

PENGARUH AKTIVITAS MATAHARI PADA VARIASI CURAH HUJAN DI INDONESIA

Wilson Sinambela , Tiar Dani, Iyus E. Rusnadi dan Jalu Tejo Nugroho

Peneliti Matahari dan Antariksa, LAPAN

Email:wilson@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Solar activities give influence for long-term climate parameter. Ultraviolet radiation, visible radiation and heat radiation is represent the primary factor influencing this earth climate. This radiation parameter is varying to follow the variation of solar activities with periods around 11 year. Research on solar activities influence at precipitation variability over Indonesia during 105 years (1900 – 2005) conducted with the analysis of wavelet and empirical correlation at annual rainfall data, December, January, February (DJF) season data, and June, July, August (JJA) season data that grouped with fuzzy clustering methods. Through the combination of fuzzy clustering method, wavelet transform, and correlation method clarify that precipitation in Indonesia influenced by long-term solar activities. The similarity between rainfall periodicity and that of solar activity, especially about 11- and 22- year is one of the indications of the effect of solar activity on the Indonesian climate parameter. Correlation analyzes using 11 year-running moving averages, showed that the pattern of rainfall anomaly changes follows the pattern of solar activity variability, although they are varies in phase and sometimes are out of phase with it and move ahead in about 15-20 years. Meanwhile, results shows that variation of rainfall in western cluster of Indonesian have a good correlation with a long-term solar activity with approximately-11 years solar cycle length indicators, and the value of the coefficient correlation reaching up to $r = 0.75$. On the contrary, results shows that variation of rainfall in Eastern cluster of Indonesian have a good correlation with solar activity variation and the value of the coefficient correlation reaching up to $r = 0.81$.

ABSTRAK

Aktivitas matahari dapat mempengaruhi parameter iklim jangka panjang. Radiasi ultraviolet, radiasi tampak (*visible*) dan radiasi panas adalah faktor utama yang mempengaruhi parameter iklim bumi. Radiasi-radiasi ini bervariasi mengikuti variasi aktivitas matahari dengan periode sekitar 11 tahun. Penelitian pengaruh aktivitas matahari pada variabilitas curah hujan di atas Indonesia selama 105 tahun (1900-2005) dilakukan dengan analisis *wavelet* dan korelasi empirik pada data variasi tahunan curah hujan, musim

DJF dan JJA yang telah dikelompokkan dengan metode *fuzzy clustering*. Melalui kombinasi metode *fuzzy clustering*, *wavelet*, dan metode korelasi memperjelas bahwa curah di Indonesia dipengaruhi oleh aktivitas matahari jangka panjang. Kesamaan periodisitas curah hujan dengan aktivitas matahari, terutama periode -11 dan 22-tahun, merupakan indikasi pertama pengaruh aktivitas matahari pada variabilitas iklim Indonesia. Dari hasil analisis keterkaitan antara bilangan *sunspot* dan curah hujan dengan menggunakan pemulusan rata-rata bergerak 11 tahun dari rata-rata tahunan, curah hujan cenderung mengikuti pola variasi aktivitas matahari jangka panjang walaupun variasi curah hujan ada yang sefasa dan yang mendahului, variasi bilangan *sunspot* berkisar 15-20 tahun. Sementara itu, hasil analisis menunjukkan bahwa variasi curah hujan di cluster Indonesia Barat mempunyai korelasi yang baik dengan aktivitas matahari jangka panjang dengan indikator panjang siklus matahari sekitar 11 tahun, dan koefisien korelasinya mencapai $r = 0,75$. Sedangkan variasi curah hujan di cluster Indonesia Timur memiliki korelasi yang baik dengan variasi siklus matahari-11 tahun dan koefisien korelasinya bisa mencapai 0,81.

Kata kunci : *Variabilitas curah hujan, Aktivitas matahari, Panjang siklus matahari, Fuzzy Clustering*

1 PENDAHULUAN

Aktivitas matahari menyebabkan perubahan-perubahan besar dari plasma dan populasi partikel-partikel energetik, dan perubahan-perubahan ini berakibat pada Antariksa yang mempengaruhi bumi dan lingkungannya. Cuaca antariksa dapat berdampak pada atmosfer atas dan dapat mempengaruhi variasi iklim jangka panjang. Keluaran energi matahari diketahui berubah mengikuti variasi siklus aktivitas matahari dengan periode utama sekitar 11 tahun dan periode yang lebih panjang. Zhao dkk (2003) melakukan analisis spektral *wavelet* pada bilangan *sunspot* yang menghasilkan beberapa periode yang jelas antara lain, sekitar 11, 22, 33, 78, dan 179 tahun, dan bervariasi terhadap waktu. Periode sekitar 11 tahun (*Siklus Schwabe*) terkait dengan siklus bilangan *sunspot*, 22 tahun (siklus magnetik *Hale*) terkait dengan perubahan magnetik matahari, 33 tahun terkait dengan siklus *Bruckner* (1890), dan 78 tahun terkait dengan siklus *Gleissberg* (1944) aktivitas matahari. Rentang panjang siklus matahari 11 tahun juga tidak konstan tetapi bervariasi terhadap waktu.

Aktivitas matahari dapat mempengaruhi parameter iklim, termasuk variasi curah hujan dengan berbagai cara dan skala waktu yang berbeda. Pertama, karena matahari merupakan penyumbang energi terbesar bagi permukaan bumi, maka setiap ada perubahan keluaran radiatif matahari juga akan mempengaruhi kesetimbangan energi permukaan bumi. Kedua, perubahan spektrum radiasi matahari yang bervariasi mengikuti siklus matahari 11 tahun terutama pada pita radiasi ultraviolet (UV) matahari,

pengaruhnya bertambah pada lapisan stratosfer yang pada gilirannya dapat mempengaruhi troposfer bawah (tempat fenomena iklim). Terakhir, matahari dapat juga mempengaruhi awan dan aktivitas hujan melalui media sinar kosmik galaksi (*Galactic Cosmic Ray/GCR*) yang merupakan sumber ion-ion. Karena pembentukan awan merupakan fungsi dari suhu lingkungan (suhu *ambient*), setiap perubahan dari suhu *ambient* atmosfer bumi langsung mempengaruhi pembentukan tetesan air yang akan mempengaruhi variabilitas curah hujan.

