

PENGARUH AKTIVITAS MATAHARI DAN ENSO PADA LIPUTAN AWAN DI ATAS INDONESIA

Wilson Sinambela, Jalu T. Nograho, dan Iyus Edi Rusnadi
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains dan Antariksa, LAPAN

ABSTRACT

The Influence of solar activities on cloud cover over Indonesia on 1978-1995 period has been analyzed based on total cloud amount. From wavelet analysis of clouds cover amount based of season and rainfall pattern in Indonesia, it is found three dominant periodicities: solar activity signal of about 11 year, *ENSO* (*El Nino Southern Oscillation*) signal of about 6 year down to 3 year, and 1 year signal related to the seasonal and annual variation on amount of cloud cover over Indonesia. The other signal around 3 year down to 2 year seems to be effected by *QBO*. Additionally, we found a 16.72-year period on cloud cover for equatorial rainfall pattern related to the luni-solar tidals. From seasonal analysis it shows also, the stongest about 11 years solar activities signal appears during dry seasons (June, July, August), and weakest appears during rainy seasons (December, January, February) in Indonesia. From the analysis of cloud cover variation pattern, we found some anomalies in which the occurrence coincided with the *ENSO* events. This indicates that the solar activity doesn't directly influence the amout of cloud cover over Indonesia, but through indirect mechanisms related to *ENSO* as reported by Djameluddin (2003) for western part of Indonesia.

ABSTRAK

Pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di atas Indonesia dalam kurun 1978-1995 dianalisis berdasarkan data jumlah liputan awan total (*Total Cloud amount*). Dari analisis spektral jumlah liputan awan berdasarkan musim dan pola curah hujan di Indonesia, dengan menggunakan *Weighted Wavelet Z-Transform*, diperoleh tiga periodisitas dominan; sekitar 11 tahun berkaitan erat dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun; 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal *ENSO* (*El Nino Southern Oscillation*), dan 1 tahun berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan pada jumlah liputan awan. Sinyal lain sekitar 3 tahun turun ke 2 tahun tampaknya dipengaruhi oleh *QBO* (*Quasi Biennial Oscillation*). Di samping itu, diperoleh periode 16,72 tahun pada liputan awan untuk pola curah hujan jenis ekuator berkaitan dengan pengaruh pasang surut bulan. Dari analisis spektral berdasarkan musim juga menunjukkan bahwa signal aktivitas matahari 11 tahun terkuat tampak pada jumlah liputan awan selama musim kering, dan signal aktivitas matahari terlemah tampak pada liputan awan musim hujan. Dari analisis pola variasi dari liputan awan, ditemukan adanya anomali-anomali yang waktunya bersesuaian dengan kejadian-kejadian *ENSO*. Hal ini menunjukkan indikasi bahwa pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di atas Indonesia tidak langsung, tetapi kemungkinan melalui mekanisme tidak langsung yang terkait dengan fenomena *ENSO* seperti dilaporkan juga oleh Djameluddin (2003) untuk sampel wilayah barat Indonesia.

1 PENDAHULUAN

Matahari merupakan sumber energi yang berpengaruh pada lingkungan di Bumi baik biologis, meteorologis,

maupun berbagai proses alami lainnya. Gejolak di permukaan matahari yang kadang-kadang menguat dan kadang-kadang melemah dikenal sebagai aktivitas

matahari. Indikator adanya keaktifan matahari antara lain ditandai dengan munculnya gejala visual berupa *sunspot* (bintik matahari) diikuti dengan munculnya *flare* (ledakan dan semburan cahaya yang kuat secara tiba-tiba) pada permukaan matahari dan perubahan fluks radio matahari pada panjang gelombang $\lambda = 10,7$ cm (F10,7). Kombinasi aktivitas radiasi dan aktivitas magnetiknya diduga berperan besar pada siklus aktivitas matahari dengan periode sekitar 11 tahun.

Berbagai proses yang mempengaruhi jenis penyusun, ragam susunan (komposisi), dan dinamika atmosfer bumi secara langsung dipengaruhi oleh perilaku yang sangat kompleks dan rumit yang diperlihatkan oleh irradiansi spektral matahari dari rentang sinar-X ke rentang cahaya tampak hingga infra merah sebagai akibat variasi aktivitas matahari. Matahari melalui energi yang dipancarkan, juga menggerakkan sirkulasi atmosfer dan lautan dan bagi fotosintesis dalam biosfer. Oleh karena itu, iklim juga bergantung kepada fluks energi matahari yang diterima dipermukaan bumi. Fluks energi matahari yang mengendalikan iklim juga bervariasi karena aktivitas matahari.

Variabel-variabel iklim yang sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan adalah temperatur, curah hujan, angin, kelembaban, dan keadaan liputan awan. Perubahan kesetimbangan energi dan komposisi kimia atmosfer mengakibatkan terjadinya perubahan interaksi pola komponen-komponen iklim serta variabel-variabel iklim. Perubahan kesetimbangan energi dan komposisi kimia atmosfer tersebut dapat bersumber dari aktivitas manusia (antropogenik) maupun aktivitas alami seperti variabilitas radiasi energi dan partikel-partikel matahari sebagai akibat aktivitas matahari, aktivitas gunung berapi, dan masuknya partikel-partikel meteorid ke dalam atmosfer. Daerah di wilayah Indonesia memiliki ciri khas yaitu kompleksnya distribusi laut-daratan. Di

samping itu banyaknya penguapan air, yang mem-bawa panas laten terbesar adalah di daerah Pasifik Barat sekitar Indonesia. Pembentukan awan di Indonesia mempunyai fluktuasi yang sangat besar terhadap musim dan tahun, dan sering-kali menyebabkan perubahan iklim global yang dikenal sebagai *ENSO* (*El Nino Southern Oscillation*).

Berdasarkan penjelasan di atas, salah satu yang menarik diteliti adalah kemungkinan pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di atas Indonesia. Meskipun pengaruh langsung belum jelas, tetapi banyak telaah yang telah dilakukan menunjukkan pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan. Liputan awan global bisa dikaitkan dengan variasi fluks sinar kosmik, yang dianggap merupakan suatu mata rantai hubungan matahari-bumi yang hilang (Svensmark and Friis-Christensen, 1997). Makalah ini membahas kemungkinan pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan di atas Indonesia terutama berdasarkan analisis spektral. Analisis pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di Indonesia dikelompokkan berdasarkan musim dan pola hujan di Indonesia. Karena banyak faktor yang mempengaruhi jumlah liputan awan di atas Indonesia, analisis tidak terbatas hanya pada pengaruh aktivitas matahari, tetapi juga pengaruh-pengaruh lain seperti pengaruh musim, pola jenis curah hujan, *ENSO*, *QBO*, dan kemungkinan pengaruh debu gunung berapi.

