

DAMPAK CUACA ANTARIKSA PADA VARIABILITAS IKLIM DI INDONESIA

Wilson Slnambela, Iyus E. Rusnadi dan Nana Suryana
Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN
Email: wllson@ bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Since a long time ago the Sun as the main source of energy of the Earth is considered to give influence the Earth's climate. It is seen from the analysis of solar activity influence on surface air temperature in various cities in Indonesian area using available data. The result *Weighted Wavelet Z-transform* (WWZ) analysis of surface air temperature which shows similarity between periodicity of that of solar activity, especially about 11 years, is the first indications of the influence of space weather to the Indonesian climate variability. Additionally, from statistical analyzes by using 11 years-running moving averages, it is seen that the pattern of surface air temperature changes follows the pattern of solar activity variability, although they are sometimes out of phase and move ahead in about 5-15 years. Furthermore, although time series data of surface air temperature is limited, the result shows a good correlation between the changes of surface air temperature and solar cycle length/SCL with an applied smoothing with the coefficients 1-2-2-2-1 (from now on we call SCL 12221). We therefore find that this agreement supports (although it does not prove) the suggestion of a direct solar activity influence on surface air temperature in Indonesia.

ABSTRAK

Matahari sebagai sumber energi bagi Bumi sejak lama dianggap sangat mempengaruhi iklim Bumi. Hal ini dapat terlihat setelah dilakukan analisis pengaruh aktivitas matahari pada suhu udara permukaan di beberapa kota di wilayah Indonesia dengan menggunakan data yang tersedia. Hasil analisis spektral *Weighted Wavelet Z-transform* (WWZ) deret waktu suhu udara permukaan menunjukkan kesamaan periodisitas dengan periodisitas aktivitas matahari, terutama periode 11 tahun, merupakan indikasi pertama dampak aktivitas matahari pada variabilitas iklim Indonesia. Demikian juga, dari analisis hubungan statistik menggunakan rata-rata bergerak 11 tahun terlihat bahwa pola variasi suhu udara permukaan di Indonesia cenderung mengikuti pola variasi aktivitas matahari jangka panjang, walaupun variasi suhu udara ada yang sefase dan ada yang mendahului variasi bilangan *sunspot* berkisar 5-15 tahun. Selanjutnya, meskipun dengan menggunakan data deret waktu suhu udara permukaan yang terbatas, hasil analisis menunjukkan korelasi yang baik antara perubahan suhu udara permukaan

di Indonesia dengan panjang siklus matahari menggunakan filter pemulus yang memiliki koefisien-koefisien 1-2-2-2-1 (selanjutnya disebut SCL 12221). Hal ini mendukung dugaan (walaupun itu tidak membuktikan) bahwa aktivitas matahari berpengaruh langsung terhadap perubahan iklim jangka panjang di Indonesia.

Kata kunci: *Cuaca antariksa (Space weather), Sunspot, Panjang siklus matahari, Variabilitas Iklim, QBO, dan ENSO*

1 PENDAHULUAN

Matahari adalah sumber energi utama bagi Bumi dan sebagai penggerak cuaca antariksa [*space weather*). Matahari juga adalah sumber energi yang menyebabkan gerakan atmosfer dan dengan cara demikian mengendalikan cuaca dan iklim Bumi. Oleh karena itu, setiap ada perubahan energi matahari yang diterima di permukaan Bumi akan berdampak terhadap variabilitas iklim. Selama Bumi dalam kondisi kesetimbangan termal, maka energi radiasi yang diterima dari matahari harus seimbang dengan energi radiasi yang kembali ke angkasa (energi yang hilang). Energi yang diradiasikan kembali ke angkasa ini dalam bentuk radiasi gelombang panjang [*Long Wave Radiation/UWR*) yang nilainya bersesuaian dengan suhu rata-rata Bumi. Keluaran energi matahari diketahui berubah mengikuti variasi siklus aktivitas matahari 11 tahun dan variasi dengan periode yang lebih panjang (Frohlich dan Lean, 1998)

Sebagaimana iklim di Bumi yang bervariasi dan bahkan berubah, kondisi di ruang angkasa juga sangat variabel. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi disebut "*cuaca antariksa*" adalah tingkat aktivitas matahari. Meskipun tingkat aktivitas matahari berubah secara terus menerus, satu pola tertentu adalah variasi periodik tertentu, dengan siklus yang paling tampak adalah siklus sekitar 11 tahun. Siklus-siklus matahari lainnya dirangkum oleh Perry (1994) yang meliputi periode 0,64; 1,14; 2,74; 5,49; 11; 22; 47; 88; dan 179 tahun. Siklus-siklus itu tampak pada parameter aktivitas matahari, seperti bilangan *sunspot*, fluks radio matahari 10,7 cm, flare, polaritas *sunspot*, kemunculan daerah aktif dan neutrino.

Cuaca antariksa sangat bergantung kepada interaksi yang kompleks antara Matahari dan Bumi. Keluaran energi matahari memiliki dua bentuk utama, yakni radiasi elektromagnetik dan pancaran partikel-partikel bermuatan energi tinggi. Pada matahari aktif kedua-duanya bentuk keluaran energi matahari ini bertambah, sebaliknya pada matahari tidak aktif (rerartil) energinya berkurang. Iklim Bumi adalah keadaan cuaca rata-rata jangka panjang dan pentingnya peran matahari terhadap kehidupan di Bumi membuat banyak peneliti melakukan berbagai penelitian tentang pengaruh aktivitas matahari terhadap iklim. Indonesia yang terletak di daerah maritim ekuator Bumi diduga merupakan sumber konveksi bagi atmosfer global, bercurah hujan tinggi, merupakan kunci dalam sistem osilasi selatan

menentukan kuatnya fenomena *ENSO* (*El Nino-Sourthen Oscitation*) (Trcnberth dan Hoar, 1996), yang berpengaruh terhadap iklim menjadi dasar dalam penelitian ini.

