



Warta

LAPAN

LEMBARAN TAMBAHAN MAJALAH LAPAN

NO. 56

TAHUN KE XXII

BULAN JULI 1998

ISSN 0126-9754

DAFTAR ISI

- KONSTANTA MATAHARI YANG TIDAK KONSTAN DAN KAITANNYA DENGAN AKTIVITAS MATAHARI
Wilson Sinambela 1
- ESTIMASI DAERAH RENTAN BANJIR DENGAN ANALISIS GEOMORFOLOGI DARI CITRA LANDSAT (Studi Kasus : Daerah Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi)
Wikanti Asriningrum 13
- ✓ • PENGUJIAN MODEL FxEs DENGAN PENDEKATAN MODE DISTRIK E-MUF DARI ASAPS
Iyus Edi Rusnadi, Jiyo, Habirun 23
- ON-LINE MONITORING UNTUK SISTEM AKTUATOR FOKET RKX-300-LPN
Edi Sofyan 28
- SIMULASI DAN OPTIMASI KONEKTIVITAS LINK SATELIT ANTAR LAN
Rakhim Yuba 35
- ✓ • RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RADIO LINK ROUTER PADA KECEPATAN TRANSFER 19200 Bps
Rakhim Yuba, Djoko Mulyono, Purwanto 45

DITERBITKAN OLEH :

LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL

Jl. Pemuda, Persil No. 1, Jakarta 13220, INDONESIA

Konstanta Matahari Yang Tidak Konstan Dan Kaitannya Dengan Aktivitas Matahari

Wilson Sinambela*)

ABSTRACT

Direct measurements of solar constant by satellite show variations over time scales from days, month to years and probably decades. Variations in solar constant caused by changes in the solar active feature such as dark sunspot or bright faculae.

Analysis influence of solar activity on the yearly average solar constant by using linier regression analysis shows a strong similarity between solar constant and yearly relative sunspot number. Linier regression analysis between sunspot number and yearly average solar constant for periods 1978 - 1992 found a strong correlation with correlation coefficient of 0.73. In general, the solar constant increased with an increase in solar activity with relative sunspot number as indicator.

On solar cycle - 21, the yearly mean value of solar constant reached a maximum in 1979 is 1973,30 W / m², and this occurred during the peak of solar activity. Solar constant then decreased slowly to a minimum which lasted from 1981 through 1986 with a lowest value is 1971,3 W / m² in 1984, while the minimum of solar cycle - 21 on 1986. Solar constant then increased slowly towards a new maximum of solar cycle - 22.

On solar cycle - 22, the yearly maximum mean value of solar constant in the active sun years from 1989 through 1992 white the value of 1372,80 W / m² on 1992, while the maximum of solar cycle - 22 on 1989. The yearly mean value of the solar constant for the period 1978 -1992 is 1372,04 w / m². The amplitudo of the variation from minimum of solar cycle - 21 to maximum of solar cycle - 22 is 1 50 W / m² (0,11%). The solar constant variability shows an eleven year cycle, analogous to the eleven year sunspot cycle.

RINGKASAN

Hasil pengamatan langsung konstanta matahari melalui satelit menunjukkan bahwa "konstanta matahari" tidak konstan tetapi bervariasi terhadap waktu dari hari, bulan ke tahun, dan bahkan kemungkinan dekadean. Variasi konstanta matahari terjadi sebagai akibat dari perubahan bentuk aktivitas matahari seperti sunspot gelap atau fakulae cemerlang di permukaan matahari.

Analisis pengaruh aktivitas matahari tahunan pada variasi konstanta matahari memperlihatkan adanya suatu keserupaan yang tinggi antara konstanta matahari dan bilangan sunspot. Analisis regresi linier antara kedua deret waktu rata-rata tahunan konstanta matahari dan bilangan sunspot untuk periode 1978 - 1992 menghasilkan suatu korelasi yang tinggi dengan koefisien korelasi sebesar 0,73. Secara umum, konstanta matahari bertambah dengan bertambahnya aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indikator bilangan sunspot relatif.

Siklus matahari ke - 21, harga rata-rata tahunan konstanta matahari mencapai maksimum dalam tahun 1979 adalah 1973,30 W / m² bersamaan dengan waktu puncak aktivitas matahari. Kemudian konstanta matahari berkurang perlahan-lahan menuju minimum dari tahun 1980 sampai dengan tahun 1986 dengan harga terendah pada tahun 1984 adalah 1371,30 W / m², sementara waktu aktivitas matahari ke - 21 mencapai minimum pada tahun 1986. Konstanta matahari bertambah perlahan-lahan menuju suatu maksimum yang baru siklus matahari ke - 22.

Siklus matahari ke - 22 konstanta matahari mencapai maksimum dari tahun 1989 - 1992 dengan harga maksimum sebesar 1372,80 W / m² pada tahun 1992, sementara aktivitas matahari maksimum pada tahun 1989. Harga rata-rata tahunan konstanta matahari untuk periode dari tahun 1978 - 1992 adalah 1372, 04 W / m². Variasi amplitudo rata-rata tahunan konstanta matahari dari minimum siklus matahari ke - 21 ke maksimum siklus matahari ke - 22 adalah 1,50 W / m² (0,11%). Konstanta matahari memperlihatkan suatu siklus sebelas tahun yang mengikuti suatu siklus sunspot sebelas tahun.

*) Peneliti Bidang Matahari dan Lingkungan Antariksa, Puslitbang Pengetahuan Ionosfer, LAPAN

1. PENDAHULUAN

Matahari merupakan sumber energi dan gangguan bagi planet bumi. Oleh karena itu pengetahuan tentang magnitudo dan variabilitas dari keluaran radiasi matahari sangat penting untuk berbagai aplikasi dalam studi hubungan matahari - bumi. Irradiansi total matahari yang diterima di permukaan bumi, merupakan suatu besaran fisis yang sangat penting dari seluruh besaran fisis yang lain dari matahari, karena besaran ini mempengaruhi kehidupan dalam sistem matahari - bumi. Konstanta matahari (*solar constant* atau irradiansi total matahari), adalah jumlah energi matahari persatuan luas yang diterima di permukaan bumi, dengan pengertian bahwa energi matahari meliputi seluruh spektrum matahari, radiasi tegak lurus pada permukaan penerima, pada jarak rata-rata bumi - matahari (satu satuan astronomi = $1,5 \times 10^8$ km), dan pada *zero air mass* (tanpa atmosfer bumi, di atas puncak atmosfer bumi).