2 DATA DAN PENGOLAHANNYA

Data liputan awan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *Total Cloud Amount* hasil pengamatan satelit *GMS* kepunyaan Jepang yang diterbitkan oleh *Meteorological Satellite Center* dalam *Monthly Report of Meteorological Center (MSC, 1978-1996)*. Dalam rentang data tersebut ada data yang kosong dari Mei-Juni 1984, Maret-Mei dan Agustus-september 1985, dan Juni-Juli 1995. Data tersebut mencakup sebagian besar

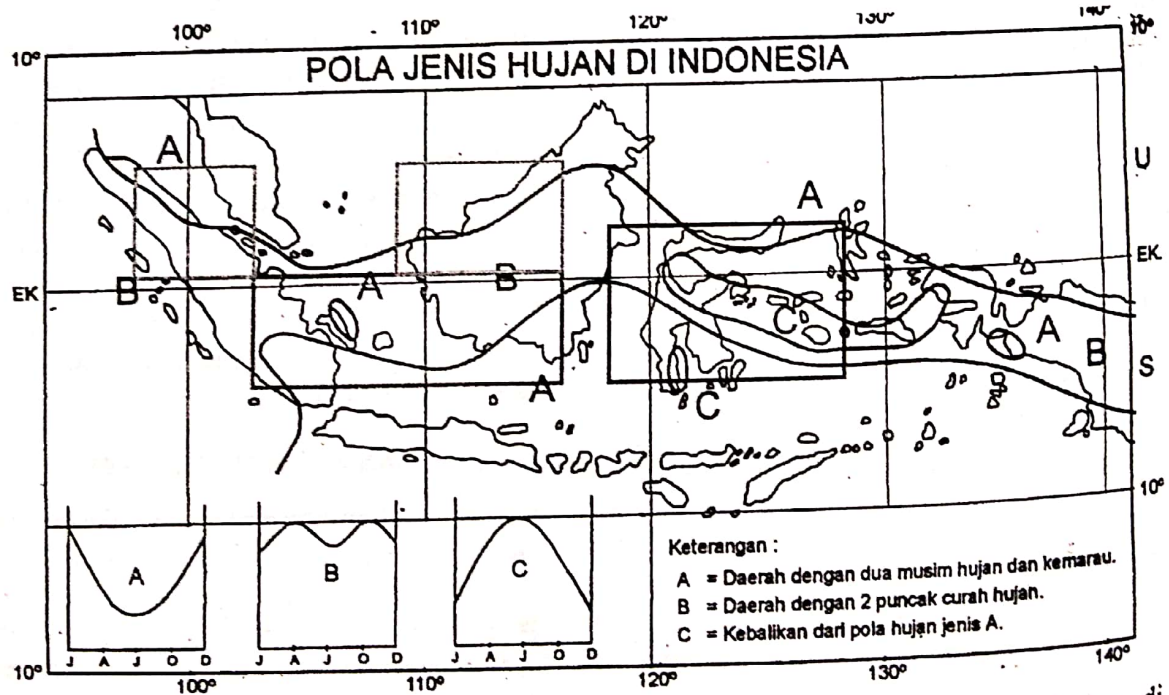
siklus matahari ke-21 (1976-1986) dan siklus matahari ke-22 (1986-1996).

Data berupa rata-rata liputan awan lima harian (dalam satuan per-puluhan) dengan grid $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, yang kemudian dirata-rata untuk setiap bulanannya. Liputan awan di Indonesia diperoleh dengan cara mengekstrak data global. Daerah liputan yang ditinjau untuk wilayah Indonesia dalam rentang lintang geografis $10^{\circ} \text{ S} - 12^{\circ} \text{ U}$ dengan bujur antara $(90^{\circ}-140^{\circ}) \text{ BT}$. Liputan awan dikelompokkan berdasarkan seluruh bulan, musim kering (Juni, Juli, Agustus/JJA), musim hujan (Desember, Januari, Februari/DJF), musim peralihan (Maret, April, Mei/MAM, dan September, Oktober, Nopember/SON). Kemudian liputan awan juga dikelompokkan berdasarkan pola jenis hujan jenis monsun (Pola A berbentuk V), terutama terjadi di Pulau Jawa; jenis ekuator (Pola B, bentuk M), terutama terjadi di pulau Sumatera dan Kalimantan dan jenis lokal (Pola C) bentuk Λ kebalikan dari Pola A) seperti terutama terjadi di NTB dan NTT (Gambar 2-1).

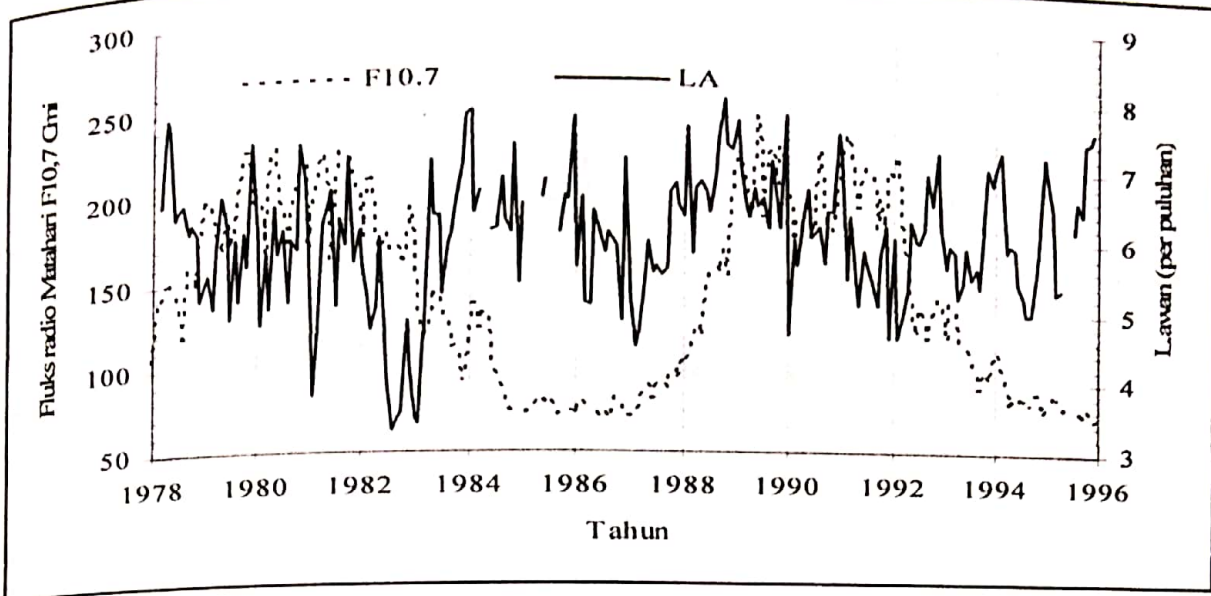
Data aktivitas matahari yang digunakan adalah fluks radio matahari F10,7 cm bulanan yang diperoleh dari National Research Council's Solar Radio Patrol, DRAO, Ottawa Canada (http://WWW.drao.nrc.ca/icaros/www/sol_home.shtml).

