

IDENTIFIKASI PENGARUH AKTIVITAS MATAHARI PADA foF2 DI BIAK DAN TEC IONOSFER DI BANDUNG

Wilsom Sinambela, Anwar Santoso, dan Asnawi
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains dan Antariksa
Lcmbaga Penerbangan dan Antariksa Nasional - LA PAN

ABSTRACT

The identification of solar activity effects on ionospheric layer has been investigated based on data of monthly mean of critical frequency of ionospheric layer F2 (foF2) over Biak during the period 1991-1995, and data Total Electron Content (TEC) over Bandung during the period 1997-2000. Data of daily TEC over Bandung were used for identification of ionospheric storms due to large solar flares that occurred on September 23, 1998 and July 14, 2000 that followed by Coronal Mass Ejection (CME) event. From analysis it was found that solar activities such as sunspot and solar flare influences the ionospheric layer both short-term and long-term. By taking the moving average of 12 months and using linier regression analysis it was found that the variation of ionospheric foF2 and TEC following the variation of solar activity indices; the decreasing of solar activity during the descending phase of solar cycle-22 (1991-1995) is followed by the decreasing of ionospheric foF2 over Biak, with strong correlation coefficient of 0.96; the increasing of solar activity during the ascending phase of solar cycle-23 (1997-2000) is followed by the increasing of ionospheric TEC over Bandung, with strong correlation coefficient of 0.98. From identification of the large solar flares effects that occurred on September 23, 1998 and July 14, 2000 that followed by CME event causes the ionospheric storm about 2-days after solar flare. From identification also it seems that small solar flares no causes ionospheric storm in these period.

ABSTRAK

Identifikasi pengaruh aktivitas matahari pada lapisan ionosfer diselidiki berdasarkan data rata-rata bulanan frekuensi kritis lapisan F2 ionosfer (foF2) SPD Biak dalam rentang waktu 1991-1995, dan data *Total Electron Content* (TEC) di Bandung dalam rentang waktu 1997-2000. Data TEC harian digunakan untuk identifikasi badai ionosfer yang disebabkan oleh peristiwa flare kuat pada tanggal 23 September 1998 dan 14 Juli 2000 yang diikuti peristiwa *Coronal Mass Ejection* (CME). Dari hasil analisis diperoleh bahwa aktivitas matahari seperti bintang matahari dan flare mempengaruhi lapisan ionosfer baik jangka pendek maupun jangka panjang. Dengan menggunakan analisis rata-rata bergerak-12 bulan dan regresi linier diperoleh bahwa variasi foF2 di Biak dan TEC di Bandung mengikuti variasi indeks aktivitas matahari; berkurangnya tingkat aktivitas matahari selama fase menurun siklus matahari ke-22 (1991-1995) diikuti dengan berkurangnya foF2 di Biak, dengan koefisien korelasi yang tinggi sebesar 0,96; bertambahnya tingkat aktivitas matahari selama fase

menaik siklus matahari ke-23 (1997-2000) diikuti dengan bertambahnya TEC di Bandung dengan koefisien korelasi yang tinggi sebesar 0.98. Dari identifikasi pengaruh peristiwa flare yang kuat yang terjadi pada tanggal 23 September 1998 dan 14 Juli 2000 yang diikuti oleh peristiwa CME menyebabkan badai ionosfer sekitar 2 hari setelah flare terjadi. Dari hasil identifikasi juga terlihat bahwa peristiwa flare-flare kecil dalam kurun waktu bersangkutan tidak menyebabkan badai ionosfer.

Kata kunci: aktivitas matahari, foF2, TEC, ionosfer

1 PENDAHULUAN

Perubahan yang terjadi di atmosfer bumi, terutama di lapisan magnetosfer dan ionosfer sangat erat kaitannya dengan fenomena aktivitas matahari seperti bintik matahari, flare dan CME. Pada saat matahari aktif, terjadi peningkatan energi matahari yang besar mulai dari radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang lebar sinar-X, ultraviolet (UV), sampai gelombang radio, dan radiasi corpuscular (partikel energetik) yang dipancarkan melalui permukaan matahari. Peningkatan yang besar dari intensitas radiasi sinar-X dan UV matahari selama peristiwa flare, langsung menyebabkan pertambahan kerapatan elektron di ionosfer, karena radiasi ini menjalar menuju bumi dengan kecepatan cahaya (8,3 menit mencapai atmosfer bumi). Pertambahan kerapatan elektron secara tiba-tiba menimbulkan gangguan ionosfer secara tiba-tiba pula yang besarnya berbeda untuk lintang berbeda dan secara kolektif disebut gangguan ionosferik tiba-tiba (*Sudden Ionospheric Disturbances/SID*). Fenomena SID di ionosfer merupakan suatu indikator adanya peristiwa flare di matahari yang dapat diamati dari bumi dengan cara optik ataupun dengan cara radio.

Peningkatan intensitas radiasi corpuscular selama peristiwa flare, tidak langsung mempengaruhi lapisan ionosfer, tetapi setelah beberapa puluh menit sampai beberapa hari karena radiasi ini menjalar jauh lebih lambat dari kecepatan cahaya, sehingga terjadi penundaan gangguan pada lapisan ionosfer (*delayed effect*). Arus partikel-partikel dari *corpuscular* yang timbul selama flare, dapat memecah medan magnetik bumi secara kuat untuk selang waktu yang sangat singkat, sehingga timbul gangguan yang dikenal sebagai badai magnetik (*Magnetic Storms*) dan memicu timbulnya badai ionosfer (*ionospheric storm*) melalui sistem kopling magnetosfer-ionosfer-atmosfer (Tsurutani *et al*, 1990).

Pengaruh flare pada daerah ionosfer juga menimbulkan peningkatan *Total Electron Content* (*Sudden Increase of Total Electron Content/SJTEC*) yang bergantung pada lintang (Thome and Wagner, 1971). Lintang rendah menunjukkan suatu peningkatan TEC yang lebih besar dibandingkan dengan lintang tinggi. Variasi TEC akan mempengaruhi sinyal *Global Positioning System* (GPS), Seperti telah diketahui bahwa pengetahuan TEC ini sangat berguna untuk berbagai keperluan seperti ketelitian penentuan posisi dalam sistem navigasi berbasis satelit, telekomunikasi dan aplikasi ruang angkasa lainnya.

Selain peristiwa flare, kejadian CME juga memicu timbulnya gangguan geomagnetik dan badai ionosfer (Gonzalez *et. al.*, 1994). CME merupakan

gerakan partikel-parukel bermuatan yang dipancarkan dari matahari melalui lubang corona (*Coronal-Holes*), di mana arus listrik yang ditimbulkan mampu merubah karakteristik lapisan ionosfer terutama lapisan ionosfer tertinggi (daerah F2 ionosfer). Badai ionosfer terjadi secara global dalam daerah yang luas. Distribusi badai ionosfer juga tidak sama tergantung pada lintang dan bujur. Pada umumnya di lintang tinggi badai ionosfer paling kuat dan akan semakin lemah dengan semakin rendahnya lintang geomagnet. Hal khusus di daerah ekuator magnet, badai ionosfer yang kuat bisa terjadi karena pengaruh *Equatorial Electro Jet (EEJ)* .

