

HUBUNGAN RAPAT FLUKS EMISI RADIO MATAHARI
DENGAN BILANGAN SUNSPOT DAN PREDIKSINYA
PADA SIKLUS KE-22

Manurung S.L. *

RINGKASAN

Dengan menggunakan data harian selama dua setengah siklus (1957-1987) aktivitas matahari diperoleh hubungan antara rapat fluks emisi radio pada panjang gelombang 10.7 cm dengan bilangan sunspot. Hubungan itu dinyatakan oleh persamaan $F_{10.7} = A + BR$ dengan konstanta-konstanta 76.67 dan 0.77 serta akurasi lebih besar dari 90 %. Uji coba linieritas pada harga-harga ekstrim memperlihatkan harga-harga konstanta dan akurasi hampir sama dengan harga-harga konstanta di atas.

Selanjutnya persamaan itu digunakan untuk memperkirakan variasi rapat fluks $F_{10.7}$ tahunan siklus ke-22.

ABSTRACT

The daily data of solar activity during two and a half solar cycles (1957-1987) were used to derive the relation between flux density of solar radio emission at 10.7 cm wavelength with sunspot number. The relation is shown by a linear equation of $F_{10.7} = A + BR$, where A and B are constants, 76.67 and 0.77 respectively and its accuracy is greater than 90 %. The linearity of the equation was tested against extreme values of sunspot numbers, and the relation was still valid with the new constants and accuracy nearly the same to the old constants and accuracy. The relation was used to determine the yearly values of flux density of 22nd solar cycle.

1. PENDAHULUAN

Keberadaan hubungan emisi radio matahari terutama pada panjang gelombang cm dan dm, dengan pemunculan sunspot atau bintik matahari, telah lama dipelajari ; Covington (1946, 1978), Covington dan Harvey (1960). Pada awalnya hubungan grafis itu disangsikan orang (Mills, 1948 dan Tanaka, 1955) karena sumber emisi radio pada panjang gelombang itu berada beberapa ratus kilometer di atas faculae di kromosfer bawah.

* Peneliti Bidang Matahari dan Lingkungan Antariksa.

Selanjutnya tingkat intensitas atau rapat fluks emisi radio matahari pada panjang gelombang 10.7 cm atau frekuensi 2800 MHz disingkat dengan F10.7 dikaitkan dengan luas sunspot dan faculae. Variasi kedua komponen itu terhadap waktu juga menunjukkan kesamaan bentuk. Pertalian F10.7 cm dengan R secara grafis hanya merupakan indikasi, akan tetapi selain dari pada itu diperlukan suatu persamaan matematis. Persamaan matematis itu selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan F10.7 dari harga R yang sudah ditentukan sebelumnya.

Guna mendapatkan model matematis tersebut, dilakukan uji coba terhadap data harian F10.7 dan R selama 2.5 siklus kegiatan matahari (1957 sampai dengan 1987). Uji coba ini menunjukkan bahwa hubungan itu adalah linier dengan konstanta linieritas adalah 76.67 dan 0.77 dan akurasi lebih besar dari 90 %.

Linieritas itu juga diuji pada harga-harga R ekstrim yakni pada saat kegiatan matahari maksimum dan minimum, dan pada harga $R < 50$ dan $R > 50$. Uji coba pada harga-harga ini juga menunjukkan bahwa linieritas itu masih tetap berlaku dengan konstanta-konstantanya yang tidak berbeda jauh dari harga yang sudah diperoleh.

Xanthakis (1966), dan Vitinsky (1976) telah meramalkan dan menghitung bilangan sunspot tahunan siklus ke-22. Dengan menggunakan data itu dan hubungan linieritas di atas variasi tahunan rapat fluks emisi radio matahari siklus ke-22 dapat ditentukan dengan toleransi kira-kira 22 sfu ($1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ watt/m}^2/\text{Hz}$).

Pada saat ini, sunspot perkiraan sering digunakan orang untuk menentukan frekuensi komunikasi HF untuk masa yang akan datang (Lakshmi, 1984). Dan variasi F10.7 diperlukan untuk menentukan variasi kerapatan dan temperatur atmosfer atas (Jacchia, 1966, King Hele, 1972). Selanjutnya Eschneider (1984) memperlihatkan pada saat matahari dalam keadaan sangat aktif, kerapatan dan temperatur atmosfer atas meningkat dan koefisien hambatan udara terhadap satelit orbit rendah naik dengan faktor dua kali. Dengan demikian hubungan matematis di atas dapat dimanfaatkan dalam perhitungan-perhitungan perubahan perioda satelit orbit rendah.

