

# METODE BARU PRAKIRAAN SIKLUS AKTIVITAS MATAHARI DARI ANALISIS PERIODISITAS

Thomas Djamaluddin  
Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN Bandung  
[t\\_djamil@bdg.lapan.go.id](mailto:t_djamil@bdg.lapan.go.id), [t\\_djamil@hotmail.com](mailto:t_djamil@hotmail.com)

## ABSTRACT

Periodicity analysis indicates that sunspot number is better to be used as the base of solar activities prediction. The main periodicity (of about 11 years) is relatively constant so that it can be used in long-term prediction several cycles ahead. For prediction, wavelet analysis of all dominant periods has to be done on any cycle to be used in reconstructing the cycle pattern and for predicting the next ones. The relationship between length of cycle and maximum amplitude is used to predict the peak of a cycle. Prediction tests of several cycles indicate that this new method is accurate enough in predicting cycle pattern and maximum amplitude several cycles ahead. The ability in predicting several cycles ahead may be the superiority of this method over the precursor method considered to be relatively the most accurate nowadays.

## ABSTRAK

Analisis periodisitas menunjukkan bahwa bilangan sunspot lebih baik digunakan sebagai dasar prakiraan aktivitas matahari. Periodisitas utamanya (sekitar 11 tahun) relatif konstan sehingga dapat digunakan untuk prakiraan jangka panjang beberapa siklus ke depan. Untuk keperluan prakiraan, dilakukan analisis wavelet semua periode dominan pada suatu siklus untuk digunakan merekonstruksikan pola siklus tersebut dan untuk prakiraan siklus berikutnya. Hubungan panjang siklus dan amplitude maksimum digunakan untuk mendapatkan prakiraan puncak siklus. Uji coba pada beberapa siklus menunjukkan metode baru ini cukup akurat memprakirakan pola dan amplitude maksimum beberapa siklus ke depan. Kemampuan prakiraan beberapa siklus ke depan merupakan keunggulan metode ini dari metode prekursor yang saat ini dianggap relatif paling akurat.

**Kata kunci:** *sunspot, metode prakiraan, wavelet, siklus matahari*

## 1 PBNDAHULUAR

Sebagai penggerak utama cuaca antariksa, matahari selalu dipantau dan diprakirakan aktivitasnya. Banyak sektor kehidupan manusia yang saat ini sangat terpengaruh dengan aktivitas matahari. Teknologi satelit yang digunakan untuk telekomunikasi, pemantauan cuaca bumi, pengamatan sumberdaya alam, dan pemetaan permukaan bumi sangat terpengaruh dengan aktivitas matahari. Demikian juga teknologi telekomunikasi yang

memanfaatkan ionosfer sebagai pemantul gelombang radio atau teknologi GPS yang terganggu oleh variabilitas ionosfer dalam penentuan posisi berbasis satelit. Ionosfer sangat terpengaruh oleh aktivitas matahari. Induksi elektromagnetik akibat masuknya partikel berenergi tinggi dari matahari ke bumi sering berdampak rusaknya instalasi listrik dan jaringan pipa jarak jauh di negara-negara lintang tinggi. Prakiraan aktivitas matahari, baik jangka panjang maupun jangka pendek sangat penting untuk mengantisipasi kemungkinan dampak yang ditimbulkannya.

Banyak metode telah digunakan untuk memprakirakan siklus aktivitas matahari. Metode untuk memprakirakan amplitude maksimum siklus berikutnya misalnya yang dikembangkan oleh Thompson (1993) dan metode lain yang diulas oleh Li et al. (2001) serta rujukan di dalamnya. Menurut Li et al. (2001), dari sekian banyak metode yang dikembangkan selama ini untuk memprakirakan amplitude maksimum, metode prekursor geomagnet adalah yang paling akurat, antara lain yang diusulkan Thompson (1993). Namun, metode prekursor geomagnet tidak mampu memprakirakan panjang suatu siklus.

Makalah ini melaporkan hasil penelitian dalam pengembangan metode baru untuk memprakirakan siklus matahari berdasarkan analisis periodisitasnya berbasis wavelet. Ada tiga versi yang telah dianalisis. Pertama, menggabungkan dengan metode prekursor geomagnet yang dikembangkan Thompson (1993) untuk menentukan amplitude maksimumnya. Kedua, analisis periodisitas dipisahkan untuk masing-masing hemisfer, kemudian disuperposisikan dan digabung dengan metode prekursor geomagnet. Ketiga, sepenuhnya merupakan metode baru berdasarkan analisis periodisitas dengan menggunakan hubungan panjang siklus dan amplitude maksimum. Sebelum membahas metode yang dikembangkan, pertama akan dianalisis parameter aktivitas matahari yang paling baik tingkat prediktibilitasnya.

## 2 DATA DAN PENGOLAHANNYA

Aktivitas matahari dinyatakan dengan beberapa parameter. Untuk memilih yang paling baik prediktibilitasnya, dianalisis beberapa parameter aktivitas matahari, yaitu bilangan sunspot (bulanan), grup sunspot (tahunan), umbra-penumbra *ratio* (U/P, tahunan), kejadian flare (bulanan), fluks 10.7 (harian), dan solar faculae (tahunan). Untuk keseragaman analisis dari data yang tersedia, rentang data dikelompokkan menjadi jangka panjang (1875 - 1964) dan jangka menengah (1965 - 1981) (Tabel 2-1).

Untuk menganalisis periodisitas parameter aktivitas matahari digunakan metode Weighted Wavelet Z-Transform (WWZ, Foster 1996) yang perangkat lunaknya (WWZ) dikembangkan oleh *the American Association of Variable Star Observer* (AAVSO, <http://www.aavso.org>). Evolusi periodisitas ditunjukkan dengan kontur yang menggambarkan perubahan periodisitasnya dari tahun ke tahun. Kemunculan periode dominan dan evolusi bagi masing-masing parameter aktivitas matahari kemudian dianalisis dan dibandingkan.

Tabel 2-1: PENGELOMPOKAN DATA, RENTANG DATA, DAN SUMBER DATA

Data jangka panjang (1875-1964)		Data jangka menengah (1965-1981)	
Jenis Data	Sumber	Jenis Data	Sumber
Bilangan sunspot	SIDC (2005)	Bilangan sunspot	SIDC(2005)
Grup sunspot	Hoyt (1985)	Grup sunspot	Hoyt (1985)
U/P ratio	Hoyt (1985)	U/P ratio	Hoyt (1985)
Faculae	Lamb (1972)	Kejadian Flare	NAO (1995)
		F10.7	DRAO (2005)

Data sunspot bulanan diperoleh dari SIDC (2005). Data yang digunakan adalah data *smoothed* (yang dihaluskan) sama seperti yang digunakan para peneliti lain dalam prakiraan siklus aktivitas matahari. Untuk analisis lebih lanjut digunakan data sunspot berdasarkan hemisfernya, belahan utara (Rn) dan selatan (Rs). Data bilangan sunspot hemisfer untuk tahun 1975 - 2000 (dataset1) diperoleh dari <http://cdsweb.u-starsbg.fr/cgi-bin/qcat?J/A+A/390/707> (Temmer, et al. 2002). Sedangkan untuk tahun 1992 - 2005 (dataset2) dari SIDC, <http://sidc.oma.be>. Data pada rentang waktu yang sama 1992 - 2000 menunjukkan perbedaan yang kecil dengan perbandingan dataset1/dataset2 rata-rata 0.98 untuk Rn dan 0.99 untuk Rs. Dengan demikian kedua dataset tersebut dianggap homogen, dari dataset1 diambil rentang 1975 - 1991 dan dari dataset2 diambil rentang 1992 - 2004.

