

## **PENENTUAN INDEKS IONOSFER “T” REGIONAL (DETERMINATION OF REGIONAL IONOSPHERE INDEX “T”)**

**Sri Suhartini, Septi Perwitasari, Dadang Nurmali**

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusat Sains Antariksa, LAPAN

e-mail: srilpnbdg@yahoo.com

### **ABSTRACT**

F2 layer critical frequency ( $f_oF_2$ ), is varied following the sunspot numbers variation. The sunspot numbers can be compared with  $f_oF_2$  to use as MUF predictors, but the ionosphere condition is not only related to sunspot numbers. As the solution it is used the ionosphere index (T index) derived from the ionosphere observations results during some solar cycles in various places and connect them with sunspot numbers. In this research we derived the T regional index determination methods, assuming that the relationship between  $f_oF_2$  with sunspot number is linear. The value of  $f_oF_2$  used is the monthly median average, while the sunspot numbers is annual average (R12). By several times calculation using different weighted sunspot number value, it obtains different linear equation between  $f_oF_2$  and T index. This method was derived using data  $f_oF_2$  Tanjungsari 1998 until 2008, and Vanimo in 1986 up to 2009 that each represent areas of Western and eastern Indonesia. The results was a linier equation between  $f_oF_2$  and indeks T for both area every month. The calculation results using these methods showed that regional T index of Tanjungsari as well as Vanimo had characteristics that in accordance with the global T index as well as R12 T index, with the regional T index value > the global T index for both places.

Key words: *Critical frequency, Sunspot number, T index*

### **ABSTRAK**

Frekuensi kritis lapisan F2 ( $f_oF_2$ ), bervariasi mengikuti variasi bilangan *sunspot*. Bilangan *sunspot* bisa dibandingkan dengan  $f_oF_2$  dan digunakan sebagai prediktor MUF, tetapi kondisi ionosfer tidak hanya berkaitan dengan bilangan *sunspot*. Sebagai solusinya digunakan indeks ionosfer (indeks T) yang diturunkan dari hasil pengamatan ionosfer selama beberapa siklus matahari dari berbagai tempat dan menghubungkannya dengan bilangan *sunspot*. Dalam kegiatan ini diturunkan metode penentuan indeks T regional, dengan asumsi bahwa hubungan antara nilai  $f_oF_2$  dengan bilangan *sunspot* linier. Nilai  $f_oF_2$  yang digunakan adalah rata-rata median bulanan, sedangkan bilangan *sunspot* adalah rata-rata tahunan (R12). Dengan beberapa kali perhitungan menggunakan pembobotan nilai bilangan *sunspot* yang berbeda, diperoleh persamaan linier antara  $f_oF_2$  dengan indeks T. Metode ini diturunkan menggunakan data  $f_oF_2$  Tanjungsari tahun 1998 sampai dengan 2008, dan Vanimo tahun 1986 sampai dengan 2009 yang masing-masing mewakili wilayah Indonesia Barat dan Timur. Hasilnya adalah persamaan linier antara  $f_oF_2$  dengan indeks T untuk kedua lokasi setiap bulan. Hasil perhitungan menggunakan metode tersebut menunjukkan bahwa indeks T regional Tanjungsari maupun Vanimo mempunyai karakteristik yang sesuai dengan indeks T global maupun R12, dengan nilai indeks T regional > indeks T global untuk kedua tempat.

Kata kunci: *Frekuensi kritis, Bilangan sunspot, Indeks T*

## 1 PENDAHULUAN

Lapisan ionosfer adalah bagian dari atmosfer bumi yang terbentuk karena adanya proses ionisasi partikel netral yang ada pada ketinggian antara 60 sampai 1000 km oleh radiasi sinar x dan sinar *extreme ultra violet* yang berasal dari matahari (Risbeth dkk, 1969). Ionosfer terdiri dari 4 lapisan, yaitu: Lapisan D (ketinggian 60 - 80 km); Lapisan E (ketinggian 80 - 160 km); Lapisan F1 (ketinggian 160 - 210 km); dan Lapisan F2 (ketinggian > 210 km).