Sejumlah studi (Hiremath dan Mandi, 2004) menunjukkan *forcing* matahari pada iklim global bumi dan lingkungan. Beberapa gejala, parameter dan variabel di permukaan bumi (baik skala global, regional, maupun lokal) menunjukkan tanggapan yang signifikan terhadap variasi keluaran matahari antara lain adalah suhu permukaan laut (*SST*) di tiga lautan utama (lautan Atlantik, Pasifik dan lautan Hindia), suhu permukaan daratan, curah hujan, konsentrasi ozon, *Quasi-biennial Oscillation* (QBO), ketinggian isobar tertentu, dan fluks sinar kosmik galaksi dengan liputan awan. Studi sebelumnya (Anantha Krishnan dan Parthasarathy, 1985; Beer et al., 1990; Labitzke dan van Loon, 1997; Parthasarathy et al., 1993; Haigh, 2001; Hiremath dan Mandi, 2004; Bhattacharya dan Narashima 2005; Hiremath, 2005) menunjukkan korelasi kuat antara aktivitas matahari dan variabilitas curah hujan monsun. Pengaruh aktivitas matahari terhadap curah hujan juga memiliki karakteristik lokal yang jelas, bergantung pada waktu, posisi geografik dalam skala lokal, regional bahkan global dengan waktu tunda dan tanpa waktu tunda dengan korelasi positif, negatif atau tidak berkorelasi.

Oleh karena itu, dalam makalah ini akan dibahas penelitian pengaruh aktivitas matahari pada variasi iklim Indonesia berdasarkan kajian dan analisis data deret waktu variasi curah hujan di Indonesia dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar pengaruh aktivitas matahari pada variasi curah hujan jangka panjang di Indonesia. Jika ketergantungan curah hujan terhadap aktivitas matahari diketahui, diharapkan prediksi iklim jangka panjang di Indonesia dapat dilakukan lebih teliti, sehingga dapat digunakan sebagai masukan untuk mengurangi dampaknya.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Parameter aktivitas matahari yang digunakan dalam penelitian ini adalah deret waktu data bilangan *sunspot* bulanan yang bersumber dari kompilasi *Royal Observatory of Belgium dan Sunspot Index Data Center* (SIDC) (<http://www.astro.oma.be/SIDC>), dan data variasi panjang siklus matahari (*Solar Cycle Length/SCL*) (Gleissberg, 1944). Sementara parameter iklim yang dipergunakan adalah deret waktu data variasi anomali curah hujan di atas wilayah Indonesia $\{(95^\circ - 145^\circ) \text{ BT}; (10^\circ \text{LU} - 15^\circ \text{LS})\}$ yang diambil dari data global anomali curah hujan bulanan NOAA dengan *grid* ($5^\circ \times 5^\circ$) dalam

rentang tahun 1900-2005 (http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ghcn/ghcngrid_prpc.html).

Wilayah Indonesia yang luas memiliki anomali curah hujan yang berbeda-beda untuk masing masing *grid* selama rentang waktu tahun 1900-2005 (105 tahun data). Dengan menggunakan teknik *Data Mining* akan lebih mudah memisahkan data anomali curah hujan berdasarkan tingkat kemiripan nilai anomali curah hujan antar *grid* dalam rentang 105 tahun data, sehingga pengolahan dan analisis data lebih mudah dilakukan. Teknik clustering yang dilakukan adalah *fuzzy clustering* menggunakan perangkat lunak NCSS 2007 yang diambil dari internet. Data anomali curah hujan hasil clustering ini kemudian diolah menggunakan teknik spektral *wavelet* untuk melihat sinyal-sinyal yang dominan dari aktivitas matahari pada anomali curah hujan di Indonesia.

2.2 Metode

Tahap awal dikembangkan basis data acuan untuk keseluruhan tahapan penelitian, yaitu deret waktu data bilangan *sunspot*, dan data anomali curah hujan di atas Indonesia. Pada tahap pertama yang dilakukan adalah mengekstraksi data anomali curah hujan bulanan per *grid* di atas wilayah Indonesia $\{(95^{\circ}-145^{\circ}) \text{ BT}; (10^{\circ} \text{ LU}-15^{\circ} \text{ LS})\}$ yang diambil dari data global NOAA *grid* $(5^{\circ} \times 5^{\circ})$ untuk kurun waktu tahun 1900-2005, dengan menggunakan perangkat lunak khusus yang dibuat dalam bahasa *FORTRAN*. Data anomali curah hujan ini kemudian dihitung rata-rata tahunannya. Pada saat bersamaan, juga dilakukan ekstraksi data anomali curah hujan bulanan di atas Indonesia untuk bulan Desember, Januari dan Februari (seterusnya disebut musim DJF) dan untuk bulan Juni, Juli, dan Agustus (seterusnya disebut musim JJA) untuk setiap *grid*. Data Musim DJF dan JJA ini juga diolah menjadi rata-rata tahunan. Kemudian dilakukan pengclusteran data tersebut dengan menggunakan teknik *fuzzy clustering* yang terdapat pada perangkat lunak NCSS 2007, baik untuk keseluruhan data anomali curah hujan musim DJF dan JJA, sehingga menghasilkan cluster-cluster yang memiliki pola kemiripan nilai anomali curah hujan untuk masing-masing *grid* di wilayah Indonesia.

Tahap berikutnya melakukan analisis spektral *wavelet* pada cluster-cluster anomali curah hujan di Indonesia dengan bantuan piranti lunak *The Weighted Wavelet Z-Transform/WWZ* (Foster, 1996). Maksudnya untuk menyelidiki sinyal-sinyal dominan pada anomali curah hujan di Indonesia. Setelah diketahui sinyal-sinyal dominannya terutama sinyal-sinyal yang terkait dengan aktivitas matahari, maka tahap selanjutnya dilakukan analisis korelasi empirik untuk mengetahui berapa besar pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada anomali curah hujan di Indonesia.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