Sejumlah studi telah memperlihatkan besarnya pengaruh variabilitas matahari terhadap sejumlah parameter atmosfer Bumi. Beberapa gejala, parameter dan variabel di permukaan Bumi (baik dalam skala global, regional, maupun lokal) yang telah diidentifikasi menunjukkan respons yang signifikan terhadap variasi keluaran energi matahari, antara lain suhu permukaan laut (SST), suhu permukaan daratan, curah hujan dan ketinggian isobar tertentu. Studi yang dilakukan oleh Labitzke dan Van Loon (1997) yang mendapatkan korelasi statistik yang meyakinkan antara periode aktivitas matahari 11 tahun dengan parameter stratosfer bawah dan troposfer atas. Periode 10-12 tahun pada ketinggian dan suhu pada lapisan isobar tertentu menunjukkan fase yang sama dengan siklus matahari selama tiga siklus matahari terakhir. Friis-Christensen dan Lassen (1991) menunjukkan korelasi yang kuat antara panjang siklus aktivitas matahari dengan suhu permukaan udara dalam selang 130 tahun terakhir, semakin diperkuat oleh Baliunas dan Soon (1995) untuk selang waktu yang lebih panjang lagi yakni sekitar 240 tahun. Reid (1987) mencatat suatu keserupaan deret waktu global suhu muka laut (SST) dengan data jangka panjang aktivitas matahari, yang direpresentasikan oleh rata-rata bergerak 11 tahun *sunspot*. Yang patut diperhatikan minimum yang kuat terjadi pada permulaan dekade dari abad 20, kenaikan yang tajam ke suatu minimum terjadi pada 1950-an, dan turun selama 1960-an dilanjutkan dengan kenaikan terakhir. Variabilitas dekadal dan interdekadal suhu rata-rata global yang teramati antara tahun 1860 dan 1990 merupakan petunjuk nyata dan kuat bahwa, selain *forcing* perubahan konsentrasi gas-gas rumah kaca, terdapat *forcing* lain (*forcing* kosmogenik, terutama *forcing* matahari) yang juga berkontribusi secara signifikan terhadap suhu permukaan Bumi (Lacis dan Carlson, 1992; Reid, 1987). Kenaikan tajam suhu rata-rata pada tahun 1920-an dan penurunannya kemudian dalam selang 1940-1970 sama sekali tidak konsisten dengan skenario kenaikan monoton konsentrasi gas rumah kaca dalam selang waktu yang sama. Djamaluddin (2001) menyatakan bahwa pola variasi *temporal* dan *spasial* parameter iklim mengindikasikan adanya pengaruh aktivitas matahari, baik lokal maupun regional, bahkan global dengan waktu tunda dan tanpa waktu tunda, walaupun sampai sekarang belum ada mekanisme yang menjelaskan hubungan matahari-iklim.

Oleh karena itu dalam makalah ini akan dilaporkan penelitian dampak cuaca antariksa pada variabilitas iklim Indonesia berdasarkan kajian dan analisis data deret waktu suhu udara permukaan di Indonesia. Tujuannya adalah untuk mengetahui dampak aktivitas matahari pada variabilitas iklim di Indonesia. Jika ketergantungan iklim terhadap aktivitas matahari diketahui, diharapkan prediksi iklim jangka panjang dapat

dilakukan lebih teliti dan dapat memberikan informasi tentang kecenderungan iklim jangka panjang di Indonesia, sehingga dapat digunakan untuk mengurangi dampaknya.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Perangkat basis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah basis data parameter cuaca antariksa, yaitu bilangan *sunspot* relatif dari 1879-1990 yang bersumber dari kompilasi *Royal Observatory of Belgium dan Sunspot Index Data Center (SIDQ)* [<http://www.astro.oma.be/SIDC>], dan basis data variasi panjang siklus matahari (Glessberg, 1944). Basis data parameter iklim adalah suhu udara permukaan bulanan di beberapa tempat di atas Indonesia yang diperoleh dari *'The Global Historical Climatology Network: Long-Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure and Station Pressure Data', ORNL/CDIAC-53, NDP-041*. (Vose et. al., 1992),

2.2 Metode

Pada tahap awal dikembangkan basis data acuan untuk keseluruhan tahapan program penelitian, yaitu (1) basis data *sunspot* dan panjang siklus matahari, dan (2) basis data suhu udara permukaan di Indonesia. Pada saat bersamaan juga akan dilakukan pemilihan data suhu udara permukaan berdasarkan wilayah, pola curah hujan dan ketersediaan data di atas Indonesia. Berdasarkan pola curah hujan dipilih data deret waktu suhu udara permukaan bulanan di Jakarta, Medan, Bandung mewakili wilayah Indonesia bagian Barat dan pola curah hujan jenis monsun, Padang dan Pontianak mewakili data pola curah hujan jenis ekuator dan Pontianak mewakili Indonesia tengah dan Ambon mewakili Indonesia bagian Timur dan pola curah hujan jenis lokal. Kemungkinan dampak variabilitas matahari terhadap parameter iklim di Indonesia dianalisis dengan membandingkan deret waktu suhu udara permukaan di tempat-tempat yang telah ditetapkan dengan bilangan *sunspot*. Dalam penelitian ini analisis dengan teknik spektrum *wavelet* dan analisis statistik rata-rata bergerak 11 tahun, dan dengan membandingkan perubahan suhu udara permukaan dengan variasi panjang siklus matahari menggunakan suatu filter pemulus yang disebut SCL12221.

