



Warta

LAPAN

VOL. 4

NO. 1

MARET 2002

- ✓ • KETERKAITAN TOTAL ELECTRON CONTENT IONOSFER DI ATAS BANDUNG DENGAN AKTIVITAS MATAHARI
Wilson Sinambela, Asnawi, dan Aries K. 1 - 7
- PERBANDINGAN ANTARA RADAR ATMOSFER KATULISTIWA DENGAN MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE RADAR DALAM PEMANTAUAN ANGIN ZONAL DAN ANGIN MERIDIONAL
Eddy Hermawan 8 - 16
- ✓ • PENENTUAN TEC MENGGUNAKAN DATA IONOGRAM
Bambang Suhandi, Sarmoko Saroso, Effendi 17 - 22
- VARIASI CURAH HUJAN DAERAH BANDUNG SELAMA 20 TAHUN (1980-1999) DAN KAITANNYA DENGAN FENOMENA ENSO
Lely Qodrita Avia dan Teguh Harjana 23 - 34
- APLIKASI FILTER LOLOS ATAS DAN FILTER LOLOS BAWAH DALAM PENAJAMAN CITRA SPOT-XS UNTUK DETEKSI PENYEBARAN TUMPAHAN MINYAK DI PERAIRAN PULAU BATAM
Syarif Budhiman dan Ratih Dewanti 35 - 42

DITERBITKAN OLEH :

LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL

Jl. Pemuda Perai No. 1, Jakarta 13220, INDONESIA

Warta LAPAN	Vol. 4	No. 1	Hlm. 1 - 42	Jakarta, Maret 2002	ISSN 0126-9754
-------------	--------	-------	-------------	---------------------	----------------

Keterkaitan Total Electron Content Ionosfer Di Atas Bandung Dengan Aktivitas Matahari

Wilson Sinambela, Asnawi, dan Aries K.
Peneliti PUSFATSAINSA, LAPAN

ABSTRACT

The relationship between the ionospheric Total Electron Content (TEC) with solar activity indices has been investigated based on data of monthly mean TEC for local noontime over Bandung (6,54° S, 107, 20° E) during the ascending phase of solar cycle 23. By taking the moving average of 12 months it were found that the variation of the ionospheric TEC following the variation of the solar activity indices such as sunspot number and F10,7cm of solar radio fluxes; the increasing of solar activity during the ascending phase of solar cycle-23 (1997-2000) is followed by the increasing of ionospheric TEC. By using linier regression analysis, it was obtained the strong relationship between ionospheric TEC and sunspot number with correlation coefficient of 0,983, and between ionospheric TEC and F10,7cm solar radio fluxes with correlation coefficient of 0,985.

ABSTRAK

Keterkaitan variasi *Total Electron Content* (TEC) ionosfer dengan indeks aktivitas matahari diselidiki berdasarkan rata-rata bulanan data TEC untuk siang hari waktu lokal di atas Bandung (6,54° LS, 107, 20° BT) selama fase naik siklus matahari ke 23. Dengan menggunakan rata-rata bergerak 12 bulan diperoleh bahwa variasi TEC ionosfer mengikuti variasi indeks aktivitas matahari seperti bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm; bertambahnya tingkat aktivitas matahari selama fase menaik siklus matahari ke-23 (1997-2000) diikuti dengan bertambahnya TEC ionosfer. Dengan menggunakan analisis regresi linier diperoleh keterkaitan yang kuat antara TEC ionosfer dengan bilangan bintik matahari dengan koefisien korelasi sebesar 0,983, dan dengan fluks radio matahari F10,7cm sebesar 0,985.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas matahari seperti bintik matahari (*sunspot*), *flare*, dan *Coronal Mass Ejection* (CME) menyebabkan peningkatan variasi energi yang besar dalam radiasi elektromagnetik dan partikel energetik yang sampai di lingkungan bumi. Variasi energi yang besar ini dapat mengganggu lapisan magnetosfer dan ionosfer. Ketika gangguan-gangguan ini mempengaruhi lapisan ionosfer, yang dikenal sebagai badai ionosferik, cenderung membangkitkan gangguan besar dalam distribusi kerapatan ionosfer, kandungan elektron total atau *Total Electron Content* (untuk selanjutnya digunakan istilah TEC), dan sistem arus ionosfer. Konsekuensi dari

gangguan ionosfer ini akan mengganggu komunikasi radio jarak jauh dan mengganggu aliran energi listrik pada pembangkit daya listrik.