Untuk rekonstruksi dan prakiraan siklus aktivitas matahari, analisis periodisitas dilakukan pada titik-titik minimum, fase naik, maksimum, fase turun, dan minimum berikutnya. Kemudian dilakukan rekonstruksi dengan persamaan empirik yang dikembangkan. Persamaan tersebut yang digunakan untuk prakiraan siklus berikutnya. Amplitude maksimum dicobakan dari prakiraan metode prekursor geomagnet dan metode hubungan amplitude maksimum dan panjang siklus, kemudian dibandingkan. Untuk data yang dipilah berdasarkan hemisfernya, hasil rekonstruksi dan prakiraan masing-masing hemisfer kemudian disuperposisikan. Hasil analisis untuk sunspot total dan sunspot hemisferik dibandingkan untuk mendapatkan metode yang paling akurat.

Analisis berikutnya menggunakan metode baru hubungan panjang siklus dan amplitude maksimum dalam menentukan prakiraan puncak aktivitas matahari, menggantikan metode prekursor geomagnet. Data panjang siklus dan bilangan sunspot maksimum yang digunakan diambil dari [ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SUNSPOT\\_NUMBERS/maxmin](ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/maxmin). Dari analisis data diperoleh hubungan antara panjang siklus dan amplitude maksimum. Untuk prakiraan, panjang siklus dapat diperoleh dari pola siklus hasil prediksi (dari saat sunspot minimum ke minimum berikutnya). Dengan

demikian dapat diperoleh metode prakiraan aktivitas matahari yang sepenuhnya baru dengan analisis periodisitas yang dikembangkan.

### **3HASIL**

#### **3.1 Hasil Analisis Parameter Aktivitas Matahari**

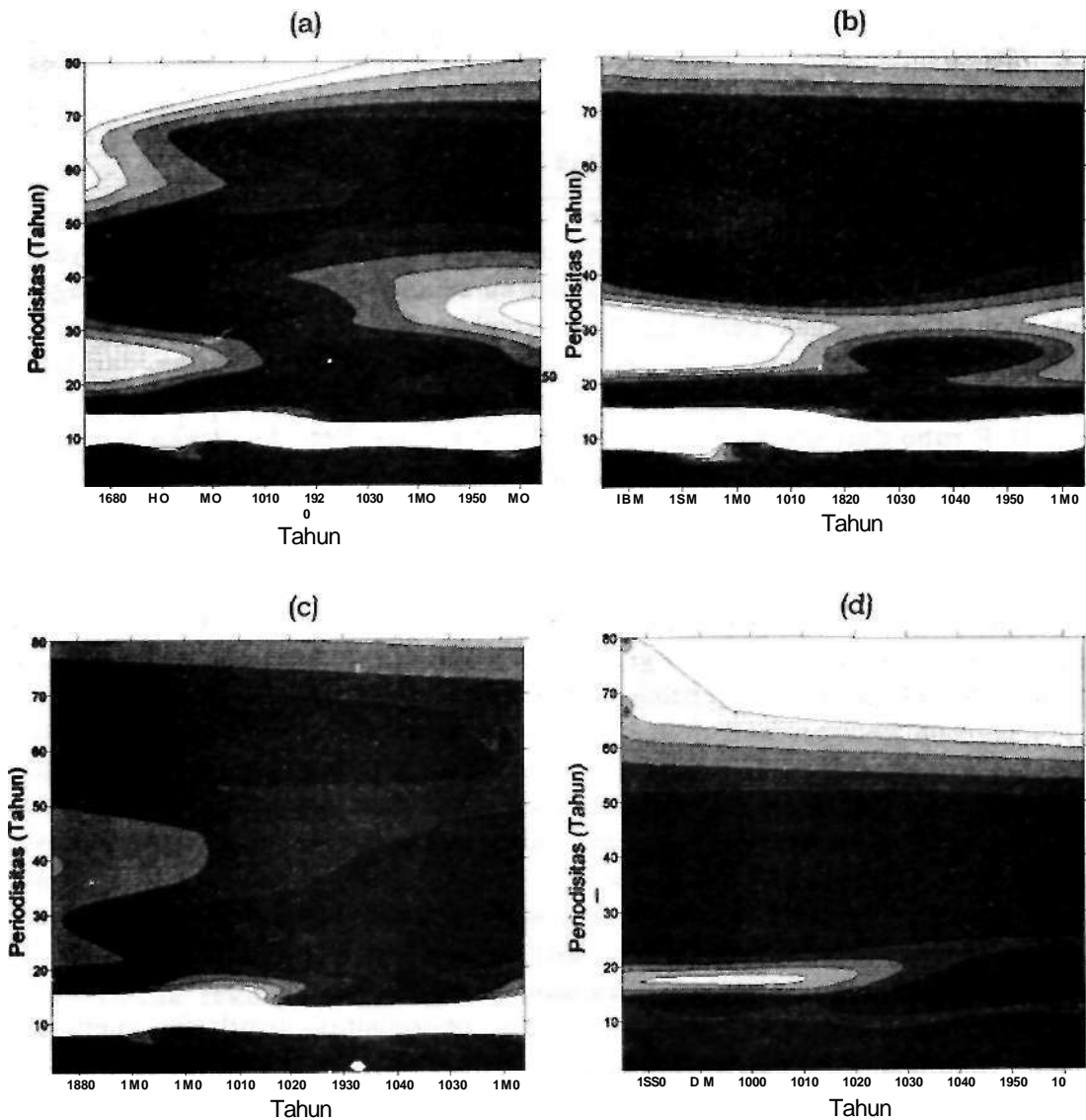
Periodisitas enam parameter aktivitas matahari yang dianalisis ditunjukkan dengan kontur-kontur evolusinya. Ada beberapa sifat umum yang tampak, antara lain munculnya periodisitas sekitar 11 tahun, tetapi dengan sifat evolutif yang agak berbeda. Pada Gambar 3-1 ditunjukkan periodisitas antara 1-80 tahun untuk bilangan sunspot, grup sunspot, faculae, dan U/P *ratio*. Pada umumnya tampak adanya periodisitas sekitar 11 tahun, walaupun pada U/P *ratio* dan *solar index* tampak kurang jelas. Periode jangka panjang, sekitar 80 tahun, sekitar 25 tahun, dan sekitar 18 tahun juga muncul, tetapi bukan merupakan sifat umum.

Evolusi periodisitas secara lebih jelas ditunjukkan pada Gambar 3-2. Tampak bahwa periodisitas sekitar 11 tahun tidak konstan, tetapi berevolusi. Hal yang menarik dari penelitian ini, adalah adanya kemiripan sifat evolusi periodisitas bilangan sunspot, grup sunspot, dan faculae. Pada U/P *ratio* periodisitas sekitar 11 tahun tidak tampak jelas.

