

# HUBUNGAN BILANGAN SUNSPOT DAN FLUKS EMISI RADIO 10.7 CM DENGAN INDEKS IONOSFER

S. L. Manurung

Peneliti Matahari dan Lingkungan Antariksa  
Bidang Matahari dan Antariksa

## Ringkasan

Bilangan sunspot memegang peranan penting dalam prediksi cuaca dan iklim antariksa dan dampak fenomena helio-geofisik pada teknologi antariksa seperti prediksi kondisi penjarangan gelombang radio trans-ionsferik dan trans - horizontal yang berhubungan dengan komunikasi antariksa, komunikasi radio HF. Parameter lainnya yang sering digunakan dalam penentuan frekuensi komunikasi radio adalah fluks emisi radio matahari panjang gelombang 10.7 cm dan indeks ionosfer.

Bilangan sunspot dan fluks 10.7 menggambarkan fenomena fisis di matahari sedangkan indeks ionosfer menyatakan respons ionosfer terutama respons frekuensi plasma terhadap aktivitas matahari. Bilangan sunspot dan fluks 10.7 sering mewakili beberapa emisi radiasi elektromagnetik, sinar UV, yang tidak terdeteksi di bumi. Radiasi elektromagnetik itu yang bila berubah akan menimbulkan perubahan konsentrasi elektron atau jumlah elektron total di ionosfer. Oleh karena itu perubahan bilangan sunspot dan fluks 10.7 menimbulkan perubahan pada indeks ionosfer yang merupakan parameter utama bagi prediksi frekuensi komunikasi radio HF.

Berdasarkan analisis statistik pada 633 pasang data bulanan ketiga parameter tersebut, dari bagian turun siklus ke 18 s.d. bagian naik siklus ke 23 (Januari 1947 s.d. Oktober 1999) diperoleh koefisien korelasi dari 0.90 s.d. 0.97 dan akurasi 77 s.d. 88 % dari hubungan indeks ionosfer dengan bilangan sunspot dan fluks 10.7 cm. Dari kedua hubungan itu, untuk menentukan indeks ionosfer lebih baik menggunakan hubungan indeks ionosfer dengan fluks 10.7 cm yang dibuktikan dengan metoda angka standar.

## Abstract

*Sunspot number is very important on space weather and climate prediction and to predict the impacts of helio-geophysics phenomena on space technology such as on trans-ionspheric and trans-horizontal radio wave propagation which directly have the relations to space and terrestrial communication. The other useful parameters in trans-ionspheric radio wave propagation is flux of radio emission at 10.7 cm wavelength of the sun and the ionospheric index.*

*The sunspot number, R, and radio emission at 10.7 cm wave length, F10.7 belongs to solar indices, while the ionospheric index represents the respons of ionosphere on any changing of solar activities. The sunspot number and the solar flux of 10.7cm could represent many the behaviour of the sun's radio emission of other wavelengths such as UV-ray that cannot be detected on the surface of earth. The electromagnetic wave radiation is responsible for the existence of ionosphere and daily variation of total electron content and ionospheric plasma frequencies. It means that there is a significant relationship between ionospheric index and sunspot number and flux 10.7cm.*

*Through analysis conducted on 633 pairs monthly data of sunspot number, flux 10.7 cm and ionospheric index, from January 1947 to Octobre 1999, it is founded*

*that their coefficient correlation and their accuracy lay from 0.90–0.97, and 77%–88% respectively. The better of statistical relationship is the relation of ionospheric index and flux 10.7 cm that approved using the standard score method.*

### 1. Pendahuluan.

Sejak Schwabe menemukan bilangan sunspot R dan siklus sunspot perioda 11 tahun, pada tahun 1849, bilangan sunspot digunakan menyatakan aktivitas matahari. Seratus tahun kemudian (1942) fluks emisi matahari, radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang decimeter, fluks 10.7 cm, diketahui bervariasi mengikuti perubahan bilangan sunspot. Demikian juga dengan aliran partikel, angin surya. Dalam masa perubahan jangka panjang itu, perubahan cepat fluks emisi radio dan aliran partikel sering terjadi, terutama pada masa bilangan sunspot tinggi atau pada masa matahari aktif. Perubahan itu berlangsung dalam interval waktu beberapa menit sampai dengan beberapa hari. Selain itu juga terjadi perubahan lambat perioda 27 hari sesuai dengan perioda rotasi matahari mengelilingi sumbunya.