Kondisi iklim dan cuaca bumi ditentukan oleh interaksi radiasi matahari yang datang (*incoming radiation*) dengan atmosfer, permukaan tanah dan lautan. Kesetimbangan radiasi atau radiasi netto di atas puncak atmosfer bumi, yang merupakan hasil pertukaran radiatif antara radiasi matahari yang datang dan radiasi termal *outgoing* yang dipancarkan oleh bumi ke angkasa sangat menentukan kondisi iklim bumi.

Kesetimbangan radiasi (K_r) dapat dinyatakan secara matematik sebagai berikut: $K_r = S(1 - A) - F$, dengan S adalah konstanta matahari, A adalah albedo planetari, dan F adalah radiasi termal yang dipancarkan ke angkasa dari sistem atmosfer - bumi (Mecherikunnel, et al., 1990). Dengan demikian penentuan harga absolut konstanta matahari merupakan hal yang penting untuk dapat menentukan albedo dan budget radiasi. Oleh karena itu penentuan harga absolut konstanta

matahari dan variasinya terhadap waktu sangat diperlukan dalam penelitian iklim.

Sampai saat ini harga absolut dari besaran konstanta matahari ini masih memiliki ketidakpastian yang cukup tinggi baik secara teoritis maupun observasional. Penentuan konstanta matahari ini telah mengalami sejarah yang cukup panjang, pengukuran dimulai dari puncak gunung dimulai oleh Institut Smithsonian pada permulaan abad ke-20, dan termasuk data dari permulaan era antariksa (Frohlich, 1990).

Data pengukuran konstanta matahari yang diperoleh pada saat itu sangat banyak, tetapi hasilnya belum memberikan harga konstanta matahari yang meyakinkan, terutama karena presisi peralatan radiometer yang digunakan untuk pengukuran kurang memadai, di samping oleh pengaruh penyerapan kandungan atmosfer bumi pada radiasi matahari dari bumi dan pesawat terbang (Frohlich, 1987).

Bukti pertama bahwa konstanta matahari tidak konstan, baru diketahui secara pasti pada tahun 1978 dari data radiometer hasil pengukuran *Solar Maximum Mission* (SMM) dan *Nimbus-7* ERB, yang membuktikan bahwa matahari adalah benar-benar suatu bintang variabel. Besar energi radiasi matahari yang dipancarkan dari seluruh permukaan matahari tidak sama, tetapi bervariasi terhadap waktu. Telaah yang dilakukan Hoyt dan Kyle (1990) menduga bahwa Irradiansi total matahari (konstanta matahari) akan berkurang dengan bertambahnya luas sunspot, dan bertambah dengan keberadaan daerah *fakulae* cemerlang pada piringan matahari. Berdasarkan penelitian Lean (1991) harga konstanta matahari adalah $1367 \pm 3 \text{ W / m}^2$ pada saat matahari minimum tahun 1986, dan menunjukkan adanya variasi sebesar 0,1% selama siklus matahari ke -21 (1976 -1986).

Oleh karena itu, makalah ini membahas kembali hasil-hasil penentuan konstanta mata-

hari yang telah dilakukan sebelum dan sesudah era satelit yang tidak konstan tetapi bervariasi dengan waktu. Untuk mengetahui apakah ada kaitan antara variasi konstanta matahari dengan aktivitas matahari, dilakukan suatu analisis pengaruh dari aktivitas matahari dengan indikator sunspot pada konstanta matahari dengan menggunakan data dari tahun 1978 sampai dengan 1992.

2. PENGUKURAN KONSTANTA MATAHARI

2.1 Penentuan Harga Konstanta Matahari Sebelum Era Satelit.

Radiasi matahari dalam penjarannya menuju bumi mengalami peristiwa penyerapan, hamburan dan pemantulan pada lapisan atmosfer bumi sebelum sampai ke permukaan bumi. Berbagai pengaruh kandungan atmosfer bumi pada hasil pengukuran konstanta matahari tergantung dari ketinggian pengukuran pada saat melakukan. Oleh karena itu, harga konstanta matahari dapat ditentukan dengan dua macam metode yaitu, metode ekstrapolasi dari data pengukuran yang diperoleh, dan metode yang didasarkan pada pengurangan fluks spektrum radiasi matahari.

a. Metode ekstrapolasi dari data yang diperoleh, didasarkan pada hukum Bouger sebagai berikut :

$$\text{Log } S = \text{Log } S_0 + m \text{ Log } p \dots\dots\dots (2 - 1)$$

dengan,

S adalah fluks radiasi matahari pada suatu ketinggian,

S₀ adalah konstanta matahari, m adalah massa atmosfer,

p adalah koefisien kejernihan atmosfer.

Metode ekstrapolasi ini digunakan untuk pengukuran dari balon dengan ketinggian 25-33 km. Koefisien kejernihan p dari lapisan atmosfer dapat diperoleh dari data salah satu peluncuran yang dipilih pada keadaan kejernihan atmosfer stabil, dengan menggambarkan

hubungan antara log S terhadap massa atmosfer m. Harga-harga S₀ dapat ditentukan dari hukum Bouger yang dihasilkan dari bagian ekstrapolasi tanpa adanya koreksi untuk radiasi yang hilang pada ketinggian 30 km untuk fluks radiasi matahari pada panjang gelombang λ < 0,3 μm atau untuk radiasi tidak terukur (ditentukan oleh batas transparansi filter kwartz). Tetapi untuk seluruh fluks radiasi matahari, log S tidaklah linier terhadap m, tetapi pada ketinggian 30 km ketebalan atmosfer yang dapat mengurangi radiasi matahari adalah sangat kecil yang memberikan kesalahan pada harga S₀ ekstrapolasi tidak melebihi 0,4 %.

