

KORELASI ANTARA AKTIVITAS MATAHARI DAN DINAMIKA IONOSFER

SURATNO¹⁾, JIYO²⁾, SRI SUHARTINI²⁾, dan VARULIANTOR DEAR²⁾

¹⁾Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa

²⁾Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi

Pusat Sains Antariksa – LAPAN

e-mail : suratno@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Telah dilakukan analisis korelasi antara tingkat aktivitas matahari dengan dinamika ionosfer. Parameter aktivitas matahari digunakan data bilangan bintik matahari (sunspot), fluks $F_{10.7}$ dan intensitas sinar-X, sedangkan untuk dinamika ionosfer digunakan data frekuensi kritis f_oF_2 . Diperoleh hasil bahwa korelasi antara f_oF_2 dengan bilangan sunspot dan fluks $F_{10.7}$ cukup tinggi pada siang hari dan bila dibandingkan dengan korelasi pada malam hari terlihat perbedaan yang signifikan. Korelasi f_oF_2 dengan sinar-X *background* memiliki koefisien yang rendah dan hampir merata, sedangkan korelasi f_oF_2 terhadap flare sinar-X pada siang jauh lebih baik dibandingkan korelasi pada malam hari. Korelasi juga meningkat dengan meningkatnya kelas flare. Karena pengamatan bintik matahari hanya dilakukan sekali dalam sehari, fluks $F_{10.7}$ dilakukan seharian dan flare sinar-X dilakukan untuk peristiwa transien maka untuk keperluan prakiraan frekuensi kritis jangka panjang (bulanan dan atau triwulanan) lebih tepat digunakan data bilangan sunspot, prakiraan jangka waktu menengah (beberapa hari kedepan) lebih tepat bila digunakan data fluks $F_{10.7}$, dan untuk waktu yang lebih pendek (beberapa jam kedepan) perlu digunakan data flare sinar-X.

Kata kunci: dinamika ionosfer, aktivitas matahari, flare sinar-X

Abstract. Analysis of the correlation between the solar activity and the ionospheric dynamics parameters has been done. Solar activity parameters used in the analysis are sunspot number, solar flux $F_{10.7}$ and the intensity level of solar X ray, while the dynamics of ionosphere parameter is critical frequency (f_oF_2). There is closed correlation among f_oF_2 and sunspot number and also to flux $F_{10.7}$ in the day time. While there is significant difference when compared to the correlation at night. The correlation between f_oF_2 and the background of X-ray emission have low coefficient and almost flatten, while the correlation between f_oF_2 and X-ray flare at the day time is better than that at night time. The correlation is also increase with the increasing of the X-ray flare classes. Since the observation of sunspot once daily, solar flux $F_{10.7}$ full daily and X-ray flare as transient of the event hence for the long term prediction (monthly and or quarterly) of critical frequency uses sunspot number, middle term prediction (several days) uses the solar flux ($F_{10.7}$) data and for short time (hourly) uses the data of solar X-ray flare.

Keywords: ionospheric dynamic, solar activity, X-ray flare

1. Pendahuluan

Matahari secara kontinu memancarkan radiasi elektromagnetik pada spektrum yang lengkap mulai dari gelombang sangat pendek (sinar gamma, sinar-X, UV) sampai gelombang panjang atau gelombang radio (mm, cm, dekameter, hektometer an kilometer). Tingkat intensitas radiasi matahari bervariasi sesuai dengan perio a^{S1 u8} aktivitas matahari (tenang, medium dan aktif) dengan perioda ~11 tahun dan se ai

waktu terjadi peningkatan mendadak yaitu peristiwa flare. Variasi atau periodisitas tingkat aktivitas matahari diindikasikan oleh kemunculan bintik matahari (sunspot). Pada perioda aktif jumlah kemunculan grup dan atau individual bintik matahari cukup banyak dan sebaliknya ketika pada kondisi tenang jumlah bintik sedikit dan bahkan tidak muncul. Selain bintik matahari, tingkat aktivitas matahari juga dapat ditandai oleh radiasi elektromagnet pada panjang gelombang 10.7cm (frekuensi 2800 MHz) dan disebut fluks $F_{10.7}$. Karena radiasi $F_{10.7}$ ini terjadi melalui proses termal maka meskipun matahari dalam kondisi tenang besar fluks $F_{10.7}$ tetap terdeteksi yang memiliki nilai fluks tertentu.

Peristiwa flare banyak terjadi ketika matahari pada perioda aktif. Energi hasil fusi nuklir di dalam inti matahari dilepaskan dan bergerak menuju permukaan matahari melalui proses konveksi. Di permukaan matahari energi terjadi melalui proses termal dan berinteraksi dengan medan magnet di fotosfer, kromosfer dan korona matahari yang mengakibatkan adanya lapisan plasma yang terionisasi. Proses termal menghasilkan radiasi pada spektra elektromagnet yang lengkap dari gelombang radio, sinar tampak UV, sinar-X, sampai sinar Gamma terpancar keluar permukaan matahari menuju ruang helios dan terestrial termasuk di atmosfer bumi. Adanya interaksi dengan lingkungan terestrial mengakibatkan perubahan kondisi di ruang tersebut dan disebut sebagai fenomena cuaca antariksa. Cuaca antariksa ekstrem dapat terjadi bila ada peristiwa ekstrem pula di matahari, misalnya flare. Fenomena terkait flare antara lain adanya lontaran massa Korona (*Coronal Mass ejection/CME*), peningkatan fluks sinar-X, peningkatan fluks sinar ultra violet (UV), dan terjadinya semburan radio (*radio bursts*) matahari baik pada gelombang mikro (milimeter-centimeter-desimeter) maupun gelombang panjang (meter dan diatasnya).

Lapisan ionosfer di atmosfer atas bumi terbentuk melalui proses fotoionisasi dari sinar *Ultraviolet (UV)* dan *sinar-X (soft X ray dan hard X ray)*. Ketika terjadi peristiwa transien (flare) di permukaan atau di atmosfer matahari (kromosfer) maka tingkat fluks radiasi pengionisasi ini juga meningkat secara mendadak, sehingga akan berakibat terjadinya anomali transien di lapisan ionosfer. Akibatnya di lapisan ionosfer terjadi peningkatan ion-ion sehingga menambah kerapatan dan atau ketebalan lapisan yang terionisasi. Variasi kerapatan elektron di lapisan ionosfer yang signifikan terjadi di lapisan E dan lapisan F (Wang et. al. 2006).

Peningkatan fluks sinar X secara transien merupakan peristiwa flare sinar X. Flare yang diamati pada panjang gelombang 1 – 8 \AA dan dikenal dengan sinar-X lunak (*Soft X-Ray*), sedangkan yang diamati pada gelombang $<1\text{\AA}$ disebut sinar-X keras (*Hard X-Ray*). Klas flare sinar-X adalah A, B, C, M, dan klas X berturut-turut memiliki fluks 10^8 , 10^7 , 10^6 , 10^5 dan 10^4 Watt/m^2 (Dulk et al., 1985). Mekanisme terjadinya flare sinar X ini adalah adanya peningkatan temperatur kromosfer matahari (proses termal) Radiasi UV juga terjadi karena proses atau peningkatan termal termasuk ketika terjadi peristiwa flare. Radiasi UV dan sinar-X berkorelasi kuat dengan fluks radio $F_{10.7}$ dengan angka korelasi lebih besar dari 90%. Fluks $F_{10.7}$ diamati dari permukaan Bumi karena panjang gelombangnya berada pada jendela radio atmosfer. Liu, et.al., 200

menyebutkan bahwa keterkaitan erat antara variasi TEC pada tengah hari meningkat dengan peningkatan fluks flare sinar-X hanya untuk flare kelas M dan kelas X.

Dengan keterangan tersebut maka studi tentang korelasi antara tingkat aktivitas matahari dengan dinamika ionosfer dapat menggunakan bilangan bintik matahari (sunspot), fluks $F_{10.7}$ dan intensitas sinar-X. Pada penelitian ini akan dianalisis keterkaitan antara aktivitas matahari dan dinamika atau anomali ionosfer. Digunakan data bilangan sunspot, fluks matahari pada gelombang 10,7 cm ($F_{10.7}$), aktivitas flare sinar-X sebagai indikator aktivitas matahari dan f_oF_2 untuk variasi aktivitas ionosfer.