Menurut Tapping dan Tracey (1990) radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang 10.7 cm berasal dari daerah cerlang di kromosfer bawah dan di atas sunspot dan bekas sunspot yang sudah pudar atau mati. Fluks radio noise matahari pada panjang gelombang 10,7 cm digunakan juga sebagai indikator aktivitas matahari karena kesesuaiannya dengan variasi jumlah dan luas sunspot dalam siklus matahari dan radiasi elektromagnetik seperti sinar UV yang sampai saat ini belum dapat dideteksi dengan baik, (Foucal, 1990). Intensitas dan energi angin surya dan partikel bermuatan juga mengalami perubahan sesuai dengan perubahan bilangan sunspot.

Emisi matahari mengontrol dinamika lingkungan antariksa dan mempengaruhi kinerja sistem teknologi antariksa dan teknologi terkait di bumi. Sinar UV yang memiliki sifat pengionisasi tinggi terhadap molekul udara mempertahankan keberadaan dan pasangan elektron-ion lapisan ionosfer. Aliran partikel membentuk selubung bumi, lapisan magnetosfer. Kedua lapisan ini melindungi bumi dan atmosfer bawah dari partikel bermuatan energetik dan radiasi elektromagnetik yang berbahaya yang menuju permukaan bumi.

Radiasi elektromagnetik, radiasi UV, dan aliran partikel mengontrol suhu dan kerapatan partikel atmosfer atas. Perubahan energi dan intensitas merubah kerapatan atmosfer atas, akibatnya berpengaruh pada orbit satelit terutama satelit berorbit rendah, dan mengganggu kinerja sistem teknologi antariksa, (Foucal, 1990). Solar Environment Center, (SEC), USA, dalam tiga dekade terakhir telah mengidentifikasi 300 jenis anomali satelit, dimana 75% diantaranya berhubungan langsung atau tidak langsung dengan aktivitas matahari atau perubahan emisi matahari. Anomali itu diantaranya adalah penurunan orbit satelit, penurunan daya panel surya, badai magnetik, dan gangguan bahkan terputusnya komunikasi antariksa dan komunikasi radio HF, (Hruska, 1992)

Perubahan lambat dan perubahan cepat emisi matahari dan dampaknya pada lingkungan antariksa disebut cuaca-iklim antariksa, space weather-climate. SEC dan Northwest Research Associates, (NWRA), mendefinisikan bahwa cuaca antariksa adalah respons lingkungan antariksa terhadap aktivitas matahari atau perubahan matahari dan atmosfernya yang berubah lambat dan cepat. Sebagaimana cuaca dan

iklim di bumi, NWRA mengemukakan beberapa parameter cuaca antariksa yakni indeks surya, solar indices. Indeks surya itu adalah bilangan sunspot R, fluks 10.7 cm, indeks geomagnetik, Ap atau Kp. Indeks lain adalah indeks ionosfer, T, yang diperkenalkan oleh IPS Australia, menyatakan respons ionosfer terhadap aktivitas matahari, terutama respons ionosfer terhadap perubahan radiasi UV, (Mc Namara, 1992, dan Jiyo dan Suhartini, 1994).

Bagi LAPAN dan IPS Australia indeks ionosfer sangat penting, karena indeks ini merupakan masukan utama bagi model ASAPS yang digunakan untuk memprediksi frekuensi komunikasi radio HF wilayah Indonesia dan zona Australia. Meskipun model ASAPS telah lama digunakan oleh IPS dan diterapkan di Indonesia sejak tahun 1994, model dan indeks ionosfer ini terus dikembangkan dan ditingkatkan keandalannya terutama pada penjalaran gelombang radio trans-ionosferik dan trans-horizontal dengan melakukan pengamatan penjalaran radio dengan menggunakan ionosonda miring, seperti; penjalaran gelombang radio dari Manado-Tanjung Sari, Indonesia, Manado-Darwin dan Derby di Australia serta Manila-Tanjung Sari.

Penyelidikan hubungan kuantitatif bilangan sunspot dengan fluks 10,7 selama ini dilakukan (Xhantakis and Poulakos, 1982) menunjukkan hubungan yang baik dengan koefisien korelasi dan akurasi yang tinggi. Namun penyelidikan statistik hubungan R dan F10.7 cm dengan indeks ionosfer belum banyak dilakukan, karena pada dasarnya indeks ionosfer ditentukan dari hubungan foF2 dan MUF dengan R dan fluks 10.7 cm, (Thompson and Wulf, 1992, dan Jiyo dan Suhartini, 1994).