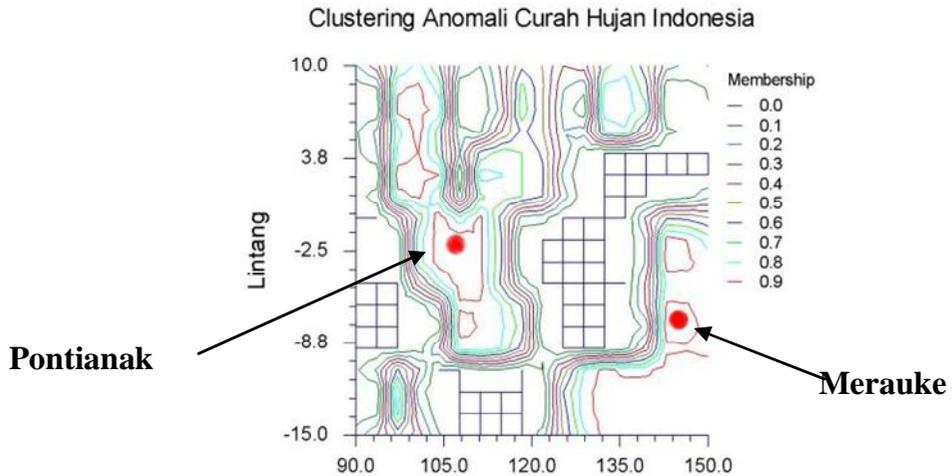
3.1 Hasil *Clustering* Data Anomali Curah Hujan Indonesia

Pengelompokan (*Clustering*) data anomali curah hujan di Indonesia yang telah diekstrak dari data bulanan global dalam kurun waktu tahun 1900 – 2005 dengan bantuan teknik *fuzzy clustering* menggunakan perangkat lunak NCSS 2007 pada data anomali curah hujan Indonesia, data musim DJF, dan musim JJA yang menghasilkan dua cluster besar. Gambar 3-1 menunjukkan pengclusteran anomali curah hujan Indonesia yang menghasilkan dua cluster besar yaitu, cluster Indonesia Barat, berpusat di sekitar Pontianak dengan posisi geografis ($0^{\circ} 01,23'20''$ LS; $109^{\circ} 21,18'31''$ BT), dan cluster Indonesia Timur, berpusat di sekitar Merauke dengan posisi geografis ($8^{\circ} 29,45'65''$ LS; $140^{\circ} 23,40'16''$ BT). Dengan proses yang sama dilakukan pengclusteran terhadap data anomali curah hujan musim DJF untuk tiap-tiap grid dalam kurun waktu yang sama. Pengclusteran anomali curah hujan musim DJF ini juga menghasilkan dua cluster besar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-2. Pusat cluster Indonesia Barat masih berpusat di sekitar Pontianak, sedangkan untuk pusat cluster Indonesia Timur bergeser ke arah selatan di sekitar Teluk Carpentaria (Australia) dengan posisi geografis ($12,5^{\circ}$ LS; $137,5^{\circ}$ BT). Sementara Gambar 3-3 menunjukkan pengclusteran anomali curah hujan musim JJA, yang juga menghasilkan dua cluster besar. Pusat cluster Indonesia Barat masih berpusat di sekitar wilayah Pontianak, dan pusat cluster Indonesia Timur bergeser ke arah utara di sekitar Jayapura dengan posisi geografis ($2^{\circ}32,35'37''$ LS; $140^{\circ} 42,53'86''$ BT). Dua cluster besar hasil pengelompokan ini selanjutnya disingkat sebagai cluster KIB untuk cluster Indonesia Barat, dan cluster KIT untuk cluster Indonesia Timur. Selain itu, proses *fuzzy clustering* juga terlihat bahwa batas antar cluster sama dengan batas daerah hujan antara KIB dan KIT yaitu pada garis bujur 120° BT.

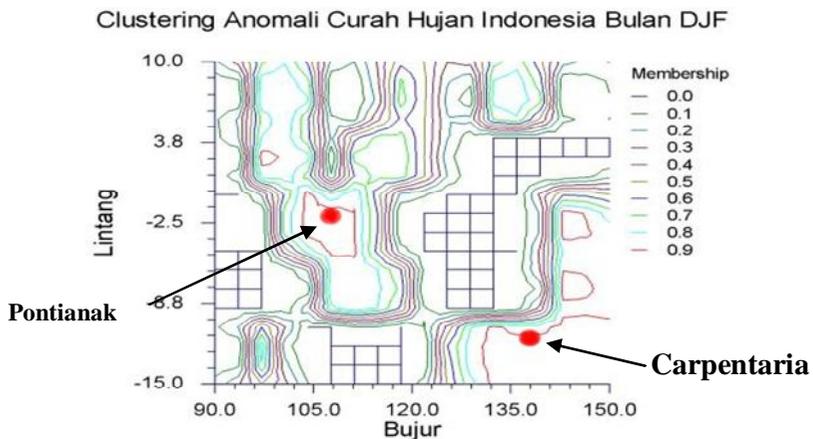
3.2 Analisis Spektral Wavelet Anomali Curah Hujan Indonesia

3.2.1 Analisis spektral wavelet anomali curah hujan Indonesia

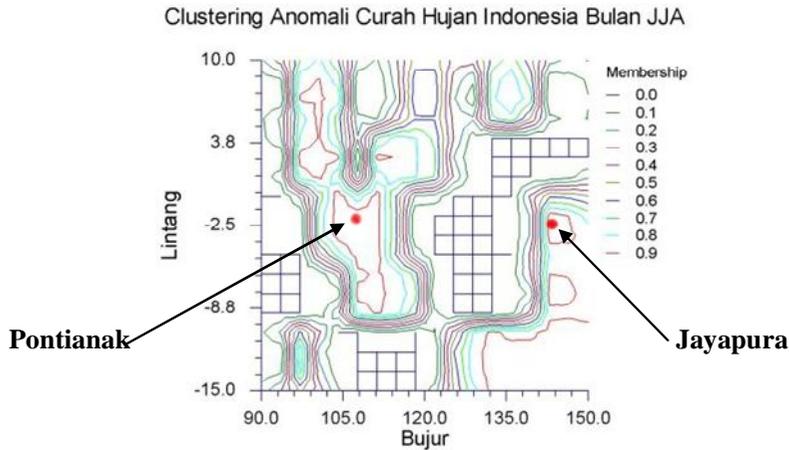
Analisis spektral *wavelet* dari data anomali curah hujan Indonesia, data setiap anggota cluster musim DJF dan musim JJA dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *WWZ*. Maksudnya adalah untuk menyelidiki sinyal-sinyal dominan yang muncul pada anomali curah hujan tersebut, khususnya sinyal-sinyal yang berasal dari aktivitas matahari. Gambar 3-4 menunjukkan hasil analisis *WWZ* dari anomali curah hujan tahunan Indonesia.