1. Data observasi dan metodologi penelitian

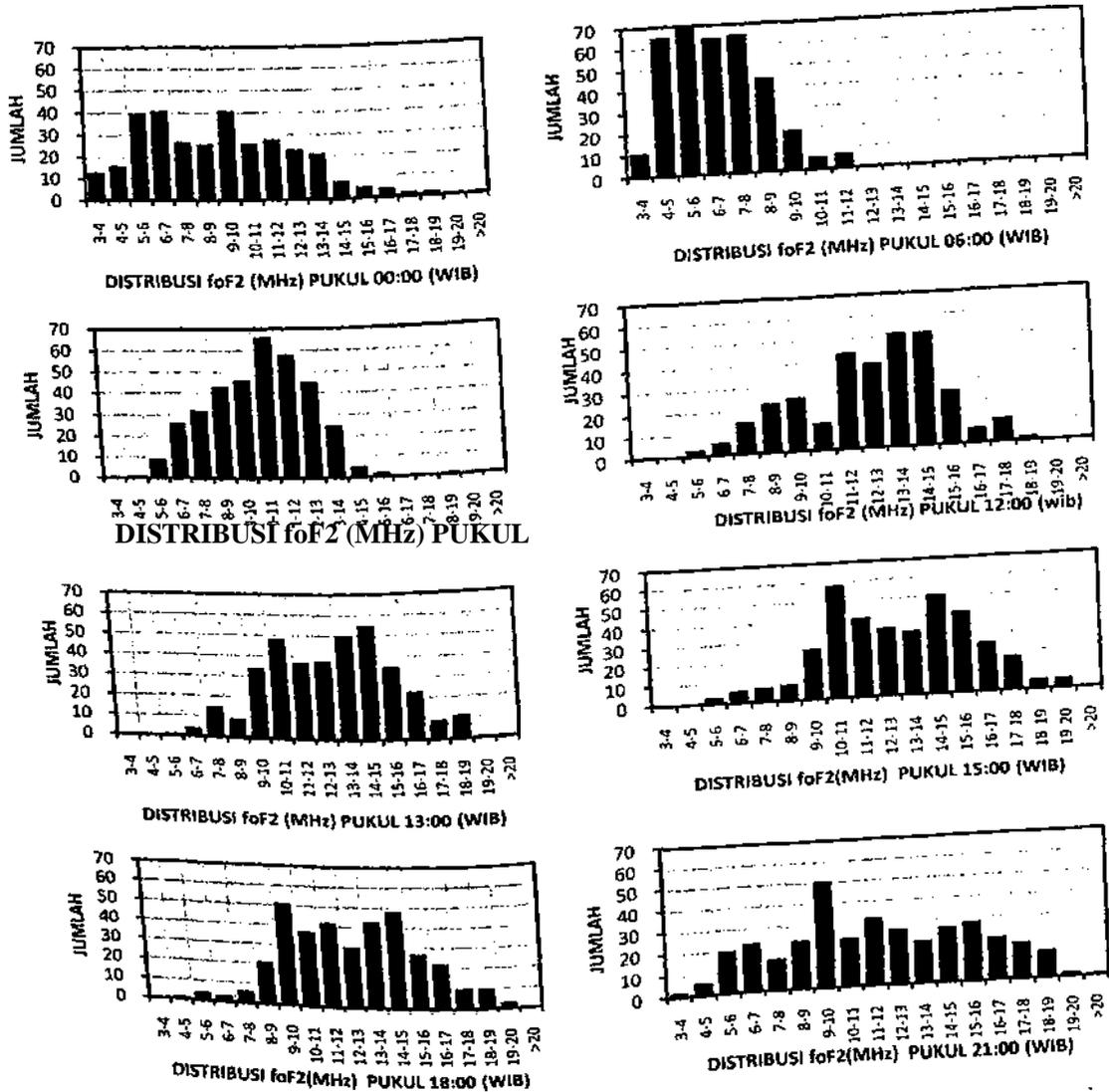
Data f_oF_2 adalah data hasil pengamatan Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN Pamcungpeuk, Pontianak, Biak dan Tanjungsari yang dihimpun dan disusun dari bulan Nopember 1997 sampai dengan Desember 2006. Periode tersebut berada pada periode siklus aktivitas matahari ke-23 yaitu pada rentang menjelang (periode naik) aktivitas matahari, periode puncak aktivitas (2000/2001) dan periode aktivitas menurun. Data bilangan sunspot (R), fluks radiasi gelombang 10,7 cm ($F_{10.7}$) dan data intensitas sinar-X (*background*) dihimpun dari pusat data (*Word Data Center*) sesuai dengan waktu himpunan data f_oF_2 , diunduh dari situs <http://www.ngdc.noaa.gov/>. Sedangkan data flare sinar-X diunduh dari situs ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_FLARES/.

Pada makalah ini akan disajikan analisis korelasi antara frekuensi kritis lapisan ionosfer f_oF_2 dengan bilangan sunspot (R) dan fluks $F_{10.7}$ dan analisis korelasi antara f_oF_2 dengan intensitas sinar-X. Korelasi f_oF_2 dengan bilangan sunspot (R) dan $F_{10.7}$ diharapkan dapat mengetahui asosiasi dinamika ionosfer (f_oF_2 sebagai indikator) dengan tingkat aktivitas matahari dalam satu siklus. Tingkat aktivitas matahari dinyatakan dengan variasi bilangan sunspot dan besar fluks $F_{10.7}$. Sedangkan analisis korelasi f_oF_2 dibedakan terhadap intensitas sinar-X *background* dan intensitas sinar-X flare. Dengan demikian dapat diketahui korelasi dinamika ionosfer oleh adanya radiasi sinar-X ketika matahari pada kondisi tenang dan ketika matahari terjadi peristiwa tansien.

2. Analisis korelasi f_oF_2 dengan bilangan sunspot dan fluks $F_{10.7}$

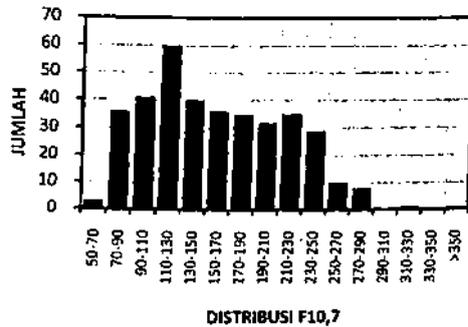
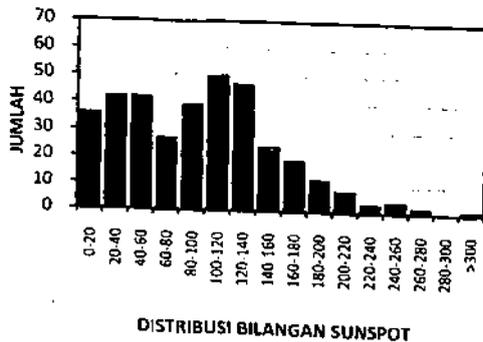
Langkah pertama untuk analisis korelasi ini adalah melihat karakteristik frekuensi kritis (f_oF_2) ionosfer dari jam ke jam dalam sehari. Baik data bilangan sunspot maupun data $F_{10.7}$ yang akan digunakan dalam analisis korelasi adalah data harian. Gambar 3-1 adalah distribusi data f_oF_2 (MHz) pada rentang frekuensi 1 MHz pukul 00:00, 06:00, 09:00, 12:00, 13:00, 15:00, 18:00 dan pukul 21:00 WIB. Pemilihan waktu ini mewakili waktu pagi, siang, sore, petang hari dan tengah malam sesuai dengan posisi matahari dan ketika matahari berada dibalik belahan bumi. Gambar ini menunjukkan pula dominasi f_oF_2 dari waktu ke waktu. Pada pukul 00:00 WIB, f_oF_2 tersebar hampir merata

dari 5 MHz sampai 14 MHz, pukul 06:00 WIB donunasi berubah dan f_oF_2 samp[^] ^ ^ MHz. Sedangkan pada pukul 09:00 WIB, f_oF_2 J^oTvoTwiBTemakin bergeser menjadi MHz, dan pada pukul 12:00 WIB dan pukul - • kembali bergeser ke ^ ^ ^ sekitar 12-15 MHz. Pada pukul 15:00 WIB dan pukul 18:00 WIB frekuensi yang lebih rendah dari waktu sebel y inn-00WIB. nampak lebih bergeser dan akan menuju seperti kon isi pu



Gambar 3-1. Distribusi data f_oF_2 dalam rentang waktu bulan Nopember 1997 sampai dengan bulan Desember 2006 pukul 00:00, 06:00, 09:00, 12:00, 13:00, 15:00, 18:00 dan pukul 21:00 WIB.