Berdasarkan uraian-uraian di atas maka dilakukan identifikasi pengaruh aktivitas matahari pada ionosfer lintang rendah menggunakan data foF2 di Biak dan TEC ionosfer di Bandung.

2 DATA DAN METODOLOGI

Data ionosfer yang digunakan untuk identifikasi pengaruh aktivitas matahari pada ionosfer adalah data foF2 ionosfer dari SPD Biak (1,10° LS; 136,05° BT) tahun 1991-1995 saat fase menurun siklus matahari ke-22 (siklus matahari ke 22 dari 1986-1996), dan data TEC ionosfer di Bandung (6,54° LS; 107,200 BT) tahun 1997-2000 saat fase menaik siklus matahari ke-23 (siklus matahari ke-23 dari 1996-2006). Juga dilakukan identifikasi pengaruh aktivitas matahari pada saat peristiwa flare kuat tanggal 23 September 1998 dan 14 Juli 2000 terhadap data foF2 dan TEC ionosfer.

Dari data tiap jam foF2 dan TEC kemudian ditentukan median bulanannya. Selanjutnya data median bulanan tersebut dibandingkan dengan data rata-rata bulanan aktivitas matahari seperti bintik matahari dan flare. Untuk identifikasi pengaruh flare kuat tanggal 23 September 1998 dan 14 Juli 2000, seperti ditunjukkan pada Tabel 2-1, Gambar 2-1 dan Gambar 2-2, digunakan data deviasi TEC tanggal 21-26 September 1998 dan data deviasi TEC tanggal 12-17 Juli 2000 dengan persamaan.

$$\Delta TEC = TEC - median(TEC) \dots\dots\dots (2-1)$$

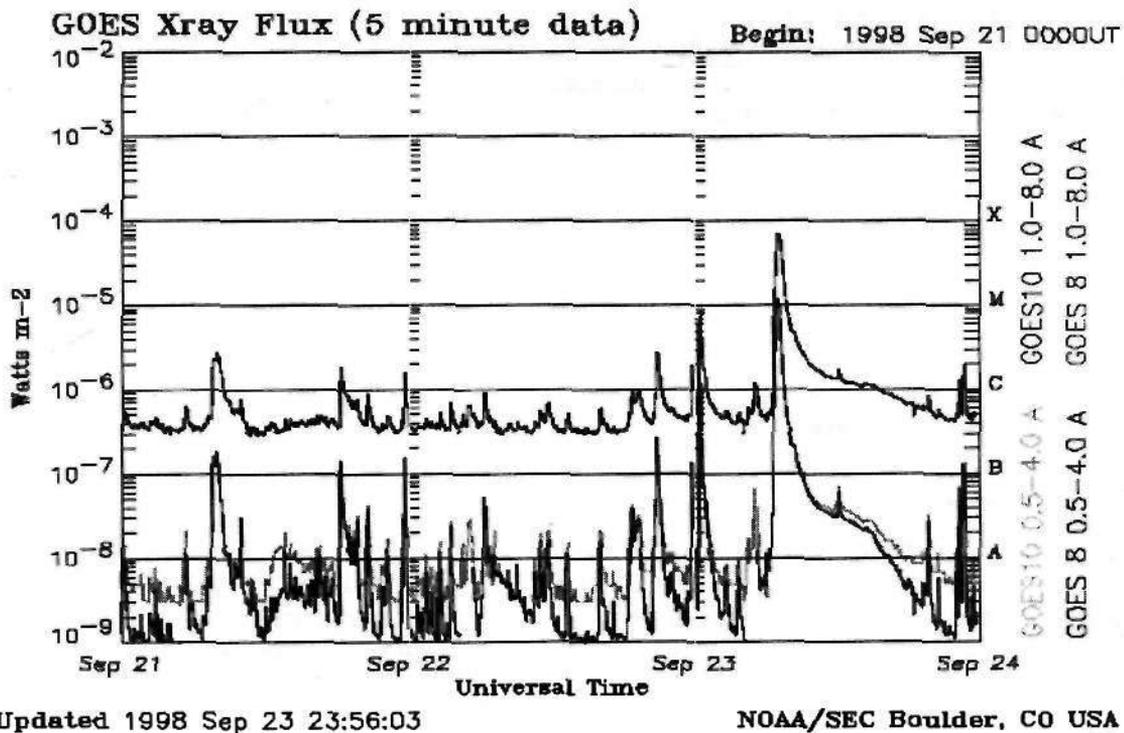
Keterangan:

- ΔTEC = deviasi TEC,
- TEC = data pengamatan.

Hasil perhitungan dibandingkan dengan variasi gangguan geomagnetik sebagai akibat peristiwa CME yang menimbulkan badai ionosfer. Indeks gangguan geomagnetik yang digunakan adalah indeks *Disturbance Storm Time Index (Dst)* yakni gangguan geomagnetik tiap jam yang diperoleh dari beberapa stasiun magnetometer di sekitar ekuator di mana gangguan tersebut didominasi oleh *Equatorial Blecto Jet* lapisan E ionosfer atau dikenal sebagai *ring-current* Nilai negatif yang bertambah besar menunjukkan bertambahnya intensitas *ring-current* yang dapat terjadi beberapa jam yang mengindikasikan adanya badai magnetik.

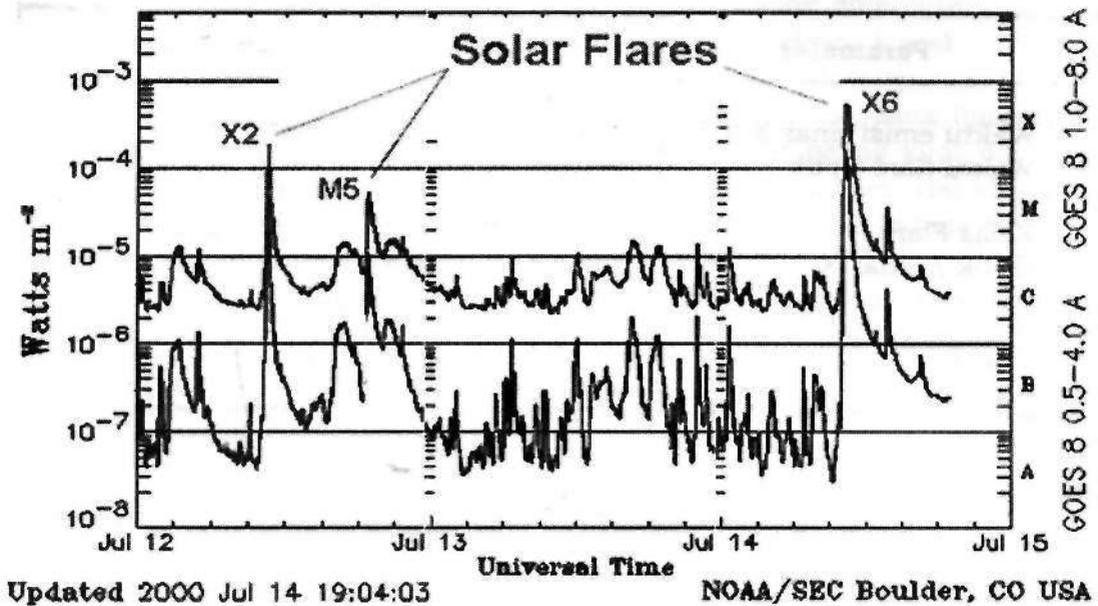
Tabel 2-1: PARAMETER DARI FLARE MATAHARI YANG DIPILIH