Data rata-rata bulanan liputan awan total di atas Indonesia dibandingkan dengan variasi bulanan aktivitas matahari dengan indeks fluks radio matahari F10.7 cm disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 2-2.

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan dilakukan dengan analisis spektral menggunakan perangkat lunak *Weighted Wavelet Z-Transform* (Foster, 1996) yang dikembangkan oleh *The American Association of Variable Star Observers*. Analisis pola variasi jumlah liputan awan dan fluks radio matahari F10,7 cm dilakukan dengan rata-rata bergerak 13 bulan dan harganya dinormalisasikan menjadi selang 0-1.



Gambar 2-1: Pembagian daerah liputan awan berdasarkan pola curah hujan di Indonesia (Sumber Klimatodologi Umum Bayong Tjasyono, 1999). 1). Pola V (A), jenis monsun [$(3^{\circ} - 8^{\circ} \text{ LS})$, $(101^{\circ} - 117^{\circ} \text{ BT})$] 2). Pola B, jenis ekuator [$(5^{\circ} \text{ U} - 3^{\circ} \text{ S})$, $(91^{\circ} - 101^{\circ} \text{ BT})$] + $(109^{\circ} - 117^{\circ} \text{ BT})$], dan 3) Pola kebalikan A (C), jenis lokal [$(1^{\circ} - 11^{\circ} \text{ LS})$, $(121^{\circ} - 133^{\circ} \text{ BT})$]

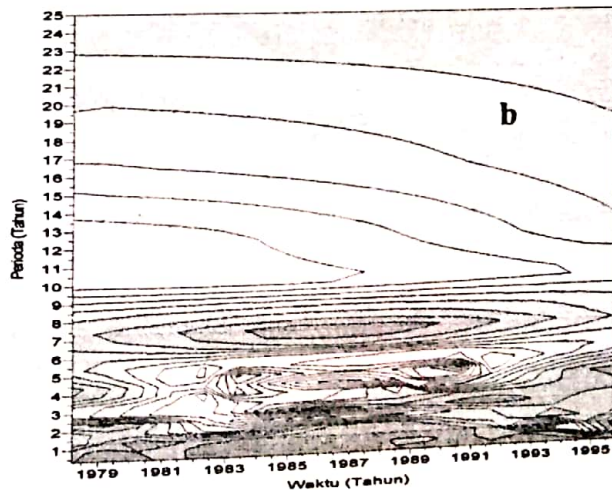
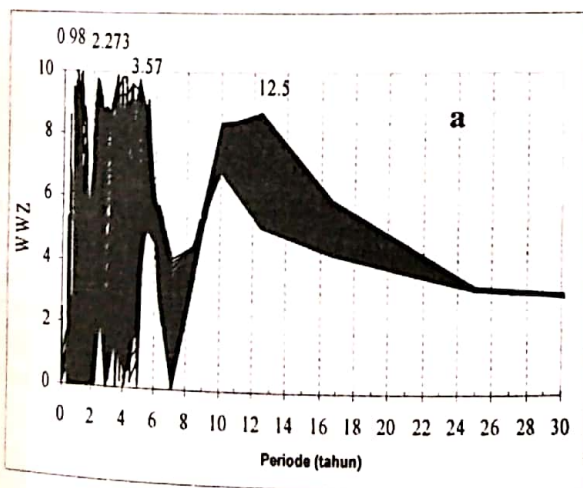


Gambar 2-2: Rata-rata bulanan jumlah liputan awan di atas Indonesia (10°U-12°S; 90°-140° BT) dalam selang 1978-1995 dibandingkan dengan variasi bulanan Fluks radio matahari F10,7 cm dalam kurun 1978-1995

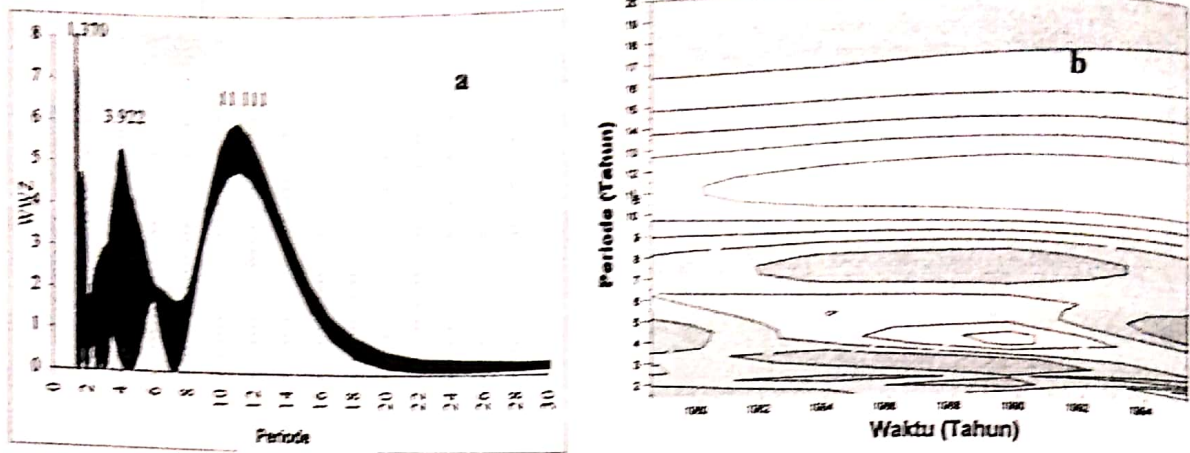
3 HASIL

Membandingkan jumlah liputan awan dan Fluks radio F10,7 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2, sepintas tidak terlihat pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan. Untuk itu, dilakukan pengujian dengan analisis spektral menggunakan program komputer WWZ. Hasilnya disajikan dalam bentuk grafik seperti