Frekuensi kritis f_oF_2 tersebut, disamping bervariasi sebagai akibat dari perubahan posisi matahari juga bervariasi karena perubahan tingkat aktivitas matahari. Seperti diketahui bahwa aktivitas matahari memiliki siklus 11 tahun yang dapat ditampilkan dengan menggunakan indikator bilangan bintang matahari (sunspot) dan atau fluks $F_{10.7}$. Kedua data tersebut diplot dengan rentang 20. Bilangan sunspot (R) adalah pernyataan ukuran aktivitas matahari berdasarkan jumlah sunspot (f), jumlah grup (g) dan faktor (k) koreksi terkait dengan peralatan (teleskop), pengamat dan kondisi udara lingkungan (seeing). Bilangan sunspot ini bisa bernilai nol ketika matahari benar-benar dalam kondisi tenang. $F_{10.7}$ adalah radiasi matahari pada gelombang 10,7 cm atau frekuensi 2800 MHz dengan satuan $\text{Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$ atau dalam sfu (solar flux unit), dimana $1\text{sfu} = 10^{-22} \text{Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$. Radiasi ini selalu memiliki nilai tertentu meskipun matahari pada kondisi tenang. Gambar 3-2 dan Gambar 3-3 berturut-turut distribusi data bilangan sunspot dan $F_{10.7}$.



Gambar 3-2. Distribusi data bilangan sunspot rata-rata bulanan periode tahun 1996 - 2006.

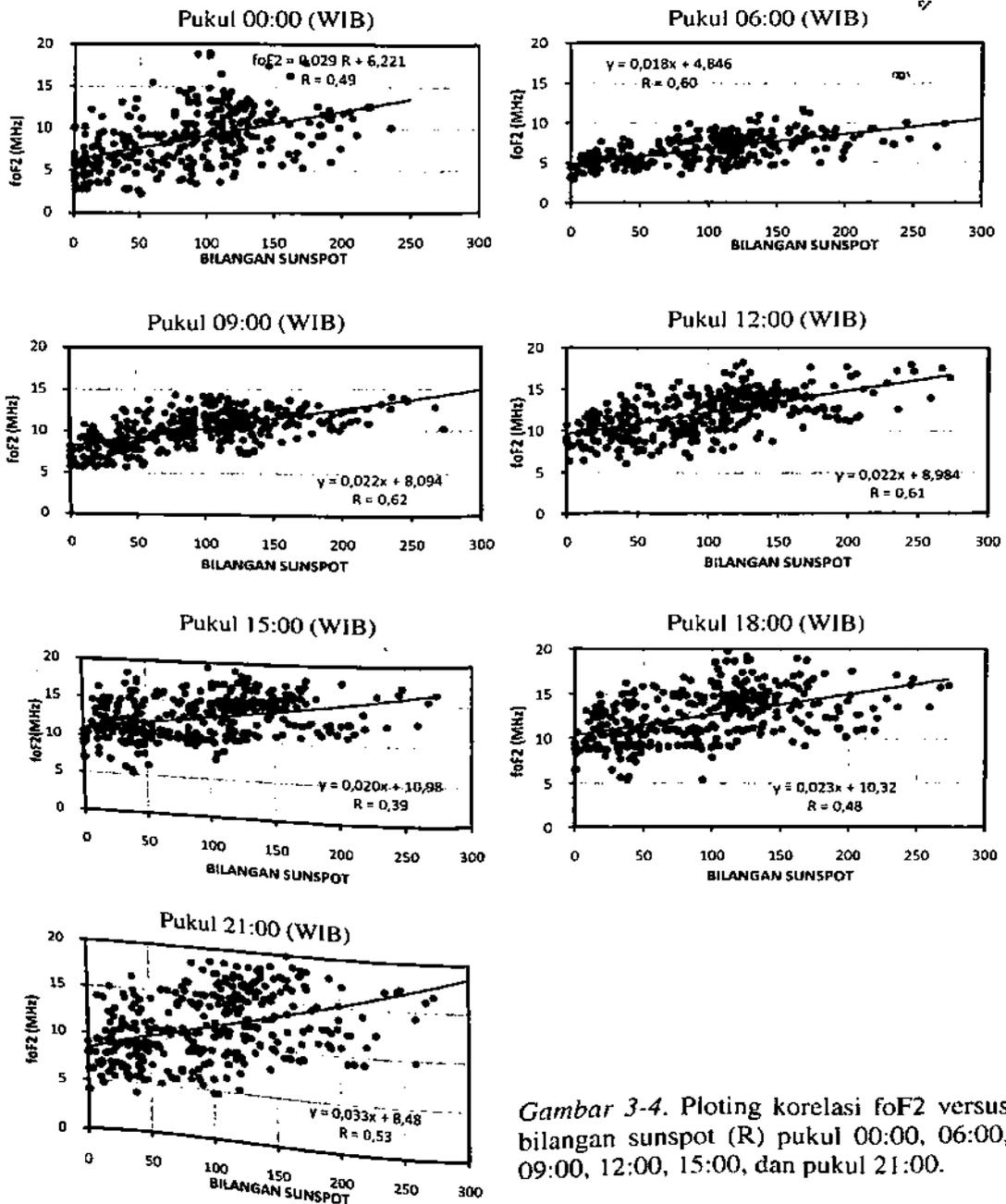
Gambar 3-3. Distribusi data fluks $F_{10.7}$ rata-rata bulanan periode tahun 1996-2006

3.1. Korelasi f_oF_2 dan bilangan sunspot (R)

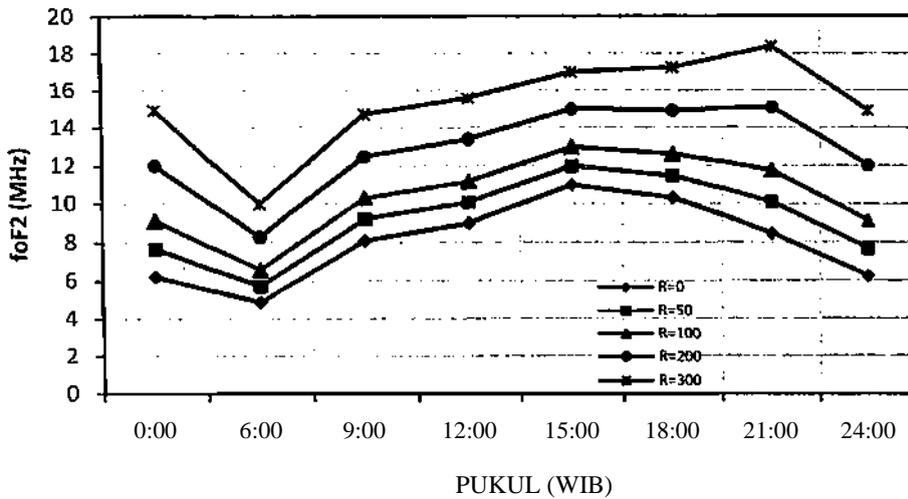
Karena pengamatan sunspot hanya dilakukan sekali dalam satu hari, maka data bilangan sunspot yang dikorelasikan adalah data harian. Data f_oF_2 berturut-turut untuk pukul 00:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 dan pukul 21:00 WIB. Pemilihan waktu tersebut sebagai waktu-waktu yang mewakili siang, petang, malam dan pagi hari waktu setempat (WIB). Ploting hasil korelasi seperti tercantum pada Gambar 3-4. Tabel 3-1, kolom-2 adalah hasil korelasi dan kolom-3 adalah koefisiennya. Koefisien korelasi berada pada rentang 0,39 sampai 0,61 dan terlihat perbedaan yang signifikan untuk waktu malam dan siang hari.