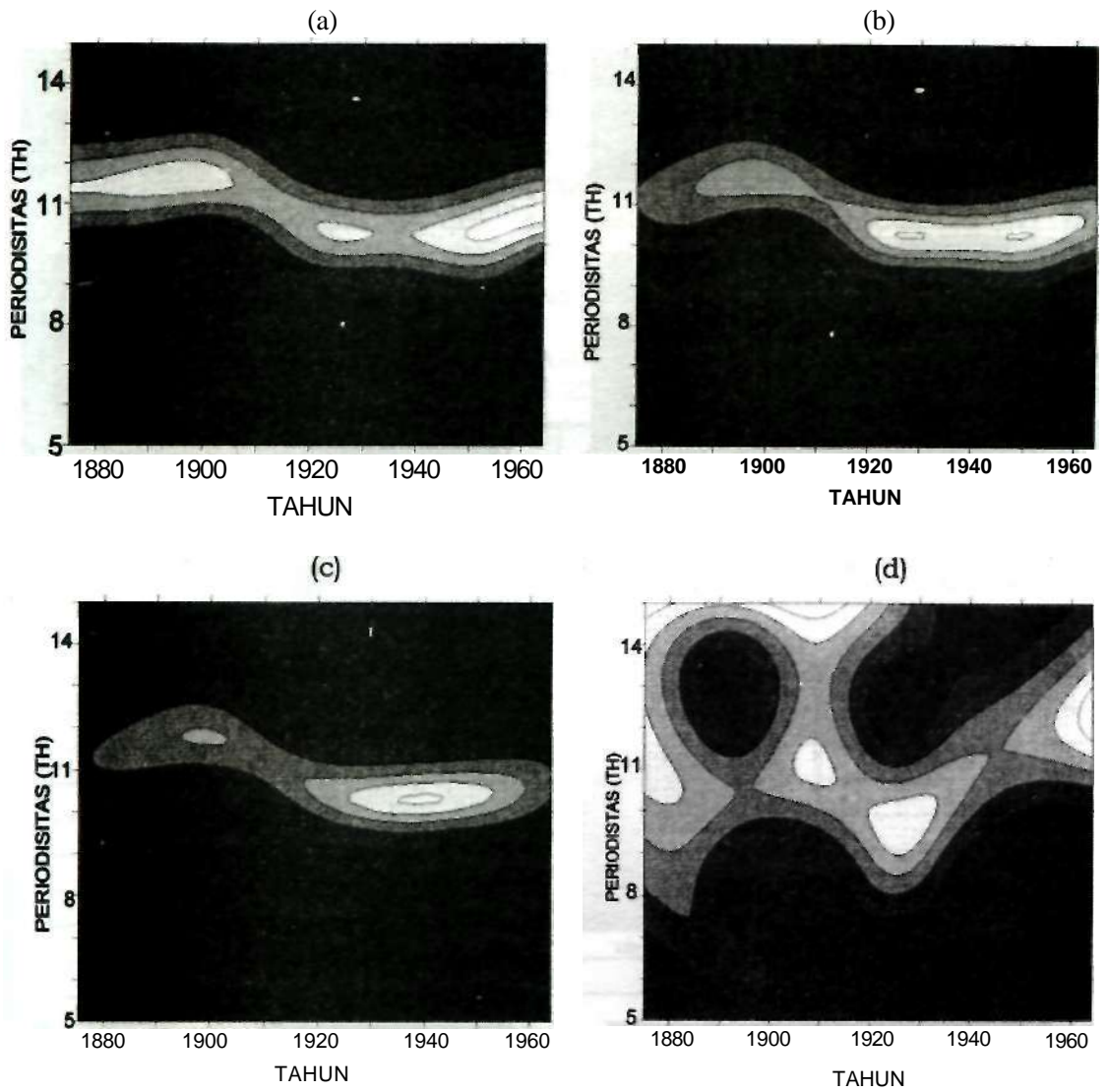
Karena ketersediaan data kejadian flare dan F10.7, kedua parameter aktivitas matahari itu dibandingkan dengan bilangan sunspot, grup sunspot, dan U/P *ratio* untuk rentang waktu 1965-1988. Secara umum, periodisitas sekitar 11 tahun muncul pada ke lima parameter tersebut. Namun, evolusinya menunjukkan kekhasan masing-masing. Bilangan sunspot, grup sunspot, dan F10.7 menunjukkan periodisitas relatif konstan sekitar 11 tahun. Sedangkan kejadian flare cenderung menurun dari 11,5 tahun ke 10,5 tahun dan U/P *ratio* cenderung meningkat dari 12 tahun ke 13 tahun.

Terlihat bahwa ada kemiripan sifat periodisitas untuk fenomena di fotosfer (bilangan sunspot, grup sunspot, dan faculae). F10.7 yang berasal dari daerah sekitar sunspot dan korona bawah (Tapping dan DeTracey, 1990) juga menunjukkan sifat yang mirip. Kejadian flare yang muncul dari daerah kromosfer (di atas fotosfer) mempunyai sifat periodisitas yang berbeda. Parameter lainnya yang berupa indeks, U/P *ratio* yang menggambarkan perbandingan luas umbra dan penumbra sunspot, tampaknya tidak menunjukkan periodisitas yang konstan. U/P *ratio* bahkan cenderung terus meningkat periodisitasnya dari sekitar 9,5 tahun pada 1920 (Gambar 3-2d) menjadi sekitar 13 tahun pada tahun 1980 (Gambar 3-3d).