Kebergantungan non linier terhadap m dapat diperoleh dengan menggunakan formula Thekaekara (1977):

$$\text{Log } S = \text{log } \sum_i^n I_i A_i^m \dots\dots\dots (2 - 2)$$

dengan,

S adalah fluks radiasi matahari pada suatu ketinggian,

I_i adalah spektrum fluks radiasi matahari pada interval I,

A_i adalah transmisi lapisan atmosfer di atas tempat peluncuran balon untuk interval i. Harga-harga A_i telah dihitung dari pengamatan. Dengan memasukkan koreksi untuk radiasi yang hilang yang disebabkan penyerapan atmosfer, radiasi yang tidak terukur dan jarak rata-rata antara bumi - matahari, maka diperoleh harga akhir dari konstanta matahari.

b. Metode yang didasarkan pada pengurangan fluks spektrum radiasi matahari. Metode pengukuran konstanta matahari ini didasarkan pada perhitungan pengurangan fluks radiasi matahari dalam daerah (0,3 - 4) μm pada lapisan atmosfer dimana pengukuran dilakukan, dan koreksi-koreksi dibuat untuk daerah ultra violet (λ < 0,3 μm) dan daerah infra merah (λ > 4 μm) dari spektrum radiasi matahari.

Harga absolut konstanta matahari dari variasi konstanta matahari yang diukur dapat ditentukan setelah diadakan koreksi terhadap:

- Radiasi yang hilang dengan menggunakan actinometer memakai jendela kwartz ($\lambda < 3,7 \mu\text{m}$).
- Radiasi yang hilang (tidak ditransmisikan) oleh lapisan atmosfer diatas ketinggian 30 km ($\lambda < 0,3 \mu\text{m}$).
- Jarak rata-rata bumi - matahari.

Hasil perbandingan beberapa hasil pengukuran konstanta matahari terdahulu setelah diekstrapolasi disusun kembali oleh Lake dan Drummond (1968) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2-1, Tabel 2-2 dan Tabel 2-3.

Tabel 2-1 : HASIL-HASIL PENGUKURAN KONSTANTA MATAHARI SETELAH DI EKSTRAPOLASI TAHUN 1923-1968 (Lake and Drummond., 1968)

NO.	SUMBER	TAHUN	KONSTANTA MATAHARI (mW/cm ²)
1.	Abbot	1923 -1952	135,2
2.	Linke	1932	135,2
3.	Mulders	1934 -1935	135,9
4.	Nicolet	1951	138,0
5.	Jonhson	1954	139,5
6.	Unsold (revisi)	1955	136,5
7.	Stair & Jonhson	1956	142,5
8.	Allen (revisi)	1958	138,6
9.	Allen (revisi)	1965	139,0
10.	Gast (revisi)	1965	139,0
11.	Stair & Ellis	1966	135,9
12.	Labs & Neckel	1968	136,5
13.	Makarova & Kharitonov	1970	138,0

Tabel 2-1 terlihat bahwa konstanta matahari adalah tidak konstan, tetapi bervariasi terhadap waktu yang berkisar dari (135,2 - 142,5) mW/cm² atau (1352 -1425) W/ m².

Selain itu penentuan konstanta matahari dilakukan dengan menggunakan Eppley JPL dari data 14 kali penerbangan menggunakan pesawat terbang dari tahun 1966-1968 yang hasilnya diberikan pada Tabel 2-2.

Tabel 2-2 : PENENTUAN KONSTANTA MATAHARI DENGAN MENGGUNAKAN EPPLEY JPL TAHUN 1966-1968 (Lake and Drummond., 1968)

Tahun	Bulan	NASA Aircraft	Jumlah Pengukuran	Konstanta Matahari (mW/cm ²)
1966	Juli, Agustus	B-57B	2	135,8
1967	Maret	B-57B	4	136,0
	Oktober	X-15	1	136,1
1968		CV-990	1	136,2
	Juli	CV-990	3	135,9
	Agustus	CV-990	3	135,8

Tabel 2-2 terlihat bahwa harga rata-rata konstanta matahari untuk 14 kali penerbangan bervariasi dan harganya berkisar dari (136,0 \pm 0,1) m W/cm² atau (1360 \pm 1 W / m²). Kemudian dibuat suatu usaha untuk memperoleh harga standar baru konstanta matahari dengan memasukkan dalam perhitungan data dari pengukuran di tempat-tempat yang tinggi. Tabel 2-3 menunjukkan harga-harga konstanta matahari yang mencakup hampir semua data yang ada dari balon, pesawat terbang, dan juga hasil-hasil pengukuran dari Mariner 6 dan Mariner 7 oleh para para peneliti sebelumnya.

2.2. Penentuan Konstanta Matahari Setelah Era Satelit

Dua dasawarsa terakhir ini, pengukuran-pengukuran irradiansi total matahari (konstanta matahari) telah dilakukan dari satelit sejak akhir tahun 1978 sampai dengan tahun 1992. Pengukuran-pengukuran konstanta matahari dilakukan dengan menggunakan teleskop radiometer yang ditempatkan pada satelit Nimbus-7/ERB (1978 - 1989), SSM/ ACRIM-1 (1980 - 1988), ERBS/ERBE (1984 - 1989), dan NOAA/ERBE (1985 - 1989) (Wilson, 1984; Wilson & Hudson, 1988). Semua set data pengukuran dari konstanta matahari ini menunjukkan adanya variasi harian, bulanan dan tahunan. Tabel 2-4 memperlihatkan harga data rata-rata konstanta matahari selama 71 hari pengamatan yang bersamaan waktunya dari ke empat set data satelit selama periode tahun 1985 - 1989 (Mecherikunnel, et.al, 1990).