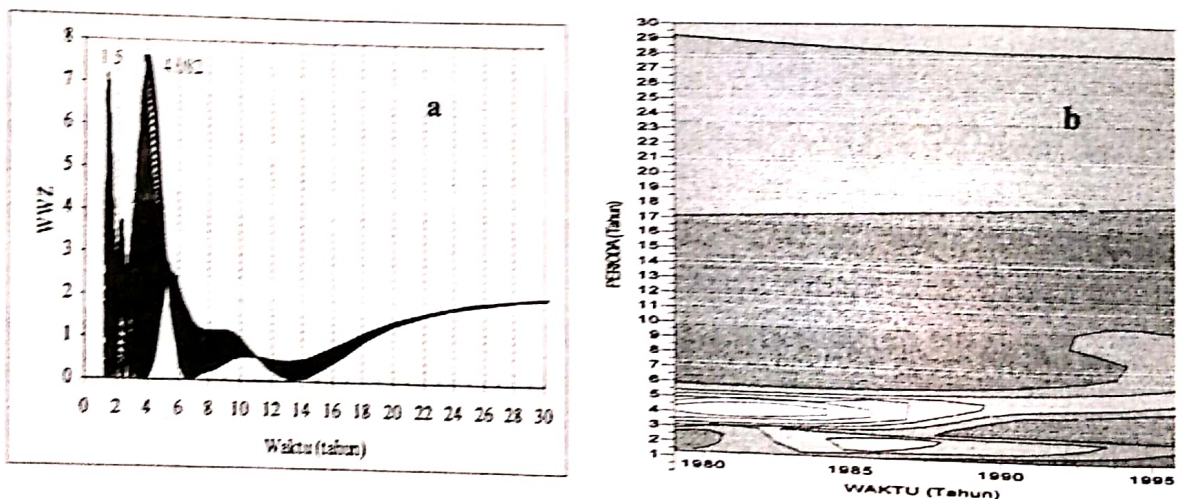
pada Gambar 3-1 sampai dengan Gambar 3-4, masing-masing untuk liputan awan seluruhnya, musim kering, musim hujan, dan musim peralihan, serta Gambar 3-5 sampai dengan 3-7 masing-masing untuk pola curah hujan jenis monsun (Pola A), jenis ekuator (Pola B), dan Jenis lokal (Pola C). Gambar 3-8 menunjukkan hasil analisis spektral fluks radio matahari F10,7



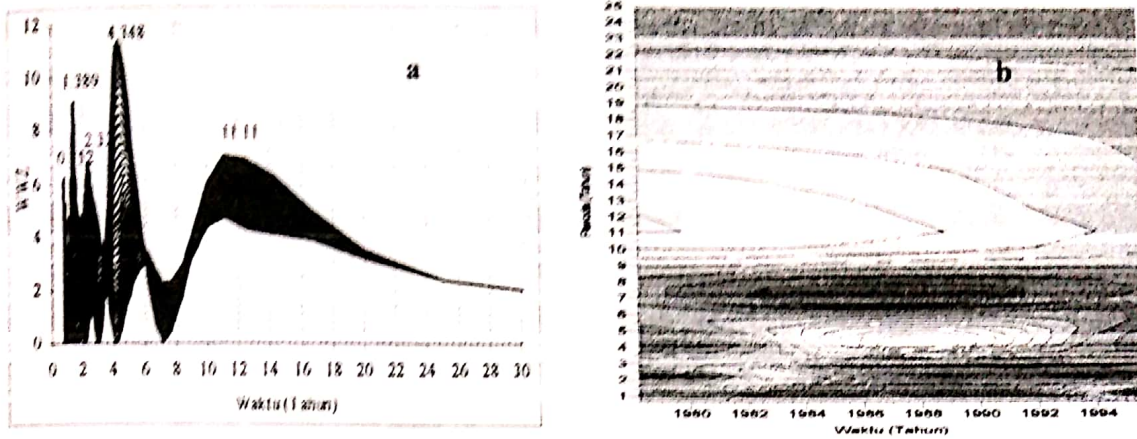
Gambar 3-1: Analisis spektral rata-rata bulanan (seluruh musim) liputan awan di atas Indonesia dalam selang 1978-1995 dengan WWZ dalam bentuk kurva (a) dan kontur (b). Ada 3 periodisitas dominan; periode sekitar 11,10,82 tahun (sedang) berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun, 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan signal ENSO (kuat), dan 0.98 tahun hanya muncul 1994-1995 berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan pada liputan awan



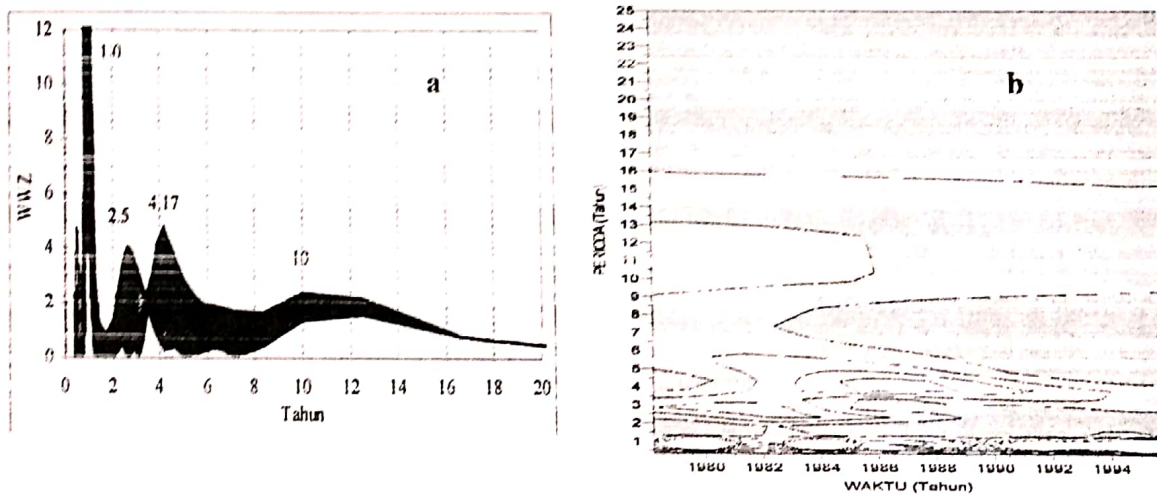
Gambar 3-2: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan musim kering (JJA) di atas Indonesia. Ada 3 periodisitas dominan; periode sekitar 11,11 tahun (kuat) berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun; 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (sedang) dan 1,37 tahun tidak signifikan berkaitan dengan pengaruh musim dan tahunan pada liputan awan