Oleh karena energi yang digunakan untuk pembentukannya berasal dari sinar matahari, maka proses pembentukan lapisan ionosfer hanya terjadi pada siang hari. Selain proses pembentukan, di ionosfer terjadi juga proses penghancuran, yaitu proses penggabungan kembali ion dan elektron menjadi partikel netral, sehingga jumlah elektron dan ion berkurang. Proses penghancuran ini tidak memerlukan energi matahari, sehingga dapat berlangsung baik siang maupun malam. Oleh karena itu semakin malam, kerapatan elektron semakin berkurang. Lapisan ionosfer sangat bermanfaat dalam komunikasi radio HF karena lapisan inilah yang memantulkan gelombang radio sehingga komunikasi dapat dilakukan untuk jarak yang sangat jauh. Kemampuan ionosfer dalam memantulkan gelombang radio tergantung pada kerapatan elektron di lapisan-lapisannya. Semakin tinggi kerapatan elektron, semakin tinggi pula frekuensi yang dapat dipantulkan. Dari semua lapisan, lapisan F2 yang letaknya paling tinggi juga mempunyai kerapatan elektron paling tinggi sehingga mampu mengembalikan gelombang radio HF dengan frekuensi yang paling tinggi juga. Oleh karena itu, frekuensi maksimum lapisan F2 (disebut frekuensi kritis lapisan F2 atau foF2) digunakan sebagai acuan penentuan *Maximum Usable Frequency* (MUF) yaitu prediksi frekuensi maksimum untuk komunikasi radio HF antara dua tempat

tertentu pada waktu tertentu. Karakteristik lapisan F2 ionosfer sangat berkaitan dengan tingkat aktivitas matahari yang biasa diwakili dengan bilangan *sunspot*. Semakin tinggi bilangan *sunspot*, semakin tinggi foF2, berarti semakin tinggi juga MUF. Tetapi kondisi ionosfer tidak hanya berkaitan dengan bilangan *sunspot* sehingga bilangan *sunspot* kurang tepat digunakan sebagai prediktor MUF. Oleh karena itu dibuat indeks yang menggantikan bilangan *sunspot* untuk menyatakan hubungan antara kondisi ionosfer dengan aktivitas matahari. Salah satu indeks tersebut dinamakan indeks T. Indeks T adalah indikator frekuensi tertinggi yang dapat dikembalikan oleh ionosfer. Semakin tinggi indeks T, semakin tinggi juga frekuensi yang dapat dikembalikan oleh ionosfer. Indeks T diturunkan berdasarkan nilai foF2 yang diperoleh dari ionogram yang merupakan data pengamatan ionosfer menggunakan ionosonda ([http://www.ips.gov.au/HF\\_Systems/1/6](http://www.ips.gov.au/HF_Systems/1/6)).

Semakin bertambahnya jenis prediksi frekuensi komunikasi yang diperlukan, terutama dari satuan-satuan TNI-POLRI, misalnya untuk komunikasi antara satu titik tetap dengan obyek bergerak dalam kegiatan operasional TNI-AL, memerlukan prediksi frekuensi jangka pendek. Untuk itu diperlukan indeks T yang sesuai dengan kondisi ionosfer di wilayah Indonesia, yaitu indeks T regional Indonesia. Sampai saat ini data pengamatan ionosfer di Tanjungsari (6,54 °LS, 107,55 °BT) telah terkumpul selama sekitar 13 tahun dan telah mencakup satu siklus matahari. Data ini dianggap dapat mewakili wilayah Indonesia bagian barat, sedangkan untuk mewakili wilayah Indonesia bagian timur digunakan data dari Vanimo (2,70 LU; 141,30 BT) yang terletak di perbatasan Indonesia dengan Papua Nugini dan datanya telah tersedia cukup panjang. Berdasarkan data-data yang ada, akan diturunkan metode penentuan indeks T regional untuk wilayah Indonesia.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pembentukan lapisan ionosfer terjadi karena proses ionisasi, dengan sumber energi dari radiasi matahari, terutama sinar ekstrem ultra violet (EUV) dan sinar X. Oleh karena itu proses ini terjadi hanya pada siang hari. Proses lainnya adalah rekombinasi yang merupakan proses penghancuran, dan proses transport. Laju perubahan kerapatan elektron dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - l(N) - \text{div}(NV) \quad (2-1)$$

Keterangan:

- $q$  = Pembentukan elektron, yang berkaitan dengan radiasi matahari,  
 $l(N)$  = Penghancuran dan  
 $\text{div}(NV)$  = Perubahan karena proses transport.