Pengetahuan tentang TEC dan variasinya merupakan suatu fenomena yang menarik untuk diselidiki, karena fenomena ini dapat mempengaruhi ketelitian penentuan posisi dan jarak satelit. Keterlambatan grup penjalaran sinyal yang disebabkan lapisan ionosfer pada waktu pancaran radio trans-ionosferik sangat bergantung kepada besaran TEC ionosfer. Kerapatan elektron ionosfer bergantung kepada dua faktor, yaitu kondisi atmosfer netral dan radiasi pengionisasi yang berasal dari matahari, (Lakshmi, et al., 1988). Sumber radiasi pengionisasi matahari yang utama

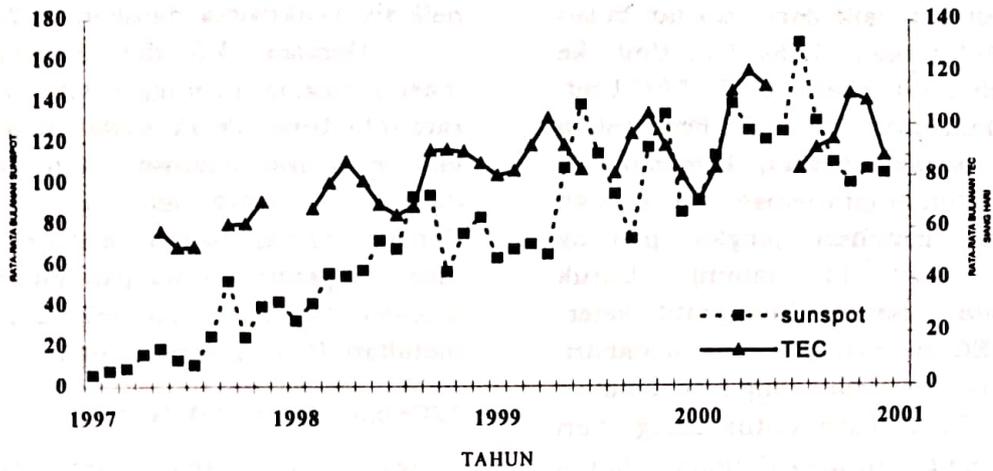
terhadap lapisan ionosfer adalah fluks radiasi *Extrime Ultra Violet* (EUV) matahari yang mengalami variasi yang kuat saat terjadi peningkatan aktivitas matahari. Tetapi pengukuran besaran fluks radiasi EUV matahari ini hanya mungkin dilakukan dari satelit, dan jumlah data yang diperoleh hanya terbatas pada tahun tertentu saja. Oleh karena itu, jika data fluks radiasi EUV matahari tidak tersedia, pada umumnya indeks aktivitas matahari konvensional seperti bilangan bintik matahari (R) dan fluks radio matahari F10,7 cm dapat digunakan untuk mewakili fluks radiasi EUV matahari dalam penyelidikan lapisan ionosfer untuk menentukan korelasi dan prediksi variasi ionosfer. Tetapi, penggunaan indeks aktivitas matahari konvensional ini masih mempunyai kelemahan seperti terjadinya efek saturasi dalam frekuensi kritis lapisan F₂ ionosfer (foF₂) dan TEC ionosfer (Reddy et al., 1979; Bhuyan et al., 1983 Lakshmi et al., 1988).

Dalam makalah ini akan diselidiki keterkaitan data variasi Total Electron Content (TEC) ionosfer di atas Bandung (6, 54° LS ; 107, 20° BT) terhadap indeks aktivitas matahari yang berbeda, seperti bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7 cm untuk periode dari Mei 1997 - Desember 2000 selama fase naik siklus matahari ke-23 (1997-2000).