Dari hasil korelasi ini, kemudian dilakukan penghitungan f_oF_2 untuk bilangan sunspot (R) : 0 , 50 , 100 , 200, dan 300. Penentuan nilai bilangan sunspot ini didasarkan bahwa secara garis besar tingkat aktivitas matahari dengan indikator bilangan sunspot (R) dapat dikelompokkan menjadi 3(tiga) kategori. Tingkat aktivitas

rendah bila $R < 50$, sedang bila $50 < R < 150$ dan tinggi bila $R > 150$. Hasil hitungan tersebut ditampilkan pada grafik Gambar 3-4.



Gambar 3-4. Ploting korelasi foF2 versus bilangan sunspot (R) pukul 00:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, dan pukul 21:00.

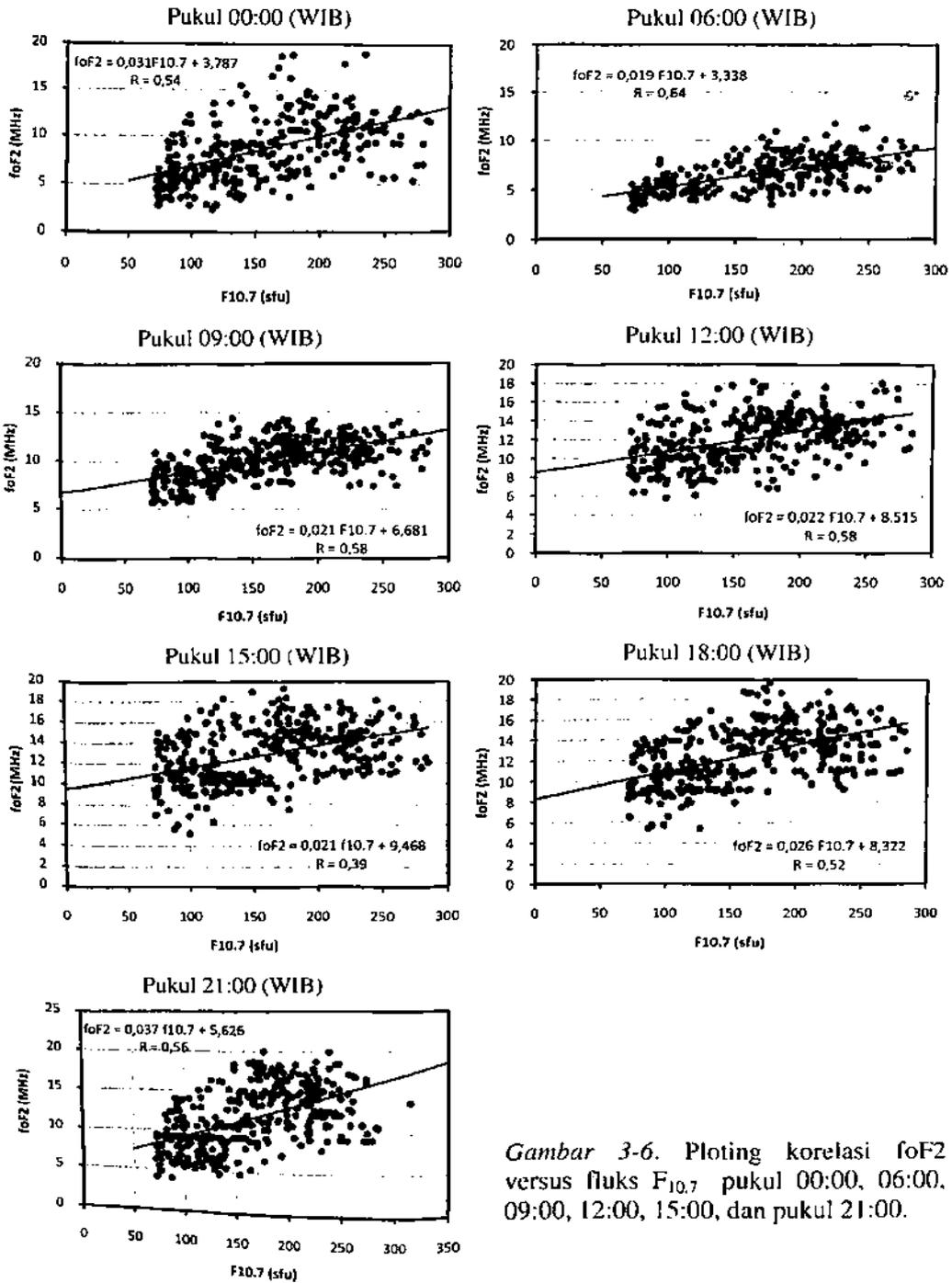


Gambar 3-5. Grafik f_oF_2 versus waktu (WIB) untuk nilai bilangan sunspot (R) 0, 50, 100, 200 dan 300.

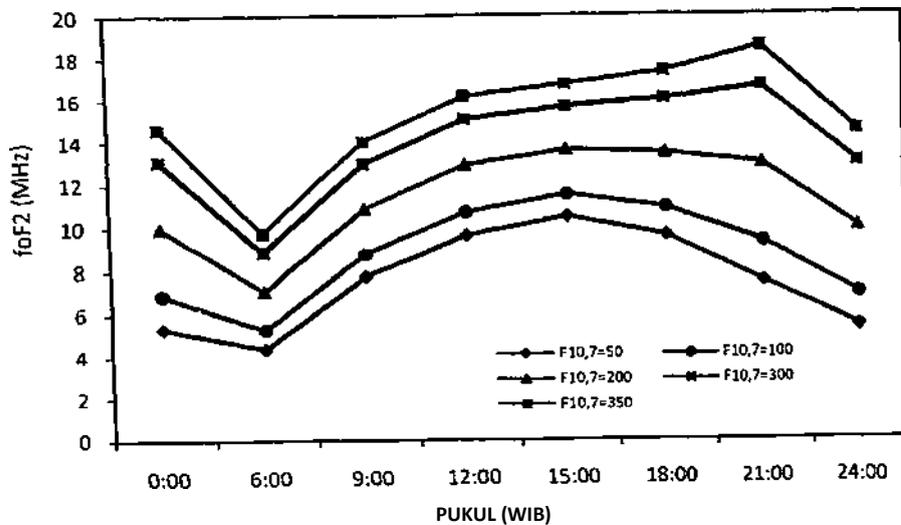
3.2. Korelasi f_oF_2 dan fluks $F_{10.7}$

Seperti halnya keterkaitan f_oF_2 dengan bilangan sunspot, korelasi dengan fluks $F_{10.7}$ dilakukan dengan langkah-langkah yang sama. Data harian $F_{10.7}$ yang juga merupakan indikator tingkat aktivitas juga dikelompokkan menjadi 3(tiga) kategori yaitu aktivitas rendah bila $F_{10.7} < 100$, sedang bila $100 \leq F_{10.7} < 200$ dan kuat bila $F_{10.7} \geq 200$. Plotting hasil korelasi seperti tercantum pada Gambar 3-6. Korelasi linier antara f_oF_2 dan fluks $F_{10.7}$ untuk waktu-waktu terkait, koefisien korelasi dan nilai f_oF_2 untuk fluks $F_{10.7}$ dari 50, 100, 200, 300 dan 350 sfu ditampilkan pada grafik Gambar 3-7. Koefisien korelasi hampir merata, namun nilai f_oF_2 terlihat perbedaan yang signifikan untuk waktu pagi, siang hari, petang dan malam hari. Demikian pula variasi f_oF_2 terhadap nilai fluks $F_{10.7}$ yang berbeda.