Tabel 2-3 : PENGUKURAN KONSTANTA MATAHARI YANG TELAH DILAKUKAN SAMPAI DENGAN TAHUN 1968.
(Lake and Drummond., 1968)

No.	Peneliti	Sumber	Metode/Cara Pengukuran	Harga Konstanta Matahari Yang Diusulkan		
				MW/cm ²	Kesalahan	Cal/cm min
1.	Murcray	Univ. Of Denver	Balon, Eppley NIP	133,8	0,6	1,919
2.	Mc. Nutt & Riley	GSFC	NASA 711 A6618	134,3	2,6	1,926
3.	Duncan & Webb	GSFC	A7635 NASA 711	134,9	4,0	1,935
4.	Mc. Nutt & Riley	GSFC	Hy-Cal Mariner,	135,2	2,2	1,939
5.	Plamon-JPL don		Cavity Balon,	135,2	2,0	1,940
6.	Kondratyev & Nicolsky	Univ. of	Actinometer NASA 711	135,3	1,4	1,940
7.	Kruger	GSFC	Cone X-5; B57B	135,8	2,4	1,947
8.	Drummond	Eppley JPL	711 (CV 900); Eppley Radiometer	136,0	1,3	1,950
			Nilai rata-rata	135,3	1,8	1,940

Tabel 2-3 diperoleh harga rata-rata konstanta matahari sebesar $S_0 = (135,3 \pm 1,8) \text{ mW/cm}^2$ atau $(1353 \pm 18 \text{ W/m}^2)$.

Tabel 2-4 : DAFTAR HARGA RATA-RATA KONSTANTA MATAHARI, DEVIASI STANDARD, HARGA MAKSIMUM DAN MINIMUM SELAMA 71 HARI PENGAMATAN YANG BERSAMAAN DARI KE EMPAT SATELIT DARI 1985 -1989

Sensor	Konstanta matahari (harga rata-rata) W/m ²	Standar Deviasi	Maksimum	Minimum
NIMBUS-7/ERB	1371,47	0,34	1372,24	1370,72
SMM/ACRIM-1	1367,16	0,40	1369,21	1366,54
ERBS/ERBE	1364,98	0,42	1364,91	364,00
NOAA-9/ERBE	1364,61	0,61	1366,90	1363,07

Tabel 2-4 terlihat bahwa harga rata-rata konstanta matahari S berkisar dari (1364,61 - 1371, 47) W/m^2 . Perbedaan hasil pengukuran dari Nimbus -7 ERB dengan ke tiga hasil pengukuran yang lain (Tabel 2-4) yang berkisar dari 4, 33 - 6,49 W/m^2 kemungkinan disebabkan oleh ketidakpastian dari instrumen yang digunakan, permasalahan pengarahannya alat teleskop (*pointing problem*), perhitungan koreksi jarak rata-rata bumi matahari, dan sensitivitas alat ukur (Hoyt dan Kyle, 1990). Ketelitian dari sensor Nimbus -7 ERB adalah $\pm 0,5 W/m^2$.

3. PENGARUH AKTIVITAS MATAHARI PADA KONSTANTA MATAHARI.

3.1 Data Dan Pengolahannya

Analisis adanya pengaruh aktivitas matahari pada konstanta matahari, digunakan variasi data konstanta matahari harian, hasil pengukuran sensor Nimbus-7 ERB yang diperoleh dari *Solar Variability Affecting Earth* NOAA/NGDC untuk periode dari Nopember 1978 - Juli 1989 dan publikasi Mecherikunnel, et.al, 1990) dan Mecherikunnel, (1990). Data Nimbus-7 ERB untuk periode 1978 - 1992 digunakan dalam analisis ini, karena deretan datanya lebih banyak dan lebih panjang dibandingkan dengan data pengamatan satelit-satelit lain. Semua data konstanta matahari yang diukur di atas puncak atmosfer telah dinormaliser terhadap jarak rata-rata bumi matahari (satu satuan astronomi). Data rata-rata harian konstanta matahari diolah menjadi data rata-rata bulanan dan dibandingkan dengan rata-rata bulanan bilangan sunspot, hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Periodesitas dominan yang berpengaruh pada konstanta matahari dapat diketahui dengan melakukan analisis spektra menggunakan perangkat lunak WWZ (*The Weighted Wavelet Z - Transform*, dari Foster, (1996) yang

dikembangkan oleh the *American Association of Variabel Star Observers*.

Setelah mengetahui waktu periode dominannya, dilakukan analisis pengaruh aktivitas matahari dengan indikator bilangan sunspot pada konstanta matahari. Analisis korelasi dilakukan dengan menggunakan program regresi linier orde satu, untuk menentukan tingkat pengaruh aktivitas matahari pada konstanta matahari.

3.2 Hasil

Gambar 3-1 adalah hasil grafik antara rata-rata bulanan konstanta matahari dan bilangan sunspot terhadap waktu dari tahun 1978 - 1989. Dari grafik pada Gambar 3-1 tampak bahwa kecenderungan pola variasi rata-rata bulanan konstanta matahari menunjukkan pola yang hampir serupa dengan pola bilangan sunspot. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari terhadap konstanta matahari, tetapi belum tampak jelas berapa besar pengaruh aktivitas matahari bulanan pada konstanta matahari. Ada tidaknya pengaruh aktivitas matahari pada konstanta matahari, dapat diperjelas dengan dilakukan analisis spektrum menggunakan perangkat lunak WWZ pada rata-rata bulanan konstanta matahari dari tahun 1978 - 1989 yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3-2. Dari analisis spektrum pada Gambar 3-2a diperoleh beberapa periode dominan utama : 1 tahun efek dari siklus matahari tahunan, kira-kira 11 tahun efek dari siklus aktivitas matahari 11 tahun. Untuk memperjelas periodenya maka skala waktu dari penggunaan WWZ diperpendek yang hasilnya seperti pada Gambar 3-2b, memberikan : periode 1 tahun lebih dominan, 2 tahun, dan 3 tahun tidak dominan yang belum diketahui efek dari faktor apa. Kesamaan periode dominan 1 tahun dan 11 tahun antara kedua deretan data sunspot dan konstanta matahari ini menunjukkan adanya

pengaruh aktivitas matahari pada konstanta matahari.