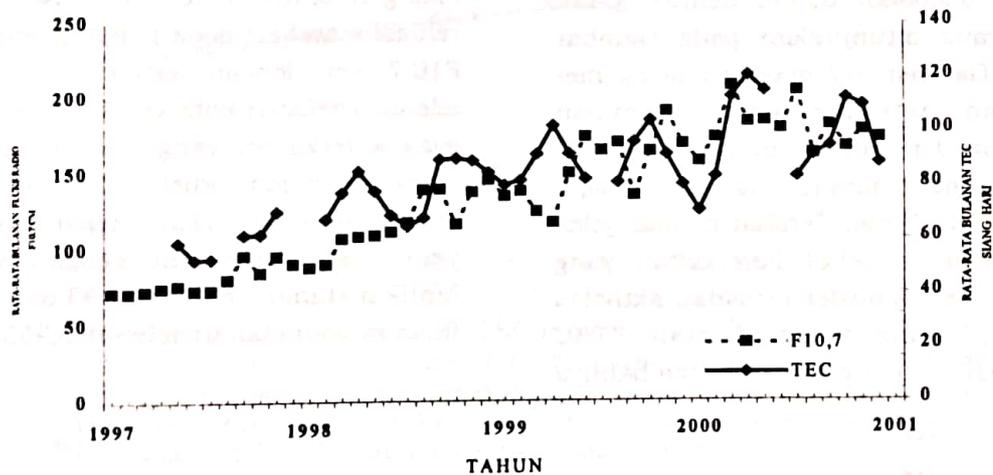
2. PENGOLAHAN DATA

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *code Vertical TEC* ionosfer yang diperoleh di atas Bandung (6, 54° LS ; 107, 20° BT) dengan menggunakan *Receiver GPS type Azthec Z-12*, berfrekuensi ganda (Dual Frequency Receiver). Data terekam setiap 30 detik dari paling sedikit 6 satelit GPS (*Global Positioning System*) yang berbeda dan terdiri dari informasi waktu, azimuth, dan sudut elevasi satelit GPS, besarnya TEC

pada posisi miring (Slant TEC) dan *vertical TEC* untuk data code dan data phase dengan satuan 10¹⁶ el/m² (1 TEC Unit). Data TEC yang dicatat setiap jam bisa mencapai ribuan data TEC. Data TEC tersebut diolah dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dengan hanya memilih data *code Vertical TEC (VTEC)* yang langsung menghitung nilai rata-ratanya setiap jam dari pukul 00.00 LT (Local Time/waktu setempat) sampai dengan pukul 23.00 LT. Kemudian harga rata-rata perjam TEC diolah menjadi rata-rata bulanan TEC, dan rata-rata bulanan TEC untuk siang hari waktu lokal (pukul 10.00-15.00 WIB). Pemilihan waktu pukul (10.00-15.00 WIB) didasarkan pada pengamatan bahwa harga TEC pada jam-jam tersebut mencapai nilai yang maksimum. Rata-rata bulanan TEC untuk siang hari waktu setempat dibandingkan dengan masing-masing bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7 cm untuk periode Mei 1997 sampai dengan Desember 2000 (sumber <http://www.ngdc.noaa.gov>). Hasilnya disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2-1 dan Gambar 2-2. Harga variasi rata-rata bulanan TEC untuk siang hari waktu lokal dalam selang waktu tersebut adalah 83,96 TEC Unit dengan rentang antara minimum adalah 52,59 TEC Unit pada bulan Juni 1997 dan maksimum adalah 120,48 TEC Unit pada bulan April 2000. Grafik pada Gambar 2-1 dan Gambar 2-2 ini secara umum sudah tampak bahwa variasi TEC cenderung naik mengikuti kenaikan aktivitas matahari dinyatakan oleh bilangan bintik matahari (R) maupun fluks radio matahari F10,7 cm selama fase naik siklus matahari ke-23, (mulai tahun 1996 dan berakhir sekitar tahun 2007), tetapi belum tampak jelas keterkaitan variasi data TEC ionosfer dengan aktivitas matahari.