2. SUNSPOT DAN EMISI RADIO MATAHARI

Gerhana matahari merupakan kesempatan langka yang dapat dimanfaatkan

untuk menunjukkan hubungan emisi radio matahari dengan pemunculan pusat aktivitas matahari diantaranya sunspot, (Covington, 1949). Disamping variasi lambat fluks matahari yang mempunyai periode 27 hari yang sama dengan rotasi diferensial matahari atau waktu yang dibutuhkan oleh sebuah sunspot untuk kembali ke tempat semula.

Sunspot terbentuk dari peristiwa pemunculan tabung fluks garis medan magnet terdorong oleh gaya apung dan gaya medan menuju fotosfer, kromosfer dan korona sampai tercapai kesetimbangan. Medan magnet yang frozen terhadap plasma atau partikel yang terkungkung dalam medan magnet ikut terbawa dan menyebabkan perbedaan yaitu : Kuat medan magnet, kerapatan dan temperatur lebih besar di dalam tabung fluks magnet dibandingkan dengan di luar atau di kromosfer (Piddington dan Minnet 1951, Hirayama 1985).

Partikel bermuatan yang berada dalam medan magnet bergerak melingkar dengan frekuensi giro, $f_g = eB/2\pi mc$. Atmosfer matahari opaque ("gelap") terhadap emisi radio dan hanya bisa ditembus oleh radiasi apabila kecepatan partikel mendekati kecepatan cahaya. Peningkatan kerapatan dan temperatur menyebabkan peningkatan rapat fluks yang terdapat hampir pada seluruh panjang gelombang termasuk emisi pada gelombang mikro dan decimeter.

3. DATA DAN METODA

Dalam kurun waktu 30 tahun dari tahun 1957 sampai dengan 1987 diperoleh data yang sangat banyak. Data bersumber dari Quarterly Bulletin of Solar Activity, Sunspot Bulletin. Data itu diplotkan seperti terlihat pada gambar 3.1.

Gambar 3.1 mencerminkan hubungan fluks F10.7 dengan bilangan sunspot R. Meskipun sebaran titik-titik pengamatan sedemikian rupa hubungan kedua komponen itu dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$F_{10.7} = A + B R \quad (3-1)$$

Dengan menggunakan metoda Fitting-Curve Least Square, konstanta A dan B serta koefisien korelasi dapat ditentukan. Dari hasil perhitungan diperoleh konstanta-konstanta A dan B serta akurasi rata-rata, seperti terdapat dalam tabel 3.1. Harga rata-rata konstanta tersebut masing-masing adalah 76.67 dan 0.77.

Dengan mempergunakan harga-harga pada tabel 3.1, diperoleh penyimpangan harga perhitungan dari harga penganatan. Perbedaan itu dinyatakan oleh perbedaan akurasi yakni :

$$\text{Akurasi} = k = (1 - S/F_{10.7 \text{ obs}}) \quad (3-2)$$

di mana :

S = standar deviasi

Hasil lengkap dari konstanta-konstanta ditunjukkan pada tabel 3.1. Konstanta-konstanta tersebut adalah konstanta A, B, akurasi dan koefisien korelasi. Akurasi harian, bulanan, dan tahunan masing-masing adalah 89 %, 91 %, dan 94 %, sedangkan koefisien korelasi sekitar 0.90. Variasi konstanta-konstanta yang diperoleh seperti terlihat pada gambar 3.2.

Memperhatikan sebaran titik-titik observasi dari harga yang terkecil sampai dengan harga terbesar, terlihat ada perbedaan mencolok. Perbedaan itu disebabkan oleh distribusi titik-titik observasi yang tidak merata pada daerah R yang tinggi dan oleh perbedaan fluks yang besar pada waktu matahari dalam keadaan aktif.

Waldmeier (1971) membagi daerah atas dua bagian yaitu daerah yang dibatasi oleh $R < 50$ dan $R \geq 50$ (lihat gambar 3.3), gambar ini menunjukkan seolah-olah terdapat daerah transisi yang menimbulkan keragu-raguan terhadap hubungan linier itu. Namun setelah dilakukan test dengan menggunakan polinom orde-dua, ternyata koefisien korelasi dan akurasi semakin rendah dan hubungan itu tidak significant lagi. Dengan kata lain hubungan kedua komponen itu adalah linier. Ekstrapolasi gambar 3.1 terhadap sumbu tegak memberikan harga rapat fluks berkisar dari 60 sampai dengan 80 sfu. Harga ekstrapolasi ini adalah harga rapat fluks pada waktu matahari tenang. Emisi radio matahari pada waktu matahari tenang bukan berasal dari peristiwa emisi non thermal tetapi merupakan emisi yang memenuhi hukum radiasi Planck.