Dalam makalah ini dikemukakan penyelidikan statistik hubungan indeks ionosfer dengan bilangan sunspot R dan F10.7 cm. Berdasarkan penyelidikan dan penerapan regresi linier pada 633 pasang data bulanan bilangan sunspot, F10.7 cm dengan indeks ionosfer, diperoleh koefisien korelasi dan akurasi masing-masing dari 0.85 s.d. 0.97 dan 77 s.d. 88%. Ini berarti bahwa kedua parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan indeks ionosfer, namun ditinjau dari metoda angka standar, standard score, hubungan indeks ionosfer dengan F10.7 cm lebih baik dari hubungan indeks ionosfer dengan bilangan sunspot.

## 2. Data dan Teknik Analisis

Analisis hubungan aktivitas matahari dengan respons ionosfer dilaksanakan melalui analisis perilaku deret waktu dari Januari 1947 sampai dengan Desember 1999 dari 633 pasang data bulanan bilangan sunspot (R), fluks emisi radio panjang gelombang 10.7 cm atau frekuensi 2800 MHz (F10.7) dan indeks ionosfer (T). Setiap pasang data terdiri dari data bulanan bilangan sunspot, fluks 10.7, yang diperoleh dari NGDC dan SGD NOAA tahun 2000, dan indeks ionosfer dari IPS Australia, tahun 2000 yang tersedia di <http://www.ips.gov.au>. Deret waktu ketiga parameter tersebut ditunjukkan pada gambar 2-1.

Pola deret waktu bulanan menggambarkan variasi amplitudo, durasi dan perioda siklus aktivitas matahari dinyatakan oleh siklus sunspot, fluks 10.7 dan indeks ionosfer yang terdiri atas sebagian siklus ke-18 (Januari 1947- April 1954, 6 tahun 3 bulan), siklus ke-19 (Mei 1954-Oktober 1964, 10 tahun 5 bulan), siklus ke-20 (Nopember 1964-Juni 1975, 10 tahun 7 bulan), siklus ke-21 (Juli 1976-Agustus 1986, 10 tahun 2 bulan), siklus ke-22 (September 1986-September 1996, 10 tahun) dan bagian ascending siklus ke-23 (Oktober 1996- Desember 1999), seperti ditunjukkan pada tabel 2-1. Dari pola deret waktu ketiga parameter terlihat

amplitudo-amplitudo sangat variatif pada masa matahari aktif, terutama amplitudo fluks 10.7 cm dan indeks ionosfer.

Hubungan antara dua parameter dapat diketahui dengan cepat dari plotting harga-harga kedua parameter tersebut. Gambar 2-2a adalah plot data fluks 10.7 cm dan bilangan sunspot R, gambar 2-2b distribusi indeks ionosfer dengan bilangan sunspot dan gambar 2-2c menunjukkan korelasi indeks ionosfer dengan fluks 10.7 cm. Dengan mempergunakan metoda regresi linier terhadap distribusi data itu diperoleh hubungan:

a. F10.7 dengan R: 2.1  

$$F10.7 = 0.9036 R + 60.693$$
 dengan: r, koefisien korelasi = 0.97  
 a, akurasi = 93 %

b. Indeks ionosfer (T) dengan bilangan sunspot (R) dinyatakan oleh 2.2  

$$T = 0.900873 R + 5.466675$$
 dengan: r, koefisien korelasi = 0.93  
 a, akurasi = 81.25%  
 simpangan = 27,9%

c. Indeks ionosfer (T) dengan fluks 10.7, (F10.7) memenuhi persamaan, 2.3  

$$T = 0.975252 F10.7 - 51.9072$$
 dengan: r, koefisien korelasi = 0.93  
 a, akurasi = 84.35%  
 simpangan rata-rata = 27%

Akurasi ditentukan dari persamaan:

$$a = (1 - \sigma/X_{\text{robs}}) \times 100 \% \quad 2.4$$

dengan  $\sigma$  adalah deviasi standar dari perbedaan harga pengamatan dan harga perhitungan menurut persamaan 2.2 dan 2.3 dan  $X_{\text{robs}}$  harga rata-rata pengamatan.

Hubungan indeks ionosfer dengan bilangan sunspot dan fluks 10.7 cm dari siklus ke 18 sampai dengan siklus ke-23 adalah signifikan ditunjukkan oleh tingginya koefisien korelasi dan akurasi kedua hubungan itu sebagaimana dicantumkan pada tabel 2-2.