Gambar 2-1: Grafik rata-rata bulanan VTEC ionosfer siang hari waktu setempat (10.00-15.00 WIB) di atas Bandung dibandingkan dengan bilangan bintang matahari dari Juni 1997-Desember 2000. Secara umum grafik TEC cenderung naik mengikuti fase naik siklus matahari ke -23, tetapi belum terlihat dengan jelas kaitan antara bilangan bintang matahari dengan TEC ionosfer.



Gambar 2-2: Grafik rata-rata bulanan VTEC ionosfer siang hari waktu setempat (10.00-15.00 WIB) di atas Bandung dibandingkan dengan fluks radio matahari F10,7 cm dari Juni 1997-Desember 2000. Secara umum grafik TEC cenderung naik mengikuti fase naik siklus matahari ke-23, tetapi belum terlihat dengan jelas kaitan fluks radio matahari F10,7 dengan TEC ionosfer.

3. HASIL

Perilaku variasi data rata-rata bulanan TEC untuk siang hari waktu setempat seperti yang ditampilkan pada Gambar 2-1 dan Gambar 2-2 didominasi oleh pengaruh variasi musiman. Tetapi dengan memperhatikan pola deret waktu yang ditampilkan oleh grafik pada Gambar 2-1 dan Gambar 2-2 ada indikasi

osilasi yang lebih panjang dari variasi rata-rata bulanan TEC. Indikasi ini secara umum dapat ditunjukkan bahwa kecenderungan naik dari pola TEC mengikuti pola kenaikan aktivitas matahari selama fase naik siklus aktivitas matahari ke-23. Kemudian kalau diperhatikan grafik pada Gambar 2-1 dan Gambar 2-2 tampak bahwa harga-harga

minimum relatif, misalnya, menunjukkan kecenderungan naik dari sekitar bulan Juni 1997 sebesar 52,59 TEC Unit ke bulan Juli 2000 sebesar 82,78 TEC Unit. Secara kualitatif hal ini memberikan petunjuk pertama tentang kemungkinan adanya kaitan antara variasi TEC dengan variabilitas matahari jangka panjang (tahunan dan 11 tahun). Untuk mengetahui secara kuantitatif keterkaitan TEC dengan aktivitas matahari, maka variasi musiman yang mendominasi perilaku TEC ionosfer untuk siang hari waktu setempat di atas Bandung harus dihilangkan dengan cara pemfilteran. Cara pemfilteran yang digunakan adalah dengan rata-rata bergerak 12 bulan terhadap data TEC ionosfer dan indeks aktivitas matahari seperti bilangan bintik matahari, dan fluks radio matahari F10,7cm untuk periode waktu tersebut. Hasilnya disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-1 dan Gambar 3-2 masing-masing menunjukkan rata-rata bergerak tahunan TEC ionosfer dibandingkan dengan bilangan bintik matahari, dan fluks radio matahari F10,7 cm. Terlihat dengan jelas dari Gambar tersebut keterkaitan yang kuat dari TEC ionosfer terhadap aktivitas matahari, yang menunjukkan TEC bertambah dengan bertambahnya

aktivitas matahari yang mengikuti fase naik siklus aktivitas matahari ke-23.