No.	Parameter	23 September 1998	14 Juli 2000
1.	Waktu emisi sinar-X (UT) Waktu flare Optik	Start max end 0640 0713 0731	Start max end 1003 1024 1043
2.	Kelas Flare Optik / sinar-X	Start max end 0644 0706 1009 3 B / M 7,1	Start max end 1012 1021 1146 3 B / X 5,7
3.	Daerah Aktif	NOAA 8340 N18 E09	NOAA 9077; N22 W07



Gambar 2-1: Flare sinar-X pada 23 September 1998 hasil pengamatan satelit GOES dengan kelas 3B/M 7,1- Tampak pada gambar terjadi peningkatan intensitas energi sinar-X (1-8A) yang mencolok sebesar $7,1 \times 10^{-5}$ Watt/m², dimulai pada pukul 06.40 UT, mencapai maksimum pada 07.13 UT, dan baru berakhir pada 07.31UT (<http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/indices/1998>)

GOES Xray Flux (5 minute data)



Gambar 2-2: Flare sinar-X pada 14 Juli 2000 hasil pengamatan satelit GOES dengan kelas 3B/X 5,7. Tampak pada gambar terjadi peningkatan intensitas energi sinar-X (1-8A) yang mencolok sebesar $5,7 \times 10^{-4}$ Watt/m² dimulai pada pukul 10.03 UT, mencapai maksimum pada 10.24 UT dan baru berakhir pada 10.43 UT yang diikuti oleh peristiwa CME pukul 10.54 UT. (<http://www.sec.noaa.gov/ftpdir/indices/2000>)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

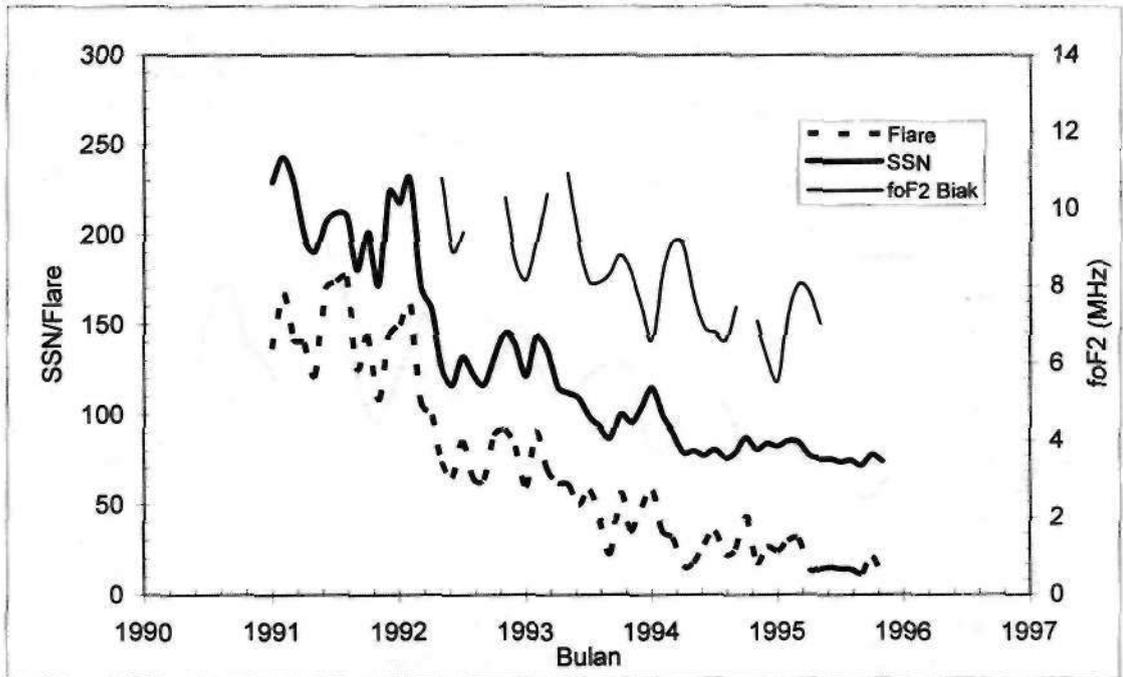
3.1 Identifikasi Pengaruh aktivitas matahari pada foF2 dan TEC ionosfer Indonesia

Hasil pengolahan data rata-rata bulanan foF2 tahun 1991-1995 dan TEC tahun 1997-2000 (Q'am 10.00-15.00 WIB) dibandingkan dengan rata-rata bulanan bilangan bintang matahari dan/atau flare berturut-turut ditunjukkan dalam Gambar 3-1 dan 3-3. Sedangkan hasil pengolahan rata-rata bergerak 12 bulan foF2 dan TEC terhadap variasi aktivitas matahari berturut-turut ditunjukkan dalam Gambar 3-2 dan 3-4.