Bilangan sunspot dan fluks 10.7 cm adalah parameter utama bagi beberapa model penjalaran gelombang radio trans-ionosferik seperti model Bent dan IONCAP (Bilitza, 1990). Indeks ionosfer merupakan masukan utama bagi model ASAPS yang telah digunakan LAPAN dan IPS Australia untuk memprediksi frekuensi komunikasi radio HF wilayah Indonesia dan zona Australia. LAPAN belum memiliki indeks ionosfer T, sehingga LAPAN menggunakan indeks ionosfer global dan indeks ionosfer zona Australia atau lintang tengah untuk prediksi frekuensi ionosfer wilayah Indonesia. Dipihak lain LAPAN telah membuat model bilangan sunspot dan mendapatkan prediksi bilangan sunpot dan fluks 10.7 cm dengan mudah. Dengan demikian LAPAN dengan model hubungan indeks surya dengan indeks ionosfer di atas, indeks ionosfer dapat ditentukan untuk selanjutnya digunakan memprediksi frekuensi komunikasi radio HF.

Ditinjau dari harga koefisien korelasi dan akurasi, tabel 2-2, kedua hubungan itu sama baiknya. Untuk menentukan hubungan terbaik digunakan angka standar atau standar score, yang memenuhi persamaan, Hadi (1990):

$$z = (X - M) / SD \quad 2.5$$

dengan: z = angka standar

X = angka kasar besaran yang diketahui

M = harga rata-rata besaran yang diketahui

SD= deviasi standar dari masing-masing besaran yang diketahui.

Besaran-besaran yang diketahui dimaksud adalah:

- a. Angka kasar X yang diketahui adalah harga-harga besaran dari persamaan hubungan indeks ionosfer T dengan bilangan sunspot dan fluks 10.7 untuk setiap siklus mulai dari siklus ke-18 sampai dengan siklus ke-23. Harga kasar itu adalah koefisien korelasi, akurasi dan arah (r, a dan m) dengan harga kasarnya diambil dari harga terkecil dari harga-harga keenam hubungan yang ada.
- b. Deviasi standar adalah deviasi standar dari siklus ke-18 s.d. siklus ke-23.
- c. Harga kasar M adalah harga rata-rata kasar dari arah, koefisien korelasi dan akurasi persamaan hubungan T dengan bilangan sunspot R, dan fluks 10.7 cm dari siklus ke 18 sampai dengan siklus ke-23.

Harga-harga kasar tersebut ditunjukkan pada tabel 2-3. Dengan mempergunakan persamaan (2.5), harga z ditentukan seperti ditunjukkan pada tabel 2-3. Hubungan terbaik dari kedua hubungan itu dinyatakan dari harga z menurut persamaan:

$$(\sum z_i)_{T-F} > (\sum z_i)_{T-R} \quad 2.6a$$

$$(\sum z_i)_{R-T} > (\sum z_i)_{T-F} \quad 2.6b$$

dengan i menyatakan jenis angka standar ( r, a dan m) dan T-F dan T-R menyatakan hubungan indeks ionosfer dengan fluks 10.7 dan bilangan sunspot. Jika persamaan 2-6a dipenuhi maka hubungan T-F lebih baik dari hubungan T-R demikian sebaliknya.

Dengan menggunakan persamaan 2.5 dan persamaan 2.6, jumlah angka standar hubungan indeks ionosfer lebih besar sebesar 1.97 dari jumlah angka skor hubungan indeks ionosfer bilangan sunspot, lihat tabel 2-3. Dengan demikian untuk menentukan indeks ionosfer lebih baik menggunakan hubungan indeks ionosfer dengan fluks 10.7 cm.

### 3. Pembahasan

Gambar 2-1 adalah barisan terhadap waktu amplitudo dari bilangan sunspot R, fluks 10.7cm, F10.7 dan indeks ionosfer T dari siklus ke-18 sampai dengan awal

siklus ke-23. Bilangan sunspot tertinggi dan terendah dari puncak-puncak siklus sunspot tersebut masing-masing terjadi pada Oktober 1957 ( $R=263.8$ ) dan pada Mei 1968, ( $R =127.2$ ). Harga tertinggi dan terendah dari  $F_{10.7}$  dan  $T$  terjadi pada waktu yang hampir bersamaan. Periode keenam siklus tersebut terdapat pada kisaran 10.5 tahun, tidak ada yang melebihi 11 tahun.

Hubungan bilangan sunspot dengan fluks  $10.7\text{cm}$  memiliki koefisien korelasi dan akurasi masing-masing dari 0.62 s.d. 0.99 dan akurasi dari 90% s.d. 97%, tabel 2-2. Harga-harga ini sama dengan harga koefisien korelasi dan akurasi dari indeks surya yang sama dari siklus 18 dan 19, dari tahun 1957 s.d. 1976 yang diperoleh oleh Xanthakis dan Poulakos pada tahun 1984, (Xhantakis dan Polaukos, 1984).