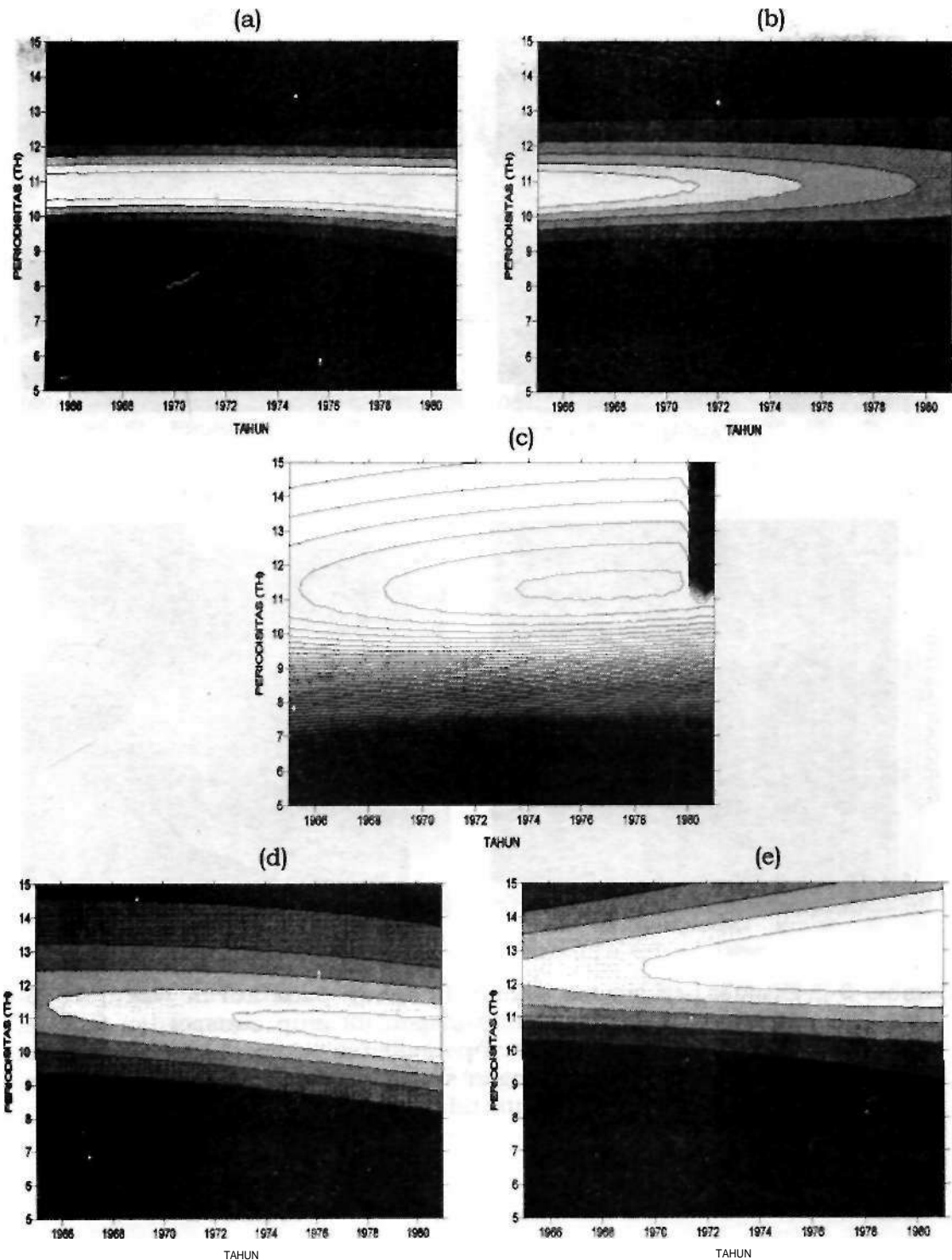
Untuk kepentingan prakiraan cuaca antariksa, parameter aktivitas matahari yang digunakan semestinya yang mempunyai periodisitas yang relatif jelas evolusinya. Dari enam parameter aktivitas matahari yang dianalisis, bilangan sunspot dan grup sunspot memenuhi kriteria tersebut. Maka parameter aktivitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah bilangan sunspot. Dengan analisis evolusi periodisitas, dapat diprakirakan periode aktivitas matahari setidaknya 10 tahun mendatang atau satu siklus berikutnya.



Gambar 3-1: Periodisitas 1-80 tahun pada kurun waktu 1875-1964 untuk (a) bilangan sunspot, (b) grup sunspot, (c) faculae, dan (d) U/P ratio. Pada umumnya tampak adanya periodisitas sekitar 11 tahun, walau tak jelas pada U/P ratio



Gambar 3-2: Evolusi periodisitas sekitar 11 tahun pada kurun waktu 1875-1964 untuk (a) bilangan sunspot, (b) grup sunspot, (c) faculae, dan (d) U/P ratio. Evolusi periodisitas sekitar 11 tahun tampak sangat mirip pada bilangan sunspot, grup sunspot, dan faculae. Sedangkan pada U/P ratio tidak teratur polanya



Gambar 3-3: Evolusi periodisitas 1965-1981 untuk (a) bilangan sunspot, (b) grup sunspot, (c) F10.7, (d) kejadian flare, dan (e) U/P ratio. Evolusi periodisitas sekitar 11 tahun tampak sangat mirip pada bilangan sunspot, grup sunspot, dan F10.7 yang relatif konstan. Pada flare ada kecenderungan menurun dan pada U/P ratio ada kecenderungan meningkat

### 3.2 Metode Prakiraan dengan Prekursor Geomagnet

Metode ini memanfaatkan kemudahan analisis periodisitas bilangan sunspot menggunakan perangkat lunak WWZ (Foster, 1996 dan AAVSO, <http://www.aavso.org>). Langkah pertama adalah menganalisis periodisitas pada titik-titik minimum, fase naik, maksimum, fase turun, dan minimum ke dua. Dari masing-masing titik diperoleh beberapa periodisitas (T) dan amplitudanya (A), seperti contoh pada Tabel 3-1 untuk analisis siklus 22 yang akan digunakan memprakirakan siklus 23.

Table 3-1: CONTOH PERIODE DAN AMPLITUDE PADA TAHUN-TAHUN YANG TERTERA SELAMA SIKLUS 22

T	A	T	A
<b>1986.80</b>		<b>1993.12</b>	
117.65	18.30	117.65	18.48
23.53	14.11	26.32	14.94
10.42	67.20	10.36	67.08
5.24	12.50	5.24	11.83
3.33	8.31	3.08	6.91
1.54	2.05		
<b>1988.30</b>		<b>1996.12</b>	
117.65	18.34	117.65	18.56
26.67	14.48	25.97	15.27
10.42	67.42	10.36	66.22
5.41	13.18	5.13	12.97
3.03	9.98	3.03	4.23
<b>1989.50</b>		2.29	1.84
117.65	18.37	1.63	1.46
26.67	14.57		
10.36	67.48		
5.48	13.32		
2.87	10.77		

Rekonstruksi dilakukan dengan rumus empirik yang dibedakan berdasarkan titik yang dianalisis: titik ekstrem (maksimum atau minimum) dan titik pada fase naik atau turun. Rumus-rumus empirik tersebut ditunjukkan pada persamaan 3-1, 3-4. Untuk titik minimum dan maksimum digunakan formulasi berikut:

$$S_j(t) = S_j A / 2 + \text{sign } A / 2 \times \text{Cos}[(t - t_{0j})/T_i] \dots \dots \dots (3-1)$$

Keterangan:

- S<sub>j</sub> : komponen ke j yang digunakan pada rekonstruksi dan prakiraan,
- Sign: plus (+) untuk titik maksimum atau fase naik dan minus (-) untuk titik minimum atau fase turun,
- t<sub>0j</sub> : tahun titik-titik yang dianalisis, misalnya 1986.8, 1988.3, 1989.5, 1993.12, dan 1996.12 pada Tabel 3-1.
- A : amplitude ke i dari analisis WWZ pada t<sub>0j</sub>,



$T_i$  : periode ke  $i$  dari analisis WWZ pada  $t_{oj}$ .