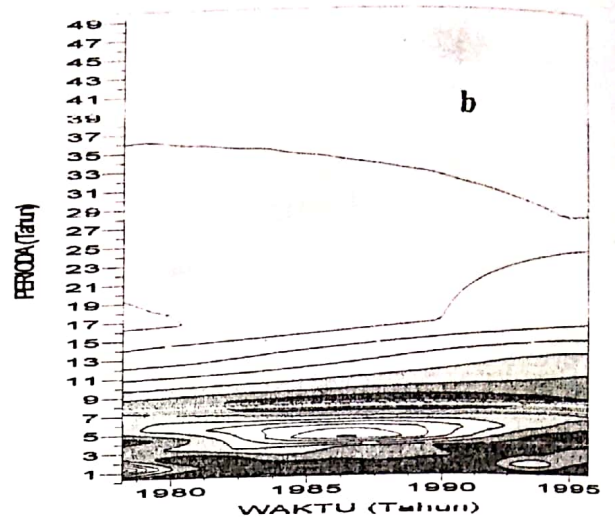
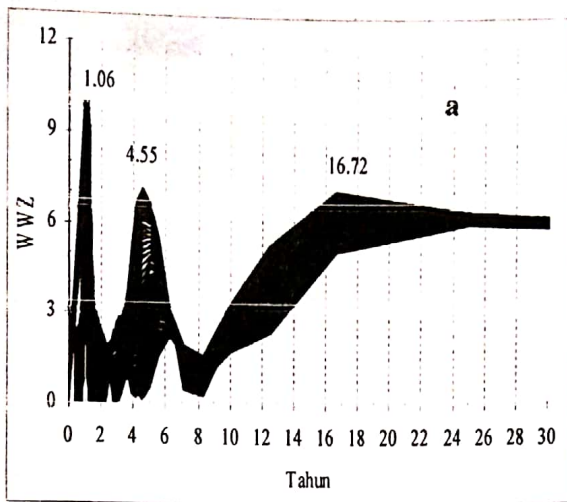
Gambar 3-3: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan musim basah (DJF) di atas Indonesia. Ada 3 periodisitas dominan; periode 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (kuat), dan 2,5 tahun dan 1,5 tahun (kuat) muncul setelah 1984 berkaitan dengan sinyal QBO. Sedang periode 9,09 tahun muncul setelah 1984 berkaitan dengan matahari 11 tahun muncul tetapi sangat lemah pada liputan awan dan hanya muncul sesudah tahun 1992



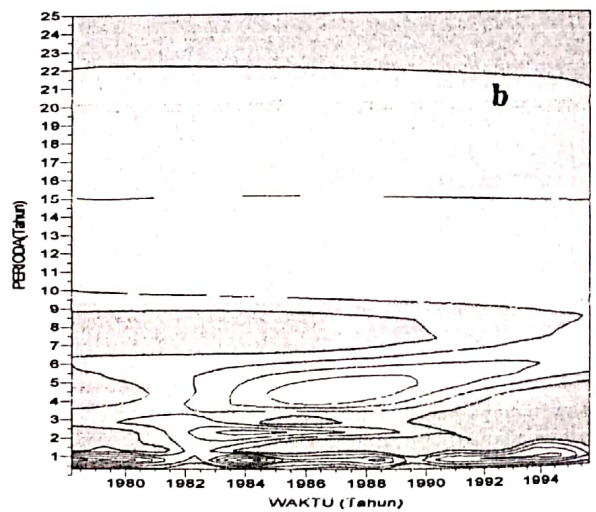
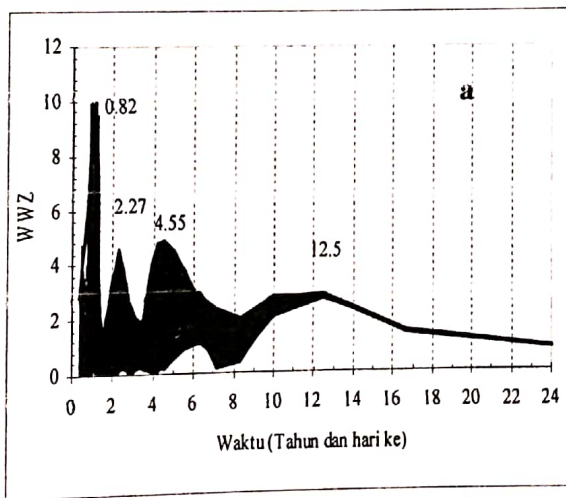
Gambar 3-4: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan musim peralihan (MAM dan SON) di atas Indonesia. Ada 3 periodisitas dominan: periode sekitar 11,11 tahun berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun (sedang), 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (kuat), dan 3 tahun turun ke 2 tahun hanya muncul 1981-1984 (sedang) berkaitan dengan sinyal QBO, dan 0,75 -1,39 tahun lemah berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan pada liputan awan