Pengaruh aktivitas matahari tahunan pada konstanta matahari, dianalisis dengan mengolah data rata-rata bulanan konstanta matahari dan bilangan sunspot menjadi rata-rata tahunan yang hasilnya seperti pada Tabel 3-1 dan grafiknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-3. Dari grafik pada Gambar 3-3 terlihat bahwa kecenderungan dari rata-rata tahunan konstanta matahari hampir mengikuti naik turunnya bilangan sunspot. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari yang kuat pada konstanta matahari.

3.3 Pembahasan

Kecenderungan variasi konstanta matahari yang mengikuti pola variasi aktivitas matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-1 dan kesamaan periode dominan pada Gambar 3-2 menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari baik jangka pendek (harian, bulanan) maupun jangka panjang (tahunan) pada konstanta matahari. Menurut Lean (1991) dalam skala waktu jangka pendek, irradiansi matahari total (konstanta matahari) akan berkurang ketika sunspot banyak, dan bertambah ketika ada fakulae cemerlang pada piringan matahari. Sunspot dan fakulae akan berlimpah-limpah pada piringan matahari jika aktivitas matahari mencapai maksimum dan menghilang pada saat aktivitas matahari minimum.

Gambar 3-3 menunjukkan bahwa harga rata-rata tahunan konstanta matahari memperlihatkan keserupaan dengan derajat yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan rata-rata bulanan bilangan sunspot. Pada siklus matahari ke - 21, harga rata-rata tahunan konstanta matahari cepat mencapai maksimum pada tahun 1979 sebesar $1373,3 \text{ W/m}^2$ (Tabel 3-1) bersamaan dengan waktu puncak aktivitas matahari siklus ke -21 mencapai maksimum tahun 1979 dengan rata-rata tahunan bilangan

sunspot maksimum sebesar 155,4 (*Solar Geophysical Data*, 1995). Dari tahun 1980, harga konstanta matahari berkurang secara perlahan-lahan dengan waktu mengikuti berkurangnya aktivitas matahari. Harga konstanta matahari mencapai minimum pada matahari tenang dari 1984 - 1986 dengan harga rata-rata adalah $1371,40 \text{ W/m}^2$. Harga paling rendah terjadi pada tahun 1984 sebesar $1371,30 \text{ W/m}^2$, sedangkan aktivitas matahari baru mencapai minimum pada tahun 1986, yang berarti konstanta matahari lebih dahulu 2 tahun mencapai minimum dibandingkan dengan aktivitas matahari mencapai minimum yang terjadi pada tahun 1986. Hal ini belum bisa dimengerti sepenuhnya, tetapi menurut perkiraan, bahwa pada saat aktivitas matahari mencapai minimum yang berlangsung dalam tahun 1984 - 1986, sunspot dan fakulae sedikit bahkan tidak ada pada permukaan matahari, kemungkinan variasi harga irradiansi total (konstanta matahari) yang diukur pada waktu itu lebih rendah daripada derau (*noise*) dalam pengukuran, sehingga pada tahun-tahun bersangkutan pengukuran harga absolut konstanta matahari dipengaruhi oleh ketelitian dari alat ukur yang digunakan.

Sejak tahun 1987 pada siklus aktivitas matahari ke - 22, konstanta matahari bertambah secara perlahan-lahan mengikuti pertambahan aktivitas matahari. Harga konstanta matahari mencapai maksimum mulai dari tahun 1989 dengan harga rata-rata tahunan maksimum sebesar $1372,30 \text{ W/m}^2$, terus bertahan naik sedikit demi sedikit sampai tahun 1992 (Gambar 3-3). Harga konstanta matahari tetap tinggi selama tahun 1989 - 1992 dengan variasi kecil dari tahun ke tahun berkisar dari $0,1 - 0,3 \text{ W/m}^2$ dan mencapai maksimum terakhir dalam tahun 1992 dengan harga rata-rata tahunan konstanta matahari $1372,80 \text{ W/m}^2$. Hal ini kemungkinan disebabkan pada tahun-tahun tersebut merupakan puncak aktivitas matahari maksimum

siklus matahari ke - 22 dan menunjukkan 2 puncak aktivitas matahari, pada tahun 1989 dan 1991. Aktivitas matahari seperti sunspot dan fakulae banyak terjadi pada tahun tersebut. Hal ini kemungkinan besar pengaruh pertambahan emisi oleh fakulae lebih dominan dibandingkan dengan pengurangan emisi oleh sunspot. Oleh karena itu pada tahun-tahun tersebut variasi konstanta matahari tetap tinggi dengan variasi dari tahun ke tahun sangat kecil berkisar dari 0,1 ke 0,3 W/m². Dengan anggapan harga rata-rata tahunan konstanta matahari paling tinggi tahun 1992, maka variasi amplitudo dari minimum siklus matahari ke - 21 sampai dengan maksimum siklus matahari ke - 22 adalah 1372,80 W/m² - 1371,30 W/m² = 1,50 W/m² (0,11 %). Besarnya variasi amplitudo rata-rata tahunan konstanta matahari dari maksimum ke minimum siklus matahari ke - 21 adalah 1373,3 W/m² - 1371,3 W/m² = 2 W/m² (0,14 %) dan variasi amplitudo paling rendah adalah 1374,29 W/m² - 1371,30 W/m² = 3 W/m² (0,2 %), sehingga bertambah dan berkurangnya harga konstanta matahari untuk periode tahun 1978 - 1992 dalam orde 1,5 W/m² s/d 3 W/m² (0,1% s/d 0,2 %). Sejak tahun 1992 pengukuran konstanta matahari dari satelit tidak ada lagi karena satelitnya tidak beroperasi, sehingga tidak dapat diketahui kecenderungan dari harga konstanta matahari.

