.93	4.647239423	15.52702781	30.81	29.93	29.53	35.42	35.42	28.10	28.27	
			Rata-rata:	5.494165622	11.53389214								

Gambar 4.4: TEC Median 1-7 Maret 1998 dan perhitungan