Linieritas hubungan $F_{10.7}$ dengan R yang telah diperoleh selanjutnya diuji coba pada harga-harga ekstrim dan daerah menurut selang waktu yang didasarkan atas karakteristik siklus seperti yang digunakan pada gambar 3.4. Kelompok-kelompok itu dapat dilihat pada tabel 3.2.

Dengan menggunakan persamaan (3.1), (3.2) didapatkan harga-harga konstanta dan harga-harga itu dicantumkan dalam tabel 3.3. Harga-harga konstanta yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan harga-harga konstanta

yang telah diperoleh seperti terdapat pada tabel 3.1. Ini berarti bahwa linieritas tetap dipertahankan baik pada daerah ekstrim maupun pada daerah lainnya.

4. PREDIKSI RAPAT FLUKS 10.7 CM SIKLUS KE-22

Perhitungan harga bilangan sunspot R untuk beberapa tahun dan bahkan beberapa siklus kemudian, telah banyak dilakukan orang diantaranya yang terkenal adalah perhitungan yang dilakukan oleh Xanthakis (1966, 1967a). Bilangan sunspot tahunan selama siklus ke-22 dinyatakan dengan persamaan : Pada daerah maksimum.

$$R_m = C + 2 T_o (T_o - T_r)^2 \quad (4-1)$$

Interval naik,

$$R = R_m \cos^2(\pi/2Tr)t + 2T_o \sin \pi/4 \cos N \quad (4-2)$$

Interval turun

$$R = R_m \cos^2(\pi/(2(11-Tr)))t - 2T_o \sin \pi/4 \quad (4-3)$$

di mana :

$$C = 84, T_r = 4.5 \text{ thn } T_o = 5.76, t = 1, 2, 3 \text{ dst. } N = 22$$

Dengan menggunakan harga konstanta tersebut di atas maka diperoleh harga R tahunan siklus ke-22 (gambar 3.4). Selanjutnya rapat fluks F10.7 ditentukan dari persamaan (3-11) dengan konstanta A dan B masing-masing adalah 76.67 dan 0.77. Variasi fluks tahunan selama siklus ke-22 diperlihatkan pada gambar 4.1 dengan deviasi standard sebesar 22.2 sfu.

5. KESIMPULAN

Hubungan linier yang telah diperoleh adalah hasil uji coba daripada data harian selama kurang lebih 30 tahun. Oleh karena itu dengan menggunakan konstanta A dan B dari persamaan (3-1) rapat fluks F10.7 dapat ditentukan dari harga R yang diperkirakan.

Variasi harga R dan F10.7 merupakan parameter yang penting dalam bidang aplikasi, misalnya prediksi frekuensi komunikasi HF, dan untuk

mengetahui variasi kerapatan partikel dan temperatur atmosfer atas. Lam (1969), dan Esculder (1984) mendapatkan hubungan variasi kerapatan dan temperatur dengan perubahan hambatan udara terhadap satelit dan perubahan orbit. Oleh karena itu dengan mengetahui kedua besaran tersebut diharapkan membantu dalam perkiraan gangguan atmosfer pada orbit satelit orbit rendah.

Pengamatan F10.7 dan R dilakukan dengan cara radio dan optik. Pengamatan optik sangat bergantung pada cuaca, sedangkan pengamatan dengan radio tidak terlalu terpengaruh.

Perubahan jumlah sunspot untuk satu hari kemudian dapat ditentukan dari perkembangan sunspot, tetapi perubahan F10.7 sukar untuk ditentukan. Harga F10.7 untuk beberapa hari di muka ditentukan dari hubungan linier yang sudah diperoleh di atas. Oleh karena itu guna mendapatkan data yang akurat dan bisa dipergunakan untuk aplikasi, perlu dilakukan pengamatan R dan F10.7 secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allen C.W., 1957, Monthly Notices, 117,174.
2. Castelly J., S.Basu and J.Aarons, 1965, "Solar Radio Emission", Handbook of Geophysics Space Environment ed.by Handbook of Geophysics Space Environment, ed.by S.L.Valley Mc.Graw Hill Book Co.NY.
3. Coffey, 1976, Solar Geophysical Data Prompt Reports, 1976-1984.
4. Covington A.E., 1948, Pro IRE 36, 454.
5. Covington A.E. and G.A.Harvey, 1960, Astrophys. Journal p.132, 435.
6. Dasgupta and M.K.Basu, 1964, Nature 203, 626.
7. Esculder, P., 1984, "Use of Solar and Geomagnetic Activity Indexes for Orbit Computation", Solar Terrestrial Physics Meudon.
8. Hargreaves C.K., 1979, The Upper Atmosphere and Solar terrestrial Relation, Van Nostrand Reinhold Company.
9. Hirayama, 1986, "The Density Thickness Quiscent Prominence Plasmas", NASA Conference. Publication 242.
10. Jacchia, L.G., and J.Slowey, 1966, "Accurate Drag Determination for Eight Artifisial Satellites", Atmospheric Densities and Temperatures. Smithsonian Contr.Astrophys., vol.8 no.1 hal 1-99.
11. Lam, L.S., Meudes, G.M., and Landquist, C.A., 1967, "Design of satellite experiment for Atmospheric density and Near free-Molecules Flow Aerodynamics", Smithsonian Astrophys Observatory, 291.