Dalam hal keterkaitan dengan dinamika ionosfer peninjauan data fluks $F_{10.7}$ cukup berperan karena dapat dilaksanakan sepanjang hari belahan bumi dimana peralatan dioperasikan (misalnya di Ottawa-Canada). Sedangkan pengamatan sunspot dilakukan hanya sekali dalam satu hari yang hasilnya menjadi data bilangan sunspot. Oleh karena itu, untuk keperluan prakiraan besar f_oF_2 yang berkorelasi dengan variasi aktivitas matahari data bilangan sunspot ini cocok digunakan untuk prakiraan jangka panjang (bulanan dan atau triwulanan). Sementara untuk prakiraan jangka waktu menengah (beberapa jam sampai beberapa hari kedepan) lebih mengena bila digunakan data fluks $F_{10.7}$. Sedangkan untuk waktu yang lebih pendek (beberapa jam kedepan) perlu ditinjau data flare sinar-X dan atau flare $H\alpha$ serta data aktivitas matahari lainnya seperti data semburan radio matahari.



Gambar 3-6. Ploting korelasi foF2 versus fluks F_{10.7} pukul 00:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, dan pukul 21:00.



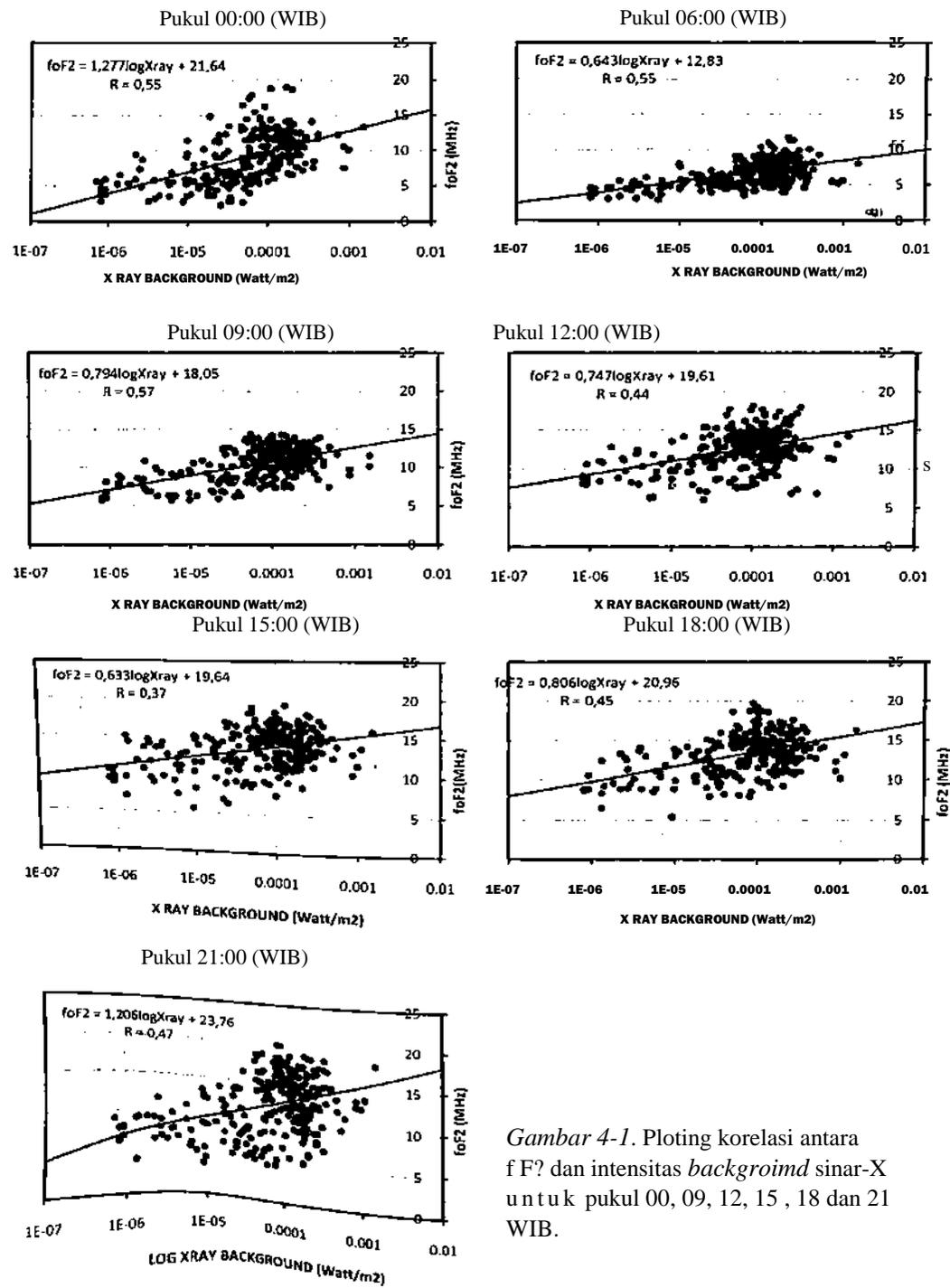
Gambar 3-7. Grafik f_0F_2 versus Waktu (WIB) untuk nilai fluks $F_{10.7}$ = 50,100,200, 300 dan 350 sfu.

4. Analisis Korelasi f_0F_2 dan Sinar-X

Matahari sebagai sumber energi selalu memancarkan radiasi elektromagnet termasuk radiasi sinar-X. Ketika matahari dalam kondisi tenang radiasi sinar-X terpancar sebagai radiasi *background*, ketika aktif intensitas sinar-X meningkat secara mendadak dan disebut sebagai flare sinar-X. Pada penelitian ini akan dianalisis korelasi antara f_0F_2 dengan intensitas sinar-X *background* dan intensitas sinar-X flare.

4.1. Sinar-X Background

Grafik korelasi antara f_0F_2 dan intensitas sinar-X *background* untuk waktu pukul 00:00, 06:00,09:00, 12:00, 15:00, 18:00 dan pukul 21:00 ditunjukkan pada Gambar 4-1. Dari waktu ke waktu sebaran datanya terlihat ada perbedaan. Sebaran lebih lebar pada malam hari (pukul 21:00 dan pukul 00:00 WIB) bila dibandingkan dengan sebaran data pada siang hari. Korelasi f_0F_2 dengan sinar-X *background* memiliki koefisien yang rendah dan hampir merata (0,37 – 0,57) seperti tercantum pada tabel 4-1. Angka korelasi yang rendah justru terjadi pada siang hari (pukul 12:00 dan pukul 15:00 WIB). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan f_0F_2 ionosfer tidak terjadi karena pengaruh atau karena perubahan intensitas sinar-X *background*.



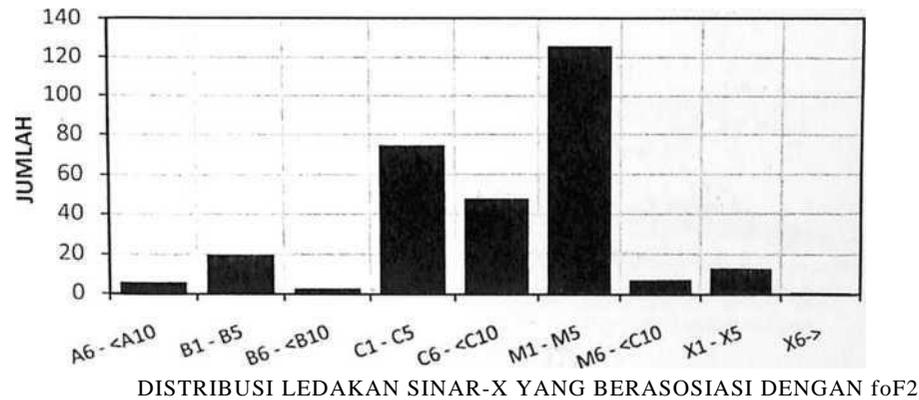
Gambar 4-1. Ploting korelasi antara f_oF_2 dan intensitas *background* sinar-X untuk pukul 00, 09, 12, 15, 18 dan 21 WIB.