Ketika aktivitas matahari tinggi, radiasi yang dipancarkan matahari juga tinggi. Akibatnya pembentukan elektron meningkat, sehingga kerapatan elektron menjadi lebih tinggi (Rishbeth and Garriott, 1969). Dalam hubungannya dengan karakteristik ionosfer, aktivitas matahari seringkali diwakili oleh bilangan *sunspot*. Dalam komunikasi radio HF, yang dapat dikembalikan oleh ionosfer karena gelombang radio HF dapat dikembalikan oleh ionosfer apabila frekuensinya sama dengan frekuensi plasmanya. Frekuensi maksimum yang dapat dikembalikan oleh lapisan ionosfer pada suatu waktu disebut frekuensi kritis. Hubungan antara frekuensi kritis dengan kerapatan maksimum lapisan ionosfer dinyatakan dengan:

$$f_c = 9 \times 10^{-6} N_m^{1/2} \quad (2-2)$$

dengan  $f_c$  dalam MHz dan  $N_m$  dalam elektron/m<sup>3</sup>.

Frekuensi kritis lapisan F2 (foF2) bervariasi mengikuti variasi bilangan *sunspot*. Bilangan *sunspot* bisa digunakan sebagai prediktor foF2, tetapi kondisi ionosfer tidak hanya berkaitan dengan

bilangan *sunspot*. Ada fenomena-fenomena lain yang berpengaruh, misalnya medan magnet bumi dapat merubah kemampuan ionosfer memantulkan sinyal, radiasi EUV yang berperan dalam proses ionisasi variasinya tidak selalu sesuai dengan bilangan *sunspot*, sehingga penggunaan bilangan *sunspot* seringkali kurang tepat, terutama pada saat aktivitas matahari tinggi ([http://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T\\_index.html](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T_index.html)). Sebagai solusinya digunakan indeks ionosfer (indeks T) yang diturunkan dari hasil pengamatan ionosfer selama beberapa siklus matahari dari berbagai tempat dan menghubungkannya dengan bilangan *sunspot*. Indeks T adalah ukuran efek aktivitas matahari pada ionosfer (Solar and Geophysical Summary, 1995). Asumsi yang digunakan adalah bahwa hubungan antara perubahan foF2 dengan bilangan *sunspot* linier. Indeks T global diturunkan menggunakan data dari 16 stasiun pengamatan ionosfer. Metode penentuan indeks T dikembangkan oleh Jack Turner pada tahun 1968 (Caruana, 1989; Turner, 1968), menggunakan data tahun 1938 – 1968. Hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung indeks T dari tahun-tahun tersebut dan memprediksi indeks T bulan-bulan berikutnya.

Koreksi indeks T regional untuk wilayah Indonesia terhadap indeks T global pernah dihitung oleh Jiyo (2005) menggunakan hubungan linear antara indeks T dengan median frekuensi kritis lapisan ionosfer (foF2). Hubungan linear tersebut diturunkan dari paket program prediksi ASAPS dengan menerapkannya untuk Stasiun Pengamat Dirgantara Biak dan Tanjungsari. Dari analisis terhadap selisih antara T regional, yang diasumsikan diwakili oleh indeks T Biak dan Tanjungsari, dengan T global mempunyai harga rata-rata 8 dan simpangan baku 21. Dengan demikian dapat diketahui secara umum harga indeks T regional Indonesia mempunyai perbedaan relatif sebesar 8 angka diatas harga T global. Hasil ini

telah digunakan dalam pelayanan prediksi frekuensi komunikasi rutin untuk berbagai satuan pemerintah daerah, TNI dan Polri sampai saat ini.

### 3 DATA DAN METODE

Dalam penentuan indeks T regional ini data yang digunakan adalah foF2 jam-an dari Loka Pengamatan Dirgantara Sumedang (6,54 °LS, 107,55 °BT) tahun 1998 sampai dengan 2009, dan stasiun pengamatan Vanimo (2,70 LU; 141,30 BT) tahun 1986 sampai dengan 2009. Penentuan indeks T regional dilakukan menggunakan metode Turner. Median bulanan jam-an foF2 dari kedua lokasi dihitung rata-ratanya, kemudian dikorelasikan dengan bilangan *sunspot*. Bilangan *sunspot* yang digunakan adalah rata-rata berjalan 12 bulan bilangan *sunspot* (*twelve-month smoothed sunspot number*: R12), sesuai bulan data foF2. Asumsi yang digunakan adalah bahwa korelasi antara rata-rata median foF2 dengan R12 linier, dan mengikuti persamaan:

$$y = ax + b \tag{3-1}$$

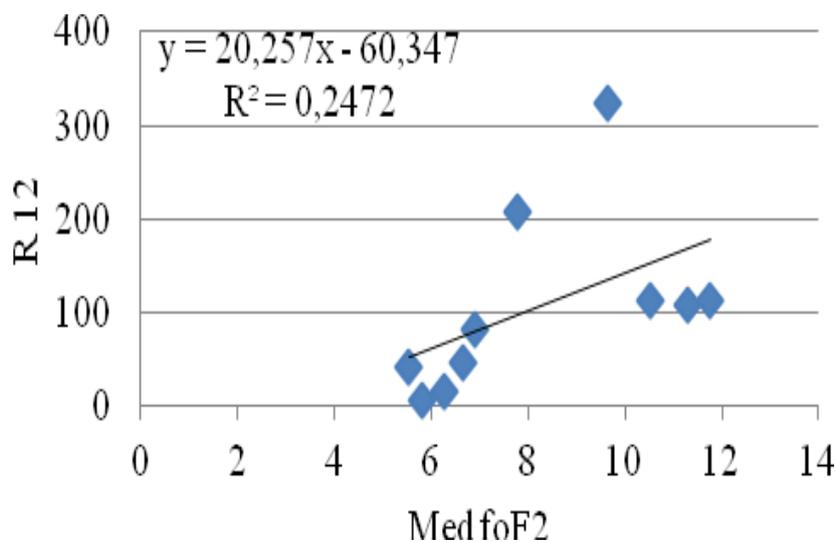
Keterangan:

*y* : Rata-rata berjalan 12 bulan bilangan *sunspot*, atau indeks ionosfer;

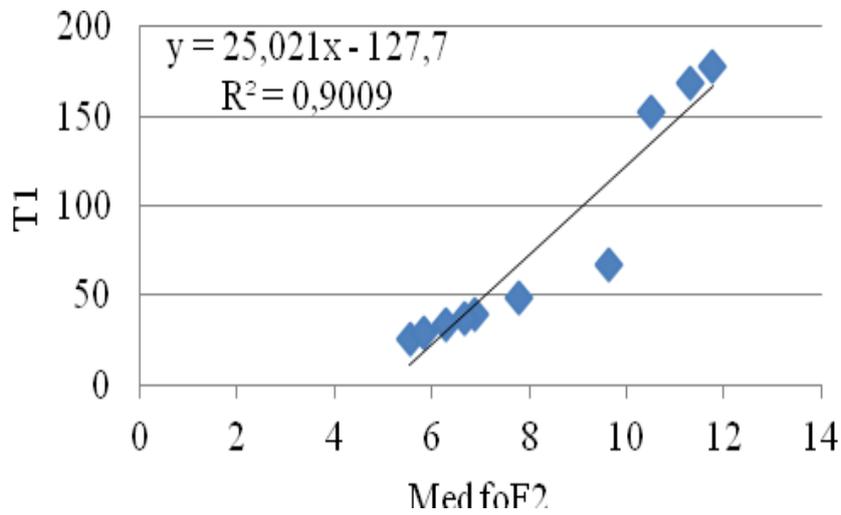
*x* : Rata-rata median bulanan foF2;