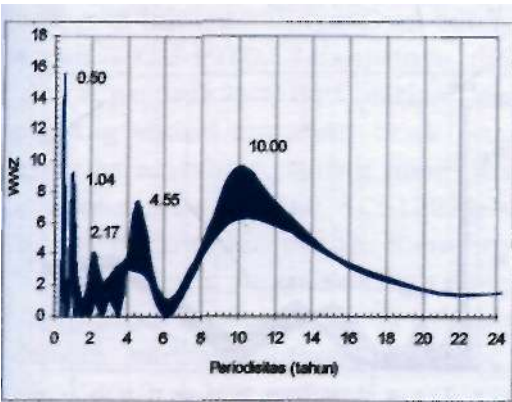
Pada tahap pertama penelitian ini dilakukan analisis spektral dengan *Weighted Wavelet Z-Transform (WWZ)* (Foster, 1996) deret waktu suhu udara permukaan di tempat-tempat yang telah ditetapkan dan membandingkannya dengan periode siklus aktivitas matahari, terutama periode sekitar 11 tahun. Pada tahap kedua, dilakukan analisis statistik suhu udara dengan rata-rata bergerak 11 tahun dan membandingkannya dengan bilangan *sunspot* Tahap

selanjutnya dilakukan analisis hubungan variasi suhu udara permukaan dengan variasi panjang siklus matahari SCL12221.

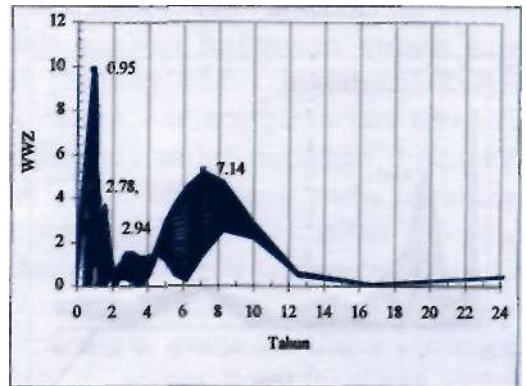
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Spektral Wavelet

Hasil-hasil analisis spektral WWZ deret waktu suhu udara permukaan bulanan di Jakarta, Padang, Medan, Bandung, Pontianak, dan Ambon dalam selang waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 3-1 sampai dengan Gambar 3-3. Dari analisis WWZ deret waktu suhu udara permukaan, seperti Gambar 3-1 sampai dengan 3-3 menunjukkan adanya sejumlah sinyal dominan yang beragam. Seperti diketahui, Indonesia yang terletak di daerah ekuator menerima energi matahari lebih banyak dibandingkan dengan negara-negara yang terletak pada lintang lebih tinggi. Kondisi negara Indonesia yang terdiri dari lautan dan daratan dan mempunyai pola jenis hujan, serta perbedaan panjang-pendeknya data yang tersedia, kemungkinan besar yang menyebabkan sejumlah periodisitas dominan yang mempengaruhi parameter suhu udara permukaan di Indonesia. Periode sekitar 0,5-1 tahun (kuat) berkaitan dengan efek musiman/tahunan disebabkan oleh karena Bumi mengelilingi matahari selama satu tahun.

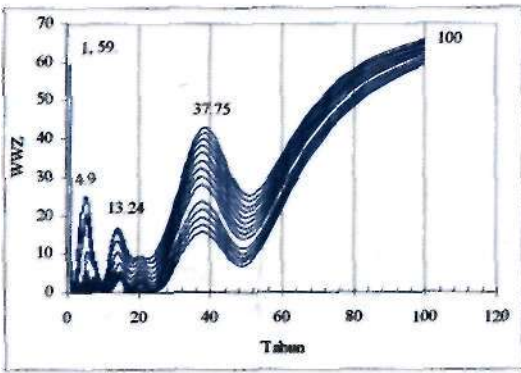


(a)

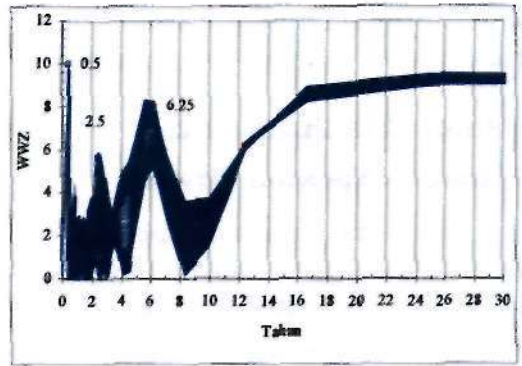


(b)

ambar 3-1: a) Hasil analisis WWZ deret waktu suhu udara permukaan di Jakarta dalam selang waktu 1866-1987. b) Sama seperti Gambar 3-1a) suhu udara di Padang dalam selang waktu 1913-1989 yang menunjukkan adanya sejumlah sinyal dominan pada periode-periode ~ 0,5-1 tahun yang diduga terkait dengan efek musiman/tahunan (kuat), ~ 2,17- 2,78 tahun dengan efek QBO (lemah), -2,96-4,55 tahun dengan efek ENSO, dan ~ 7,14-10 tahun diduga terkait dengan siklus aktivitas matahari 11 tahun (sedang)