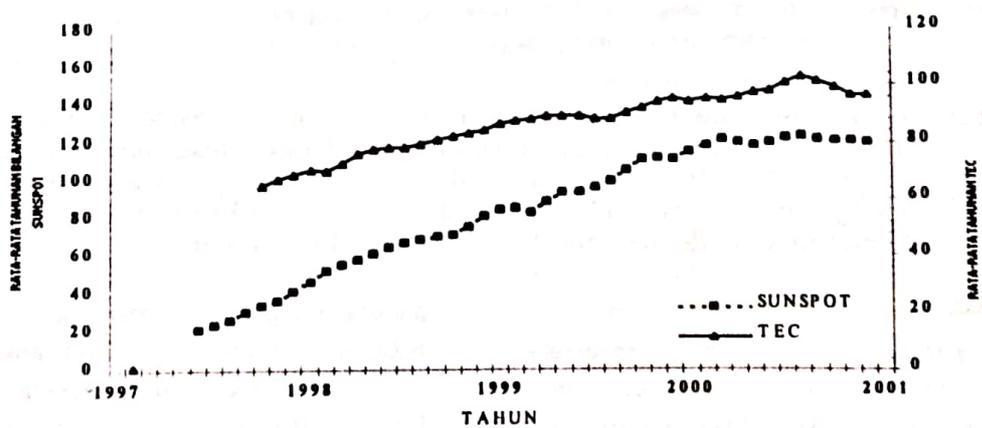
Gambar 3-3 dan Gambar 3-4 masing-masing menunjukkan plot data rata-rata bergerak 12 bulan antara TEC ionosfer dengan bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm. Dengan menggunakan metode regresi linier diperoleh hubungan antara TEC ionosfer tahunan dan bilangan bintik matahari (R) dengan persamaan :

$$TEC = 0,350 R + 55,284 \text{ dan } r = 0,983 \dots (3-1)$$

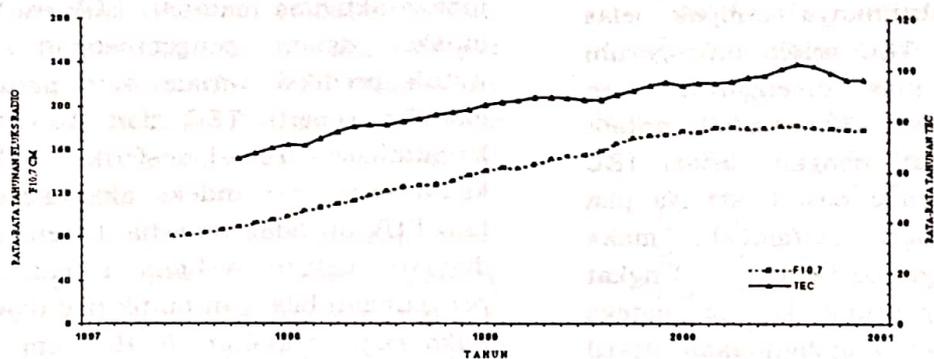
Dengan cara yang sama diperoleh hubungan antara TEC ionosfer tahunan dan fluks radio matahari F10,7 cm (F10,7) dengan persamaan:

$$TEC = 0,320 F10,7 + 39,974 \text{ dan } r = 0,985 \dots (3-2)$$

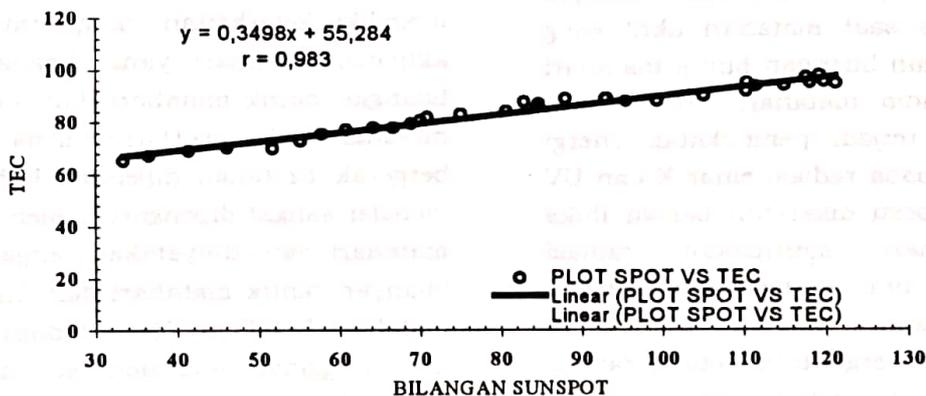
TEC dalam satuan TEC Unit, R adalah bilangan bintik matahari, F10,7 adalah radiasi matahari pada panjang gelombang F10,7 cm dengan satuan SFU dan r adalah koefisien korelasi. Terlihat dengan jelas keterkaitan yang kuat antara TEC ionosfer dengan aktivitas matahari. Hal ini diperlihatkan oleh koefisien korelasi yang tinggi antara TEC dengan bilangan bintik matahari sebesar 0,983 dan dengan fluks radio matahari sebesar 0,985.