Hasil analisis korelasi linier antara rata-rata tahunan konstanta matahari (S_c) dan bilangan sunspot (R) dalam kurun waktu dari tahun 1978 - 1992 dengan menggunakan program regresi linier orde satu menghasilkan persamaan sebagai berikut, $S_c = 0,0085 R + 1371, 206$, dengan koefisien korelasi sebesar 0,73, dan deviasi standar sebesar 0,57 W/m². Dari persamaan yang diperoleh tersebut, maka secara empiris terlihat bahwa konstanta matahari bertambah dengan bertambahnya bilangan sunspot R . Jika $R = 0$ dimasukkan dalam persamaan tersebut, yakni pada saat matahari tenang maka harga konstanta matahari tahunan,

(S_0), adalah 1371, 206. Jika $R = 200$ dimasukkan dalam persamaan tersebut, yakni pada saat aktivitas matahari mencapai maksimum, maka harga konstanta matahari bertambah dari kondisi matahari minimum sebesar 1,70 W/m² atau (0, 12%). Hal ini tampaknya bersesuaian dengan variasi amplitudo konstanta matahari dari harga minimum siklus matahari ke-21 ke maksimum siklus matahari ke-22 sebesar 0,1% (Mecherikunnel, 1990).

Tampaknya hasil ini bertentangan dengan pendapat Hoyt (1978) yang mengatakan bahwa secara teoritis konstanta matahari akan berkurang dengan bertambahnya bilangan sunspot. Hal ini dapat dimengerti, karena konstanta matahari yang diperoleh secara teori pada waktu itu, hanya tergantung kepada bilangan sunspot. Sedangkan data pengukuran konstanta matahari yang diperoleh dari satelit faktor defisit radiasi matahari oleh daerah sunspot dan faktor pertambahan emisi oleh fakulae cemerlang sudah diperhitungkan. Faktor pengurangan emisi oleh sunspot lebih kecil bila dibandingkan dengan faktor pertambahan emisi oleh fakulae cemerlang. Dengan demikian konstanta matahari akan bertambah dengan bertambahnya aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indikator bilangan sunspot. Gambar 3-4 menunjukkan plot pasangan data antara rata-rata tahunan bilangan sunspot dan konstanta matahari dengan menggunakan regresi linier dari tahun 1978 - 1992. Dari slope garis regresi pada Gambar 3-4 memperlihatkan adanya hubungan yang erat antara bilangan sunspot dan konstanta matahari dengan korelasi positif. Dengan demikian terbukti bahwa, konstanta matahari tahunan bertambah dengan bertambahnya aktivitas matahari yang dinyatakan dengan indikator bilangan sunspot relatif.

Grafik pada Gambar 3-3 selain data rata-rata tahunan konstanta matahari mengikuti kecenderungan siklus aktivitas matahari dengan baik juga tampak bahwa variasi konstanta matahari memperlihatkan suatu

variasi siklus 11 tahun yang mengikuti siklus sunspot 11 tahun. Pada kesempatan ini analisis pengaruh aktivitas matahari jangka panjang 11 tahun pada konstanta matahari tidak dilakukan karena data tidak mencukupi (hanya kira-kira 11 tahun).

Tabel 3-1 : RATA-RATA TAHUNAN KONSTANTA MATAHARI NIMBUS-7/ERB DAN BILANGAN SUNSPOT RELATIF DARI TAHUN 1978 -1992 (SOLAR GEOPHYSICAL DATA.,1995; NIMBUS - 7 / ERB, NOAA, NGDC; (Mecherikunnel And Kyle.,1990)

Tahun	Bilangan Sunspot R	Konstanta Matahari (W/m ²)
1978	92,5	1372,10
1979	155,4	1373,30
1980	154,6	1372,60
1981	140,4	1371,80
1982	115,9	1371,50
1983	66,6	1371,45
1984	45,9	1371,30
1985	17,9	1371,50
1986	13,4	1371,40
1987	29,4	1371,60
1988	100,2	1371,90
1989	157,6	1372,30
1990	142,6	1372,50
1991	145,7	1372,60
1992	94,3	1372,80
Rata-rata tahunan konstanta matahari		1372,04

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran konstanta matahari, baik yang dilakukan sebelum era satelit maupun setelah satelit, terbukti bahwa konstanta matahari adalah tidak konstan tetapi bervariasi terhadap waktu harian, bulanan, tahunan, bahkan kemungkinan dekadean. Variasi konstanta matahari ini disebabkan oleh pengaruh variasi dari bentuk aktivitas matahari seperti sunspot gelap dan faekulae cemerlang pada piringan matahari.

Analisis pengaruh variasi aktivitas matahari pada rata-rata tahunan konstanta matahari memperlihatkan adanya keserupaan yang tinggi antara konstanta matahari dengan aktivitas matahari tahunan. Analisis regresi linier antara kedua data rata-rata tahunan konstanta matahari dan bilangan sunspot dalam kurun waktu tahun 1978 - 1992 menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,73, dengan deviasi standar sebesar 0,57 W/m².