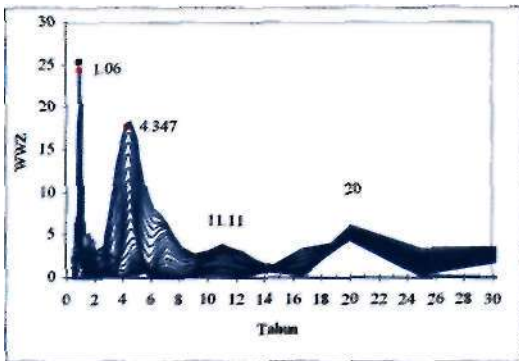


(a)

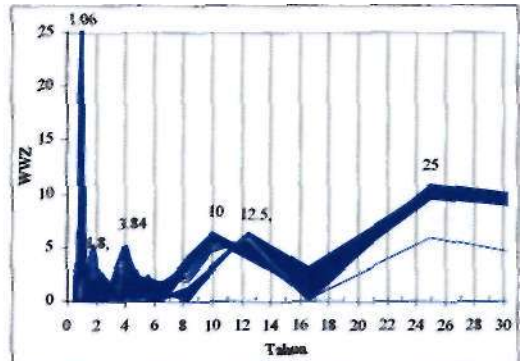


(b)

Gambar 3-2: a) Hasil analisis WWZ deret waktu suhu udara permukaan di Medan dalam selang waktu 1931-1987. b) sama seperti Gambar 3-2a) suhu udara di Bandung selang waktu 1912-1989 yang menunjukkan adanya sejumlah sinyal dominan pada periode ~ 0,5-1 tahun di Bandung yang diduga terkait dengan efek musiman/tahunan, ~ 2,5 tahun di Bandung diduga terkait dengan efek QBO (sedang), ~ 4,9 tahun terkait dengan efek ENSO (sedang), dan ~ 6,25 ; 13,24; 37,75 dan 100 tahun terkait dengan siklus-siklus aktivitas matahari. Sementara periode ~ 20 tahun (lemah) suhu udara di Medan diduga terkait dengan efek pasang surut bulan



(a)



(b)

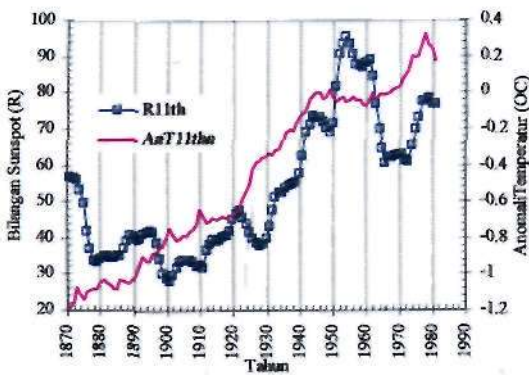
Gambar 3-3: a) Hasil analisis WWZ deret waktu suhu udara permukaan di Pontianak dalam selang waktu 1912-1988. b) sama seperti Gambar 3-3 a) suhu udara di Ambon dalam selang waktu 1947-1988 yang menunjukkan sejumlah sinyal dominan pada periode-periode; ~ 1 tahun yang diduga terkait dengan efek musiman/tahunan, ~ 2,72 tahun di Ambon terkait dengan efek QBO (lemah), ~ 4 dan 4,35 tahun dengan efek ENSO (sedang), ~ 10; 11,11; 12,5; dan 25 tahun (sedang) terkait dengan efek siklus-siklus aktivitas matahari (lemah), dan 20 tahun terkait dengan efek pasang surut bulan

Periode sekitar 1,52-2,85 tahun diduga berkaitan dengan efek *Quasi Biannual Oscillation (Q&Q)*, dan periode sekitar 3 - 5 tahun diduga berkaitan dengan efek *El Nino Sourthem Oscillation/ENSO* (lemah-sedang). Sementara periode-periode terutama sekitar 6,25-13,24 tahun diduga berkaitan dengan siklus matahari 11 tahun (lemah-sedang), dan 25-37,5 tahun diduga berkaitan dengan siklus-siklus aktivitas matahari jangka panjang lainnya, dan periode sekitar 20 tahun di Medan dan Pontianak diduga berkaitan dengan efek pasang surut bulan pada liputan awan yang berdampak pada suhu udara permukaan (Djamaluddin, 1998). Jadi hasil analisis WWZ deret waktu suhu udara permukaan di Indonesia yang menampakkan periode-periode yang bervariasi terhadap waktu terutama periode sekitar 11 tahun yang juga tampak pada deret waktu bilangan *sunspot* menunjukkan indikasi adanya pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada variabilitas iklim di Indonesia.

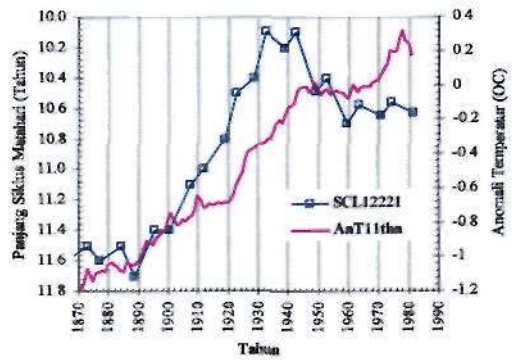
3.2 Analisis Hubungan Empirik

Analisis dampak variabilitas aktivitas matahari 11 tahunan pada suhu udara permukaan dilakukan dengan membandingkan bilangan *sunspot* setelah terlebih dahulu dilakukan pemulusan dengan metoda teknik rata-rata bergerak 11 tahun (*11 years Running Moving Average*). Suhu udara permukaan rata-rata tahunan dinyatakan sebagai simpangan (anomali) terhadap periode acuan 1959-1970. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara suhu udara permukaan dan variasi dengan panjang siklus matahari. Karena panjang siklus matahari tidak tetap 11 tahun, tetapi bervariasi terhadap aktivitas matahari. Untuk memuluskan panjang siklus matahari digunakan *low-pass filter* dengan SCL12221, Filter ini dipilih karena pada umumnya sering digunakan untuk menentukan kecenderungan aktivitas matahari jangka panjang yang dikaitkan dengan dampaknya pada parameter geofisika.