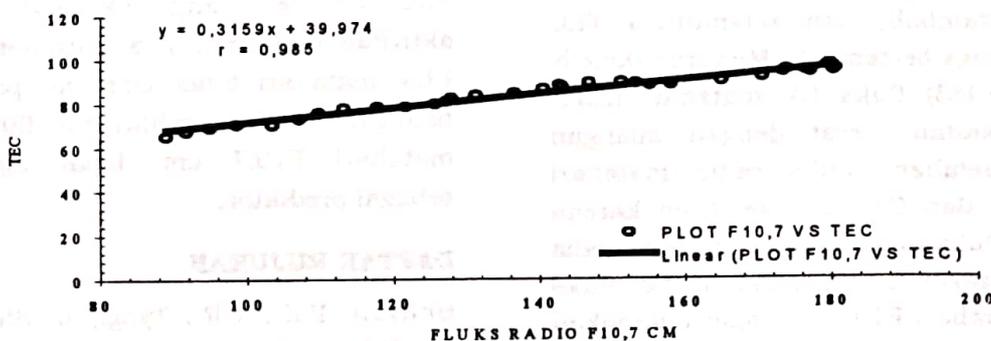
Gambar 3-1: Grafik rata-rata bergerak 12 bulan TEC ionosfer untuk siang hari waktu setempat (10.00 - 15.00 WIB) di atas Bandung dibandingkan dengan bilangan bintik matahari dari Mei 1997 - Desember 2000. Terlihat dengan jelas kaitan yang kuat antara bilangan bintik matahari dengan TEC ionosfer tahunan.



Gambar 3-2: Grafik rata-rata bergerak 12 bulan TEC ionosfer untuk siang hari waktu lokal (10.00-15.00 WIB) di atas Bandung dibandingkan dengan fluks radio matahari F10,7 cm dari Mei 1977-Desember 2000. Terlihat dengan jelas kaitan yang kuat antara fluks radio matahari F10,7 cm dengan ionosfer tahunan.



Gambar 3-3: Plot antara rata-rata tahunan TEC ionosfer terhadap bilangan bintang matahari. Garis lurus pada Gambar menyatakan garis linier antara TEC ionosfer dengan bilangan sunspot. Terlihat dengan jelas kaitan yang kuat antara TEC ionosfer tahunan. Hal ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi TEC ionosfer tahunan dan bilangan bintang matahari yang tinggi sebesar 0,983.



Gambar 3-4: Plot antara rata-rata tahunan TEC ionosfer terhadap fluks radio matahari F10.7cm. Garis lurus pada Gambar menyatakan garis linier antara TEC ionosfer dengan fluks radio matahari F10.7cm. Terlihat dengan jelas kaitan yang kuat antara TEC ionosfer tahunan. Hal ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi TEC ionosfer tahunan dan fluks radio matahari F10,7cm yang tinggi sebesar 0,985.