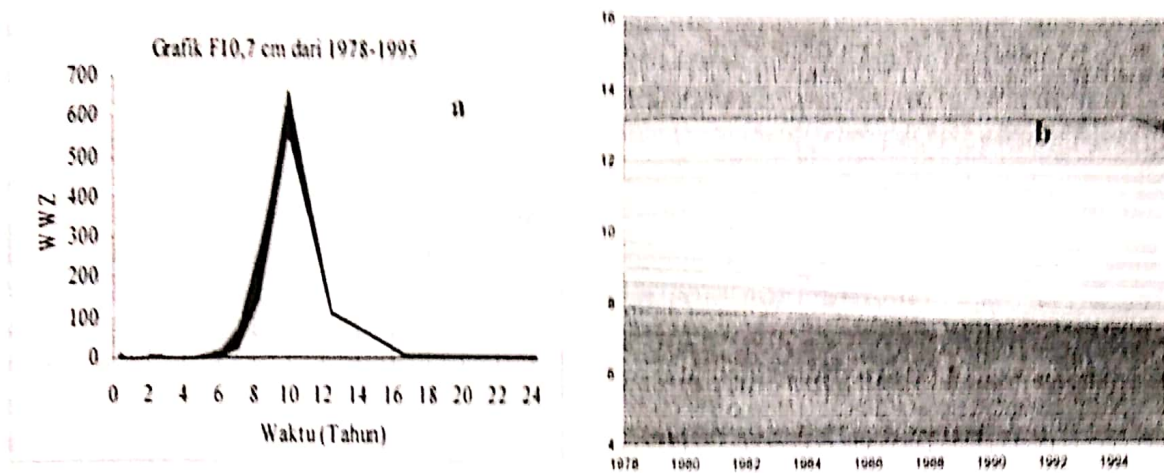
Gambar 3-5: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan jenis monsun (Pola A) di atas Indonesia. Ada 3 periodisitas dominan; periode 10 tahun berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun (lemah), 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (lemah), dan 1 tahun berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan (kuat) pada liputan awan



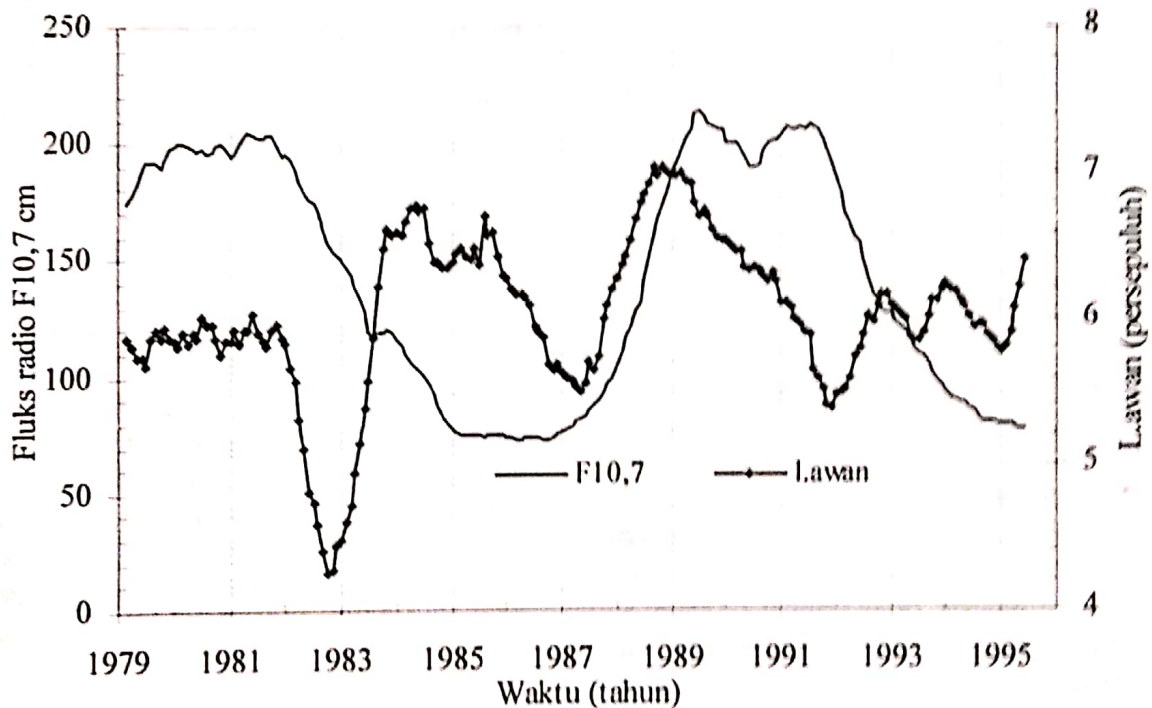
Gambar 3-6: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan jenis ekuator (Pola B) di atas Indonesia. Ada 3 periodisitas dominan; periode 16,72 tahun berkaitan dengan sinyal pasang surut bulan-matahari, 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (sedang), dan 1 tahun berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan (kuat) muncul hanya pada sekitar 1979 dan 1994



Gambar 3-7: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan liputan awan jenis lokal (Pola C) di atas Indonesia (7,5°U-10°S: 90°-140°T)). Ada 3 periodisitas dominan; periode 12,5 tahun berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari 11 tahun (lemah), 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (sedang), dan 1 tahun berkaitan dengan sinyal musiman dan tahunan (kuat) muncul hanya pada sekitar 1979 dan 1994



Gambar 3-8: Sama dengan Gambar 3-1, analisis spektral rata-rata bulanan Fluks radio matahari F10,7 cm dalam kurun waktu 1979-1996. Tampak dengan jelas periode dominan sekitar 10 tahun berkaitan dengan siklus aktivitas matahari dengan periode sekitar 11 tahun



Gambar 3-9: Variasi rata-rata berjalan 13 bulan liputan awan total di atas Indonesia dan fluks radio matahari F10,7 cm dalam kurun 1978-1995. Tampak bahwa liputan awan didominasi oleh pengaruh ENSO dibandingkan dengan pengaruh aktivitas matahari. Anomali-anomali dalam periode waktu 1982/1983, 1986/1987, dan 1991/1992 berkaitan dengan kejadian ENSO (*El Nino* dan *La Nina*) dan kemungkinan pengaruh debu gunung berapi yang tampak berupa lembah dan puncak dari kurva penghalusan liputan awan

Sama dengan analisis spektral pada Gambar 3-1 untuk fluks radio matahari F10,7 cm ditunjukkan dalam

Gambar 3-8. Evolusi periodenya sekitar 10 tahun berkaitan dengan periode aktivitas matahari.