Hasil analisis statistik hubungan antara variasi suhu udara permukaan dengan variasi bilangan *sunspot* dan dengan panjang siklus matahari SCL12221 dalam selang waktu tertentu di setiap kota disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4 sampai dengan Gambar 3-9 masing-masing untuk kota Jakarta dalam selang waktu (1866-1989), Padang dalam selang waktu (1913-1989), Medan dalam selang waktu (1931-1987), Bandung dalam selang waktu (1912-1989), Pontianak dalam selang waktu (1912-1988), dan Ambon dalam selang waktu (1947-1988). Tampak dalam Gambar 3-4a sampai dengan Gambar 3-9a, suhu udara permukaan di Jakarta, Padang, Medan, Bandung, Pontianak, dan Ambon cenderung mengikuti pola variasi aktivitas matahari jangka panjang.



(a)



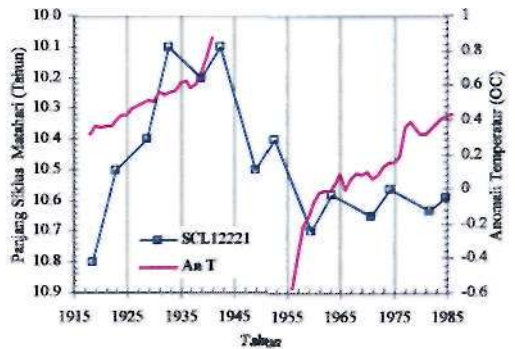
(b)

Gambar 3-4: a) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan suhu udara permukaan di Jakarta dalam selang waktu 1866-1989 relatif terhadap suhu rata-rata 1959-1970 dan rata-rata bergerak 11 tahun bilangan *sunspot*. b) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Jakarta dan panjang siklus matahari SCL12221 dalam selang 1866-1987. Tampak jelas dalam Gambar 3-4a mengikuti kenaikan pola *sunspot*, dan suhu udara di Jakarta cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*, tetapi mendahului sekitar 10 tahun. Suhu udara permukaan di Jakarta berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-4b). Dalam selang waktu tersebut suhu di Jakarta sudah bertambah sekitar $1,50^{\circ}\text{C}$



(a)

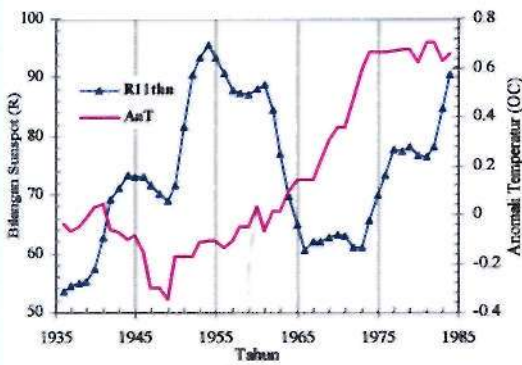
(a)



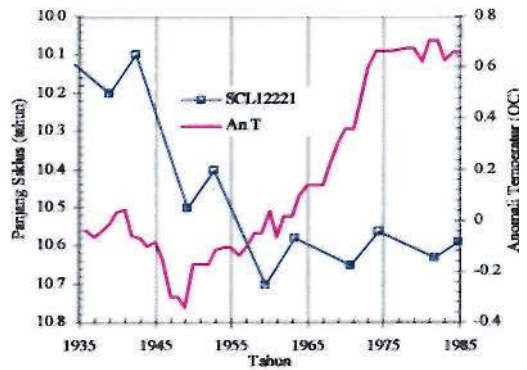
(b)

W

Gambar 3-5 : Sama seperti Gambar 3-4, a) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Padang dan bilangan *sunspot*. b) Rata-rata bergerak 11 tahun suhu udara permukaan di Padang dan Panjang siklus SCL12221 dalam selang 1913-1989. Tampak dalam Gambar 3-5a suhu udara di Padang cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot* (walaupun banyak data terpotong yang menyebabkan analisis kurang baik), tetapi mendahului sekitar 15 tahun, Suhu udara permukaan di Padang berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-5b). Dalam selang waktu tersebut suhu di Padang sudah bertambah sekitar $1,45^{\circ}\text{C}$

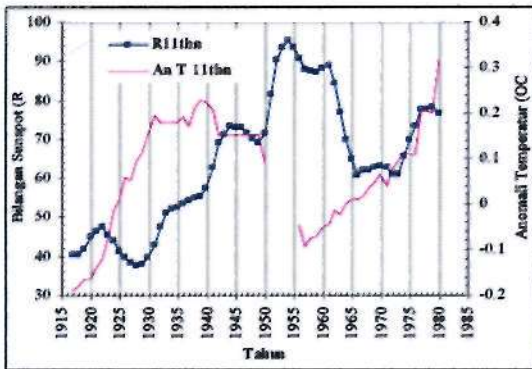


(a)



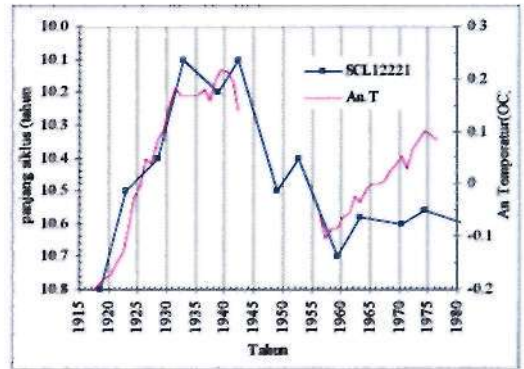
(b)