Distribusi data bilangan sunspot dengan indeks ionosfer ( $R-T$ ) dan data fluks  $10.7\text{cm}$  dengan indeks ionosfer ( $F_{10.7}\text{ cm}-T$ ) berbeda dengan distribusi data bilangan sunspot dengan fluks  $10.7\text{cm}$  ( $R-F_{10.7}\text{ cm}$ ), gambar 2-2. Perbedaan itu terletak pada sebaran data di sekitar garis linier. Sebaran yang tinggi terjadi pada daerah  $20 < R < 260$  dan  $40 < T < 190$  dari distribusi  $R-T$  serta pada daerah  $80 < F_{10.7\text{cm}} < 290$ , dan  $60 < T < 190$  untuk distribusi  $F_{10.7}\text{ cm}-T$ . Pada harga  $R > 200$  dan  $F_{10.7\text{m}} > 230$  kedua kurva seolah-olah menuju "jenuh", garis putus-putus gambar 2-2.

Perbedaan sebaran data yang terjadi itu bisa saja terjadi karena  $R$  dan  $F_{10.7}\text{ cm}$  adalah indeks langsung yang menyatakan tingkat aktivitas matahari, sedangkan indeks ionosfer menggambarkan respon ionosfer terhadap aktivitas matahari yakni respons ionosfer terhadap perubahan radiasi UV, sehingga ada suatu fungsi penghubung atau interface dari  $R$  atau dari  $F_{10.7}\text{ cm}$  kemudian ke parameter ionosfer yaitu  $foF_2$ , (Jiyo, 1994). Kurva jenuh pada distribusi data  $E-T$  dan  $F_{10.7\text{cm}}-T$  dapat mengartikan meskipun aktivitas terus meningkat indeks ionosfer tidak berubah.

Dari kumpulan data indeks ionosfer yang diperoleh ada beberapa harga  $T$  yang negatif dan nol pada waktu, tetapi tidak selalu, harga  $R$  dan  $F_{10.7}\text{ cm}$  rendah, tabel 3-1. Harga negatif dapat berarti, jika terjadi kenaikan  $R$  atau  $F_{10.7\text{cm}}$ , terjadi penurunan  $T$ , atau meskipun ada perubahan dari aktivitas matahari ionosfer tidak meresponnya. Untuk menerangkan kedua anomali tersebut diperlukan pengkajian metoda penentuan indeks  $T$  dan hubungannya dengan  $foF_2$  dan atau dengan parameter lainnya seperti indeks geomagnetik.

Berdasarkan harga koefisien korelasi dan akurasi, hubungan linier  $R-T$  dan  $F_{10.7}\text{ cm} - T$  cukup baik dengan masing-masing simpangan rata-rata relatif sebesar 28 dan 27%. Oleh karena itu apabila diperlukan prediksi indeks ionosfer hubungan tersebut dapat digunakan. Pemilihan hubungan  $R-T$  atau  $F_{10.7\text{cm}}-T$  dapat juga dilakukan dengan menyesuaikan belok siklus di siklus mana prediksi itu dilakukan dengan siklus yang digunakan sebagai sampel. Dengan metoda angka standar hubungan  $F_{10.7}\text{ cm}-T$  lebih baik dari hubungan  $R-T$  dimana angka standar hubungan  $F_{10.7}\text{ cm}-T$  lebih besar 1.97 dari angka standar hubungan  $R-T$ . Perbedaan itu berhubungan dengan mekanisme emisi radiasi elektromagnetik gelombang pendek seperti emisi  $10.7\text{ cm}$  dan sinar-UV. Menurut Tapping dan de Tracey (1990) dan Foukal (1990), emisi  $10.7\text{ cm}$  dan sinar-UV berasal dari daerah terang berupa daerah aktif bermedan magnetik kuat yang lebih besar dari medan magnetik disekitarnya yang berada di atas sunspot dan daerah cerah disekitarnya di kromosfer bawah.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis regresi linier terhadap bilangan sunspot, fluks emisi radio 10.7cm dan indeks ionosfer dari bagian turun (descending siklus ke-18 sampai dengan bagian naik (ascending) siklus ke-23 diperoleh hubungan signifikan antara bilangan sunspot dan fluks 10.7cm dengan indeks ionosfer untuk setiap perioda atau setiap siklus. Koefisien korelasi dan akurasi hubungan sunpot dan fluks 10.7 cm dengan indeks ionosfer masing-masing berharga dari 0.90 s.d. 0.97 dan dari 77 s.d. 88%. Simpangan rata-rata relatif bulanan harga pengamatan dengan harga perhitungan sebesar 27%. Ini berarti bahwa harga rata-rata tahunan indeks ionosfer dari bilangan sunspot atau dari fluks 10.7 cm persamaan sederhana di atas dapat digunakan, namun untuk menentukan harga bulanan indeks ionosfer dari bilangan sunspot atau dari fluks 10.7 cm perlu dicari hubungan atau model yang lebih baik.