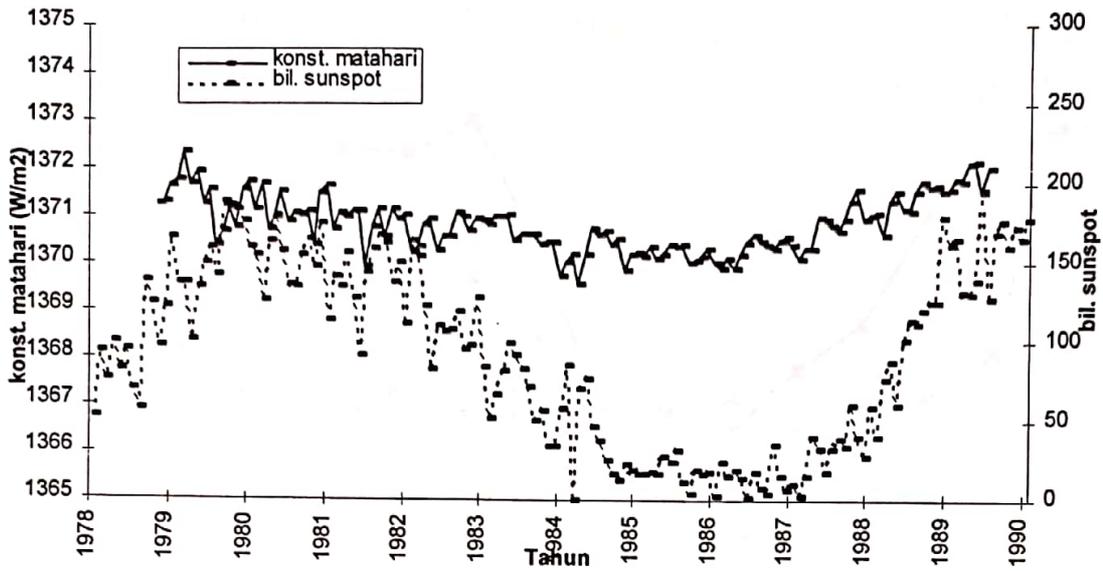
Siklus matahari ke - 21, harga konstanta matahari mencapai maksimum yang terjadi pada tahun 1979, bersamaan dengan waktu aktivitas matahari ke -21 mencapai maksimum. Kemudian konstanta matahari turun perlahan-lahan mengikuti aktivitas matahari menuju minimum yang berakhir tahun 1984 -1986, sementara aktivitas matahari ke - 21 mencapai minimum pada tahun 1986.

Siklus matahari ke - 22, mulai tahun 1987 harga rata-rata konstanta matahari perlahan-lahan bertambah, mengikuti bertambahnya aktivitas matahari menuju maksimum aktivitas matahari yang terjadi pada tahun 1989. Tetapi harga konstanta matahari maksimum ini tetap bertahan dan naik sedikit demi sedikit dari tahun 1989 - 1992, dan variasi dari tahun ke tahun sangat kecil berkisar 0,1 - 0,3 W/m². Variasi amplitudo konstanta matahari dari minimum siklus matahari ke - 21 sampai dengan maksimum siklus matahari ke -22 adalah 1,50 W/m² (0,11 %).

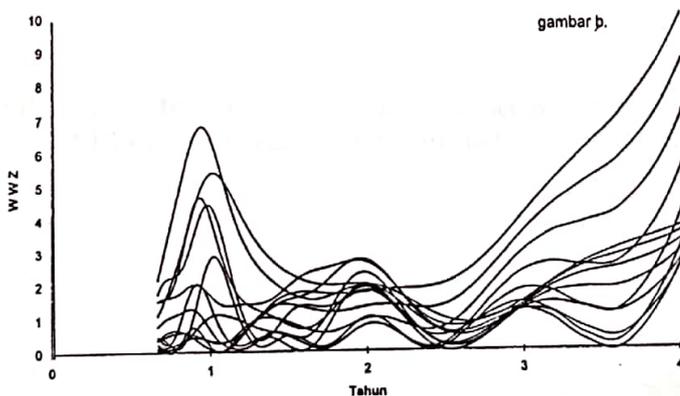
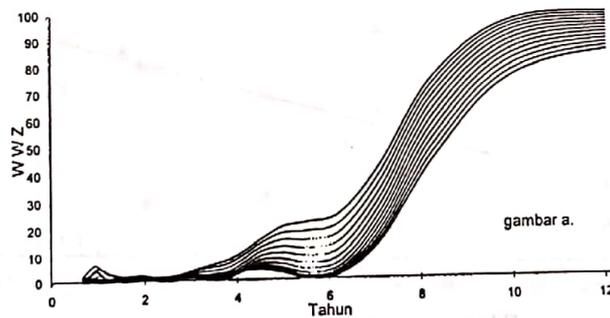
Bertambah dan berkurangnya konstanta matahari dari tahun 1978-1992 menunjukkan suatu siklus dengan periode 11 tahun. Dengan demikian hasil pengukuran konstanta matahari dari satelit Nimbus - 7 / ERB adalah hasil percobaan pertama yang membuktikan bahwa irradiansi matahari total (konstanta matahari) mengalami 11 tahun, yang analog dengan siklus sunspot 11 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