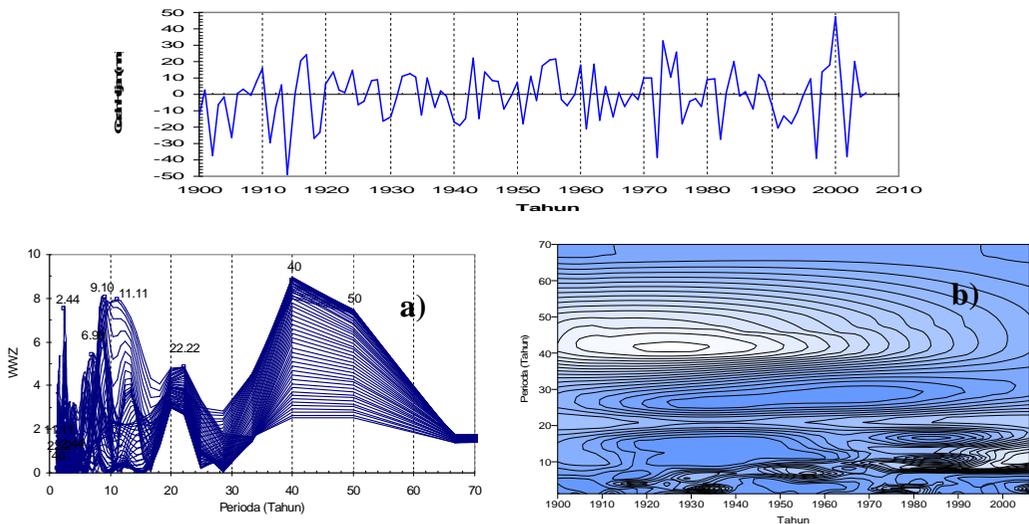
Gambar 3-1: Pengelompokan (*Fuzzy clustering*) anomali curah hujan Indonesia menghasilkan 2 (dua) cluster besar. Cluster KIB berpusat di sekitar Pontianak ($0^{\circ}01'23''\text{LS}$; $109^{\circ}21,18'31''\text{BT}$), dan cluster KIT berpusat di sekitar Merauke ($8^{\circ}29,45'65''\text{LS}$; $140^{\circ}23,40'16''\text{BT}$) (bulatan merah). Dua cluster anomali curah hujan ini dibatasi oleh garis bujur 120° BT



Gambar 3-2: Pengelompokan (*Fuzzy clustering*) anomali curah hujan musim DJF menghasilkan 2 (dua) cluster besar. Cluster KIB berpusat di sekitar Pontianak ($0^{\circ} 01,23'20''\text{LS}$; $109^{\circ}21,18'31''\text{BT}$) dan cluster KIT bergeser ke selatan yang berpusat di sekitar di Teluk Carpentaria Australia ($12,5^{\circ}\text{LS}$; $137,5^{\circ}\text{BT}$) (bulatan merah). Dua cluster anomali curah hujan ini dibatasi oleh garis bujur 120° BT.



Gambar 3-3: Pengelompokan (*Fuzzy clustering*) anomali curah hujan musim JJA menghasilkan 2 (dua) cluster besar. Cluster KIB berpusat di sekitar Pontianak ($0^{\circ} 01,23'20''$ LS; $109^{\circ} 21,18'31''$ BT), dan *cluster* KIT kembali bergeser ke arah utara yang berpusat di sekitar Jayapura ($2^{\circ}32,35'37''$ LS; $140^{\circ}42,53'86''$ BT) (bulatan merah). Dua cluster anomali curah hujan ini dibatasi oleh garis bujur 120° BT

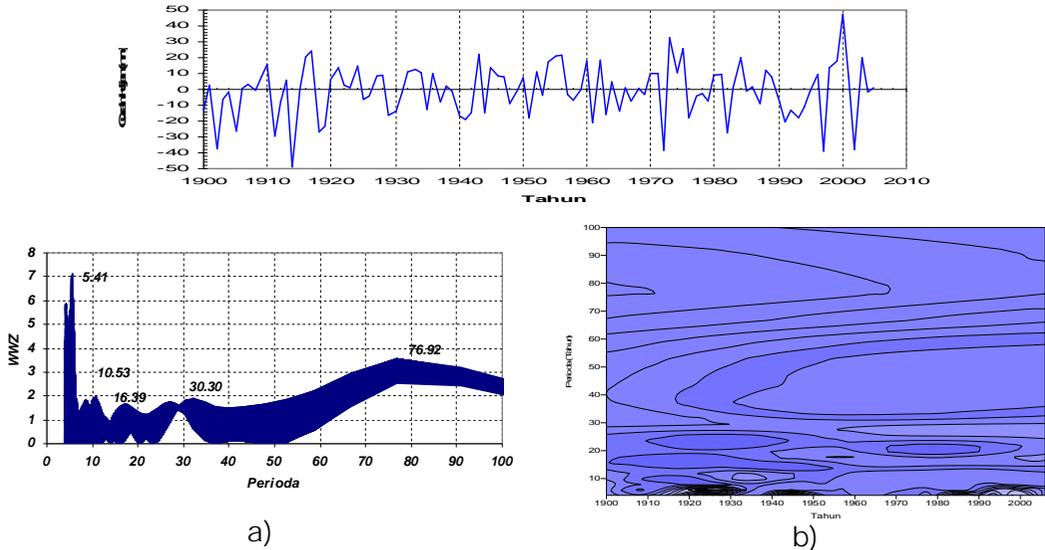


Gambar 3-4: Panel atas, data rata-rata tahunan variasi anomali curah hujan Indonesia dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis *WWZ* variasi anomali curah hujan Indonesia, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 2,4 tahun (kuat), 6,9 tahun (sedang), (9,10-11,11) tahun (sangat kuat), 22,22 tahun (sedang), dan (40-50) tahun (sangat kuat)