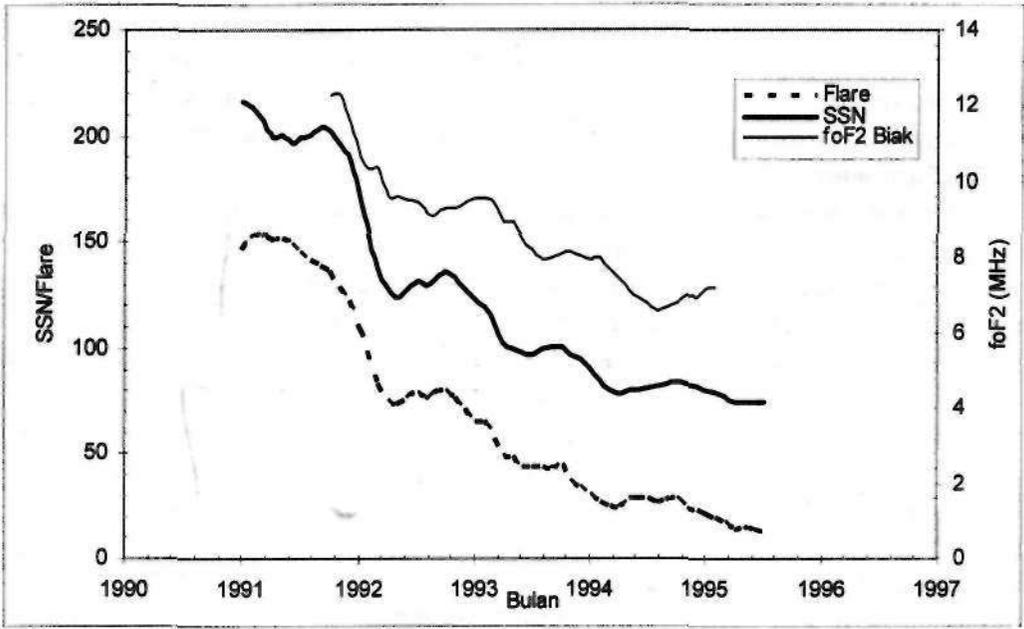
Dari identifikasi variasi rata-rata bulanan foF2 ionosfer di Biak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-1 dan variasi rata-rata bulanan TEC di Bandung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-3, tampak dengan jelas bahwa foF2 Biak dan TEC di Bandung didominasi oleh pengaruh variasi bulanan dan musiman yang bergantung pada lintang, bujur, dan waktu lokal. Tetapi dengan memperhatikan pola deret waktu jangka panjang dari data foF2 di Biak dan TEC ionosfer di Bandung terindikasi adanya osilasi yang lebih panjang dari variasi rata-rata bulannya. Harga-harga minimum relatif, misalnya, menunjukkan kecenderungan turun untuk foF2 ionosfer dari 1992-1993 ke 1994-1995 mengikuti berkurangnya tingkat aktivitas matahari selama siklus matahari ke-22 dari tahun 1991-1996 seperti yang diperlihatkan pada

Gambar 3-1, dan imtuk TEC menunjukkan kecenderungan naik dari 1997-1998 ke 2000-2001 mengikuti bertambahnya tingkat aktivitas matahari selama siklus matahari ke-23 dari tahun 1997-2001. Secara kualitatif hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya pengaruh aktivitas matahari pada foF2 dan TEC ionosfer.

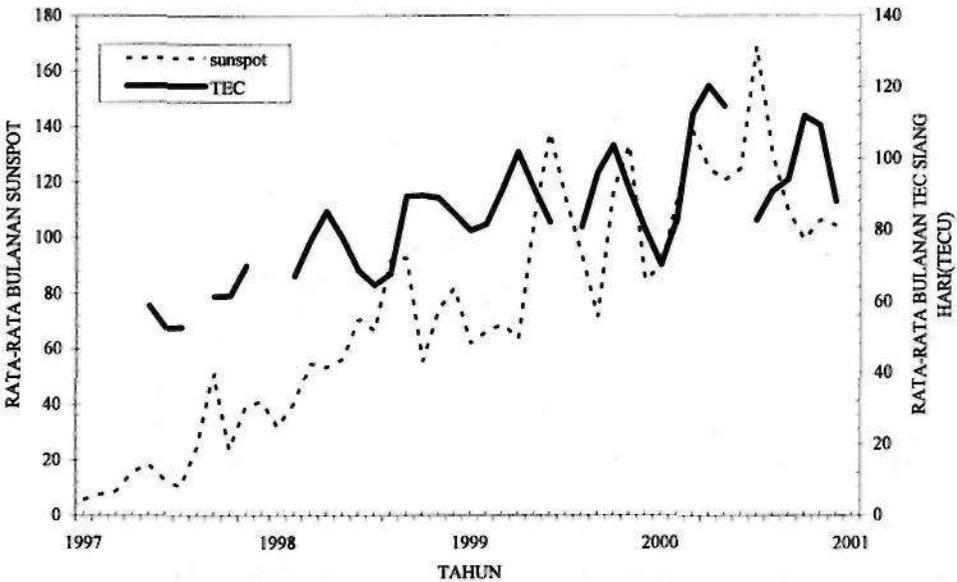
Untuk mempelajari secara lebih kuantitatif dan terinci mengenai pengaruh aktivitas matahari terhadap foF2 di Biak dan TEC ionosfer di Bandung kedua factor utama yang mendominasi perilaku deret waktu tersebut, yakni variasi bulanan dan musiman, harus dihilangkan terlebih dahulu dengan menggunakan analisis rata-rata bergerak 12 bulan. Hasilnya disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2 dan Gambar 3-4 setelah efek bulanan dan musiman dihilangkan. Dari gambar tersebut terlihat jelas pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada foF2 ionosfer di Biak dan TEC ionosfer di Bandung, Hal ini terbukti dari tingginya koefisien korelasi yang diperoleh antara foF2 ionosfer Biak tahun 1991-1995 dengan bilangan bintik matahari dan jumlah flare masing-masing sebesar 0,96. Sedangkan koefisien korelasi antara TEC ionosfer di Bandung tahun 1997-2000 dengan bilangan bintik matahari sebesar 0,98.



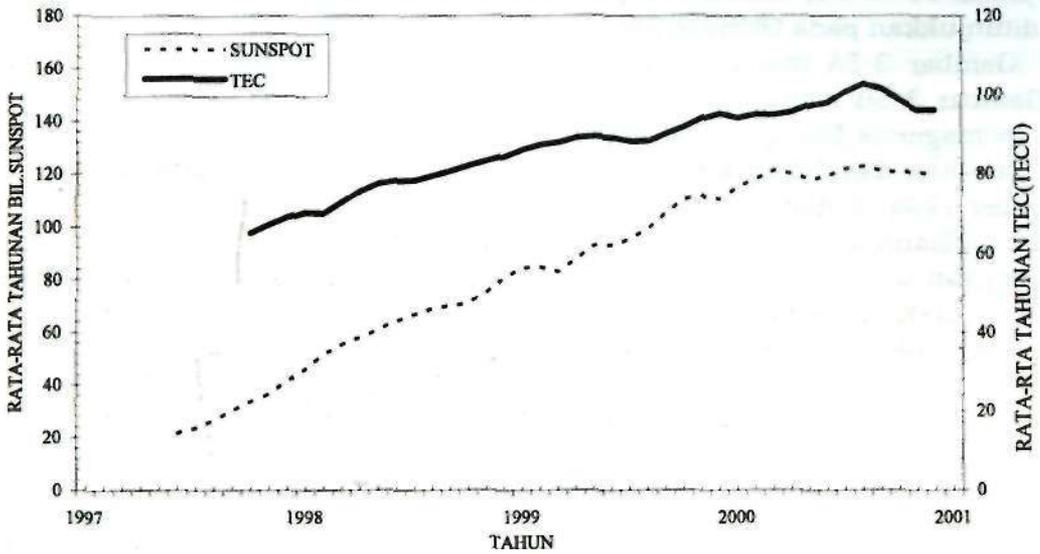
Gambar 3-1: Rata-rata bulanan foF2 ionosfer di Biak dan bilangan bintik matahari dan jumlah flare dalam selang waktu 1991-1995. Belum tampak pengaruh aktivitas matahari terhadap foF2 ionosfer di Biak, karena nilai foF2 didominasi oleh pengaruh bulanan dan musiman, tetapi kecenderungan sudah tampak mengikuti pola tingkat aktivitas matahari