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil-hasil yang telah diuraikan sebelumnya tampak jelas bahwa variasi TEC selain dipengaruhi oleh musim, juga dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Keterkaitan antara aktivitas matahari dengan variasi TEC mempunyai korelasi positif, artinya jika aktivitas matahari bertambah, maka variasi TEC juga bertambah. Tingkat korelasinya tergantung kepada indeks aktivitas matahari yang digunakan. Hasil ini serupa dengan yang diperoleh Lakshmi et al., (1988) dan Dabas et al., (1992) dengan menggunakan data rata-rata bulanan TEC untuk siang hari waktu lokal dari Luning (23,03° N: 121,90° E) untuk periode tahun 1977-1980. Keterkaitan ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat matahari aktif yang ditandai dengan bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7 relatif tinggi, akan terjadi peningkatan energi paling besar pada radiasi sinar X dan UV matahari. Seperti diketahui bahwa fluks EUV matahari merupakan radiasi pengionisasi utama terhadap lapisan ionosfer, maka kerapatan elektron di ionosfer sangat tergantung kepada radiasi pengionisasi yang datang dari matahari. Aktivitas matahari bertambah diikuti dengan bertambahnya energi radiasi pengionisasi fluks EUV matahari, maka proses ionisasi di ionosfer makin kuat sehingga kerapatan elektron di ionosfer juga bertambah, dan selanjutnya TEC ionosfer juga bertambah. Menurut Donnelly et al., (1983) fluks UV matahari mempunyai kaitan erat dengan bilangan bintik matahari, fluks radio matahari F10,7cm, dan Ca -K Plage. Oleh karena itu, jika fluks EUV matahari tidak tersedia maka bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm dapat digunakan untuk menyelidiki keterkaitan TEC ionosfer dengan aktivitas matahari. Karena fluks EUV matahari pada umumnya diakui sebagai sumber utama untuk produksi kerapatan elektron di

ionosfer dan sebagai sumber pemanasan utama di termosfer, maka parameter indeks aktivitas matahari EUV ini sering dipakai dalam pengembangan model untuk prediksi variasi dari parameter ionosfer seperti TEC dan f_0F_2 dalam komunikasi trans-ionosferik. Tetapi kalau parameter indeks aktivitas matahari EUV ini tidak tersedia, karena harus diamati melalui wahana satelit, maka penggunaan bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F 10,7 cm dapat digunakan untuk prediksi parameter TEC ionosfer untuk waktu mendatang.

5. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa TEC di atas Bandung untuk periode waktu Mei 1997 - Desember 2000 memiliki keterkaitan yang erat dengan aktivitas matahari yang disajikan oleh bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm. Dari analisis rata-rata bergerak 12 bulan diperoleh bahwa TEC ionosfer sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indeks bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm. Hal ini dapat dilihat dari tingginya koefisien korelasi yang diperoleh antara TEC ionosfer dengan bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7cm masing-masing sebesar 0,983 dan 0,985.

Untuk prediksi dan interpretasi data TEC ionosfer yang dikaitkan dengan aktivitas matahari, jika parameter fluks EUV matahari tidak tersedia, parameter bilangan bintik matahari dan fluks radio matahari F10,7 cm dapat digunakan sebagai prediktor.

DAFTAR RUJUKAN

- Bhuyan, P.K., T.R., Tyagi, L. Singh and Y.V. Somayajulu, 1983, *Ionospheric Electron Content Measurements at a Northern Low-Mid Latitude Station through half a Solar Cycle*, Indian J. Radio Space Phys., 12, 84,

Donnelly, R. F., D.F. Heath, J.L. Lean and G.J. Rottman, 1983, *Differences in the Temporal Variation of Solar UV Flux, 10,7 cm Solar Radio Flux, Sunspot Number, and Ca - K Plage Data Caused by Solar Rotations and Active Region Evolution*, J. Geophys. Res. 88, 9833-9888.

Dabas, R.S., D.R. Lakshmi and B.M. Reddy, 1992, *Solar Activity Dependence of Ionospheric Electron Content and Slab Thickness: Relative Correlation with Different Solar Indices and Saturation Effect*, Solar Terrestrial Predictions, Proceeding of a Workshop at Ottawa, Canada, 459-464.

Lakshmi, D.R, B.M. Reddy, R.S. and Dabas 1988, *On the Possible Use of Recent EUV Data for Ionospheric Predictions*, J.Atmos. Terr. Phys., 50, 207.

Reddy, B.M., S. Aggarwal, D.R. Lakshmi, S. Sastry, and A.P. Mitra, 1979, *Longterm Solar Activity and Ionospheric Predictions Services Rendered by National Physical Laboratory, Solar Terrestrial Predictions Proceeding* (Donnelly, R.F., Ed) Vol.1, 118. U.S. Dept. of Commerce, U.S.A.