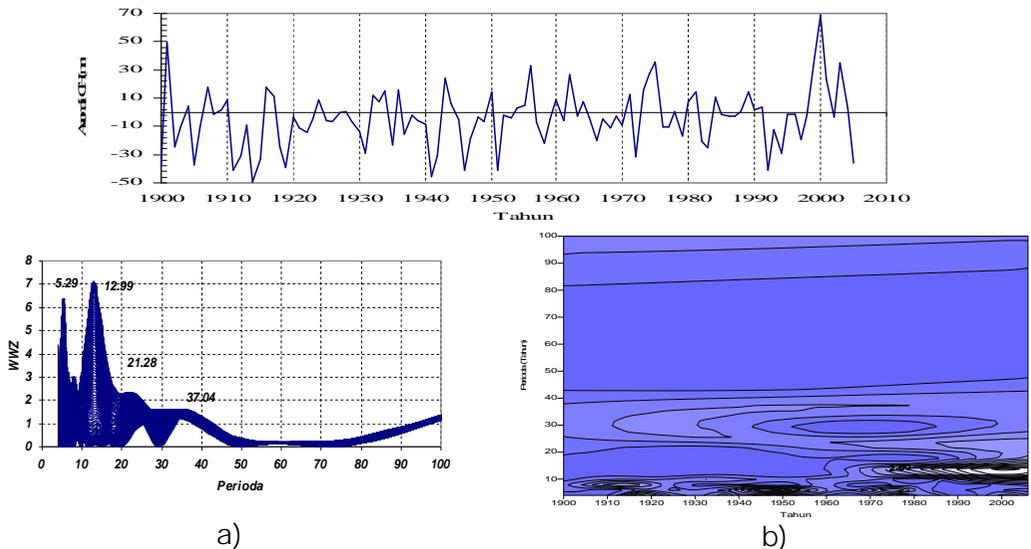
Sinyal-sinyal dengan periode sekitar 2,4 tahun tampak kuat, dan 6,9 tahun tampak sedang terkait dengan efek *Quasi Biennial Oscillation (QBO)*, dan *El Nino Sourthen Oscillation (ENSO)*. Sinyal-sinyal dengan periode sekitar, (9, 10-11, 11) tahun tampak kuat terkait dengan efek siklus aktivitas matahari-11 tahun, 22,22 tahun tampak sedang terkait dengan efek siklus magnetik Hale, dan (40-50) tahun tampak sangat kuat terkait dengan efek siklus aktivitas matahari antar dekadean. Gambar 3-4a menunjukkan puncak-puncak amplitudo dari setiap periode, sementara Gambar 3-4b menunjukkan kontur evolusi dari setiap periode anomali curah hujan yang didapat dengan bantuan piranti lunak *Winsurf*, yang menyatakan bahwa setiap periode tidak konstan, tetapi bervariasi terhadap waktu.

Gambar 3-5 menunjukkan hasil analisis spektral *WWZ* dari rata-rata tahunan anomali curah hujan Indonesia untuk cluster KIB. Tampak adanya sinyal-sinyal aktivitas matahari pada anomali curah hujan untuk cluster KIB meskipun lemah. Sinyal *QBO* dan *ENSO* tampak sangat kuat dibandingkan dengan sinyal-sinyal dari aktivitas matahari dengan periode sekitar 10,53 tahun, 16,39 tahun terkait dengan efek pasang surut bulan-matahari, 30,3 tahun terkait dengan siklus *Bruckner* aktivitas matahari, dan periode sekitar 76,92 tahun tampak sedang terkait dengan siklus *Glessberg* aktivitas matahari.

Gambar 3-6 menunjukkan hasil analisis spektral *WWZ* dari anomali curah hujan Indonesia untuk cluster KIT. Tampak adanya beberapa periode yang muncul untuk cluster KIT. Sinyal dengan periode sekitar 5,29 tahun tampak sangat kuat terkait dengan efek fenomena *ENSO*, tetapi periode sekitar 12,99 tahun yang terkait dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun lebih menonjol. Tampak juga sinyal-sinyal jangka panjang dengan periode sekitar 21,28 tahun yang terkait dengan siklus magnetik Hale, dan 37,04 tahun yang terkait dengan siklus matahari antar dekadean tetapi lemah. Dari kedua gambar tersebut tampak bahwa aktivitas matahari mempengaruhi anomali curah hujan Indonesia, baik untuk cluster KIB, dan cluster KIT, meskipun tidak sebesar pengaruh fenomena *QBO* dan *ENSO*.



a) b)
 Gambar 3-5: Panel atas, data variasi rata-rata tahunan anomali curah hujan Indonesia untuk cluster KIB dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis WWZ variasi data anomali curah hujan cluster KIB, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 4-6 tahun (sangat kuat), (10-11) tahun (sedang), 16,39 tahun (sedang), 25 tahun (lemah), 33,33 tahun (lemah), dan sekitar 76,92 tahun (sedang)

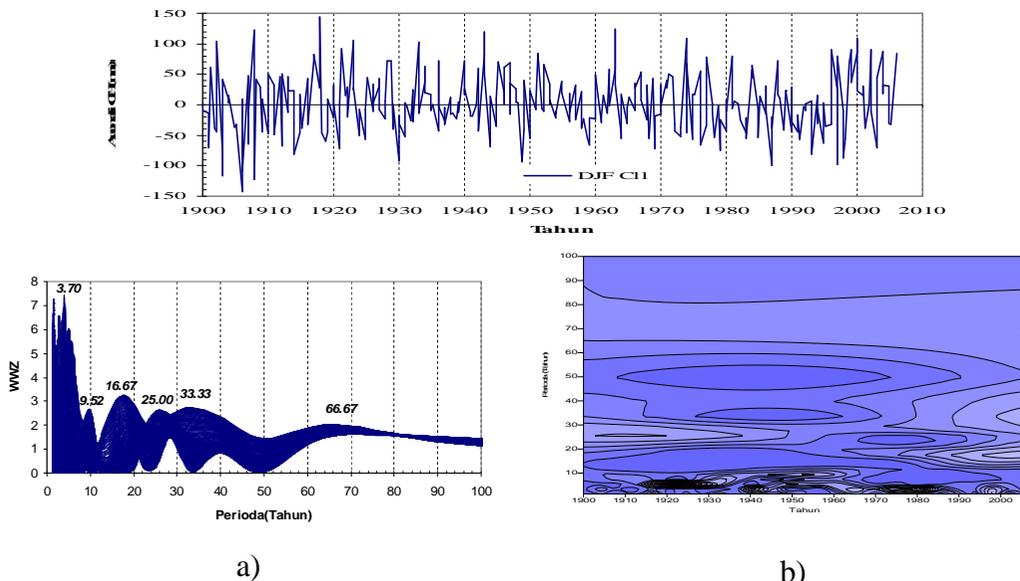


a) b)
 Gambar 3-6: Panel atas, data variasi rata-rata tahunan anomali curah hujan tahunan Indonesia untuk cluster KIT dalam selang tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis WWZ variasi data anomali curah hujan cluster KIT, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 5,29 tahun (sangat kuat), 12,99 tahun (sangat kuat), 21,28 tahun (lemah), dan sekitar 37,04 tahun (lemah)

Selain itu, tampak bahwa pengaruh aktivitas matahari lebih besar untuk *cluster* KIT daripada untuk *cluster* KIB. Hal ini diduga disebabkan oleh perbedaan penyerapan energi radiasi matahari. Untuk *cluster* KIT terdapat lautan lebih luas sehingga lebih banyak menyerap energi radiasi matahari dibandingkan dengan *cluster* KIB. Seperti diketahui energi radiasi matahari yang dipancarkan akan bertambah dengan bertambahnya tingkat aktivitas matahari.