Untuk titik pada fase naik atau turun digunakan formulasi berikut:

$$S_j(t) = \sum_i A_i / 2 + \text{sign } A_i / 2 \times \text{Sin}[(t - t_{oj})/T_i] \dots\dots\dots (3-2)$$

Kemudian rekonstruksi dan prakiraan digunakan formulasi superposisi berikut:

$$R^*(t) = \sum_j S_j(t) \dots\dots\dots (3-3)$$

Formulasi tersebut baru menunjukkan pola siklusnya, sedangkan amplitudanya menggunakan amplitude maksimum dari hasil pengamatan (untuk rekonstruksi) atau dari prakiraan dengan metode prekursor geomagnet (untuk prakiraan). Kalibrasi amplitude maksimum menggunakan formulasi berikut:

$$R(t) = (R_{\max} - R_{\min}) / (R^*_{\max} - R^*_{\min}) \times R^*(t) + R_{\min} \dots\dots\dots (3-4)$$

Keterangan:

- $R^*$  : bilangan sunspot yang belum dikalibrasi amplitude maksimumnya,
- $R_{\max}$  : sunspot maksimum dari data siklus yang dianalisis (untuk rekonstruksi) atau puncak siklus berikutnya (untuk prakiraan) (lihat Tabel 3-2),
- $R_{\min}$  : bilangan sunspot minimum untuk siklus yang dianalisis,
- $R$  : bilangan sunspot hasil rekonstruksi dan prakiraan.

$T_i$  : periode ke  $i$  dari analisis WWZ pada  $t_{oj}$ .

Untuk titik pada fase naik atau turun digunakan formulasi berikut:

$$S_j(t) = S_j A_i / 2 + \text{sign } A_i / 2 \times \text{Sin}[(t - t_{Oj})/T_i] \dots\dots\dots (3-2)$$

Kemudian rekonstruksi dan prakiraan digunakan formulasi superposisi berikut:

$$R^*(t) = \sum_j S_j(t) \dots\dots\dots (3-3)$$

Formulasi tersebut baru menunjukkan pola siklusnya, sedangkan amplitudanya menggunakan amplitude maksimum dari hasil pengamatan (untuk rekonstruksi) atau dari prakiraan dengan metode prekursor geomagnet (untuk prakiraan). Kalibrasi amplitude maksimum menggunakan formulasi berikut:

$$R(t) = (R_{\max} - R_{\min}) / (R^*_{\max} - R^*_{\min}) \times R^*(t) + R_{\min} \dots\dots\dots (3-4)$$

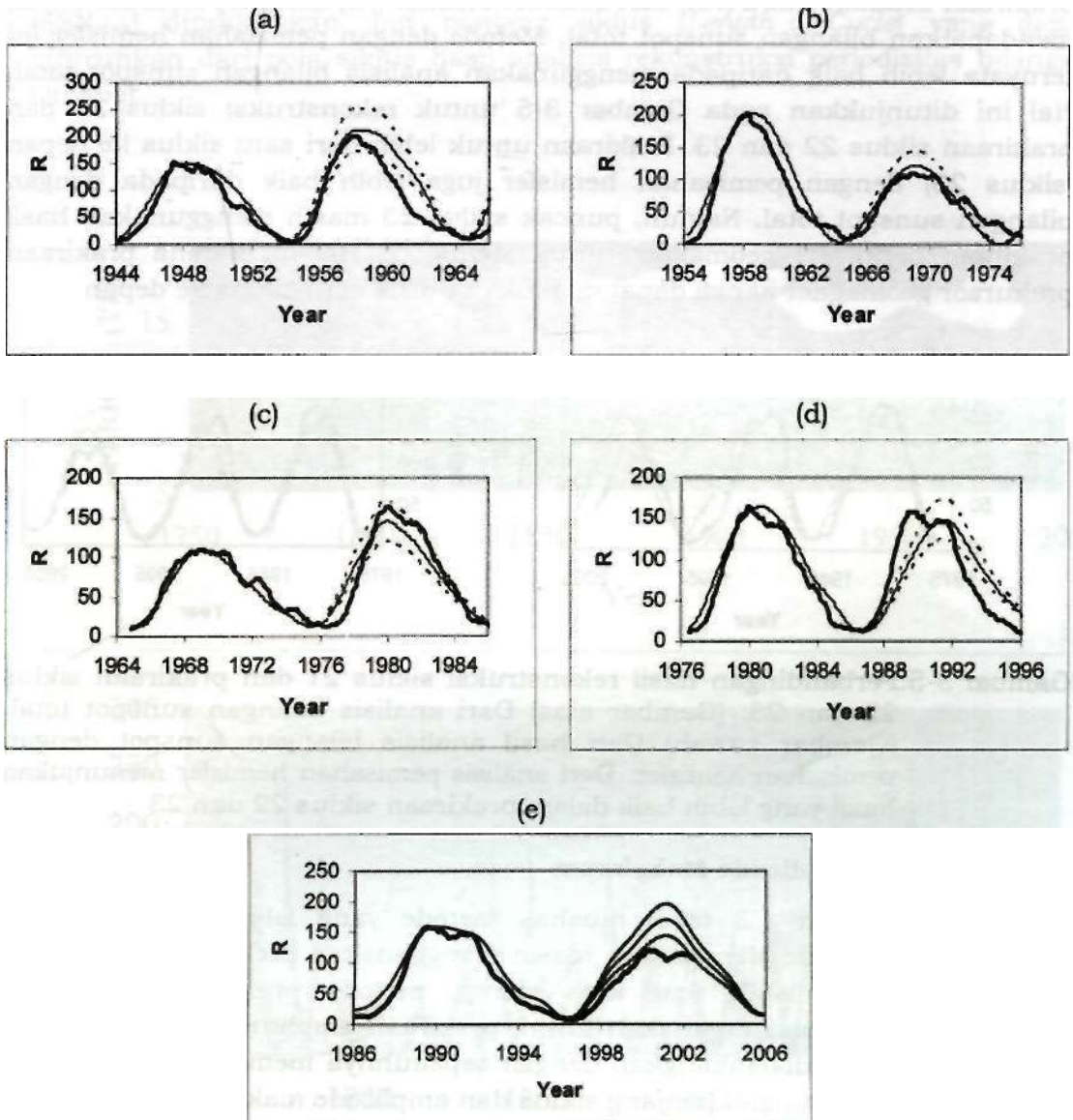
Keterangan:

- $R^*$  : bilangan sunspot yang belum dikalibrasi amplitude maksimumnya,
- $R_{\max}$  : sunspot maksimum dari data siklus yang dianalisis (untuk rekonstruksi) atau puncak siklus berikutnya (untuk prakiraan) (lihat Tabel 3-2),
- $R_{\min}$  : bilangan sunspot minimum untuk siklus yang dianalisis,
- $R$  : bilangan sunspot hasil rekonstruksi dan prakiraan.

Untuk menggunakan metode tersebut, digunakan data 5 siklus terakhir (siklus 19 - 23). Puncak siklus atas amplitude maksimum menggunakan data dari Thompson (1937) dan Li et al. (2001), termasuk prakiraan dari metode prekursor geomagnet yang ditunjukkan pada Tabel 3-2. Rata-rata persentase simpangan digunakan untuk menentukan batas atas dan batas bawah prakiraan.