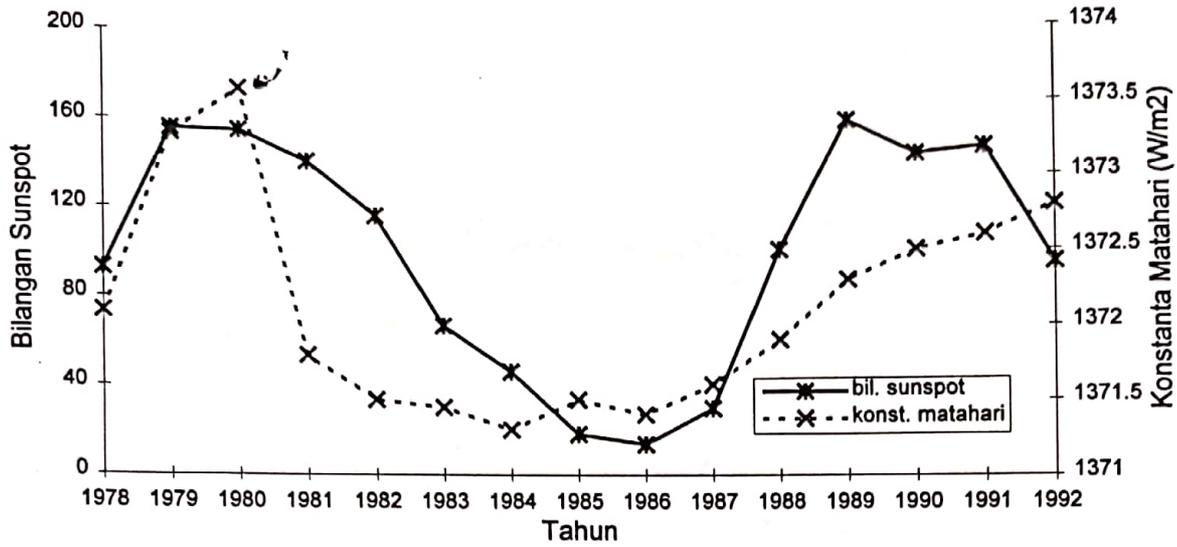
1. Forlich, C., 1987, *Variability of the Solar Constant on Time Scales of Minutes to Years*, J. Geophys. Res. 92, hal. 796 - 800.
2. Frohlich, C., 1990, *Irradiance Variability of the Sun*, Climate Impact of Solar Variability, NASA Conference Publication 3086, hal. 269 - 277.
3. Foster, G., 1996, *Wavelets for Period analysis of Unevenly Sampled Time Series*, Astronomical Journal, Vol. 112, hal. 1709.
4. Hoyt, D. V., and H. L. Kyle., 1990, *An Alternative Derivation of the NIMBUS-7 Total Solar Irradiance Variations*, in Climate Impact of Solar Variability, Edited By K. Schatten and A. Arking, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md., hal. 293 - 300.
5. Helen E. Coffey, 1995, *Solar Geophysical Data*.
6. Lake, E. G., and Drummond, A. J., 1968, *Solar Constant*, First Direct Measurement, Science, 161, hal. 888 - 891.
7. Lean, J., 1991, *Variation in the Sun's radiation Output*, Rev. Geophys., 29, hal. 505 - 535.
8. Mecherikunnel, A.T., and H. L. Kyle., and R.B. Lee III, 1990, *Solar Constant Data from Earth Radiation Budget Measurements*, Climate Impact of Solar Variability, NASA Conference Publication 3086, hal. 309 - 313.
9. Mecherikunnel, A. T., 1990, *Solar Total Irradiance Data From Earth radiation Budget Experiment*, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA, hal. 158.
10. Wilson, R. C., 1984, *Measurements of Solar Total Irradiance and its Variability*, Space Sciences Reviews, VOL. 38, hal. 203 - 242.
11. Wilson, R. C., and H. S. Hudson, 1988, *Solar Luminosity Variations in Solar Cycle 21*, Nature, 332, hal. 810 - 812.
12. Thekaekara, M.P., 1977, *Solar Output and Its Variation*, Ed By) R White, Colorado Associated University Press, Boulder.



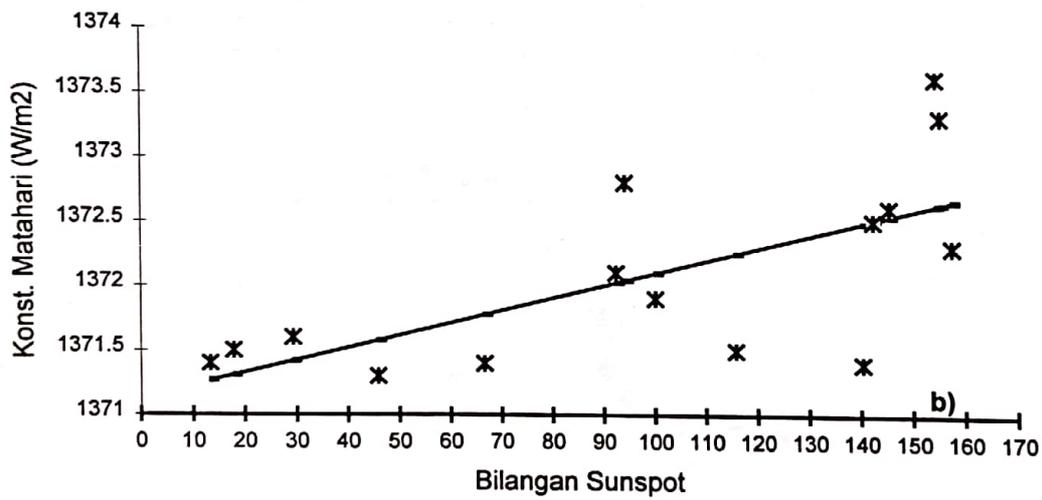
Gambar 3 - 1: RATA-RATA BULANAN KONSTANTA MATAHARI (GARIS PENUH) HASIL PENGAMATAN SENSOR NIMBUS-7 ERB UNTUK PERIODE NOPEMBER 1978 - JULI 1989 DIBANDINGKAN DENGAN BILANGAN SUNSPOT (GARIS PUTUS-PUTUS) YANG MELIPUTI DATA SEBAGIAN BESAR SIKLUS MATAHARI KE -21 (1976 -1986) DAN SEBAGIAN SIKLUS MATAHARI KE -22 (1986 - 1996)



Gambar 3 - 2 : HASIL ANALISIS WWZ UNTUK RATA-RATA BULANAN KONSTANTA MATAHARI MENUNJUKKAN BEBERA PERIODE DOMINAN UTAMA:
 A) 1 TAHUN DARI EFEK SIKLUS MATAHARITAHUNAN DAN 11 TAHUN DARI EFEK AKTIVITAS MATAHARI 11 TAHUN
 B) 2 TAHUN, DAN 3 TAHUN TIDAK DOMINAN.



Gambar 3-3 : GRAFIK RATA-RATA TAHUNAN BILANGAN SUNSPOT DAN KONSTANTA MATAHARI UNTUK PERIODE TAHUN 1978 - 1992.



Gambar 3-4 : PLOT PASANGAN DATA RATA-RATA TAHUNAN ANTARA BILANGAN SUNSPOT DENGAN KONSTANTA MATAHARI UNTUK PERIODE TAHUN 1978 - 1992.