12. Muller H. and M. Waldmeier, 1971, Z. Astrophys. 27, 58.
13. Priest E.R., 1984, "Solar Magnetohydrodynamics Geophysics and Astrophysics", D. Reidel Publishing Company.
14. Vitinsky Yu. I., 1978, Cycles and forecasting of S.A. Namba Moscow.
15. Xanthakis J.N., 1967, Solar Physics J. Wiley London.
16. Waldmeier M., 1971, Astron. Mitt. Eidgen. Sternwarte Zurich No. 304.
17. Zirin H., 1988, "Astrophysics of the Sun", Cambridge University Press NY.

1970	19.0	27.00	18.0	1971
1971	19.0	27.00	18.0	1971
1972	19.0	27.00	18.0	1971
1973	19.0	27.00	18.0	1971
1974	19.0	27.00	18.0	1971
1975	19.0	27.00	18.0	1971
1976	19.0	27.00	18.0	1971
1977	19.0	27.00	18.0	1971
1978	19.0	27.00	18.0	1971
1979	19.0	27.00	18.0	1971
1980	19.0	27.00	18.0	1971
1981	19.0	27.00	18.0	1971
1982	19.0	27.00	18.0	1971
1983	19.0	27.00	18.0	1971
1984	19.0	27.00	18.0	1971
1985	19.0	27.00	18.0	1971
1986	19.0	27.00	18.0	1971
1987	19.0	27.00	18.0	1971
1988	19.0	27.00	18.0	1971
1989	19.0	27.00	18.0	1971
1990	19.0	27.00	18.0	1971
1991	19.0	27.00	18.0	1971
1992	19.0	27.00	18.0	1971
1993	19.0	27.00	18.0	1971
1994	19.0	27.00	18.0	1971
1995	19.0	27.00	18.0	1971
1996	19.0	27.00	18.0	1971
1997	19.0	27.00	18.0	1971
1998	19.0	27.00	18.0	1971
1999	19.0	27.00	18.0	1971
2000	19.0	27.00	18.0	1971
2001	19.0	27.00	18.0	1971
2002	19.0	27.00	18.0	1971
2003	19.0	27.00	18.0	1971
2004	19.0	27.00	18.0	1971
2005	19.0	27.00	18.0	1971
2006	19.0	27.00	18.0	1971
2007	19.0	27.00	18.0	1971
2008	19.0	27.00	18.0	1971
2009	19.0	27.00	18.0	1971
2010	19.0	27.00	18.0	1971
2011	19.0	27.00	18.0	1971
2012	19.0	27.00	18.0	1971
2013	19.0	27.00	18.0	1971
2014	19.0	27.00	18.0	1971
2015	19.0	27.00	18.0	1971
2016	19.0	27.00	18.0	1971
2017	19.0	27.00	18.0	1971
2018	19.0	27.00	18.0	1971
2019	19.0	27.00	18.0	1971
2020	19.0	27.00	18.0	1971

Tabel 3.1: Konstanta A, B, Koefisien korelasi dan akurasi tahunan dari hubungan F10.7 dengan R.

Tahun	Koef. Kor.	A	B	Akurat
1957	0.83	106.52	0.66	90 %
1958	0.85	116.30	0.61	92 %
1959	0.90	95.43	0.71	93 %
1960	0.89	90.84	0.63	92 %
1961	0.81	78.70	0.49	91 %
1962	0.86	71.33	0.49	92 %
1963	0.82	72.01	0.32	95 %
1964	0.63	69.70	0.25	96 %
1965	0.83	71.81	0.28	97 %
1966	0.86	74.45	0.59	92 %
1967	0.85	88.58	0.59	91 %
1968	0.71	94.60	0.52	89 %
1969	0.82	90.97	0.57	90 %
1970	0.72	100.04	0.52	90 %
1971	0.80	76.83	0.62	90 %
1972	0.88	77.36	0.63	92 %
1973	0.90	75.16	0.48	94 %
1974	0.88	71.28	0.45	93 %
1975	0.85	69.51	0.43	94 %
1976	0.74	69.46	0.31	96 %
1977	0.83	73.28	0.36	97 %
1978	0.86	78.11	0.48	90 %
1979	0.81	87.19	0.49	91 %
1980	0.76	90.23	0.50	94 %
1981	0.96	90.23	0.50	93 %
1982	0.93	78.81	0.60	92 %
1983	0.82	93.30	0.45	91 %
1984	0.74	83.21	0.67	93 %
1985	0.90	98.87	0.62	90 %
1986	0.88	94.65	0.54	93 %
1987	0.89	95.28	0.60	96 %