Dari hasil analisis spektral liputan awan yang disajikan dalam Gambar 3-1 sampai dengan Gambar 3-7 tampak tiga periodisitas dominan sekitar 11 tahun berkaitan dengan sinyal aktivitas matahari, 6 tahun turun ke 3 tahun berkaitan dengan sinyal ENSO (*El Nino Southern Oscillation*), dan sinyal musiman dan tahunan. Sinyal lain sekitar 3 tahun turun ke 2 tahun juga muncul yang berkaitan dengan fenomena QBO (*Quasi Biennial Oscillation*). Dari hasil analisis spektral tampak bahwa sinyal aktivitas matahari 11 tahun hampir selalu muncul pada setiap kelompok data liputan awan yang dianalisis, walaupun dominasinya ada yang kuat dan ada yang lemah bergantung kepada kelompok data yang ditinjau. Sinyal aktivitas matahari 11 tahun yang terkuat tampak pada liputan awan untuk musim kering (JJA), sementara pada musim hujan (DJF) sangat lemah. Pada musim peralihan, sinyal aktivitas matahari 11 tahun pada liputan awan sedang, sedangkan pada kelompok data berdasarkan pola curah hujan sinyal aktivitas matahari tidak kuat. Di samping itu, terdapat juga periode 16,72 tahun yang hanya tampak pada liputan awan berdasarkan curah hujan jenis ekuator (pola B). Analisis spektral yang sama juga dilakukan pada fluks radio matahari F10,7 cm yang ditunjukkan pada Gambar 3-8 dengan periode dominannya sekitar 10 tahun berkaitan dengan siklus matahari 11 tahun.

Gambar 3-9 masing-masing menunjukkan pola variasi liputan awan untuk semua kelompok data setelah dimuluskan dengan rata-rata bergerak 13 bulan dan dinormalisasi dengan skala (0-1) dibandingkan dengan aktivitas matahari F10,7 cm. Pola variasi aktivitas matahari berbeda dengan pola variasi liputan awan. Pola variasi liputan awan untuk semua kelompok data didominasi oleh pengaruh ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dengan evolusi periode turun

dari 6 tahun ke 3 tahun dengan periode rata-rata sekitar 4-5 tahun.

Anomali-anomali yang muncul pada Gambar 3-9 yang ditunjukkan berupa lembah dan puncak menunjukkan pengaruh ENSO pada liputan awan di atas Indonesia. Pada periode waktu 1982/1983, 1986/1987, dan 1991/1992 bersamaan dengan kejadian ENSO. El Nino merupakan fasa panas dari osilasi raksasa '*El Nino*', dengan suhu permukaan laut Lautan Pasifik sekitar ekuator bagian tengah dan timur naik hingga 4°C di atas normal. Perubahan ini ternyata tidak berdiri sendirian, tetapi berkaitan dengan perubahan pola angin dan curah hujan di atasnya. Fasa panas *El Nino* berlangsung antara 10-18 bulan dengan periode antara 2-7 tahun dengan rata-rata 4-5 tahun yang kadang-kadang diselingi fasa dingin (*La Nina*). Data kejadian ENSO diperoleh dari: http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/enso_1950-2002e.html.

4 PEMBAHASAN

Hasil analisis spektral wavelet liputan awan untuk semua kelompok data di atas Indonesia seperti yang disajikan masing-masing pada Gambar 3-1 sampai dengan Gambar 3-8. menunjukkan adanya pengaruh aktivitas 11 tahun pada liputan awan. Dari analisis spektral tampak dengan jelas bahwa liputan awan di atas Indonesia didominasi oleh pengaruh ENSO (*El Nino dan La Nina*) dengan evolusi periode 6 tahun turun ke 3 tahun. Selain itu liputan awan di Indonesia juga dipengaruhi oleh QBO (*Quasi Biennial Oscillation*) dengan evolusi periode 3 tahun turun ke 2 tahun, selain dipengaruhi oleh variasi musiman dan tahunan. Dari analisis spektral musiman sinyal aktivitas matahari sangat kuat selama musim kering (JJA) dibandingkan dengan kelompok data liputan yang lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2. Hasil ini memperkuat hasil Djamaluddin (1997) berdasarkan analisis FFT yang menunjukkan pengaruh

aktivitas matahari pada curah hujan paling kuat terjadi pada musim kering. Sementara pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan untuk pola curah hujan musim basah (DJF) tidak begitu kuat, tetapi didominasi oleh pengaruh ENSO dan pengaruh musiman. Jadi kuat dan lemahnya sinyal matahari pada liputan awan bergantung kepada musim dan pola curah hujan di atas Indonesia. Musim dan pola jenis curah hujan turut menentukan kuat dan tidaknya pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan di Indonesia.

Hasil analisis spektral juga menunjukkan periodisitas dominan 16,72 tahun yang tampak pada liputan awan untuk pola hujan jenis ekuator (Gambar 3-6). Menurut Djamaluddin (1998) periode sekitar 17 tahun berkaitan dengan pengaruh pasang-surut bulan yang berperiode 18,6 tahun. Hal ini juga memperkuat penafsiran Djamaluddin (1997) tentang mekanisme pengaruh pasang-surut bulan pada peningkatan curah hujan. Menurutnya, hal ini hanya terjadi pada liputan awan di sekitar ekuator.

Analisis spektral dari fluks radio matahari F10,7 cm dengan periode 10 tahun yang berkaitan dengan periode aktivitas matahari 11 tahun (Gambar 3-8), berbeda dengan analisis spektral pada liputan awan. Djamaluddin (2003) melakukan analisis spektral pada fluks radio matahari F10,7 cm selain mendapatkan periode dominan sekitar 11 tahun juga mendapatkan periode 6 tahun turun ke 3 tahun. Evolusi periode yang serupa dari F10,7 cm, 6 tahun turun ke 3 tahun ini juga tampak pada liputan awan. Hal ini menunjukkan pengaruh aktivitas matahari. Djamaluddin (2003) juga mendapatkan evolusi periode indeks SOI dari ENSO sekitar 5 tahun turun 4 tahun yang hampir serupa dengan periode yang diperoleh pada liputan awan dan fluks radio F10,7 cm. Dengan demikian, ini menunjukkan suatu indikasi bahwa aktivitas matahari dapat mempengaruhi liputan awan maupun ENSO.

Periode 3 tahun turun ke 2 tahun juga tampak pada liputan awan yang tampaknya dipengaruhi oleh QBO.