Rata-rata prosentasi simpangan				16.8
--------------------------------	--	--	--	------

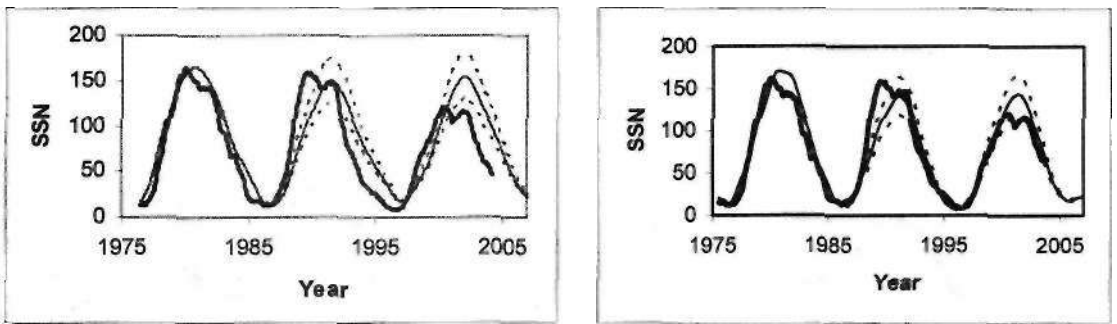
Jadi  $R_{prakiraan} = R \pm 16.8\% \times R$ . Hasil rekonstruksi untuk siklus 18-22 dan prakiraan untuk satu siklus berikutnya (siklus 19 - 23) dibandingkan dengan data pengamatan ditunjukkan pada Gambar 3-4. Secara umum, metode ini cukup baik dalam merekonstruksikan siklus yang dianalisis dan memprakirakan siklus berikutnya.



Gambar 3-4: Perbandingan antara hasil rekonstruksi (siklus pertama) dan hasil prakiraan (siklus berikutnya) aktivitas matahari (garis tipis) dengan data pengamatan (garis tebal). Garis titik-titik menyatakan rentang kesalahan hasil prakiraan. (a) Rekonstruksi siklus 18 dan prakiraan siklus 19. (b) Rekonstruksi siklus 19 dan prakiraan siklus 20. (c) Rekonstruksi siklus 20 dan prakiraan siklus 21. (d) Rekonstruksi siklus 21 dan prakiraan siklus 22. (e) Rekonstruksi siklus 22 dan prakiraan siklus 23.

### 3.3 Model Prakiraan dengan Pemisahan Hemisfer

Metode prakiraan dengan pemisahan hemisfer ini sama dengan metode yang dijelaskan pada bagian 3.2, hanya dalam menganalisis periodisitasnya dipisahkan berdasarkan hemisfernya. Kemudian hasil rekonstruksi dan prakiraan belahan utara (Rn) dan belahan selatan (Rs) disuperposisikan untuk mendapatkan bilangan sunspot total. Metode dengan pemisahan hemisfer ini ternyata lebih baik daripada menggunakan analisis bilangan sunspot total. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-5 untuk rekonstruksi siklus 21 dan prakiraan siklus 22 dan 23. Prakiraan untuk lebih dari satu siklus ke depan (siklus 23) dengan pemisahan hemisfer juga lebih baik daripada dengan bilangan sunspot total. Namun, puncak siklus 23 masih menggunakan hasil prakiraan prekursor geomagnet untuk siklus 22. Hal ini karena prakiraan prekursor geomagnet hanya dapat dilakukan untuk satu siklus ke depan.



Gambar 3-5: Perbandingan hasil rekonstruksi siklus 21 dan prakiraan siklus 22 dan 23. (Gambar atas) Dari analisis bilangan sunspot total. (Gambar bawah) Dari hasil analisis bilangan sunspot dengan pemisahan hemisfer. Dari analisis pemisahan hemisfer menunjukkan hasil yang lebih baik dalam prakiraan siklus 22 dan 23

### 3.4 Prakiraan Amplitude Maksimum

Pada bagian 3.3 telah dibahas metode yang lebih akurat dengan pemisahan data hemisfer, namun masih menggunakan prekursor geomagnet. Untuk prakiraan lebih dari satu siklus, metode prekursor geomagnet sebenarnya tidak bisa digunakan untuk prakiraan amplitude maksimumnya. Metode kemudian dikembangkan dengan sepenuhnya memanfaatkan analisis perioditas dan hubungan panjang siklus dan amplitude maksimum

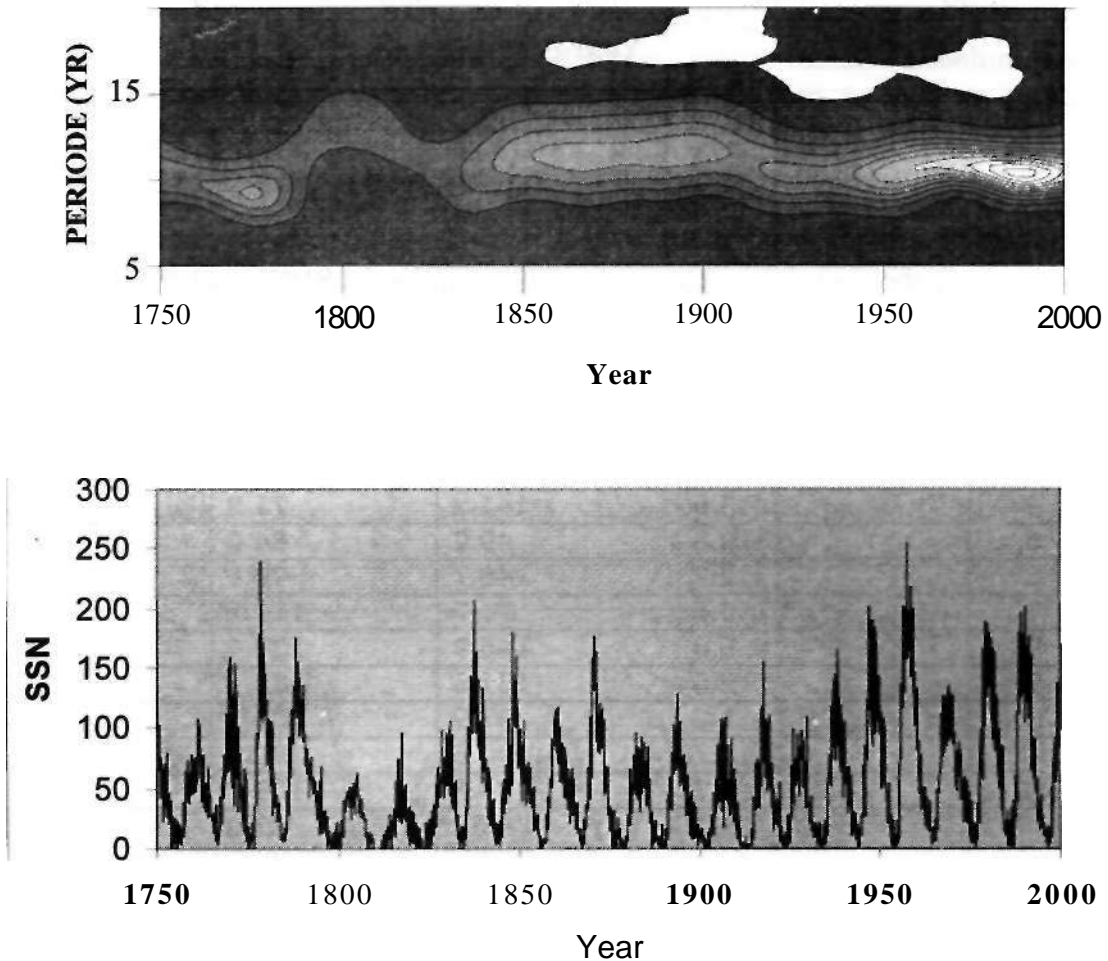
Analisis visual grafik variasi periodisitas dan amplitude maksimum masing-masing siklus (puncak siklus) pada Gambar 3-6 menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara panjang siklus (periode siklus) dan amplitude maksimum. Pada saat panjang siklus atau periode bertambah, amplitude maksimum atau puncak siklus cenderung menurun. Hubungan empirik antara panjang siklus dan amplitude maksimum diperoleh sebagai berikut (lihat juga Gambar 3-7).