*a* dan *b* : Konstanta persamaan linier dari masing-masing perhitungan

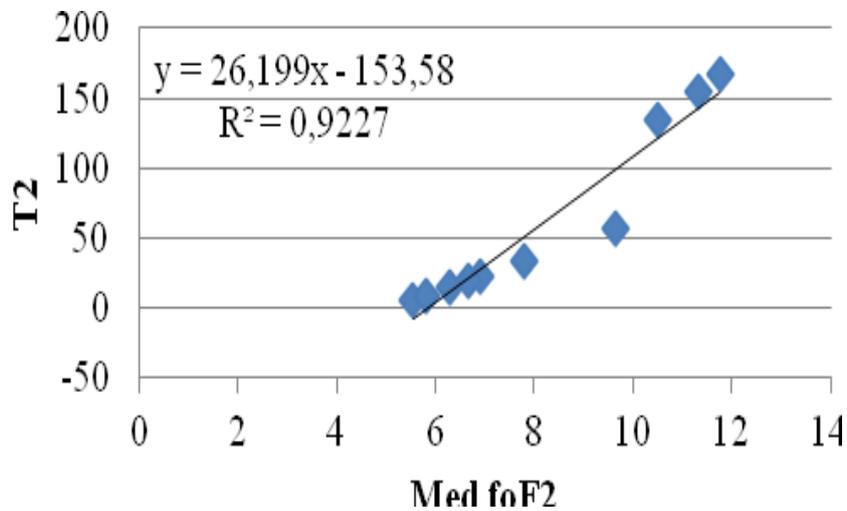
Untuk mendapatkan persamaan linier perhitungan indeks T digunakan metode *least square* untuk masing-masing bulan dan stasiun. Langkah pertama, bilangan *sunspot* yang nilainya < 100 diberi bobot 4. Kemudian ditentukan konstanta-konstanta pada persamaan 3-1 dan dihitung “bilangan *sunspot* terkoreksi” (*y*) dari persamaan tersebut. Proses ini kemudian diulang pada langkah kedua dengan memberikan bobot 2 pada “bilangan *sunspot* terkoreksi” yang nilainya < 100 dan akan diperoleh kumpulan indeks ionosfer baru yang kedua. Langkah ketiga dan keempat dilakukan dengan mengulang proses sebanyak dua kali tetapi tanpa pembobotan terhadap data. Persamaan yang diperoleh terakhir adalah persamaan untuk penentuan indeks T. Contoh proses tersebut secara berurutan diberikan dalam Gambar 3-1 s.d 3-4.



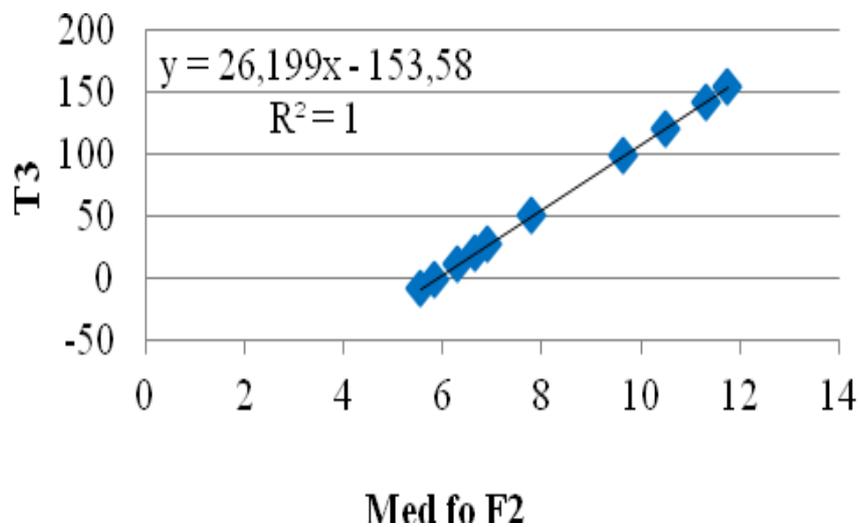
Gambar 3-1: Persamaan linier *y* hasil proses langkah pertama dengan konstanta *a*1 = 20,257, dan *b*1 = -60,347



Gambar 3-2: Persamaan linier y hasil proses langkah kedua dengan konstanta  $a_2 = 25,021$ , dan  $b_2 = -127,7$



Gambar 3-3: Persamaan linier y hasil proses langkah ketiga dengan Konstanta  $a_3 = 26,199$ , dan  $b_3 = -153,58$



Gambar 3-4: Persamaan linier y hasil proses langkah keempat dengan konstanta  $a_4 = 26,199$ , dan  $b_4 = -153,58$