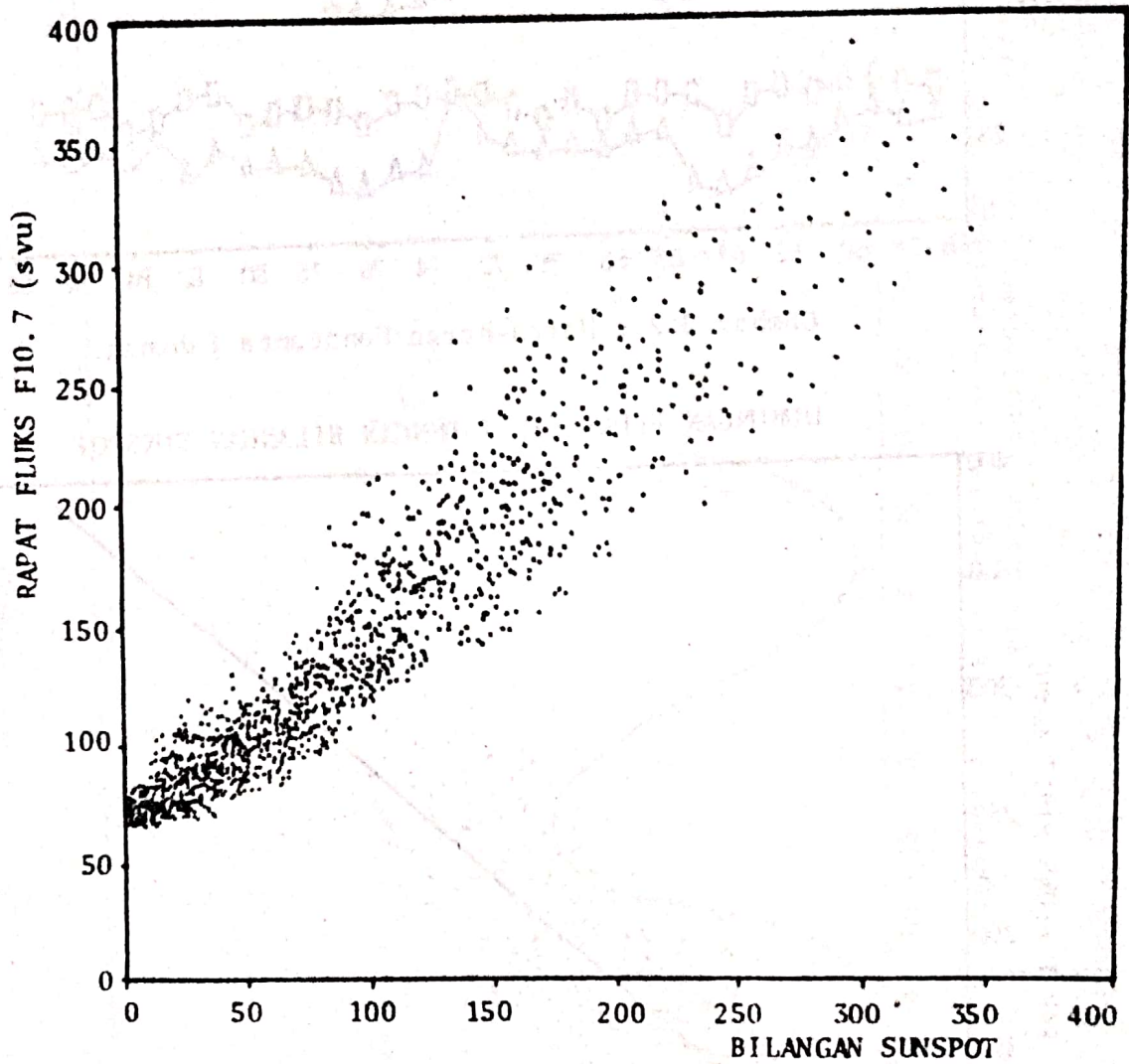
Tabel 3.2 : Pembagian kelompok siklus kegiatan matahari tahun 1957-1987.