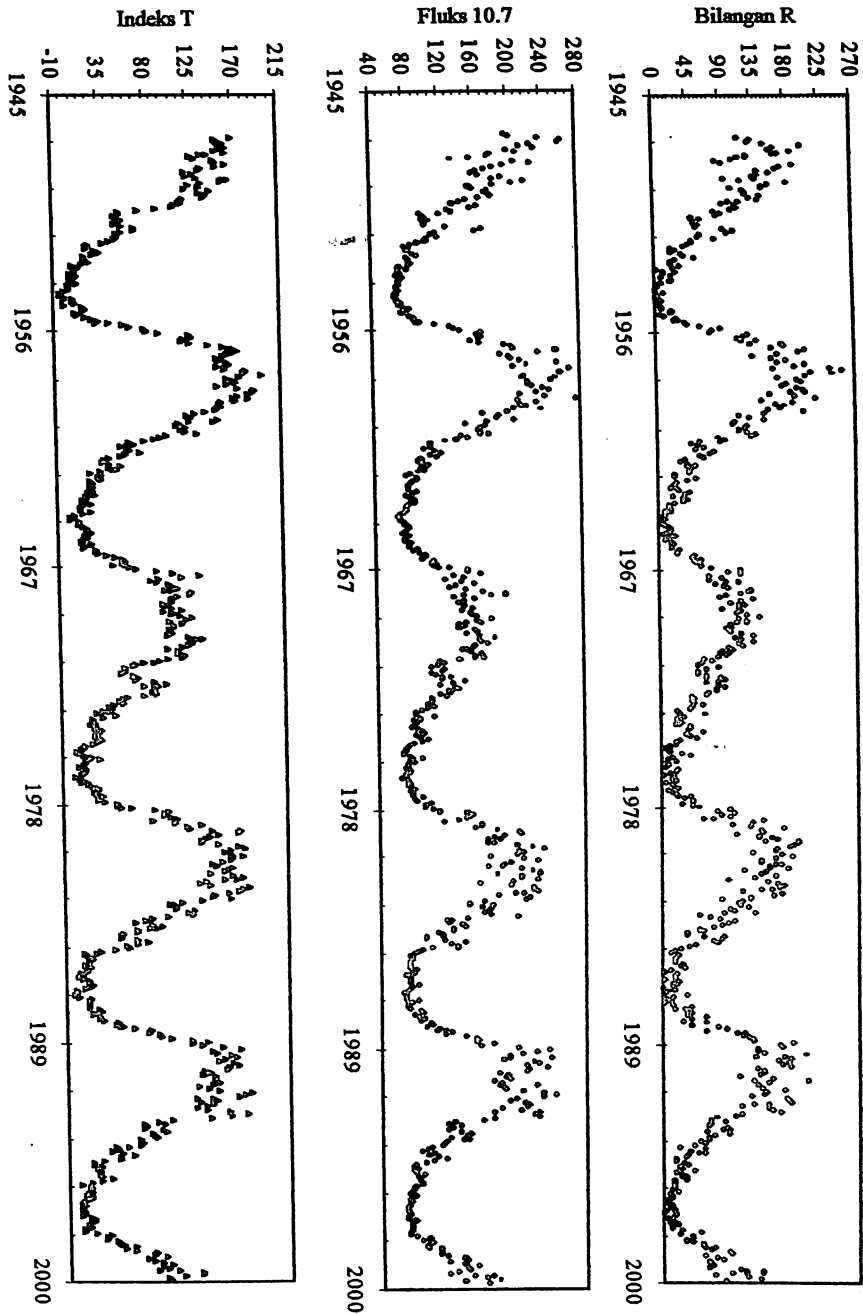
Terdapat indeks ionosfer berharga negatif dan nol pada saat, tetapi tidak selalu, bilangan sunspot dan fluks emisi radio 10.7cm rendah. Harga seperti itu menunjukkan ada kalanya, tetapi jarang, ionosfer merespon berlawanan atau tidak terhadap aktivitas matahari. Anomali ini merupakan kesempatan terbuka untuk diselidiki.