Gambar 3-6: Sama seperti Gambar 3-4, a) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Medan dan bilangan *sunspot*. b) Rata-rata bergerak 11 tahun suhu udara permukaan di Medan dan Panjang siklus matahari SCL12221 dalam selang 1931-1987. Tampak dalam Gambar 3-6a, suhu udara di Medan cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*, tetapi mendahului sekitar 15 tahun. Suhu udara permukaan di Medan berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-6b). Dalam kurun waktu tersebut suhu udara di Medan sudah bertambah sekitar $0,95^{\circ}\text{C}$



(a)

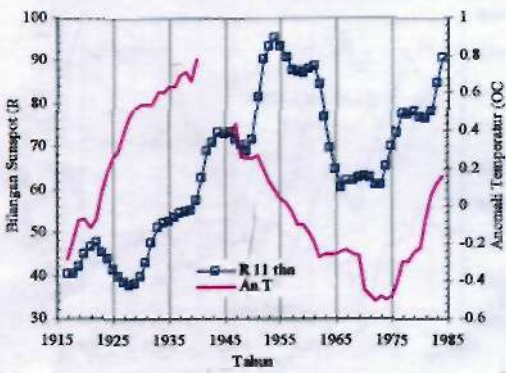
(a)



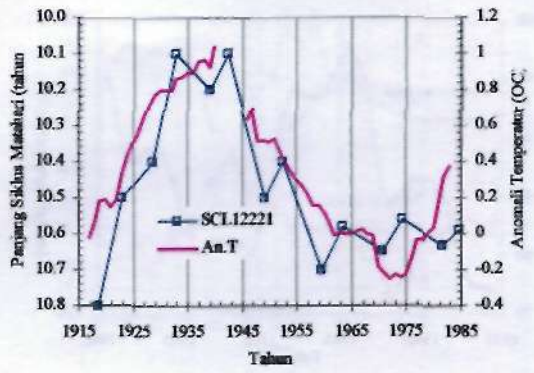
(b)

(b)

Gambar 3-7: Sama seperti Gambar 3-4, a) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Bandung dan bilangan *sunspot* b) Rata-rata bergerak 11 tahun suhu udara permukaan di Bandung dan Panjang siklus matahari SCL12221 dalam selang 1912-1989. Tampak dalam Gambar 3-7a, suhu udara di Bandung cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*, tetapi mendahului sekitar 10 tahun, dan berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-7b). Dalam selang waktu tersebut suhu di Bandung sudah bertambah sekitar $0,45^{\circ}\text{C}$

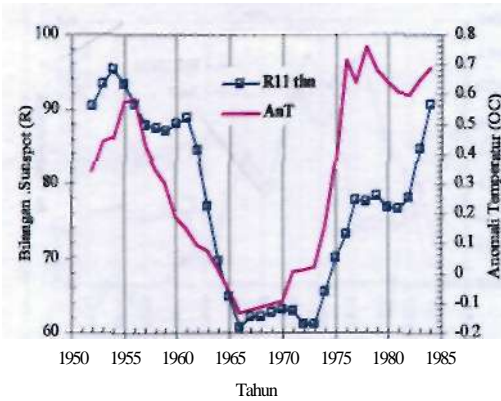


(a)

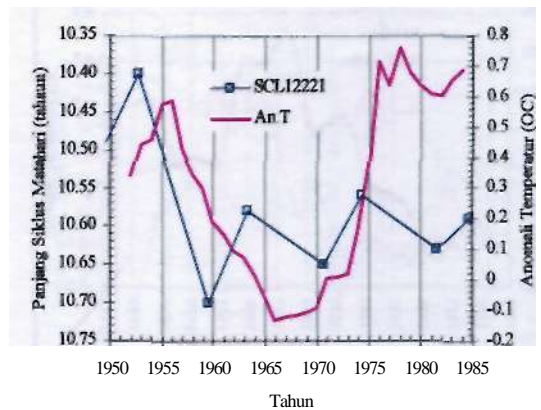


(b)

Gambar 3-8 : Sama seperti Gambar 3-4, a) Kata-rata bergerak 11 tahun dan rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Pontianak dan bilangan *sunspot* b) Rata-rata bergerak 11 tahun suhu udara permukaan di Pontianak dan Panjang siklus matahari-filter 12221 dari 1912-1988. Tampak dalam Gambar 3-8a suhu udara di Pontianak cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot* (walaupun banyak data terpotong yang menyebabkan analisis kurang baik), tetapi mendahului bilangan *sunspot* sekitar 15 tahun. Suhu udara permukaan di Pontianak berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-8b). Dalam kurun waktu tersebut suhu di Pontianak sudah bertambah sekitar $1,30^{\circ}\text{C}$



(a)



(b)

Gambar 3-9: Sama seperti Gambar 3-4, a) Rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan anomali suhu udara permukaan di Ambon dan bilangan *sunspot* b) Rata-rata bergerak 11 tahun anomali suhu di Ambon dan Panjang siklus matahari SCL12221 dalam selang waktu 1947-1988. Tampak dalam Gambar 3-9a) suhu udara di Ambon cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*, tetapi mendahului sekitar 5 tahun. Suhu udara permukaan di Ambon berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari (Gambar 3-9b). Dalam kurun waktu tersebut suhu di Ambon sudah bertambah sekitar $0,85^{\circ}\text{C}$