Kelompok	Interval Waktu	Keterangan.
1	1957 - 1959	maks. sik. ke-19
2	1968 - 1970	maks. sik. ke-20
3	1979 - 1981	maks. sik. ke-21
4	1962 - 1964	min. sik. ke-19
5	1973 - 1975	min. sik. ke-20
6	1984 - 1986	min. sik. ke-21
7	1957 - 1959	
	1968 - 1970	gabungan maks.
	1979 - 1981	
8	1962 - 1964	
	1973 - 1975	gabungan min.
	1984 - 1986	
9	1957 - 1965	siklus ke-19
	1966 - 1976	siklus ke-20
	1977 - 1987	siklus ke-21
	1957 - 1986	siklus ke-19, 20, 21
10	R<50 dan R>50	

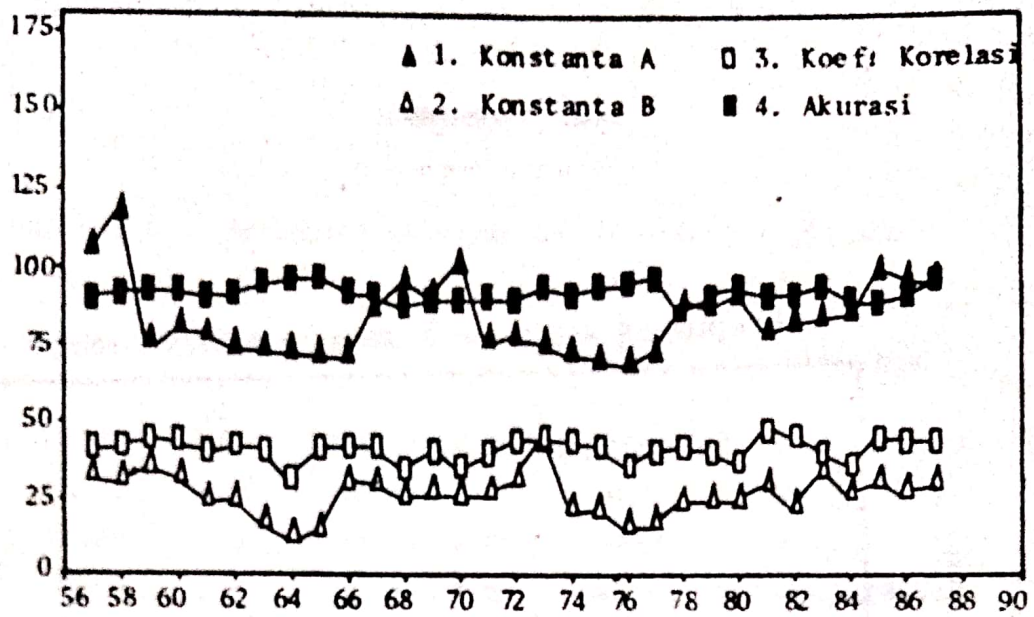
Tabel 3.3 : Pembagian kelompok dan konstanta-konstanta

Kel.	Tahun	koef. kor.	A	B	Akurasi	Keterangan
1	57-59	0.87	103.88	0.67	92 %	maks. sik. -19
2	68-70	0.80	90.89	0.56	91 %	maks. sik. -20
3	79-81	0.80	95.38	0.63	91 %	maks. sik. -21
4	62-64	0.87	68.85	0.56	96 %	min. sik. -19
5	73-75	0.90	69.63	0.51	95 %	min. sik. -20
6	84-86	0.91	70.21	0.63	94 %	min. sik. -21
7	57-59					
	68-70	0.92	78.31	0.80	92 %	
	79-81					
8	62-64					
	73-75	0.90	80.31	0.85	94 %	
	84-86					
9	57-65	0.83	87.60	0.52	93 %	sik. ke-19
	66-76	0.82	80.00	0.50	93 %	sik. ke-20
	77-87	0.84	89.23	0.65	94 %	sik. ke-21
	57-87	0.81	8.15	0.65	92 %	sik. ke-19, 20, 21
10	R<50	0.90	69.36	0.62	94 %	
	R≥50	0.74	61.56	0.85	90 %	