$$\text{Log}(\text{SSN}_{\text{max}}) * \text{log}(\text{Length\_of\_Cycle}) = 2.1 + 0.1 \dots \dots \dots (3-5)$$

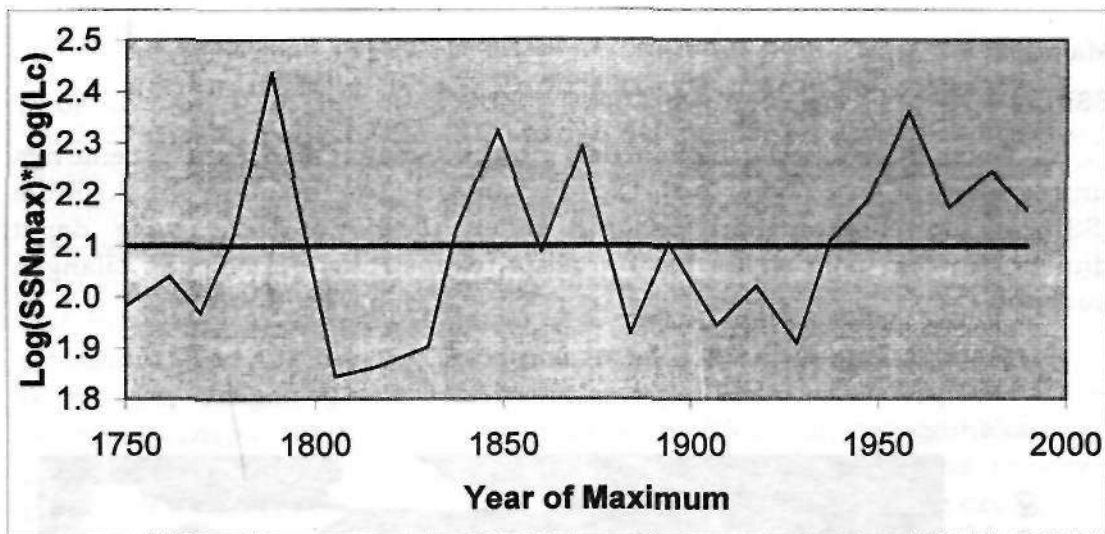
Maka

$$SSN_{max} = 10^A(2.1/ \log(\text{Length\_of\_Cycle})) \pm 30\% \quad (3-6)$$

Galat 30% diperhitungkan dari rumus tersebut dan data sebenarnya untuk siklus 1-22 (Tabel 3-3). Dari persamaan (3-6), amplitude maksimum (SSNMBX) diprakirakan dari panjang siklus (*Length\_of\_Cycle*) yang dapat diturunkan dari pola siklus hasil analisis rekonstruksi periodisitas bilangan sunspot.



Gambar 3-6: Variasi periodisitas bilangan sunspot (panel at as) tampak berbanding terbalik dengan variasi puncak siklus aktivitas matahari yang dinyatakan dalam bilangan sunspot (SSN)



Gambar 3-7: Perkalian logaritmik antara amplitude maksimum bilangan sunspot (SSNmax) dan panjang siklus (Lc) mendekati nilai konstanta 2.1 dengan simpangan rata-rata 0.1.

Tabel 3-3: PROSENTASI SIMPANGAN PADA RUMUS (3-6)

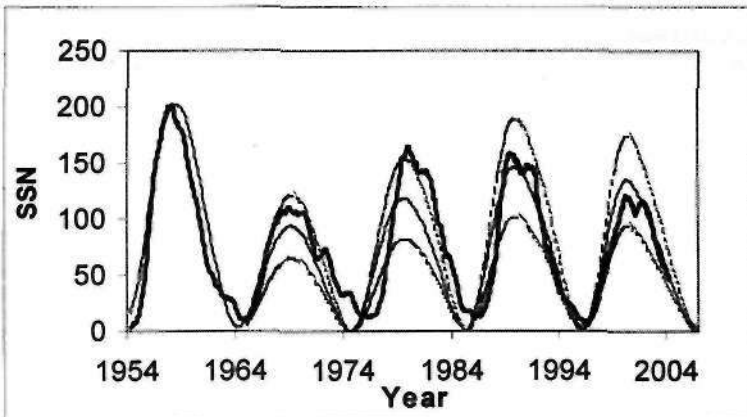
Siklus	Lentgth_of Cycle	SSN <sub>max</sub> Observed	SSN <sub>max</sub> Predicted	Prosentasi simpangan
1	11.3	86.5	98.7	14
2	9.0	115.8	158.7	37
3	9.2	158.5	151.0	5
4	13.6	141.2	71.2	50
5	12.3	49.2	84.5	72
6	12.7	48.7	79.9	64
7	10.6	71.7	111.7	56
8	9.6	146.9	137.4	6
9	12.5	131.6	82.1	38
10	11.2	97.9	100.3	2
11	11.7	140.5	92.5	34
12	10.7	74.6	109.7	47
13	12.1	87.9	87.0	1
14	11.9	64.2	89.6	40
15	10.0	105.4	125.9	19
16	10.2	78.1	120.8	55
17	10.4	119.2	116.1	3
18	10.1	151.8	123.3	19
19	10.6	201.3	111.7	44
20	11.6	110.6	93.9	15
21	10.3	164.5	118.4	28
22	9.3	158.5	146.2	8
Rata-rata prosentasi simpangan				30

#### 4 PEMBAHASAN

Metode prakiraan aktivitas matahari yang kini dianggap paling akurat dengan menggunakan prekursor geomagnet hanya dapat memprakirakan satu siklus ke depan. Namun metode prekursor hanya dapat memprakirakan amplitude maksimum siklus berikutnya, tanpa memberikan informasi waktu mencapai maksimum tersebut dan pola siklusnya. Metode baru yang dikembangkan pada makalah ini dari analisis periodisitasnya diarahkan untuk mengatasi kelemahan metode prekursor tersebut. Metode baru ini dapat memperkirakan beberapa siklus ke depan.

Analisis wavelet yang digunakan dalam metode ini memungkinkan munculnya periodisitas yang berevolusi dari satu siklus ke siklus berikutnya. Metode analisis periodisitas berbasis wavelet dapat memprakirakan lebih dari satu siklus ke depan dengan menganggap periodisitasnya belum berubah secara signifikan. Hal ini yang membedakan dengan metode-metode sebelumnya (misalnya yang berbasis analisis Fourier) yang menganggap periodenya tetap sehingga diberlakukan untuk semua siklus. Metode ini dapat merekonstruksikan dengan baik pola pada siklus yang dianalisis dari periode dominannya dan menggunakan pola tersebut untuk memprakirakan beberapa siklus berikutnya.