Pada langkah terakhir ini diperoleh persamaan linier yang sama dengan pada langkah ketiga, namun koefisien korelasi ( $R^2$ ) =1. Dengan demikian persamaan linier untuk menghitung indeks T Tanjungsari bulan Januari adalah

$$T=26,199 \times \text{rata-rata median foF2}-153,58 \quad (3-2)$$

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil

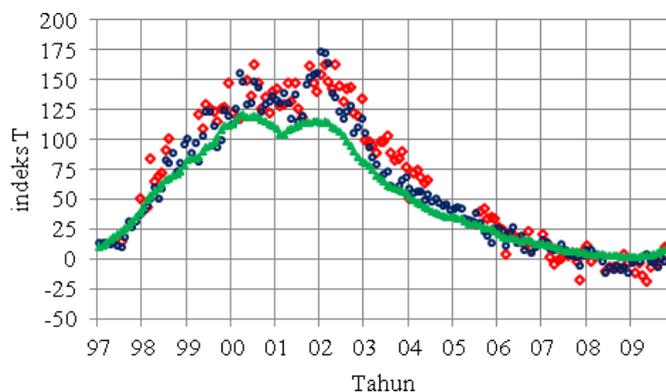
Setelah dilakukan langkah-langkah seperti di atas, diperoleh konstanta a dan b sehingga diperoleh persamaan linier y untuk menghitung indeks T Tanjungsari dan Vanimo bulan Januari sampai

Desember seperti diberikan dalam Tabel 4-1.

Dengan memasukkan konstanta-konstanta tersebut dan nilai rata-rata median foF2 pada bulan yang sama, akan diperoleh nilai indeks T untuk bulan tersebut. Konstanta persamaan linier pada Tabel 4-1 digunakan untuk menghitung indeks T lokal Tanjungsari dan Vanimo, dan hasilnya diplot bersama-sama dengan indeks T global dan R12. Hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 4-1 dan 4-2.

Tabel 4-1: KONSTANTA PERSAMAAN LINIER INDEKS T TANJUNGSARI DAN VANIMO

Bulan	Tanjungsari		Vanimo	
	a	b	a	b
Januari	26.20	-153.58	28,982	-168,09
Februari	25.16	-168.55	29,211	-192,78
Maret	21.52	-157.75	25,75	-187,68
April	21.42	-150.28	24,523	-180,5
Mei	26.48	-160.48	23,992	-149,81
Juni	26.16	-131.39	25,409	-125,97
Juli	24.62	-118.25	24,417	-118,84
Agustus	22.91	-121.58	25,028	-137,99
September	21.13	-128.48	24,913	-152,78
Oktober	24.84	-181.45	21,165	-136,3
November	22.93	-157.85	29,457	-204,53
Desember	25.80	-163.82	27,32	-157,69