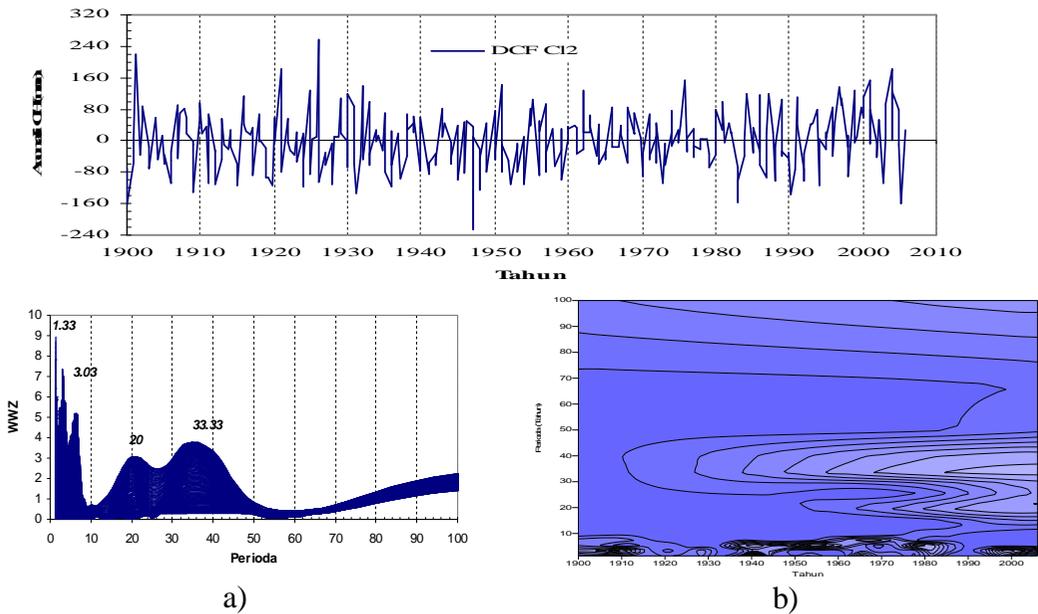
3.2.2 Analisis spektral *wavelet* anomali curah hujan Indonesia musim DJF

Dengan proses yang sama dilakukan analisis spektral *wavelet* pada anomali curah hujan musim DJF untuk *cluster* KIB, dan untuk *cluster* KIT. Gambar 3-7 menunjukkan analisis *WWZ* pada anomali curah hujan musim DJF untuk *cluster* KIB dalam kurun waktu yang sama. Dari gambar tersebut, sinyal dengan periode sekitar (1,5 dan 3,7) tahun tampak sangat kuat dibandingkan dengan sinyal-sinyal aktivitas matahari dengan periode-periode sekitar (9,5; 16,67; 25; 33,33, dan 66,67) tahun yang lemah. Sinyal dengan periode sekitar 9,5 tahun terkait dengan efek siklus matahari 11 tahun, 16,67 tahun terkait dengan efek pasang surut bulan-matahari, 25 tahun terkait dengan efek siklus magnetik Hale, 33,33 tahun terkait dengan efek siklus *Bruckner*, dan sekitar 66,67 tahun terkait dengan efek siklus Gleissberg aktivitas matahari.



Gambar 3-7: Panel atas, variasi data anomali curah hujan musim DJF untuk *cluster* KIB dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis *WWZ* variasi data anomali curah hujan *cluster* KIB, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 3,70 tahun (sangat kuat), 9,5 tahun (lemah), 16,67 tahun (lemah), 25 tahun (lemah), 33,33 tahun (lemah), dan 66,67 tahun (lemah)

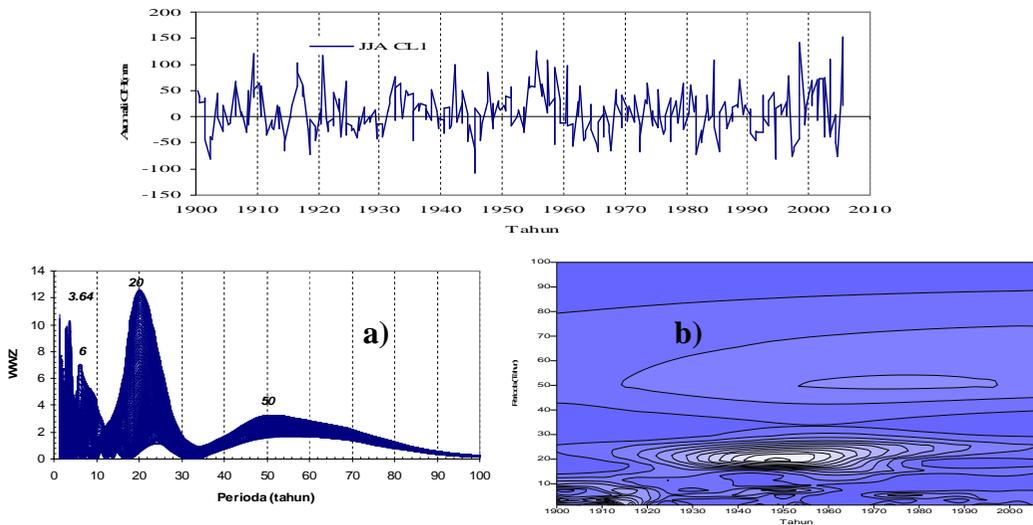
Gambar 3-8 menunjukkan hasil analisis *WWZ* dari anomali curah hujan musim DJF untuk cluster KIT. Dari gambar tersebut, sinyal-sinyal dengan periode sekitar (1,3-6,45) tahun tampak sangat kuat dibandingkan dengan sinyal-sinyal aktivitas matahari dengan periode (20, dan 33,33) tahun. Sinyal dengan periode sekitar 20 tahun terkait dengan efek siklus magnetik Hale (22 tahun), dan 33,33 tahun terkait dengan efek siklus *Bruckner* aktivitas matahari. Dari kedua gambar tersebut tampak bahwa efek fenomena *QBO* dan *ENSO* memberikan pengaruh yang lebih besar pada anomali curah hujan untuk cluster Indonesia Barat dan cluster Indonesia Timur dibandingkan dengan pengaruh aktivitas matahari jangka panjang. Seperti diketahui, pada bulan-bulan musim DJF posisi matahari berada di selatan khatulistiwa. Hal ini dapat menjelaskan mengapa sinyal-sinyal matahari lebih kuat pada anomali curah hujan untuk cluster KIT (walaupun lemah) dibandingkan dengan sinyal-sinyal aktivitas matahari pada anomali curah hujan untuk cluster KIB. Hal ini juga diduga menyebabkan pengaruh terhadap terjadinya musim kering di cluster KIT dan musim basah di cluster KIB.