Tabel 4-1.
Korelasi antara f_0F_2 dan sinar-X *background*

Pukul	f_0F_2 vs. sinar-X (<i>background</i>)	Koefisien Korelasi (r)
00:00	$f_0F_2 = 1,2771\log(\text{Xray}) + 21,64$	0,55
06:00	$f_0F_2 = 0,6431\log(\text{Xray}) + 12,83$	0,55
09:00	$f_0F_2 = 0,7941\log(\text{Xray}) + 18,05$	0,57
12:00	$f_0F_2 = 0,7471\log(\text{Xray}) + 19,61$	0,44
15:00	$f_0F_2 = 0,6331\log(\text{Xray}) + 19,64$	0,37
18:00	$f_0F_2 = 0,8061\log(\text{Xray}) + 20,96$	0,45
21:00	$f_0F_2 = 1,2061\log(\text{Xray}) + 23,76$	0,47

4.1. Analisis Korelasi f_0F_2 dengan Flare Sinar-X

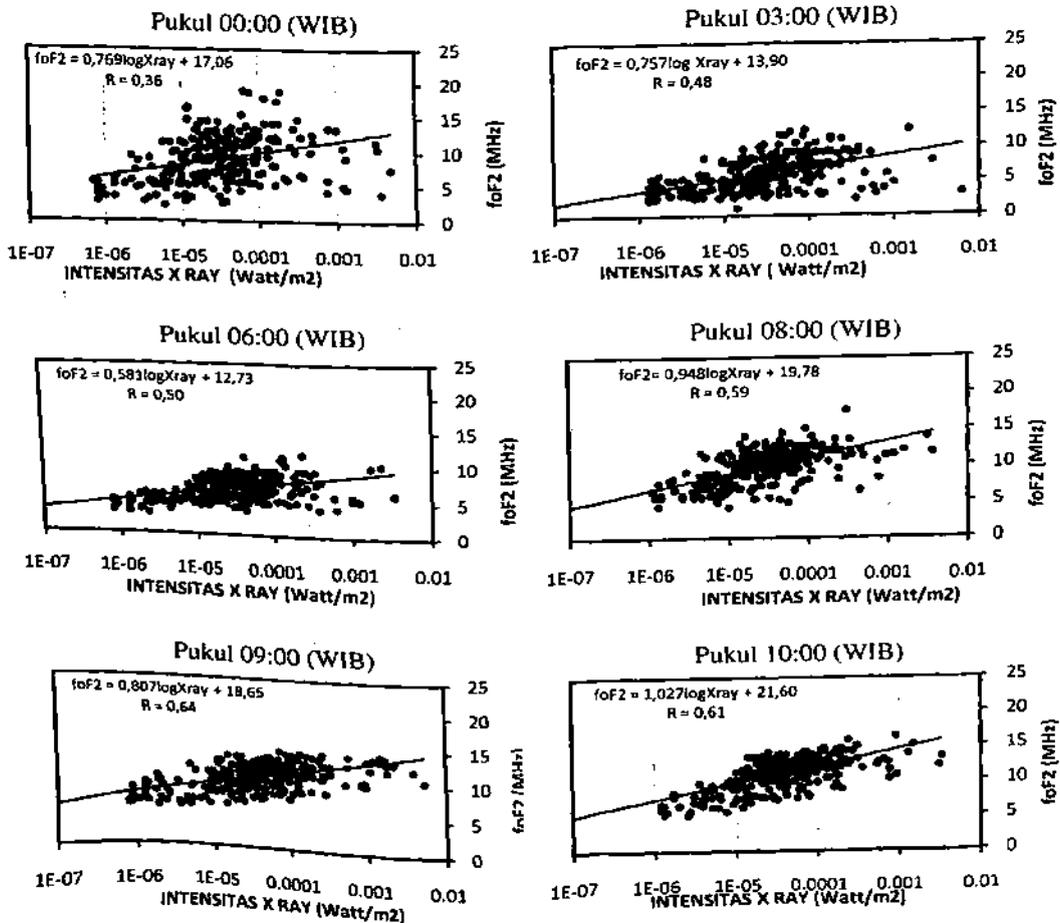
Sesuai dengan data f_0F_2 yang telah dihimpun, pada perioda waktu bulan Nopember 1997 sampai dengan Desember 2006 terdapat 299 kali flare sinar-X yang berkorelasi dengan f_0F_2 . Flare sinar-X terbanyak berada pada rentang flare kelas M1 sampai kelas M5. Distribusi lengkap lainnya seperti tercantum pada Gambar 4-2.



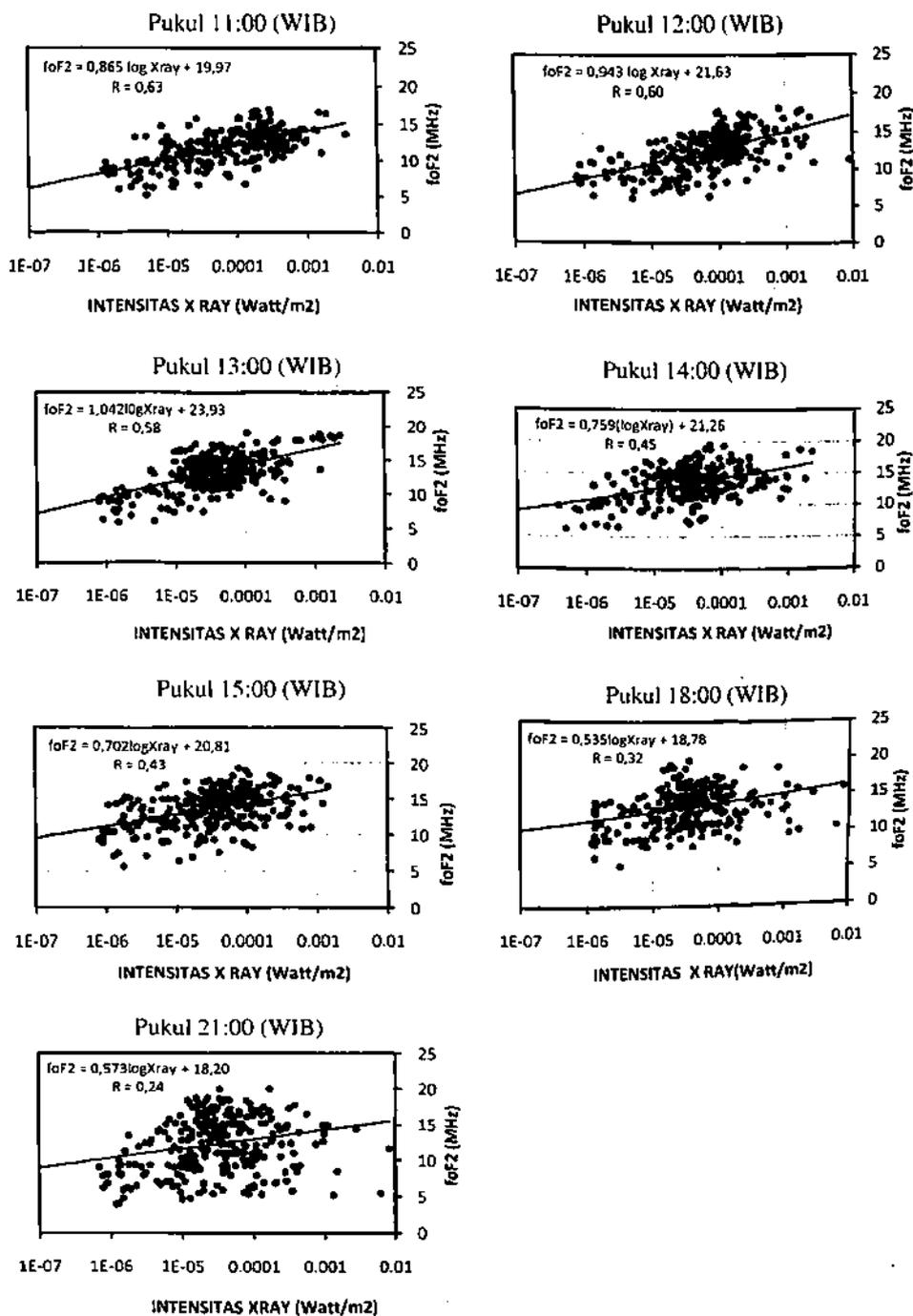
Gambar 4-2. Distribusi flare sinar-X berdasarkan kelas flare yang berkorelasi dengan f_0F_2 .