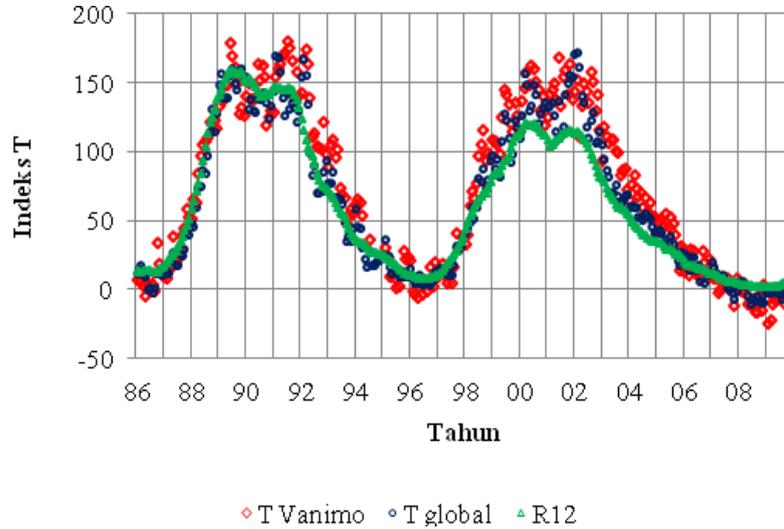


◇ TTjs    ● Tglobal    ▲ R12

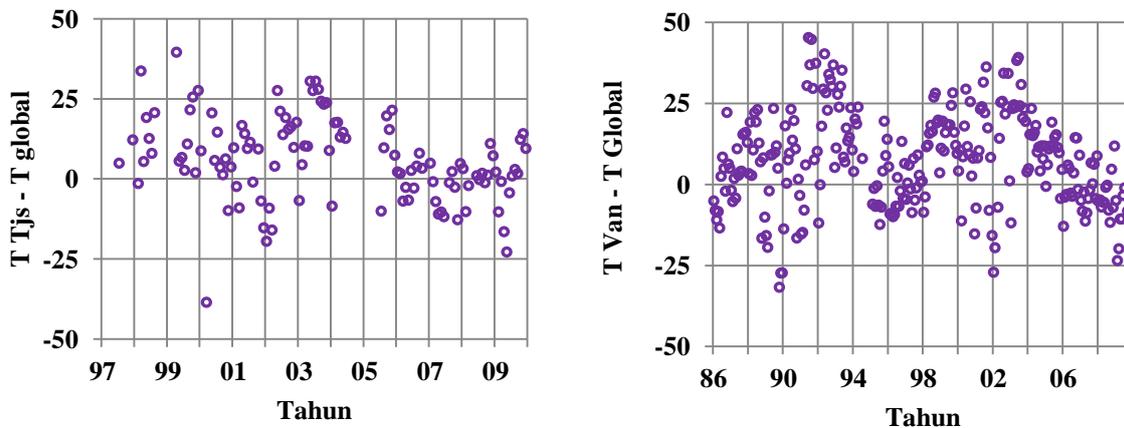
Gambar 4-1: Grafik indeks T Tanjungsari, T global, dan R12

Untuk mengetahui perbandingan nilai indeks T regional dengan indeks T global, telah dihitung besarnya selisih indeks T lokal dengan indeks T global (indeks T lokal - indeks T global) dan hasilnya diplot dalam Gambar 4-3.

Persentase selisih indeks T lokal dengan T global yang mempunyai nilai antara - 25 dan 25, jumlah data T lokal > T global dan T lokal < T global, diberikan dalam Tabel 4-2.



Gambar 4-2: Grafik indeks T Vanimo, T global, dan R12



Gambar 4-3: Selisih antara indeks T lokal dengan indeks T global untuk Tanjungsari dan Vanimo

Tabel 4-2: PERBANDINGAN INDEKS T LOKAL DENGAN INDEKS T GLOBAL

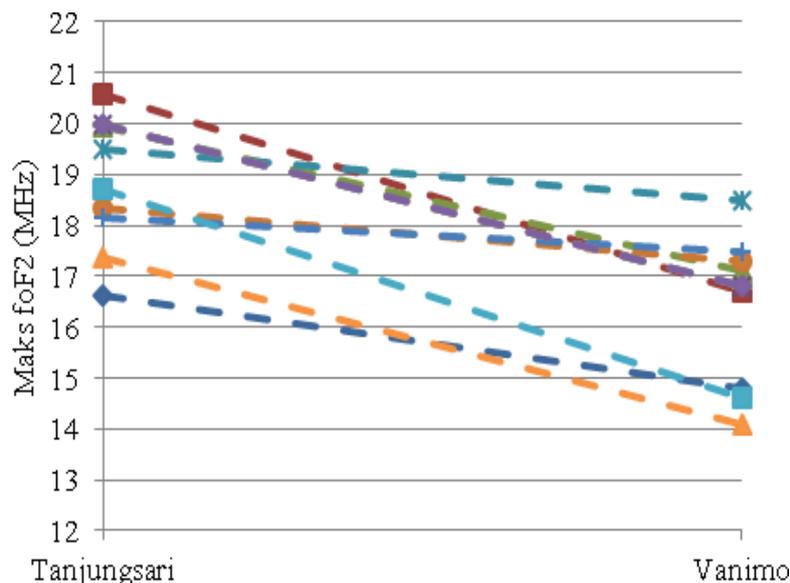
Jumlah data	Tanjungsari		Vanimo	
	Count	Percentage	Count	Percentage
-25<(T-Tglobal)<25	108	92%	241	87%
T > T global	83	70%	185	67%
T < T global	35	30%	91	33%

#### 4.2 PEMBAHASAN

Indeks T lokal Tanjungsari dan Vanimo yang diplot dalam Gambar 3-1 dan 3-2 menunjukkan bahwa karakteristik indeks T lokal Tanjungsari maupun Vanimo secara umum sesuai dengan karakteristik R12 dan indeks T global. Karena indeks T adalah indeks yang menggantikan R12 untuk digunakan sebagai prediktor dampak aktivitas matahari terhadap ionosfer, maka karakteristik R12 dan indeks T regional harus sesuai. Sebagian besar nilai indeks T lokal Tanjungsari maupun Vanimo lebih besar dari indeks T global dan R12. Selisih antara T lokal dengan T global yang diplot dalam Gambar 4-3 menunjukkan bahwa untuk kedua lokasi, sebagian besar nilainya berada dalam rentang -25 sampai 25. Persentase yang diberikan dalam Tabel 4-2 menunjukkan bahwa untuk Tanjungsari, 92% dari selisih T lokal dengan T global berada dalam rentang tersebut, sedangkan untuk Vanimo sebesar 87%. Sebaran nilai indeks T Tanjungsari adalah 70% T Tanjungsari nilainya lebih besar dari nilai T global dan 30% nya lebih kecil dari nilai T global, sementara untuk Vanimo masing-masing 67% dan 33%. Hal ini menun-