HUBUNGAN FLUKS F10.7 DENGAN BILANGAN SUNSPOT

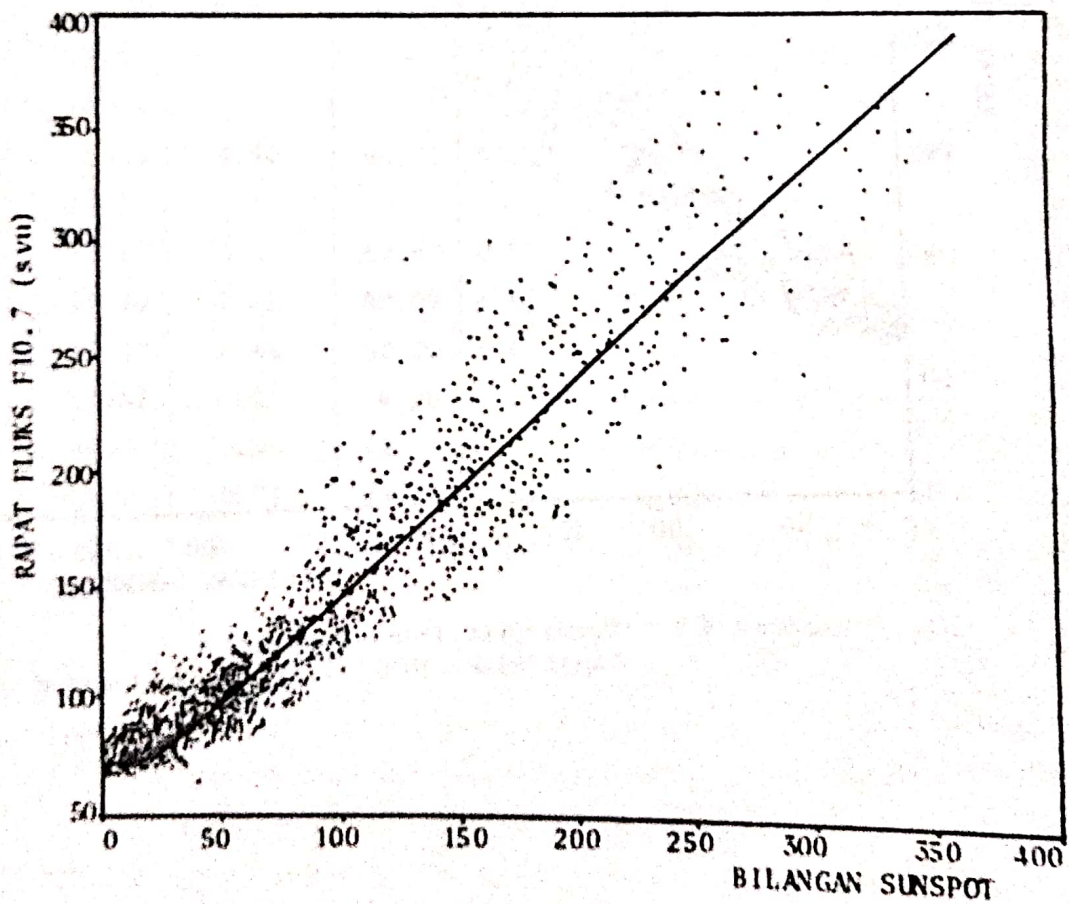


Gambar 3.1 : Kurva Distribusi Pengamatan
Rapat Fluks F10.7 vs Bilangan Sunspot R.