Gambar 3-2: Grafik rata-rata bergerak-12 bulan foF2 Biak dibandingkan dengan rata-rata bergerak 12 bulan Bilangan bintang matahari dan flare. Tampak dengan jelas pengaruh kuat aktivitas matahari pada foF2 tahun 1991-1995 yang diperlihatkan dengan koefisien korelasi yang tinggi antara foF2 dengan bilangan bintang matahari dan jumlah flare masing-masing sebesar 0,96



Gambar 3-3: Grafik rata-rata bulanan nilai TEC siang hari waktu lokal (10.00-15.00 WIB) di Bandung dan bilangan Bintang matahari dalam selang waktu 1997-2000. Belum tampak pengaruh aktivitas matahari terhadap TEC ionosfer di Biak, karena nilai TEC didominasi oleh pengaruh bulanan dan musiman, tetapi kecenderungan sudah tampak mengikuti pola tingkat aktivitas matahari



Gambar 3-4: Grafik rata-rata bergerak 12 bulan TEC siang hari waktu lokal (10.00-15.00 WIB) di atas Bandung tahun 1997-2000 dibandingkan dengan bilangan bintang matahari tahun 1997-2000. Tampak dengan jelas kaitan antara rata-rata tahunan TEC dan bilangan bintang matahari. Hal ini terbukti dari tingginya koefisien korelasi antara TEC dengan bilangan bintang matahari yaitu sebesar 0,98

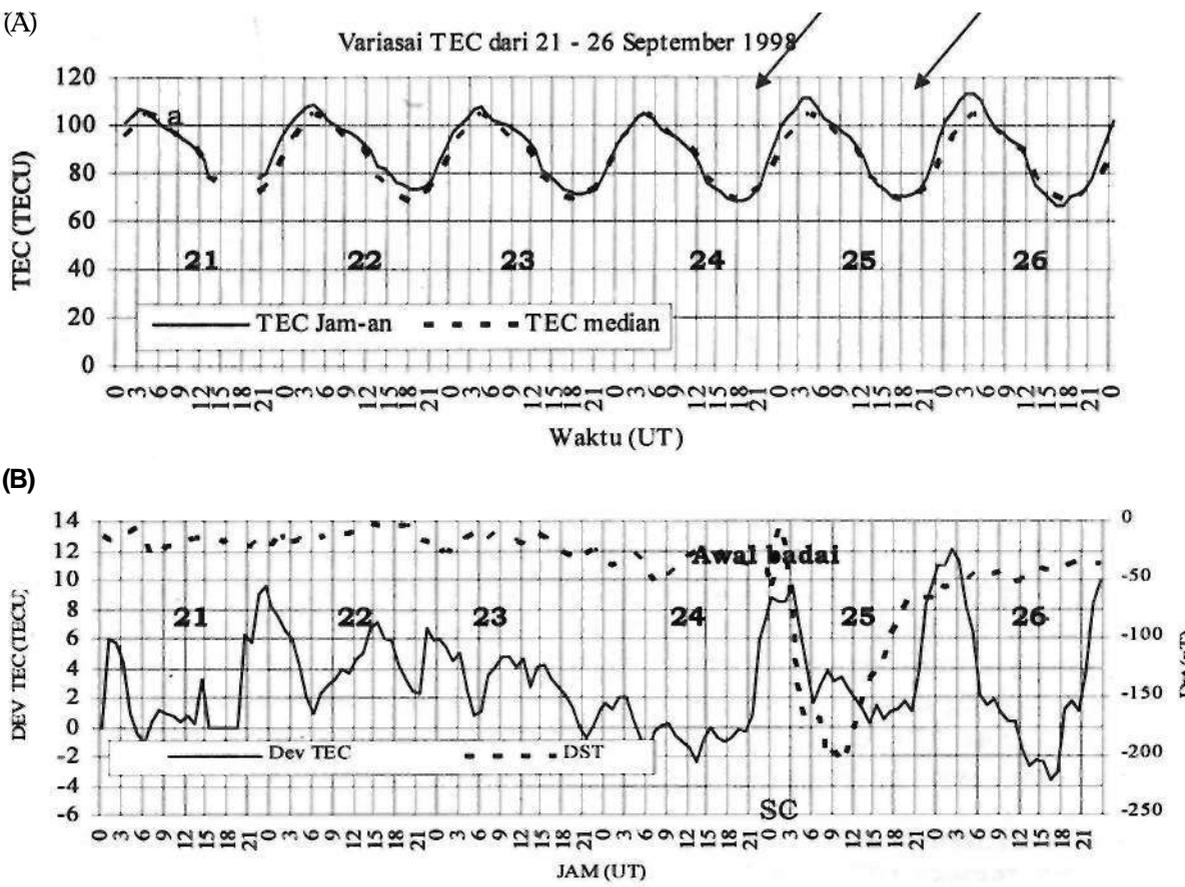
Dari identifikasi pengaruh aktivitas matahari pada variasi TEC dan foF2 ionosfer di Biak dan di Bandung, tampak bahwa pengaruh aktivitas matahari pada TEC dan foF2 ionosfer di Biak dan di Bandung mempunyai korelasi positif dan mempunyai kaitan yang sangat tinggi setelah pengaruh bulanan dan musiman dihilangkan. Hal ini ditandai dengan koefisien korelasi yang tinggi diperoleh antara kedua parameter aktivitas matahari dan parameter ionosfer. Korelasi yang diperoleh adalah positif, yaitu jika aktivitas matahari meningkat maka variasi TEC dan foF2 ionosfer meningkat pula. Sebaliknya, bila aktivitas matahari menurun, maka TEC dan foF2 ionosfer menurun juga.

3.2 Identifikasi badai ionosfer karena flare kuat yang terjadi pada 23 September 1998 dan 14 Jul! 2000

Untuk mengidentifikasi badai ionosfer yang disebabkan oleh flare matahari, dipilih peristiwa flare kuat yang terjadi pada 23 September 1998 dan 14 Juli 2000. Peristiwa flare matahari pada 23 September 1998 dengan kelas 3B/M 7,1 memancarkan energi sinar-X dengan intensitas maksimum sebesar $7,1 \times 10^{-5}$ Watt/m². Flare sinar-X dimulai pada pukul 06.40 UT, dan mencapai maksimum pada pukul 10.24 UT, berakhir pada pukul 07.31 UT, diikuti oleh peristiwa CME pada pukul 07.45 UT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-1. Peristiwa flare matahari pada tanggal 14 Juli 2000 dengan kelas 3B/X 5,7 memancarkan energi sinar-X sebesar $5,7 \times 10^{-4}$ Watt/m². Flare sinar-X dimulai pada pukul 10.03 UT, mencapai maksimum pada pukul 10.24 UT, berakhir

pada pukul 10.43 UT, diikuti oleh peristiwa CME mulai pukul 10.54 UT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2.