#### Daftar Rujukan

- Bent, R.B., 1990, " Bent Ionospheric Model ", Solar Terrestrial Models and Application Software, NSSDC/ World Data Center A for Rockets and Satellites, July 1990.
- Foukal P.V., 1990, "The Variable Sun ", Scientific American, February, 1990, 30-31.
- Hruska, J., D.F. Smart, G. Heckman, J.W. Hirman, and G.L. Coles, 1992, " Overview of the Solar-Terrestrial Predictions Workshop IV", Proceeding of Workshop at Ottawa, Canada, Terrestrial Predictions Workshop IV", Proceeding of Workshop at Ottawa, Canada, May 18-22, 1992, Volume I, edited by J. Hruska, M.A. Shea, D.F. Smart and G. Heckman, NOAA, Environmental Research Laboratories, Boulder, Colorado USA, September 1993.
- Jiyo dan Sri Suhartini, 1994, " Prediksi komunikasi radio HF menggunakan ASAPS", Prosiding Media Dirgantara LAPAN, No. D-IV/01-94 November 1994, ISBN 979854-00-0, diterbitkan oleh LAPAN, 107-109.
- Mc Namara, L.F., 1992, "Advanced Stand Alone Prediction System for HF radio communication", (unpublished).
- Sutrisno Hadi, 1990, "Metodologi Research III", Penerbit Offset Yogyakarta, 1990.
- Tapping, K.F. and B. De Tracey, 1990, "The origin of the 10.7 cm flux", Solar Physics, Vol. 127, 321.
- Teters, L.R., Lloyd G.W. Haydon, D.L. Lucas, R.G. Stewart, 1990, " IONCAP Model", Solar Terrestrial Models and Application Software, NSSDC/ World Data Center A for Rockets and Satellites, July 1990.
- Thompson, R., and S. Wulf, 1992, "Regressions between solar indeces and T index", IP S Radio Services, Technical Report Series, TR-92-01, 77-82.

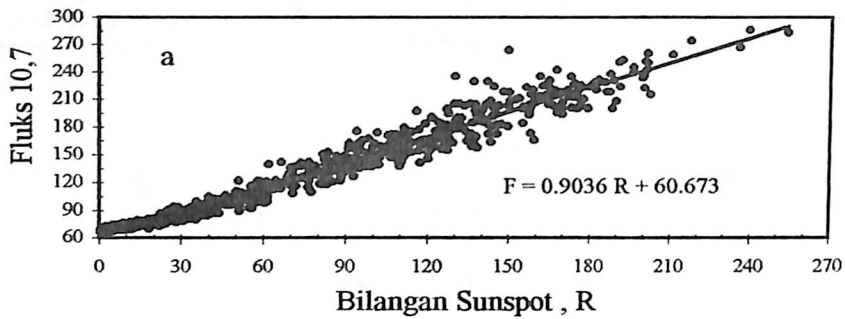
Xanthakis, J.N., and C. Poulakas, 1984, " Long- and short-term predictions of the 10.7 cm solar flux", Solar-Terrestrial Predictions: Proceeding of a Workshop at Meudon, France, June 18-22, 1984, edited by P.A. Simon, G. Heckman, and M.A. Shea, 1986, 118-125.



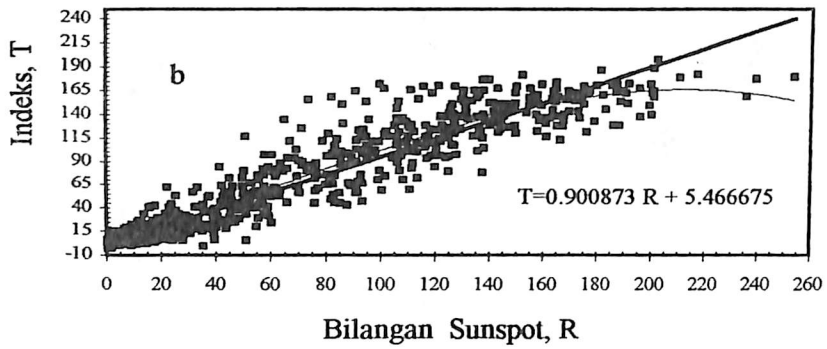


Gambar 2.1: Variasi bilangan sunspot, fluks 10.7 cm dan indeks ionosfer, 1947-1999