Flare sinar-X dibawah kelas B, kecil kemungkinannya akan berpengaruh pada berubahnya frekuensi kritis f_0F_2 . Sebaliknya flare pada kelas M kuat (>M5) dan kelas X meskipun relatif jarang terjadi namun sangat berpengaruh pada perubahan f_0F_2 . Kondisi ini ditunjukkan pada plot korelasi antara kedua fenomena tersebut. Plot korelasi antara f_0F_2 dan intensitas sinar-X ketika terjadi flare yang ditunjukkan pada Gambar 4-3 berturut-turut untuk pukul 00:00, 03:00, 06:00, 08:00, 09:00, 10:00, 11:00, 12:00,

13:00, 14:00, 15:00, 18:00, dan pukul 21:00 WIB. Hasil olah data diperoleh koefisien korelasi untuk setiap jam yang ditinjau tersusun pada tabel 4-2. Koefisien korelasi berada pada rentang nilai 0,24 sampai 0,64. Pada tengah malam, pagi dan sore serta petang dan malam hari tidak memiliki keterkaitan yang kuat bahkan sangat lemah. Koefisien korelasi yang cukup tinggi (0,58 - 0,64) terjadi dari pukul 08:00 sampai dengan pukul 13:00 WIB, tertinggi tejadi untuk pukul 09:00 WIB. Hasil olah data tersebut dapat diartikan bahwa fenomena flare sinar-X berpengaruh pada dinamika ionosfer pada sekitar pukul 09:00 sampai pukul 13:00. Plot koefisien korelasi terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 4-4. Hal ini dapat ditafsirkan bahwa flare sinar-X yang tejadi apda tengah hari dapat berpengaruh langsung dan mendominasi pada bervariasinya lapisan ionosfer.



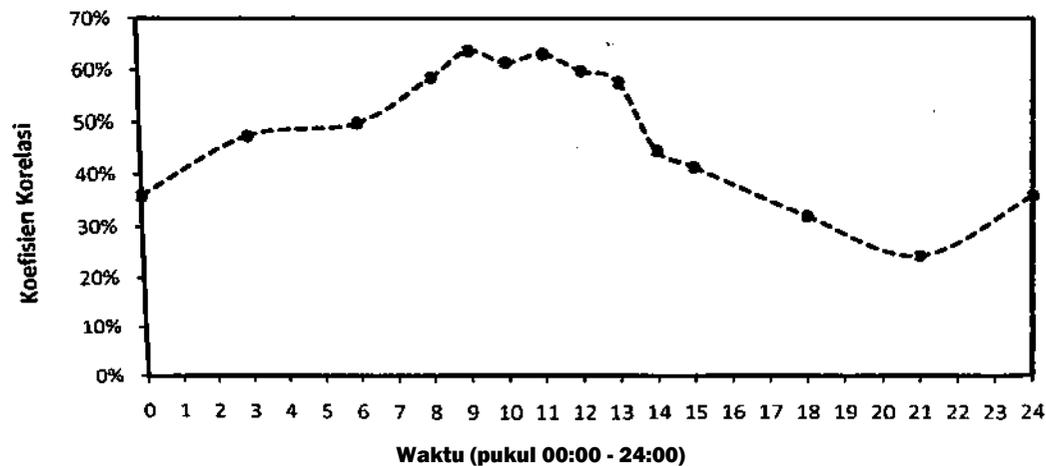
Gambar 4-3(A). Plot korelasi antara f_oF_2 dan flare sinar-X berturut-turut pada pukul 00:00, 03:00, 06:00, 08:00, 09:00, dan pukul 10:00 WIB.



Gambar 4-3(B). Plot korelasi antara f_oF_2 dan flare sinar-X berturut-turut pada pukul 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 18:00, dan pukul 21:00 WIB.

Tabel 4-2.
Korelasi antara f_0F_2 dan sinar-X flare

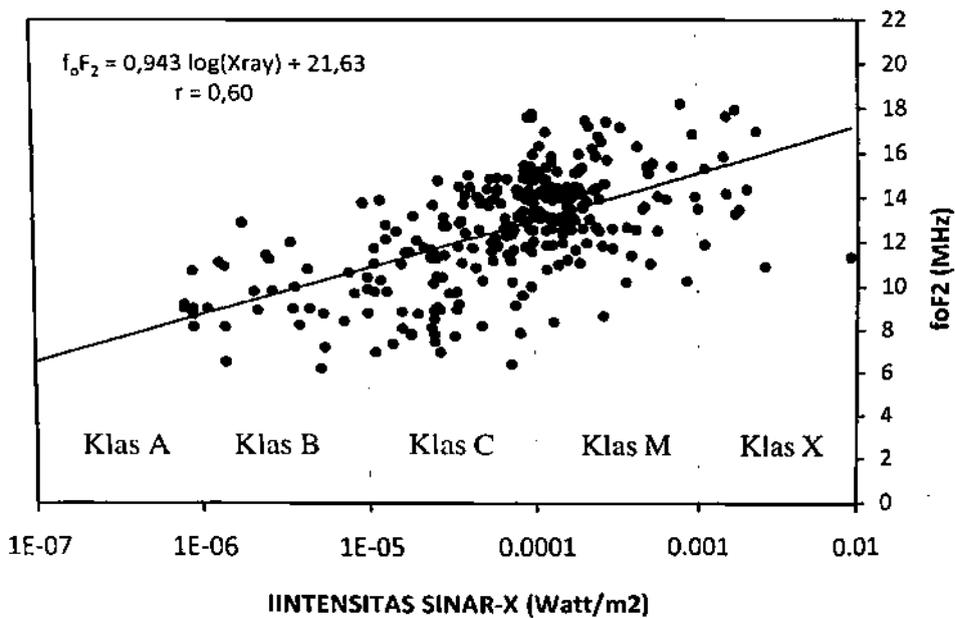
Pukul	f_0F_2 vs. sinar-X (flare)	Koefisien Korelasi (r)
00:00	$f_cF_2 = 0,769(\log X_{ray}) + 17,06$	0,36
03:00	$f_0F_2 = 0,757(\log X_{ray}) + 13,90$	0,48
06:00	$f_D F_2 = 0,581(\log X_{ray}) + 12,73$	0,50
08:00	$f_Q F_2 = 0,948(\log X_{ray}) + 19,78$	0,59
09:00	$f_Q F_2 = 0,8071 \log(X_{ray}) + 18,65$	0,64
10:00	$f_G F_2 = 1,027(\log X_{ray}) + 21,60$	0,61
11:00	$f_Q F_2 = 0,865(\log X_{ray}) + 19,97$	0,63
12:00	$f_Q F_2 = 0,943(\log X_{ray}) + 21,63$	0,60
13:00	$f_D F_2 = 1,042(\log X_{ray}) + 23,93$	0,58
14:00	$f_D F_2 = 0,759(\log X_{ray}) + 21,26$	0,45
15:00	$f_Q F_2 = 0,702(\log X_{ray}) + 20,81$	0,43
18:00	$f_Q F_2 = 0,5351 \log(X_{ray}) + 18,78$	0,32
21:00	$f_0 F_2 = 0,5731 \log(X_{ray}) + 18,20$	0,24



Gambar 4-4. Plot koefisien korelasi antara f_0F_2 dan intensitas flare sinar-X pada pukul 00:00 sampai dengan pukul 24:00 WIB (pukul 24:00 = pukul 00:00). Terlihat pada sekira Pukul 09:00 sampai dengan pukul 12:00 memiliki korelasi > 60%, pukul 8:00 dan Pukul 13:00 mendekati 60%.