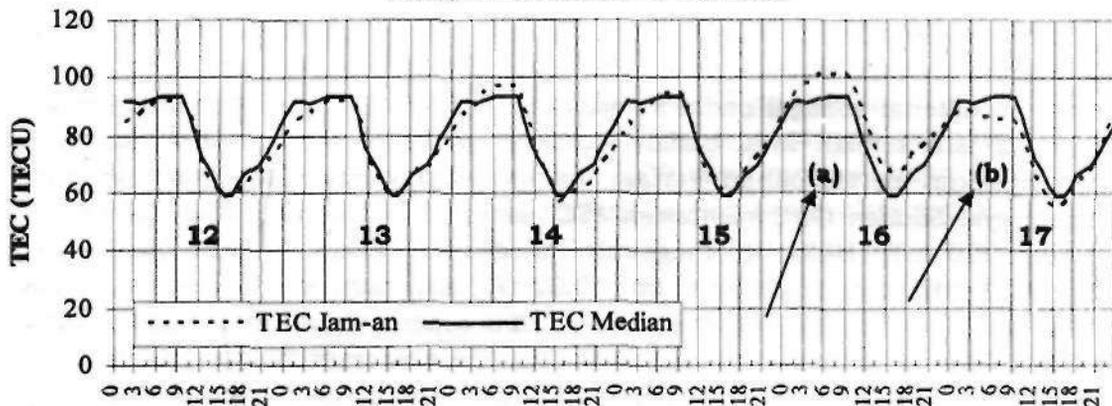
Gambar 3-5A menunjukkan pola variasi TEC jam-an dan mediannya, dan Gambar 3-5B menunjukkan pola deviasi nilai TEC dibandingkan dengan badai geomagnetik Dst dalam selang waktu dari tanggal 21-26 September 1998, 2 hari sebelum dan 3 hari sesudah peristiwa flare yang terjadi pada tanggal 23 September 1998. Sedangkan Gambar 3-6A menunjukkan pola variasi TEC jam-an dan mediannya, dan Gambar 3-6B menunjukkan pola deviasi nilai TEC dibandingkan dengan badai geomagnetik Dst dalam selang waktu dari tanggal 12-17 Juli 2000, 2 hari sebelum dan 3 hari sesudah peristiwa flare yang terjadi pada tanggal 14 Juli 2000.



uamDar J-o: A) h'oi'a variasi IIMJ Jam-an aioanaingKan aengan ICL meaian
 B) Pola deviasi TEC dibandingkan Badai geomagnetik Dst dari 21 - 26 September 1998 di Bandung dikaitkan dengan peristiwa flare kuat 23 September 1998. Tampak jelas dalam Gambar 3-5A bahwa dua hari setelah flare, pada 25-26 September 1998 menunjukkan nilai TEC jam-an berada di atas nilai mediannya yang dimulai sekitar pukul 03.00 UT tanggal 25 September 1998. Gambar 3-5B menunjukkan bahwa 2 jam setelah awal badai geomagnetik pada pukul 01.00 UT tanggal 25 September 1998, dengan SD (*Sudden Commencemen*) sebesar 220 nT sekitar pukul 10.00 UT, diikuti oleh badai ionosfer pada 25 September 1998 dari jam 21 UT sampai jam 06 UT pada tanggal 26 September 1998 dengan simpangan terbesar sekitar 12TECU

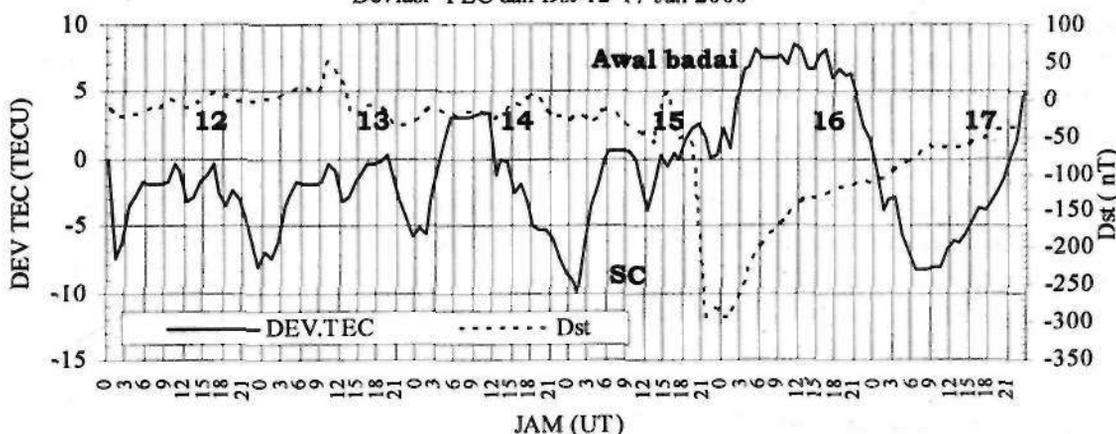
(A)

Variasi TEC dari 12 -17 Juli 2000



(B)

Deviasi TEC dan Dst 12-17 Juli 2000



Gambar 3-6: A) Pola variasi TEC Jam-an dibandingkan dengan TEC median
 B) pola deviasi TEC dibandingkan badai geomagnetik Dst dari 12-17 Juli 2000 di Bandung dikaitkan dengan peristiwa flare kuat, 14 Juli 2000. Tampak jelas dalam Gambar 3-6A bahwa dua hari setelah flare, pada 16-17 Juli 2000 menunjukkan nilai TEC jam-an berada di atas nilai mediannya yang dimulai sekitar pukul 03.00 UT pada 16 Juli 2000, kemudian pada 17 Juli 2000, nilai TEC jam-an berada di bawah nilai mediannya. Gambar 3-6B menunjukkan bahwa sekitar 7 jam setelah awal badai geomagnetik mulai pada pukul 16.00 UT tanggal 15 Juli 2000, dengan SD (*Sudden Commencement*) sebesar 300 nT terjadi sekitar pukul 24.00 UT, mulai terjadi badai ionosfer pada 16 Juli 2003 dari pukul 03-21 UT dengan simpangan terbesar sekitar 12 TECU