Pola variasi suhu udara permukaan di Jakarta (Gambar 3-4a) cenderung mengikuti pola kenaikan variasi bilangan *sunspot* jangka panjang 11 tahun, tetapi hubungannya sulit diterpreselasikan bila dikorelasikan secara langsung. Demikian juga perubahan suhu udara di Padang (Gambar 3-5a), di Medan (Gambar 6-6a), di Bandung (Gambar 3-7a), di Pontianak (Gambar 3-8a) dan di Ambon (Gambar 3-9a), walaupun dengan data banyak kosong dan relatif pendek dibandingkan dengan deret waktu data di Jakarta, namun menunjukkan kecenderungan pola yang mirip dengan pola variasi bilangan *sunspot* jangka panjang, tetapi suhu udara di tempat-tempat tersebut mendahului variasi bilangan *sunspot* sekitar 5-15 tahun, kecuali suhu udara di Ambon yang hampir seirama dengan variasi bilangan *sunspot* (Gambar 3-9a) dengan waktu tunda sekitar 5 tahun.

Selanjutnya, dari hasil analisis antara variasi suhu udara permukaan di Indonesia dan panjang siklus matahari SCL12221 menunjukkan korelasi yang baik. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis yang diperoleh dalam Gambar 3-4b sampai dengan Gambar 3-9b bahwa dengan menggunakan panjang siklus matahari dibandingkan dengan bilangan *sunspot* rata-rata 11 tahun sebagai parameter aktivitas matahari, waktu tunda kecenderungan aktivitas matahari yang tampak relatif terhadap kecenderungan suhu udara permukaan menjadi hilang. Sebagai contoh, perubahan suhu udara di Jakarta (deret waktu data yang relatif panjang) memiliki korelasi yang sangat baik dengan panjang siklus matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4b. Dari Gambar tersebut terlihat korelasi yang erat antara kedua parameter yang dibandingkan, khususnya kecenderungan pola yang menaik dari tahun 1900 ke tahun 1940, serta sejak tahun 1970, serta penurunan dari 1945 ke 1970. Sama dengan analisis suhu udara di Jakarta, perubahan suhu udara permukaan di Padang (Gambar 3-5b), di Medan (Gambar 3-6b), di Bandung (Gambar 3-7b), di Pontianak (Gambar 3-8b) dan di Ambon (Gambar 3-9b) menunjukkan korelasi yang baik, jika dikaitkan dengan panjang siklus matahari SCL12221, walaupun dengan data yang banyak kosong dan dengan deret waktu suhu udara yang lebih pendek dari pada di Jakarta, tetapi menunjukkan korelasi yang baik. Untuk data keseluruhan ini, dari hubungan yang diperoleh, akan memberikan suatu *Jit* yang lebih baik terhadap data suhu udara permukaan dibandingkan dengan menghubungkan dengan pemulusan bilangan *sunspot* rata-rata 11 tahun. Sehingga diperoleh korelasi yang baik antara suhu udara permukaan dan panjang siklus matahari yang mendukung (meskipun tidak terbukti). Aktivitas matahari langsung diduga mempengaruhi suhu udara regional maupun global. Dalam selang waktu deret waktu yang dianalisis, suhu udara permukaan di Jakarta telah bertambah sekitar 1,5°C, di Padang bertambah sekitar 1,45°C, di Medan bertambah sekitar 0,95°C, di Bandung bertambah sekitar 0,45°C, di Pontianak bertambah sekitar 1,30°C, dan di Ambon sudah bertambah sekitar 0,85°C.

Kenaikan tajam perubahan suhu udara permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-4b sampai dengan Gambar 3-9b setelah tahun 1970 dibandingkan dengan variasi panjang siklus matahari yang naik secara gradual, secara kuantitatif menunjukkan bahwa perubahan suhu udara permukaan di Indonesia, tampaknya tidak hanya disebabkan oleh pengaruh aktivitas matahari, tetapi kemungkinan besar disebabkan oleh penjumlahan pengaruh aktivitas matahari dan antropogenik (gas-gas rumah kaca, terutama CO₂) yang berasal dari aktivitas manusia. Sejak 1970-an industri di Indonesia sudah mulai berkembang dan menghasilkan gas rumah kaca ke atmosfer lebih banyak dibandingkan dengan periode waktu sebelum tahun 1970-an. Gas-gas rumah kaca yang bertambah ini cenderung menaikkan suhu udara permukaan. Dari hasil analisis juga tampak bahwa data deret waktu suhu udara yang lebih pendek yang dihubungkan dengan panjang siklus matahari akan menghasilkan korelasi agak kasar. Hal ini disebabkan oleh karena sedikitnya titik data panjang siklus matahari yang dibandingkan dengan titik data perubahan suhu udara permukaan.

Dari hasil analisis statistik dengan memakai rata-rata bergerak 11 tahun yang menunjukkan bahwa suhu udara permukaan di Indonesia pada umumnya cenderung mengikuti variasi aktivitas matahari jangka panjang 11 tahun, tetapi mendahului perubahan bilangan *sunspot* sekitar 5-15 tahun, tampaknya bergantung pada wilayah dan jenis pola curah hujan, serta selang waktu panjang data yang tersedia. Serupa seperti yang dilakukan oleh Reid (1987), walaupun pola suhu udara permukaan *hemisfer utara* mengikuti pola perubahan *sunspot*, tetapi perubahan suhu udara permukaan di *hemisfer utara* mendahului perubahan *sunspot* sekitar 20 tahun. Dari hasil analisis juga menunjukkan bahwa jika bilangan *sunspot* digantikan oleh panjang siklus matahari, hubungan antara perubahan suhu udara permukaan di Indonesia memberikan hasil korelasi yang lebih baik. Tampaknya bilangan *sunspot* bukan indikator parameter yang baik untuk perubahan aktivitas matahari jangka panjang. Jadi panjang siklus matahari ini merupakan indikator lain dari aktivitas matahari yang menyatakan perubahan luaran energi total matahari jangka panjang.