Dari analisis pola variasi liputan awan yang dibandingkan dengan pola variasi F10,7 cm seperti ditunjukkan dalam Gambar 3-9 jelas adanya anomali pada liputan awan untuk semua kelompok data. Anomali-anomali pada pola variasi jumlah liputan awan, khususnya pada periode waktu 1982/1983 dan 1986/1987, dan 1991/1992 tampak sebagai lembah-lembah dan puncak-puncak kurva. Tahun 1982/1983 terjadi *El Nino* kuat bersamaan dengan jumlah liputan awan sangat rendah. *El Nino* merupakan fasa panas dari osilasi raksasa '*El Nino*', dengan suhu permukaan Lautan Pasifik sekitar ekuator bagian tengah dan timur naik hingga 4°C di atas normal. Sebagai akibatnya sebagian besar wilayah Indonesia mengalami kekeringan, jumlah curah hujan rendah, yang berarti pembentukan awan waktu itu rendah sehingga jumlah liputan awan rendah. Pada 1984-1986, jumlah liputan awan tinggi, dan pada saat itu terjadi *La Nina* 2 kali, yaitu 1983/1984 dan 1984/1985. *La Nina* merupakan fasa dingin (kebalikan dari *El Nino*). Sebagai akibatnya mengalami musim basah/banyak hujan, yang berarti pembentukan awan pada saat itu tinggi, sehingga jumlah liputan awan akan tinggi. Pada tahun 1986/1987 aktivitas matahari mencapai minimum, sementara 1986/1987 terjadi *El Nino* sedang, menyebabkan jumlah liputan awan pada 1987/1988 rendah. Tampaknya aktivitas matahari dan *El Nino* secara bersama-sama mempengaruhi jumlah liputan awan. Pada tahun 1989 aktivitas matahari maksimum puncak pertama (siklus matahari ke 22 dari 1986-1996, dan pada siklus ini terjadi dua puncak maksimum, 1989 dan 1992). Pada 1988/1989 terjadi *La Nina* kuat, yang menyebabkan jumlah liputan awan tinggi. Tampaknya aktivitas matahari dan ENSO secara bersama-sama memberikan kontribusi sehingga liputan awan

cenderung mencapai puncaknya pada 1989 saat aktivitas matahari maksimum. Tahun 1990/1991 terjadi *El Nino* lemah, menyebabkan jumlah liputan cenderung turun sedikit, 1991/1992 terjadi *El Nino* kuat, 1992/1993 terjadi *El Nino* lemah, 1994/1995 terjadi *El Nino* lemah yang menyebabkan jumlah liputan awan cenderung berkurang.

Di samping itu letusan gunung berapi Galunggung dan El-Chicha pada tahun 1982 memberikan kontribusi peningkatan liputan awan di atas Indonesia dalam kurun 1982-1985 (Djamaluddin, 2002). Tahun 1991 terjadi letusan gunung Pinatubo di Philippina, dengan partikel-partikel debu yang mengandung aerosol di atmosfer dan berdampak hampir ke seluruh dunia selama 4 tahun, yaitu sampai dengan 1995. Aerosol bereaksi dengan kandungan atmosfer, terutama asam sulfat dengan reaksi heterogenous, merusak ozone di stratosfer bawah, akibatnya menarik uap air, sehingga dengan sendirinya jumlah liputan awan tinggi. Pada 1995/1996 terjadi *La Nina* lemah, yang menyebabkan jumlah liputan awan naik. Tetapi menurut para peneliti ISCCP (*International Satellite Cloud Climatodology Project*), analisis ISCCP mempunyai permasalahan kalibrasi yang dilakukan pada tahun 1994 terhadap rekaman data liputan awan, sehingga korelasi antara data liputan awan dan fluks sinar kosmik turun secara tajam setelah 1994. Hal ini tampak juga pada pola variasi liputan awan setelah 1994 di atas Indonesia (Gambar 3-9), setelah 1994 jumlah liputan awan naik terus, sementara aktivitas matahari turun hingga minimum pada tahun 1996.

Walaupun analisis spektral menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari, pola variasi aktivitas matahari berbeda dengan pola jumlah liputan awan. Sementara pola variasi liputan awan sangat mirip dengan pola variasi SOI yang terkait dengan fenomena ENSO (Djamaluddin, 2003). Hal ini me-

nunjukkan bahwa pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di atas Indonesia tidak langsung. Tampaknya melalui mekanisme tidak langsung yang terkait dengan fenomena ENSO.

5 KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan terutama diperoleh dari analisis spektral. Kuat dan lemahnya pengaruh aktivitas matahari pada liputan awan bergantung kepada musim dan pola jenis curah hujan. Pengaruh yang terkuat terjadi pada jumlah liputan awan musim kering, dan yang paling lemah pada liputan awan musim basah. Selain itu pengaruh pasang-surut bulan terlihat indikasi pengaruhnya pada jumlah liputan awan untuk pola curah hujan jenis ekuator dengan periode 16,72 tahun.

Anomali liputan awan setelah tahun 1983-1985 dan 1992-1995 kemungkinan terkait dengan aerosol yang berasal dari letusan gunung berapi Galunggung dan El-Chican (1982) dan gunung Pinatobo (1991). Sedangkan Penurunan liputan awan pada 1982, 1986/1987, dan 1991/1992 terkait dengan fenomena ENSO. Mekanisme pengaruh aktivitas matahari pada jumlah liputan awan di atas Indonesia belum jelas, tetapi diduga ada mekanisme yang tidak langsung yang dikaitkan dengan fenomena ENSO. Aktivitas matahari mempengaruhi fenomena ENSO yang selanjutnya mempengaruhi liputan awan di atas Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Comparing El Ninos ,<http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/comparing/enso 1950-2002e.html>.
- Djamaluddin, T., 1997. *Efek Pasang-Surut Bulan dan Aktivitas Matahari pada Curah Hujan di Indonesia*, Majalah LAPAN No. 83, hlm.15.
- Djamaluddin, T., 1998. *Efek Pasang Surut Bulan Aktivitas Matahari pada Penyebaran Awan*, Majalah LAPAN No. 85, hlm. 62.

Djamaluddin, T., 2002. *Influence of Solar Activities, ENSO, and Stratospheric Aerosol on Cloud Amounts Over Western Indonesia*. Presented at International symposium on Equatorial Processes Including Coupling (EPIC), Kyoto, March, 18-22, 2002)

Djamaluddin, T., 2003. *Solar Activity Influence On Climate in Indonesia*, Proc. ISCS 2003, Solar Variability as an Input to the Earth's Environment, Tatranska lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003 (ESA SP-535, Septemebr 2003)

Foster, G., 1996. *Wavelets for Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series*, *Astronomical Journal*, Vol. 112, hlm. 1709.

MSC (Meteorological Satellite Center), 1978-1996. 'Cloud Amount' in "Monthly Report of Meteorological Center", Tokyo.

Svensmark, H. and Friis-Christensen, E., 1997. *Variation of Cosmic Ray flux and Global Cloud Coverage - A missing Link in Solar-Climate Relationship*, *J. Atm. & Solar Terr. Phys.*, 59, 1225.

Tjasyono, B., 1999. *Klimatologi Umum*.