Dari Gambar 3-5 tampak bahwa 2 hari sebelum terjadi flare kuat pada tanggal 23 September 1998 belum terlihat adanya variasi TEC yang mencolok antara nilai TEC median dengan TEC jam-an. Baru sekitar 2 hari atau tepatnya ± 42 jam setelah flare yang diikuti oleh peristiwa CME terlihat adanya pengaruh flare terhadap TEC, yaitu pada tanggal 25-26 September 1998. Hal ini dapat

ditunjukkan dengan kenaikan nilai maksimum TEC, dengan nilai TEC jam-an berada di atas nilai TEC mediannya dimulai pada pukul 03.00 UT pada 25 September 1998 dan berlanjut sampai 26 September 1998. Karena nilai TEC berada di atas nilai mediannya selama beberapa jam atau sekitar harian, maka badai ini dikenal sebagai badai ionosfer dengan fase positif. Badai ionosfer ini terjadi 2 jam setelah awal badai magnetik pada 25 September 1998, yang menunjukkan pertambahan variasi indeks geomagnetik Dst secara drastis, mempunyai *Sudden Commencement* (SC) dengan Dst mencapai nilai maksimum sekitar 220 nT. Badai geomagnetik ini dimulai sekitar pukul 01.00 UT, mencapai puncaknya sekitar pukul 10.00 UT, dan baru kembali normal pada pukul 20.00 UT tanggal 26 September 1998 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-5A. Besarnya simpangan nilai TEC yang terbesar dihitung dari lembah ke puncak dibandingkan dengan simpangan nilai TEC pada tanggal 24 September 1998 (dipilih sembarang) adalah sekitar 12 TECU seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-5B. Dari hasil tersebut terlihat bahwa 2 hari sebelum terjadi flare kuat yang terjadi pada tanggal 23 September 1998 belum ada gangguan, yang berarti ada penundaan waktu setelah kemunculan flare yang diikuti oleh peristiwa CME sampai terjadinya gangguan geomagnetik pada tanggal 25 September 1998.

Dari Gambar 3-6 tampak bahwa 2 hari sebelum terjadi flare kuat pada tanggal 14 Juli 2000 belum terlihat adanya variasi TEC yang mencolok antara nilai TEC median dengan TEC jam-an. Baru sekitar 2 hari setelah terjadi flare yang diikuti peristiwa CME, tepatnya ± 35 jam, terlihat adanya pengaruh flare terhadap TEC. Hal ini dapat ditunjukkan dengan kenaikan nilai maksimum TEC, dengan TEC jam-an berada di atas mediannya dimulai sekitar pukul 03.00 UT pada tanggal 16 Juli 2000, disebut badai ionosfer dengan fase positif (A), kemudian pada tanggal 17 Juli 2000 nilai TEC jam-an berada di bawah TEC median, disebut badai ionosfer dengan fase negatif (B), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-6A. Badai ionosfer ini terjadi sekitar 7 jam setelah awal badai magnetik pada 15 Juli 2000, yang menunjukkan pertambahan variasi indeks geomagnetik Dst secara drastis yang mempunyai SC dengan Dst sampai sekitar 300 nT, dimulai sekitar pukul 16.00 UT dan mencapai puncaknya sekitar pukul 24.00 UT (07 00 LT) disebut SC, kemudian baru kembali sekitar pukul 03.00 UT pada tanggal 16 Juli 2000 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-6B. Besarnya penyimpangan TEC yang dihitung dari lembah ke puncak dibandingkan dengan penyimpangan TEC pada tanggal 15 Juli 2000 sekitar 12 TECU seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-6B. Dari hasil tersebut terlihat bahwa sekitar 2 hari sebelum terjadi flare kuat pada tanggal 14 Juli 2000, belum ada gangguan, ini berarti ada penundaan waktu setelah kemunculan flare yang diikuti oleh peristiwa CME sampai terjadinya gangguan geomagnetik pada tanggal 15 Juli 2000. Jelas bahwa perubahan nilai TEC sebagai akibat peristiwa dari kedua flare yang diikuti oleh peristiwa CME. Hal ini ditunjukkan oleh perubahan indeks geomagnetik Dst secara drastis, di mana perubahan drastis Dst mengindikasikan adanya badai geomagnetik. Sedangkan badai magnetik diawali oleh gangguan yang terjadi di permukaan matahari dan menimbulkan badai geomagnetik kuat yang mempunyai SC yang timbul 1-2 hari setelah flare terjadi

sesuai dengan pengamatan yang dilakukan oleh Jenkins dan Paghis (1963). Hasil pada Gambar 3-6B menunjukkan setelah SC sekitar pukul 24.00 UT (07.00 LT), mulai terjadi peningkatan harga TEC dari 03.00 UT (10.00 LT) sampai jam 21.00 UT (03.00 LT) pada 16 Juli 2000 selama badai magnetik, selanjutnya diikuti pengurangan TEC dari 00.00 UT ke 23.00 UT pada 17 Juli 2000 seiring dengan hilangnya badai geomagnetik secara perlahan-lahan. Peristiwa flare kuat pada tanggal 14 Juli 2000 yang menyebabkan fase badai ionosfer dengan fase positif dan fase negatif secara bergantian sesuai dengan pengamatan yang dilakukan oleh Mendillo (1973). Dari hasil penyelidikan yang dilakukan pada stasiun yang berlokasi di belahan bumi utara diperoleh bahwa pada umumnya untuk badai dengan SC selama siang hari [*daytime*] menunjukkan peningkatan harga TEC (fase positif) pada sore atau malam hari pada hari yang sama, selanjutnya diikuti oleh depresi yang menyebabkan pengurangan harga TEC (fase negatif). Jika suatu badai dengan tiba-tiba terjadi setelah matahari terbenam, hanya salah satu dari kedua fase yaitu fase negatif atau fase positif yang tampak terlambat sampai sore hari berikutnya [*delayed positive storms*], Kemudian Gustavo et al., (1997) melakukan penelitian TEC di lintang selatan pada Tucuman Argentina (26,9 S; 64,5 B) selama beberapa badai geomagnetik terjadi mendapatkan hasil yang serupa, yaitu pada hari badai geomagnetik menyebabkan badai ionosfer positif pada sore atau malam hari dan kemudian diikuti oleh badai ionosfer negatif

Fenomena badai ionosfer positif dapat diterangkan oleh medan listrik (Tanaka and Hirao, 1973) atau oleh angin mengarah selatan yang bergerak ke arah ekuator oleh TAID [*Traveling Atmospheric-Ionospheric Disturbances*] (Proles and Jung., 1978). Efek badai ionosfer positif yang mencolok bisa terjadi hampir bersamaan atau setelah beberapa jam dengan SC. Jika beberapa jam dibutuhkan untuk angin badai menjalar dari lintang aurora ke lintang menengah dan lintang rendah, peningkatan TEC pada tingkat pertama mungkin disebabkan oleh mekanisme yang agak cepat, seperti medan listrik magnetosfer yang diperkuat mengangkat plasma ke atas sampai daerah-daerah di mana hilangnya (Josses) oleh proses rekombinasi lebih rendah. Peningkatan TEC seharian pada beberapa badai geomagnetik mungkin efek dari angin mengarah ke ekuator dihaailkan oleh pemanasan Joule pada lintang aurora selama masa badai, yang memajukan atau menggantikan efek permulaan dari medan listrik.