4 KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan analisis spektral dapat disimpulkan bahwa suhu udara permukaan di Indonesia pada umumnya didominasi oleh pengaruh musiman, *QBO* dan *ENSO*. Walaupun mekanisme dampak aktivitas matahari pada variabilitas iklim sampai saat ini belum dipahami sepenuhnya, namun dari hasil analisis kesamaan periodisitas suhu udara permukaan di Indonesia dengan periodisitas aktivitas matahari, terutama periode sekitar 11 tahun menunjukkan adanya dampak aktivitas matahari jangka panjang pada variabilitas iklim di Indonesia. Dari analisis *spektral wavelet* juga tampak bahwa kuat/lemahnya sinyal aktivitas matahari pada suhu udara

permukaan di Indonesia, secara kuantitatif menunjukkan tidak setiap daerah memberikan *response* yang sama terhadap variasi aktivitas matahari, yang tampaknya bergantung pada wilayah dan pola curah hujan di Indonesia. Kecenderungan pola yang mirip antara variasi suhu udara permukaan di Indonesia dengan bilangan *sunspot* dengan rata-rata bergerak 11 tahun membuktikan adanya dampak variasi aktivitas matahari pada iklim di Indonesia, walaupun variasi suhu udara permukaan pada umumnya mendahului perubahan bilangan *sunspot* sekitar 5-15 tahun.

Selanjutnya, dari hasil analisis juga diperoleh bahwa suhu udara permukaan di Indonesia berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari SCL12221. Tampaknya perubahan suhu udara jangka panjang, bukan dipengaruhi oleh perubahan bilangan *sunspot*-nya, tetapi dipengaruhi oleh variasi panjang siklus matahari. Panjang siklus matahari ini bervariasi dengan aktivitas matahari, interval panjang siklus matahari pendek menyatakan aktivitas tinggi, sehingga energi yang dipancarkan oleh matahari lebih besar, sebaliknya panjang siklus matahari lebih panjang menyatakan aktivitas matahari rendah sehingga energi yang dipancarkan oleh matahari lebih rendah. Pengaruh variasi aktivitas matahari pada variabilitas iklim ada yang bersifat skala global, lokal maupun regional dengan waktu tunda dan dengan tanpa waktu tunda.

Ucapan **Terimakasih**

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Thomas Djamaluddin yang telah membuat program pemilihan data iklim di Indonesia, yang diperoleh dari "*The Global Historical Climatology Network: Long - Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure and Station Pressure Data*", ORNL/CDIAC-53, NDP-041, sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

DAFTAR RUJUKAN

- Baliunas, S. & Soon W., 1995. *Are Variations in the Length of Solar Activity Cycle Related to Changes in Brightness in Solar-Type Stars?*, *Astrophys. J.* 450, hal. 896.
- Djamaluddin T., 1998. *Bfek Pasang Surut Bulan dan Aktivitas Matahari pada Penyebaran Awan di Jhdonesia*. Majalah LAPAN No. 85, hal. 62-67.
- Djamaluddin T., 2001. *Bukti-Bukti Empirik Pengaruh Aktivitas Matahari pada Iklim*, Warta LAPAN Vol. 3, No. 3, hal. 127-139.
- Friis-Christensen E.F., and Lassen K., 1991. *Length of Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate*, *Science*, 254, 698-700.
- Foster G., 1996. *Wavelets for Periods Analysis of Unevenly Sampled Time Series* *Astronomical Journal*, Vol. 112 . p. 1709-
- Frohlich and Lean J., 1998. *The Suns Total Irradiance : Cycles, Irradiance and Related Climate Change Uncertainties Since 1976*, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 25, No. 23 p. 43377.

- Glessberg W., 1944. *A Table of Secular Variations of Solar Cycle* : Terr. Magn. Atm. Electr. 49, 243-244.
- Labitzke K., and H. Van Loon, 1997. *The Signal of the 11- year sunspot cycle in the Upper Troposphere-Lower Stratosphere*, Space Sci. Rev. 80, 393-410.
- Lacis A. A., Carlson, B. E., 1992. *Nature*, Vol. 360, hal. 297.
- Landscheidt T., 1988. *Solar Activity ; A Dominant Factor in Climate Dynamics*, Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity, [http:// www.johndaly.com/solar/htm](http://www.johndaly.com/solar/htm).
- Perry C. A., 1994. *Comparison of a solar Luminosity Model With Paleoclimatic Data*, Institute for Tertiary-Quaternary Studies-TER-QUA Symposium Series, Vol. 2, him. 25-37.
- Reid G. C, 1987. *Influence of Solar Variability on Global Sea Surface Temperatures Record*, Nature , 329, p. 142.
- Trenberth K. E., and T. J., Hoar, 1996. *The 1990-1995 El-Nino/Sourthen Oscillation Event: Longest on Record*, Geophys. Res. Lett., 23, hal. 57- 60.
- Vose R. S., Schmoyer R. L., Steuer P.M., Peterson T.C., Heim R., Karl T.L., Eischeid J. K., 1992. *The Global Historical Climatology Network: Long-Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure, and Station Pressure Data*, ONRL/CDIAC-53, NDP-041.