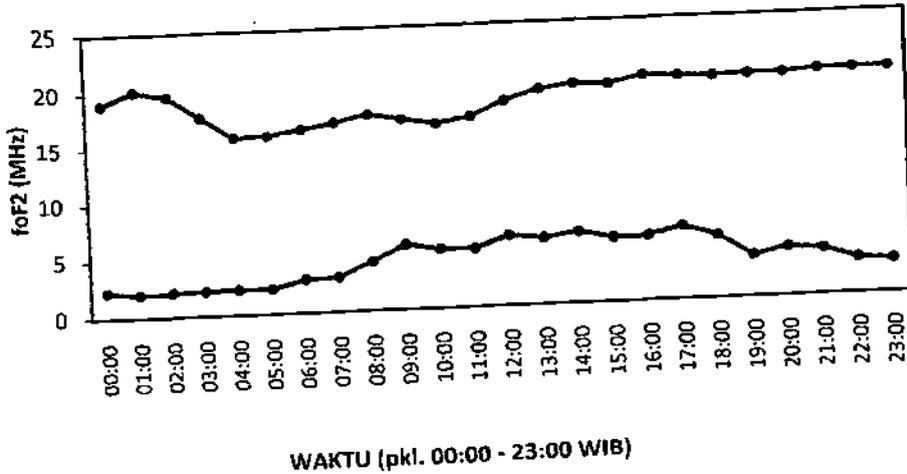
Korelasi antara f_0F_2 dan intensitas flare sinar-X untuk pukul 00:00 s.d. pukul 21:00, terlihat bahwa pada pukul 09 sampai dengan pukul 12 (siang hari) memiliki angka korelasi yang tinggi (0,64 dan 0,60), sementara pada jam-jam yang lain angka korelasinya lebih rendah.

Korelasi f_0F_2 dengan flare sinar-X, ditampilkan lebih jelas pada Gambar 4-5 berikut dengan kelas-kelas flare sinar-X. Ploting korelasi linier pada pukul 12:00 WIB memenuhi hubungan $f_0F_2 = 0,941 \log(Xray) + 21,59$, dengan koefisien korelasi sebesar $r = 0,60$. Intensitas sinar-X antara 10^7 dan 10^6 Watt/m² adalah flare kelas A; demikian seterusnya berturut-turut adalah flare kelas B, kelas C, kelas M dan kelas X.



Gambar 4-5. Korelasi antara intensitas flare sinar-X dengan f_0F_2 pukul 12:00 (WIB).

Indikasi lainnya yang dapat diungkapkan pada fenomena tersebut adalah sebaran frekuensi dari f_0F_2 sepanjang 24 jam memiliki rentang yang bervariasi. Setelah diidentifikasi rentang f_0F_2 (MHz) berturut-turut pada pukul 00:00 sampai dengan pukul 23 (pukul 24:00 sama dengan pukul 00:00) dapat ditunjukkan grafiknya pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6. Rentang nilai f_oF_2 (MHz) pada pukul 00:00 sampai dengan pukul 23:00. Pada pukul 09:00 sampai dengan pukul 13:00 memiliki rentang yang relatif sempit dibandingkan dengan rentang pada jam-jam yang lain.

5. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian korelasi antara tingkat aktivitas matahari dengan dinamika ionosfer. Frekuensi kritis f_oF_2 disamping bervariasi akibat dari perubahan posisi matahari juga bervariasi karena perubahan tingkat aktivitas matahari. Untuk parameter ionosfer digunakan data frekuensi kritis f_oF_2 dan data aktivitas matahari adalah bilangan bintik matahari (sunspot), fluks $F_{10.7}$ dan intensitas sinar-X. Korelasi antara f_oF_2 dengan bilangan sunspot dan fluks $F_{10.7}$ cukup tinggi pada siang hari dan terlihat perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan korelasi pada malam hari. Demikian pula variasi f_oF_2 terhadap nilai bilangan sunspot dan fluks $F_{10.7}$ yang berbeda.

Korelasi f_oF_2 terhadap perubahan intensitas sinar-X dibedakan untuk sinar-X *background* dan sinar-X flare. Korelasi f_oF_2 dengan sinar-X *background* memiliki koefisien yang rendah dan hampir merata, dan dapat ditafsirkan bahwa perubahan f_oF_2 ionosfer tidak terjadi karena pengaruh atau karena perubahan intensitas sinar-X *background*. Sedangkan korelasi f_oF_2 terhadap flare sinar-X terlihat perbedaan yang signifikan pada siang dan malam hari. Pada tengah malam, pagi dan sore serta petang dan malam hari tidak memiliki keterkaitan yang kuat bahkan sangat lemah. Korelasi yang cukup tinggi (0,58 – 0,74) terjadi dari pukul 08:00 sampai dengan pukul 13:00 WIB, tertinggi terjadi untuk pukul 09:00 WIB. Flare sinar-X terbanyak berada pada rentang flare kelas M1 sampai kelas M5. Kejadian flare sinar-X dapat berpengaruh langsung dan mendominasi pada bervariasinya lapisan ionosfer.

Untuk keperluan prakiraan jangka panjang (bulanan dan atau triwulanan) lebih tepat digunakan data bilangan sunspot, prakiraan jangka waktu menengah (beberapa jam sampai beberapa hari kedepan) lebih mengena bila digunakan data fluks FK» Sedangkan untuk waktu yang lebih pendek (beberapa jam kedepan) perlu ditinjau data flare Sinar-X dan atau flare Ha serta data aktivitas matahari lainnya misalnya semburan (*bursts*) radio matahari.

Daftar Rujukan

- Dulk G.A., Mc. Lean D.J., & Nelson G.J., 1985, *Solar Radio Physics*, ed. D.J.McLean & Labrum. hal.53-88.
- Fainberg J., Evans L.G., Stone R.G., 1972, *Radio Tracking of Solar Energetic Particles through Interplanetary Space*, *Science* **178**, 743.
- Grubor D., Sulic D. and Zigman V., 2005, *Influence Of Solar X-Ray Flares On The Earth -Ionosphere Waveguide*, *Serb. Astron. J.* 171, 29 – 35.
- Kai K. , 1986, *Can Observeb Hard X-Ray and Microwave Flux from Solar Flarea be Explained by a Single Electron Population?*, *Solar Physics*, **104**, 235-241
- Lin R.P., Potter D.W., Gurnett D. A., Scarf F.L., 1981, *Energetic Electrons and Plasma Wave Associated with a Solar Type III Radio Bursts*, *Astrophys. J.* **251**, 364 -373.
- Liu, J.H., C.H. Lin, Y.I. Chen, Y.C. Lin, T.W. Fang, C.H. Chen, Y.C. Chen, and J.J. Hwang, 2006. *Solar flare signature of the ionospheric GPS total electron content*, *Journal of geophysical Research*, Vol. 111, A05308.
- Lyman Spitzer, Jr., 1956, *Physics of Fully Ionized Gases*, Interscience Publisers, Inc., New York, Interscience Publisher Ltd., London, 47-55.
- Melrose D.B., 1985, *Plasma emission mechanism*, *Solar Radio Physics*, ed. McLean & Labrum, Cambridge Univ. Press. 177-206.
- Newkirk, G.Jr., 1961, *The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation*, *Astrophys. J.* **133**, 983.
- Reiner M.J., Stone R.G., 1986, *Multi-Wavelength Observations of CMEs and Associated Phenomena*, *Solar Phys.* **104**, 92.
- Svestka Z. 1976. *Non Thermal Phenomena, Solar Flares*, D. Reidel Publ. Co., 143-215.
- Wang, S.J., Y.Yan, Q.Fu, Y.Liu, and Z.Chen, 2005, *Multi-Wavelength Radio Features Associated with Large CMEs on Oct. 26-28, 2003*, *Proceedings IAU Symposium* No. 226, 2005.
- Wild J.P., Smerd S.F., and Weiss A.A, 1963 : *Solar Bursts*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **1**, 291-366.
- The Sun's Effect on the Ionosphere*, <http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/> , download September 2010.