jukkan bahwa secara umum indeks T Vanimo maupun Tanjungsari lebih tinggi dari nilai T global.

Perbedaan nilai indeks T antara Vanimo dan Tanjungsari menunjukkan perbedaan dampak aktivitas matahari dan fenomena lainnya terhadap lapisan ionosfer di kedua tempat tersebut. Tanjungsari terletak di dekat puncak anomali ionosfer sehingga foF2 Tanjungsari lebih tinggi dibandingkan dengan foF2 Vanimo. Perbedaan ini ditunjukkan dalam Gambar 4-1. Dari seluruh data yang digunakan terdapat 45 bulan data yang bersamaan untuk Tanjungsari maupun Vanimo. Dari data tersebut sebanyak 26 bulan data (58%) memberikan T Tanjungsari lebih tinggi dari T Vanimo, sedangkan 19 sisanya (42%) sebaliknya. Indeks T Tanjungsari yang lebih besar dari indeks T Vanimo, sesuai dengan karakteristik ionosfer di kedua lokasi tersebut. Namun faktor lain yang juga mempengaruhi besarnya nilai foF2 seperti medan magnet bumi misalnya, nampaknya juga cukup berpengaruh pada besarnya indeks T di kedua lokasi, sehingga jumlah bulan dimana T Tanjungsari lebih rendah dari T Vanimo juga cukup besar.



Gambar 4-4: Maksimum foF2 Tanjungsari dan Vanimo pada bulan Januari–Desember 2002

## 5 KESIMPULAN

Metode perhitungan indeks T Tanjungsari dan Vanimo telah diperoleh dan dapat dianggap mewakili wilayah regional Indonesia barat dan timur. Perumusannya berupa persamaan linier yang menyatakan hubungan antara indeks T dan foF2 dengan konstanta-konstanta a dan b untuk setiap bulan. Secara umum karakteristik indeks T Tanjungsari dan Vanimo yang dihitung dengan persamaan linier yang diperoleh sesuai dengan karakteristik R12 dan indeks T global. Kesesuaian karakteristik indeks T regional dengan R12 menunjukkan bahwa indeks T dapat menggantikan R12 sebagai prediktor dampak aktivitas matahari terhadap ionosfer.

Secara umum T Tanjungsari maupun T Vanimo lebih tinggi dari nilai T global. Dari 45 bulan data, 58% T Tanjungsari lebih tinggi dari T Vanimo dan sesuai dengan karakteristik ionosfer di kedua tempat, sedangkan sisanya 42% memberikan hasil sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang mempengaruhi kondisi ionosfer, sehingga kemudian juga berpengaruh pada nilai indeks T. Kajian tentang dampak selisih antara T lokal dengan T

global yang sebagian besar berada pada rentang  $\pm 25$  terhadap hasil prediksi frekuensi menggunakan ASAPS perlu dilakukan lebih lanjut.

## DAFTAR RUJUKAN

- Caruana, John, 1989. *The IPS monthly T Index*, IPS Radio and Space Services.  
[http://www.ips.gov.au/HF\\_Systems/1/6/](http://www.ips.gov.au/HF_Systems/1/6/), download 2011.  
[http://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T\\_index.html](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T_index.html), download 2011.
- Jiyo, 2005. *Penentuan Indeks T Harian Lapisan Ionosfer Indonesia*, Majalah LAPAN vol 7 no 1 dan 2.
- Rishbeth H., and Garriott O.K., 1969. *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York, San Fransisco, London.
- Solar and Geophysical Summary edisi November 1995, IPS radio and space services-Australia.
- Turner, Jack. 1968. *The development of the Ionospheric Index-T*, IPS series R Report, IPS-R11, Australian Government Department of Administrative Services.