Gambar 3-8: Panel atas, variasi data anomali curah hujan musim DJF untuk cluster KIT dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis *WWZ* variasi data anomali curah hujan cluster KIT, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 1,33 tahun (sangat kuat), 3,03 tahun (sangat kuat), 20 tahun (lemah), dan 33,33 tahun

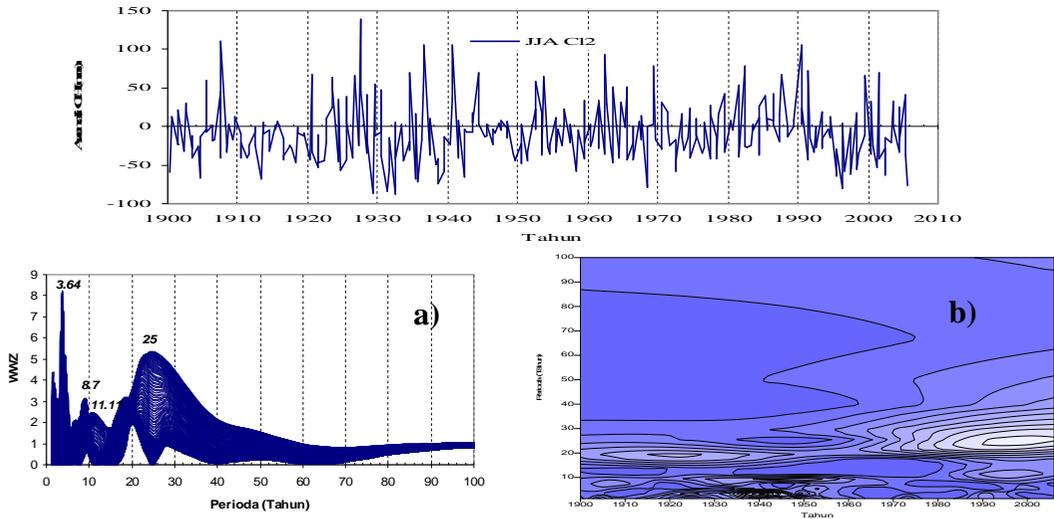
3-2-3 Analisis spektral *wavelet* anomali curah hujan Indonesia musim JJA

Dengan proses yang sama dilakukan analisis spektral *wavelet* pada anomali curah hujan untuk musim JJA. Gambar 3-9 menunjukkan hasil analisis *WWZ* pada anomali curah hujan musim JJA untuk cluster KIB. Dari gambar tersebut, sinyal dengan periode sekitar 20 tahun tampak lebih kuat terkait dengan efek siklus magnetik Hale dibandingkan dengan sinyal-sinyal *QBO* dan *ENSO* dengan periode sekitar (1,3 dan 6) tahun. Selain itu muncul juga sinyal aktivitas dengan periode sekitar 50 tahun yang tampak lemah terkait dengan siklus aktivitas matahari antar dekadean.



Gambar 3-9: Panel atas, variasi data anomali curah hujan musim JJA untuk cluster KIB dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis *WWZ* variasi data anomali curah hujan cluster KIB, dan b) evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar (3,64-6) tahun (sedang), 20 tahun (sangat kuat), dan 50 tahun (lemah)

Gambar 3 -10 menunjukkan hasil analisis *WWZ* anomali curah hujan musim JJA untuk cluster KIT. Tampak bahwa sinyal-sinyal *QBO* dan *ENSO* dengan periode sekitar (1,3 dan 3,64) tahun muncul sangat kuat dibandingkan dengan sinyal-sinyal aktivitas matahari dengan periode sekitar (8,7-11,11,dan 25) tahun. Periode sekitar (8,7-11,11) tahun terkait dengan siklus aktivitas matahari 11 tahun dan 25 tahun terkait dengan efek siklus magnetik Hale.



Gambar 3-10: Panel atas, variasi data anomali curah hujan musim JJA untuk cluster KIT dalam kurun waktu tahun 1900-2005. Panel bawah, a) Hasil analisis *WWZ* variasi data anomali curah hujan cluster KIT, dan b) Evolusi kontur dari periode dominannya. Tampak sejumlah sinyal-sinyal dengan puncak dan evolusi periodenya sekitar; 3,64 tahun (sangat kuat), (8,7-11,11) tahun (lemah), dan sekitar 25 tahun (sangat kuat)