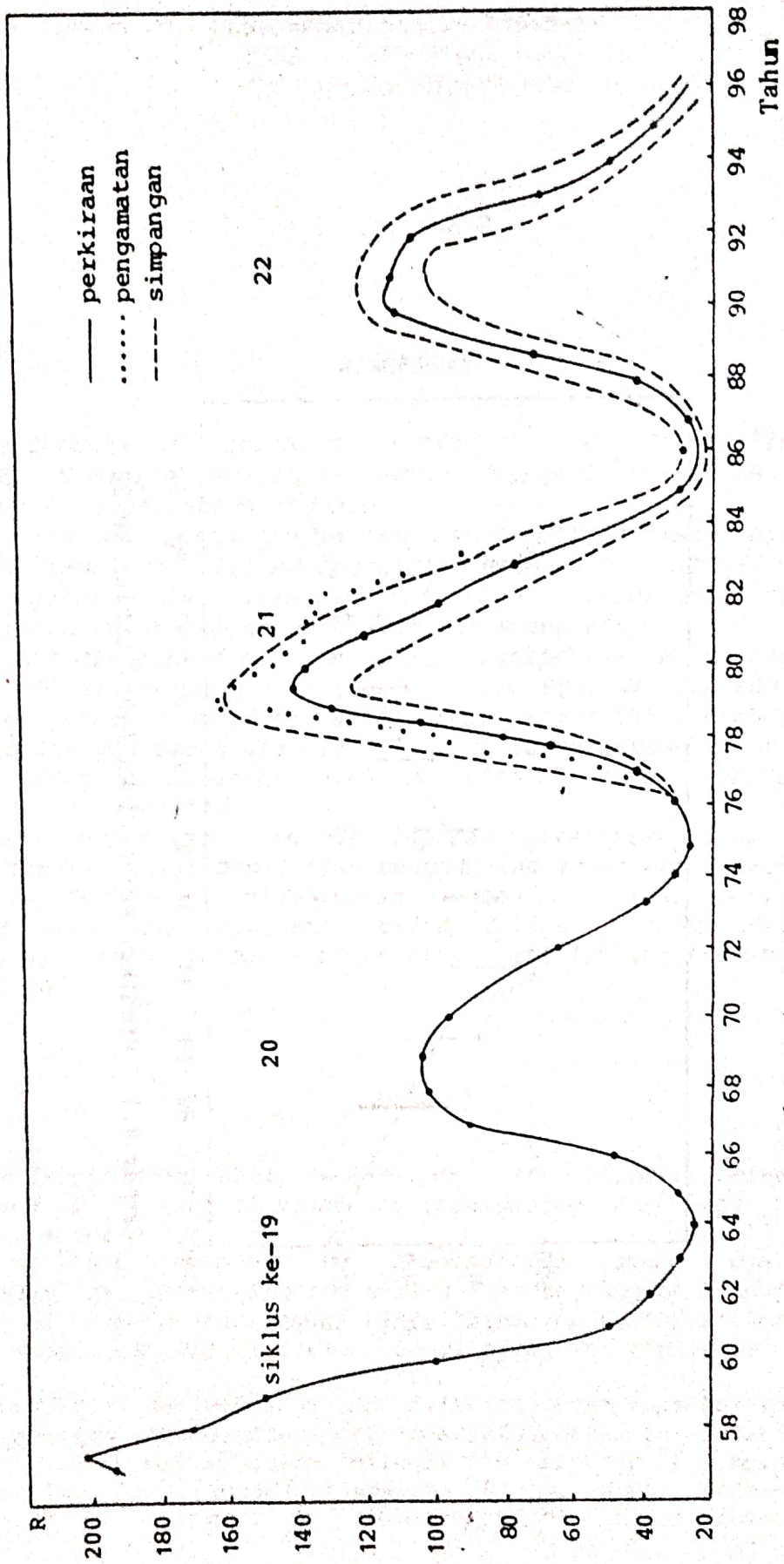


Gambar 3.2 : Harga-harga Konstanta Tahunan.

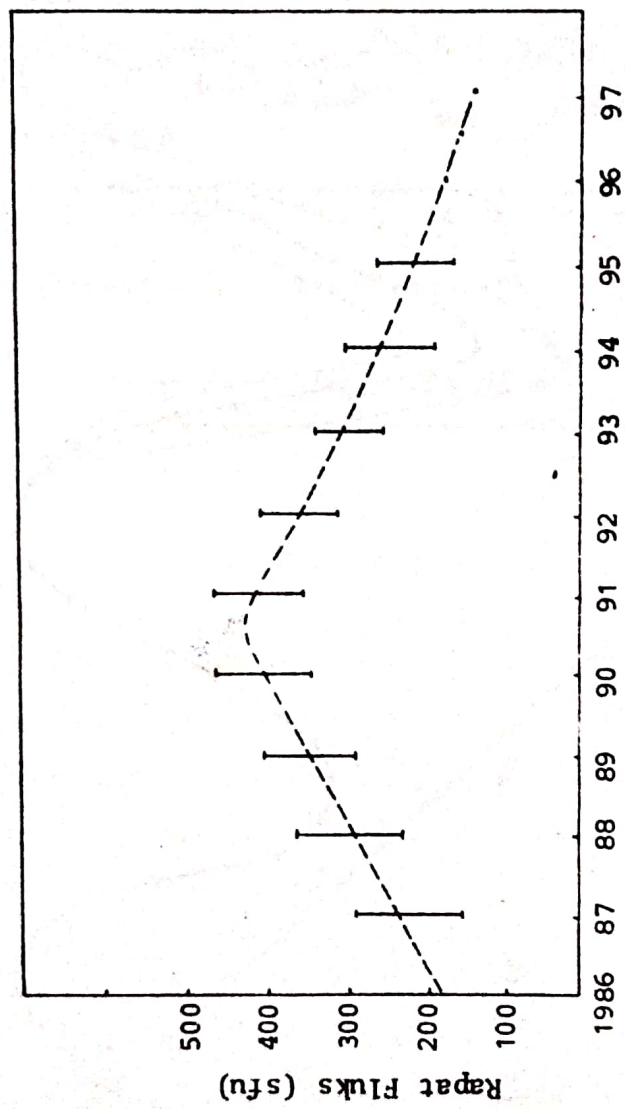
HUBUNGAN FLUKS F10.7 DENGAN BILANGAN SUNSPOT



Gambar 3.3 : Kurva Garis F10.7 vs R untuk $R < 50$ dan $R \geq 50$.



Gambar 3.4 : Siklus kegiatan matahari tahun 1956 sampai dengan tahun 1996.



Gambar 4.1 : Prediksi Rapat Fluks F10.7 siklus ke-22