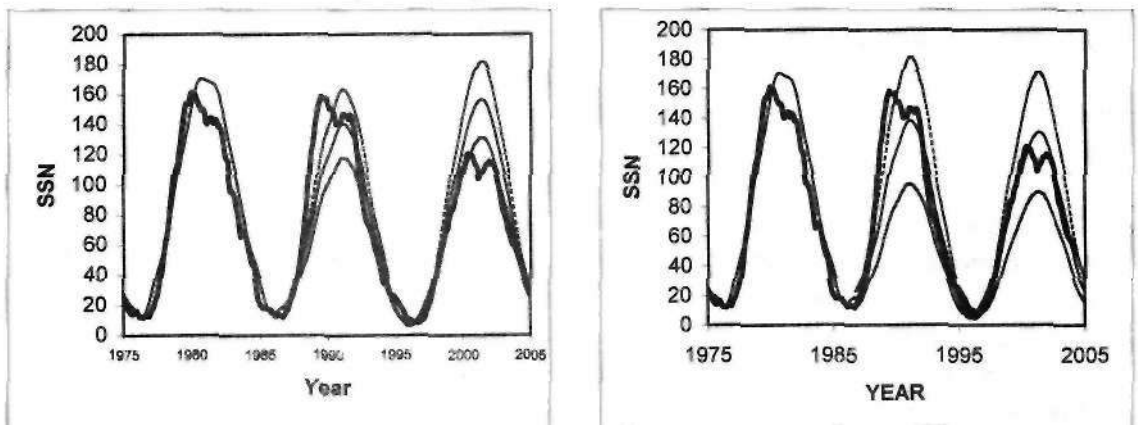
Pada Gambar 4-1 ditunjukkan hasil analisis periodisitas siklus 19 (1954-1964) digunakan untuk memprakirakan beberapa siklus berikutnya dengan metode yang dikembangkan di makalah ini, tetapi belum menggunakan pemilahan hemisferik karena tidak ada data sebelum 1975. Hasilnya menunjukkan pola siklus (terutama saat puncak) dan besarnya amplitude maksimum secara umum dapat diprakirakan dengan baik sampai empat siklus berikutnya.



Gambar 4-1: Prakiraan beberapa siklus ke depan dari analisis periodisitas siklus 19 (1954 - 1964) dengan metode baru menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data pengamatan. Garis tebal menunjukkan data pengamatan, garis tipis untuk hasil prakiraan untuk siklus 20 - 23 (1964 - 2005) dan garis putus untuk rentang simpangan prakiraan

Akurasi prakiraan akan lebih baik bila dengan menggunakan data bilangan sunspot yang dipilah berdasarkan hemisfernya. Hasil analisis hemisferik bilangan sunspot yang memberikan hasil lebih baik, diduga karena masing-masing hemisfer mempunyai pola siklus yang sedikit berbeda. Ketika dianalisis secara total, sifat spesifik masing-masing hemisfer tidak tampak. Tetapi dalam analisis hemisferik, masing-masing sifat periodistasnya dimunculkan sehingga memberikan hasil prakiraan yang lebih akurat.

Gambar 4-2 menunjukkan perbandingan hasil prakiraan dengan menggunakan gabungan analisis periodisitas dan metode prekursor (untuk prakiraan puncak siklus 22, 1986 - 1996 dan siklus 23, 1996 - 2005) dan hasil prakiraan yang sepenuhnya dengan metode baru yang dikembangkan pada makalah ini. Terlihat bahwa metode yang dikembangkan menunjukkan akurasi yang lebih baik dalam hal memprakirakan pola siklus (minimum dan maksimum) dan puncak siklus untuk dua siklus berikutnya.



Gambar 4-2: Pada panel kiri prakiraan puncak siklus dengan metode prekursor geomagnet dan pada panel kanan dengan metode analisis periodisitas. Pola siklus pada keduanya menggunakan analisis periodisitas karena tidak dapat diperoleh dari metode prekursor. Garis tebal menunjukkan data pengamatan. Garis tipis menunjukkan hasil rekonstruksi siklus 21 (1976 - 1986) dan prakiraan untuk siklus 22 dan 23 (1986 - 2005). Garis putus menunjukkan rentang simpangan prakiraan

## 5 KESIMPULAN

Dari sekian banyak parameter aktivitas matahari, bilangan sunspot menunjukkan periodisitas utamanya relatif konstan (sekitar 11 tahun) sehingga sangat baik digunakan untuk prakiraan jangka panjang. Analisis periodisitas suatu siklus dengan menggunakan fasilitas WWZ yang berbasis wavelet telah digunakan untuk mendapatkan periode-periode dominan dan amplitudanya. Periode dominan dan amplitudanya dipakai untuk merekonstruksikan pola siklus dengan suatu persamaan empirik yang dikembangkan pada metode baru ini. Persamaan empirik tersebut yang menjadi model prakiraan siklus-siklus berikutnya. Amplitude maksimum

suatu siklus yang diperkirakan diperoleh dari hubungan empirik panjang siklus dan amplitude maksimum yang juga baru dikembangkan pada makalah ini. Uji coba prakiraan dengan metode baru ini untuk beberapa siklus ke depan cukup akurat. Peningkatan akurasi dapat diperoleh dengan memilah data bilangan sunspot berdasarkan hemisfemya.

#### DAFTAR RUJUKAN

- DRAO, 2005. *Flux 10.7 cm Data*, National Research Council, Canada ([www.drao.nrc.ca/icarus/www/sol\\_home.shtml](http://www.drao.nrc.ca/icarus/www/sol_home.shtml)).
- Foster, G. 1996. *Wavelets for Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series*, Astronomical Journal, Vol. 112, p. 1709.
- Hoyt, D. V., 1985. *Solar Records: The Wolf Sunspot Index and Umbral/Penumbral Ratio*, CDIC (NDP-014).
- Li K. J., Yun H. S., and Gu X. M., A & A, Vol. 368, 285, 2001.
- Lamb, H. H., 1972. *Climate: Present, Past and Future*, Vol. I (Table App. 1.1. "BAUR's Solar Index dan Table App. 1.2. "Solar Faculae"), Methuen & Co. Ltd., London.
- NAO (National Astronomical Observatory), 1995. *Rika Nenpyo: Chronological Scientific Tables 1996*, Maruzen Co. Ltd. , Tokyo.
- SIDC (Sunspot Index Data Center) 2005. Royal Obs. of Belgium, [www.oma.be/KSB-ORB/SIDC/DATA/monthssn.dat](http://www.oma.be/KSB-ORB/SIDC/DATA/monthssn.dat).
- Tapping, K.F. & DeTracey, B., 1990. *The Origin of the 10.7 cm flux*. Solar Physics, Vol. 127, him. 321.
- Temmer, M., Veonig, A., 8s Hanslmeier, A., 2002. *Catalogue of Hemispheric Sunspot Number  $R_N$  and  $R_s$ - 1975 - 2000*, Proc. 10th European Solar Physics Meeting -ESA SP-506), him. 855 (lihat juga: Astron. & Astrophys. 390, him. 707).
- Thompson R. J., *Solar Phys.*, Vol. 148, 383, 1993.