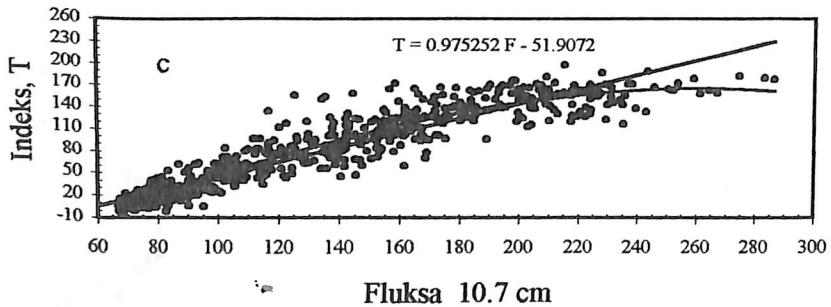
Grafik Fluks Emisi 10.7 cm - Sunspot



Korelasi Indeks Ionosfer - Bil Sunspot



Korelasi indeks Ionosfer -Fluks 10.7



Gambar 2-2: Korelasi Bilangan Sunspot, Fluks 10.7 cm, dan Indek Ionosfer, 1947- 1999

Tabel 2-1: Interval waktu siklus aktivitas matahari 1947-1999

Interval waktu siklus aktivitas matahari ke-					
18	19	20	21	22	23
Jan 1947	Juni 1954	Nop. 1964	Juli 1976	Sep. 1986	Okt. 1996 -
-	-	-	-	-	Okt. 1999
Mei 1954	Oktober 1964	Juni 1976	Agustus 1986	Sep. 1996	

Tabel 2-2: Parameter hubungan linear bilangan sunspot dan fluks 10.7 cm dengan indek ionosfer

Siklus matahari ke-	Hubungan bilangan sunspot R dengan indek ionosfer, T				Hubungan fluks 10.7 cm dengan indek ionosfer, T			
	Arah (m)	Koef. Kor (r)	Aku rasi (a)	Kons tanta (n)	Arah (m)	Koef. Kor (r)	Aku rasi (a)	Kons tanta (n)
18 min	0.96	0.93	82.61	1.685	1.00	0.93	77.01	-3.606
19	0.87	0.97	87.89	6.794	0.95	0.97	88.52	-49.893
20	0.94	0.90	82.65	4.347	1.11	0.91	82.43	-65.097
21	0.93	0.91	80.15	5.472	1.03	0.93	83.06	-58.383
22	0.87	0.91	77.82	6.498	0.88	0.88	81.35	-41.073
23 min	0.88	0.85	70.46	1.498	1.07	0.92	75.88	-69.273
Rata-rata	0.91	0.91	80.27	4.196	1.01	0.92	81.38	-56.221
SD	0.04	0.04	3.75	2.152	0.08	0.03	4.17	10.921
Siklus 18-23	0.900	0.93	81.25	5.447	0.98	0.93	84.35	-51.907

Tabel 2-3: Angka standar hubungan bilangan sunspot dan fluks 10.7 cm dengan indek ionosfer

Hubungan	Variable	Harga Kasar Variabel	Harga Rata <sup>2</sup> Variabel	SD	Angka Standar, A.S	Jumlah A.S.
Bil. Sunspot dg. Indek Ionosfer	Arah	0.87	0.90	0.04	-0.89	-4.93
	Koef.Kor	0.85	0.93	0.04	-2.02	
	Akurasi	70.46	81.25	3.75	-2.62	
Fluks 10.7 dg. Indek Ionosfer	Arah	0.88	0.98	0.08	-0.24	-3.21
	Koef.Kor	0.88	0.93	0.03	-1.65	
	Akurasi	75.88	81.88	4.17	-1.32	

Tabel 3-1: Contoh Anomali Indek Ionosfer

Tahun 1954				Tahun 1986			
Bulan	Indek T	Bil.SS. R	Fluks 10.7	Bulan	Indek T	Bil.SS. R	Fluks 10.7
Jan	5	0.2	79.49	Jan	7	2.5	82.61
Feb	5	0.5	79.67	Feb	6	23.2	85.52
Mar	1	10.9	77.82	Mar	13	15.1	85
Apr	-3	1.8	79.38	Apr	12	18.5	77.63
May	-3	0.8	87.72	May	17	13.7	75.43
Jun	0	0.2	83.51	Jun	15	1.1	75.65
Jul	0	4.8	75.93	Jul	8	18.1	73.85
Aug	8	8.4	80.87	Aug	1	7.4	74.75
Sep	9	1.5	85.09	Sep	1	3.8	71.93
Okt	11	7	85.05	Okt	-1	35.5	77.9
Nop	0	9.2	81.62	Nop	2	14.7	74.2
Des	19	7.6	78.39	Des	15	6.7	72.56