Badai ionosfer negatif setelah fase positif, atau selama periode badai yang sangat kuat, juga disebabkan oleh angin mengarah selatan ini yang mengangkut nitrogen yang kaya udara dari daerah aurora ke lintang tinggi, lintang menengah dan lintang rendah. Komposisi gangguan dihasilkan oleh badai geomagnetik mempengaruhi proses ionisasi dari atmosfer atas; diperoleh suatu korelasi yang erat antara peningkatan badai magnetik dari rasio kerapatan N2/O dan pengosongan kerapatan plasma ionosfer (Proles, 1980). Efek badai fase positif yang lama, juga disebabkan oleh perubahan komposisi gas netral, karena pengurangan yang moderat dari rasio kerapatan N2/O sering terjadi (Proles, 1987). Hasil pengurangan dalam kecepatan loss ionosfer akan mendukung peningkatan kerapatan elektron di ionosfer. Dengan demikian angin termosfer mempunyai peranan yang sangat penting dalam memelihara

fase positif (plasma terangkat ke atas) dan fase negatif (transpor dari kandungan molekul). Badai ionosfer dengan fase positif dan badai negatif ini timbul disebabkan oleh bermacam-macam fenomena, karena plasma di daerah ionosfer dikendalikan oleh beberapa mekanisme yang saling bersaing, bergantung kepada lokasi pengamatan, posisi matahari, variasi musiman dan waktu lokal. Oleh karena itu, agar dapat lebih memahami mekanisme yang menyebabkan jenis-jenis badai ionosfer ini dianjurkan pengamatan TEC dan frekuensi kritis lapisan F2 secara serentak untuk berbagai lintang yang disebabkan oleh peristiwa Flare kuat yang diikuti oleh CME yang sama (dalam kesempatan belum dilakukan).

Seperti diketahui bahwa ionosfer bumi bertindak sebagai medium pengganggu terhadap sistem navigasi seperti GPS. Menurut Klobuchar (1991), keterlambatan waktu (*delay time*) dari *signal group* berbanding lurus dengan TEC. 1 unit TEC - 1×10^{16} e⁻/m² sama dengan waktu tunda (*delay time*) 0,542 ns pada LI dengan frekuensi GPS - 1,6 GHz, menyebabkan kesalahan jarak pengukuran sebesar 0,163 meter. Jadi pada saat terjadi badai magnetik sebagai akibat dari peristiwa flare yang kuat pada 23 September dan 14 Juli 2000 yang menyebabkan deviasi TEC sekitar 12 TEC bisa menyebabkan kesalahan pada receiver GPS frekuensi tunggal sekitar 12 x 0,163 meter atau kira-kira 19 meter.

Berdasarkan hasil-hasil identifikasi di atas juga diperoleh hasil bahwa variasi TEC ionosfer di Bandung dan foF2 ionosfer di SPD Biak selain dipengaruhi oleh aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indeks bilangan bintik matahari dan flare juga dipengaruhi oleh variasi bulanan dan musiman. Juga teridentifikasi bahwa sebelum dan sesudah terjadi flare kuat tanggal 23 September 1998 dan 14 Juli 2000, banyak terjadi flare-flare kecil, tetapi tidak menimbulkan badai ionosfer.

5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil identifikasi di atas adalah bahwa variasi foF2 ionosfer di SPD Biak dalam rentang waktu dari 1991-1995 dan TEC ionosfer di Bandung dalam rentang waktu dari Juni 1997- Desember 2000 memiliki keterkaitan yang kuat dengan aktivitas matahari yang dinyatakan dengan bilangan bintik matahari dan jumlah flare. Dari hasil analisis rata-rata bergerak 12 bulan (*moving-averages*) diperoleh kesimpulan kuatnya pengaruh aktivitas matahari terhadap foF2 dan TEC ionosfer yang dibuktikan dengan tingginya koefisien korelasi antara foF2 dengan bilangan bintik matahari dan jumlah flare dalam rentang waktu dari 1991-1995 masing-masing sebesar 0,96, sedang TEC dengan bilangan bintik matahari dalam rentang waktu dari 1997-2000 sebesar 0,98.

Sedang dari identifikasi peristiwa flare kuat yang terjadi pada tanggal 23 September 1998 dan tanggal 14 Juli 2000 yang diikuti oleh peristiwa CME disimpulkan bahwa dua hari setelah flare pada tanggal tersebut diikuti dengan terjadi badai ionosfer berupa badai positif dan negatif yang didahului beberapa jam oleh peristiwa badai geomagnetik. Dari hasil identifikasi disimpulkan bahwa flare kecil belum tentu menyebabkan gangguan di ionosfer.

Dari pembahasan dan analisis juga disimpulkan bahwa telaah identifikasi pengaruh aktivitas matahari terhadap variasi ionosfer mutlak diperlukan untuk peringatan dini sistem komunikasi dan navigasi berbasis satelit.

DAPTAR RUJUKAN

- Gonzalez, W.D., J.A Joselyn, Y. Kamide, H.W. Kroehl, G. Rostoker, B. Tsurutani, and V.M. Vasyliunas, 1994. *What is a Geomagnetic Storm ?* J. Geophys, Res. 99,5771-5792.
- Gustavo A Mansilla and Jose R. Manzano, 1997. *Evolution of Total Electron Content and Slab Thicness at Tucuman, Argentina During Some Geomagnetic Storms*, <http://www.igeofcu.mx/editorial/georinter/1997/04/>
- Hans Volland, 1988. *Atmospheric Tidal and Planetary Waves*, Kluwer Academic Publishers Group.
- Jenkins, R. W., Paghis.I, 1963. *Criteria for the Association of Solar Flares with Geomagnetic Disturbances*, Can. J. Phys.41, 1056-1075.
- King, G.A.M, 1962a. *The Ionospheric F region During a Storm*, Planetary Space Sci. 9, 95-100.
- Mendillo, M., 1973. *A Study of the Relationship between Geomagnetic Storm and Ionospheric Disturbances at Midlatitudes*. Planet. Space Sci., 21, 349-358
- Prolss, G. W., 1980. *Magnetic Storm associated Perturbations of the Upper Atmosphere: Recent Result Obtained by Satellite-Boms Gas Analyzers*. Rev. Geophys., 18, 183-202.
- Prolss, G. W., 1987. *Storm Induced Changs in the Thermospheric Composition at Middle Latitudes*, Planet. Space Sci., 35, 807-811.
- Prolss, G.W.and M. J. Jung, 1978. *Traveling Atmospheric Disturbances as a Feasible Explanation for Daytime Positive storm Effects of Moderate Duration at Middle Latitudes*. J. Atmos. Terr. Phys., 40,, 1351-1354.
- Thome G.D and L.S. Wagner, 1971. *Electron Desity Enhancements in the E and F regions of the Ionosphere During Solar Flares*, Journal Geophysical Research 76,6883-6895.
- Tanaka , T. and K. Hirao, 1973. *Effects of an Electric Field on the Dynamical Behavior of the Ionosphere and its Application to the Storm-time Disturbance of the F-Layer*, J. Atmos. Terr. Phys., 35 , 1275 - 1452.
- Tsurutani, B.T., B.E. Goldstein, E.J. Smith, W.D. Gonzalez, P. Tang, S.I. Akasofu, and R.R. Anderson, 1990. *The Interplanetary and Solar Causes of Geomagnetic Activity*, Planet. Space Sci., 38, 109-126.