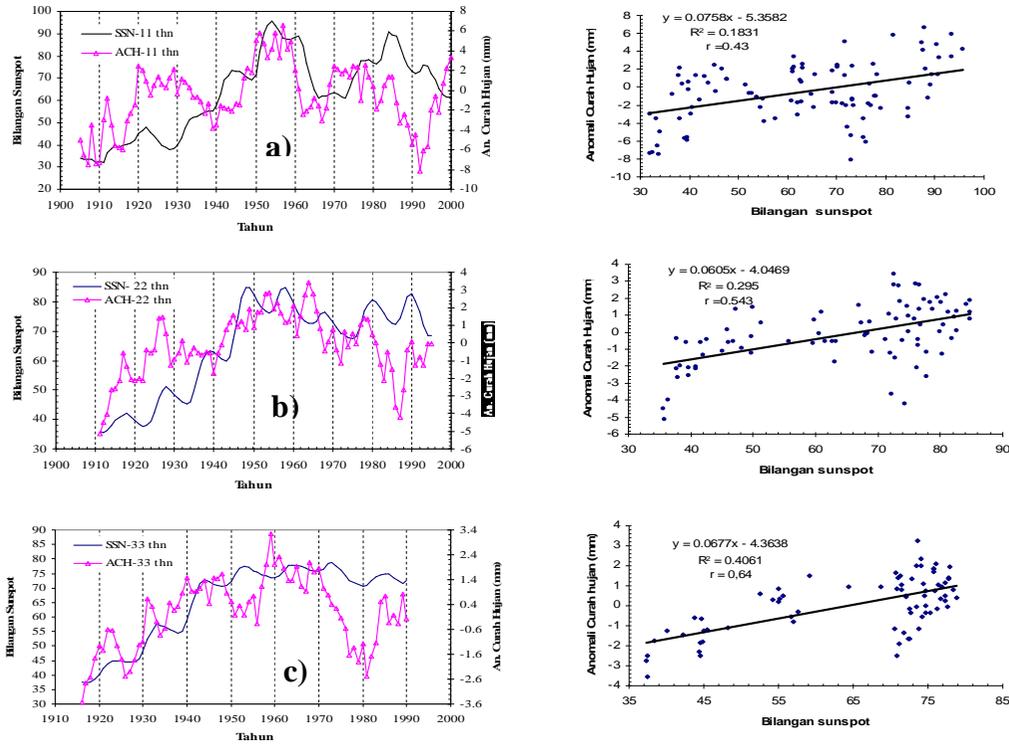
Pada bulan-bulan musim JJA posisi matahari berada di sebelah utara khatulistiwa, sehingga di wilayah Indonesia terjadi musim kering untuk cluster KIB, dan musim basah untuk cluster KIT. Sinyal-sinyal aktivitas matahari pun muncul sangat kuat pada anomali curah hujan untuk cluster KIB (terutama siklus magnetik Hale 22 tahun) dan berskala sedang pada anomali curah hujan untuk cluster KIT.

3-3 Hasil Analisis Korelasi Curah Hujan Indonesia dengan Aktivitas Matahari

Dari hasil-hasil analisis spektral *wavelet* anomali curah hujan baik untuk anomali curah Indonesia, maupun untuk setiap anggota cluster yang memiliki kesamaan periodisitas dengan aktivitas matahari terutama dengan periode-periode sekitar (9-11), (22-25), (30-50), dan (67-76,92) tahun, menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada anomali curah hujan di Indonesia. Untuk menyelidiki lebih lanjut berapa besar pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada rata-rata tahunan dari anomali curah hujan di Indonesia dilakukan analisis korelasi empirik setelah dilakukan terlebih dahulu pemulusan dengan rata-rata bergerak 11, 22, 33 tahun dari ke dua set data yang dikorelasikan. Tujuan pemulusan ini adalah untuk mengeliminasi pengaruh-pengaruh fenomena *QBO* dan *ENSO* yang memiliki periode lebih pendek daripada periode aktivitas matahari. Zhao dkk (2003) juga melaporkan bahwa selama rentang waktu (1870-2002) terjadi

persitiwa *El.Nino* sebanyak 32 kali yang jelas sangat mempengaruhi curah hujan di wilayah Indonesia.

Gambar 3-11 menunjukkan hubungan antara rata-ran tahunan bilangan *sunspot* dan variasi anomali curah hujan Indonesia setelah melakukan pemulusan dengan rata-rata bergerak masing-masing, 11, 22, dan 33 tahun.

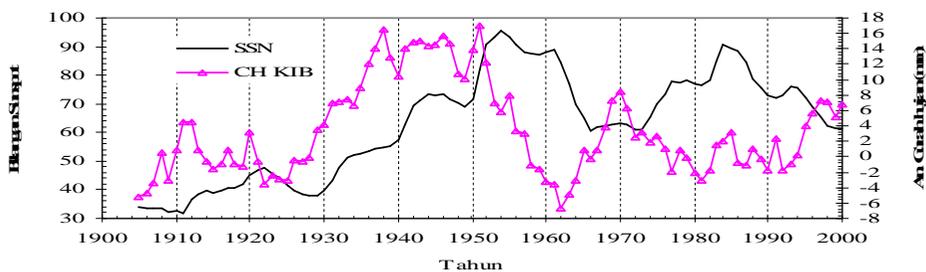


Gambar 3-11: Panel kiri; Hubungan antara rata-ran tahunan dari bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan Indonesia masing-masing untuk, a) rata-rata bergerak 11 tahun, b) 22 tahun, dan c) 33 tahun. Panel kanan; Koefisien korelasi antara bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan setelah pemulusan masing-masing sebesar, a) $r = 43$ (RMA-11 tahun), b) $r = 543$ (RMA - 22 tahun), dan c) $r = 0,64$ (RMA - 33 tahun)

Sebenarnya, penggunaan rata-rata bergerak (*running mean moving averages/RMA*) adalah bentuk khusus dari *low-pass filter* dan pemulusan dengan rata-rata bergerak akan memperlemah kebebasan himpunan data, karena tingkat kebebasan akan berkurang, tetapi koefisien korelasi yang diperoleh akan bertambah. Dari Gambar 3-11, tampak bahwa pemulusan data masing-masing dengan rata-rata bergerak 11, 22, dan 33 tahun variasi curah hujan dari rata-ran tahunan cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*. Makin tinggi derajat pemulusan data, maka hubungan kedua parameter makin baik yang dibuktikan oleh koefisien korelasinya yang meningkat dari $r = 0,061$ (untuk rata-rata tahunan) menjadi $r = 0,43$ (pemulusan

dengan rata-rata bergerak-11 tahun), 0.543 (pemulusan dengan rata-rata bergerak-22 tahun), dan 0,64 (pemulusan dengan rata-rata bergerak-33 tahun). Ini menunjukkan bahwa aktivitas matahari jangka panjang memberikan kontribusi yang besar mempengaruhi curah hujan di Indonesia. Hasil ini juga didukung oleh hasil analisis *wavelet* anomali curah hujan tahunan di Indonesia (Gambar 3-4) bahwa aktivitas matahari jangka panjang, (terutama siklus 11 tahun dan 40-50 tahun sangat kuat) memberikan pengaruh yang kuat pada curah hujan di Indonesia

Dengan cara yang sama dilakukan analisis korelasi antara rataan tahunan dari bilangan *sunspot* dan curah hujan Indonesia untuk cluster KIB setelah dimuluskan dengan rata-rata bergerak 11 tahun curah hujan dan bilangan *sunspot* yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3-12.

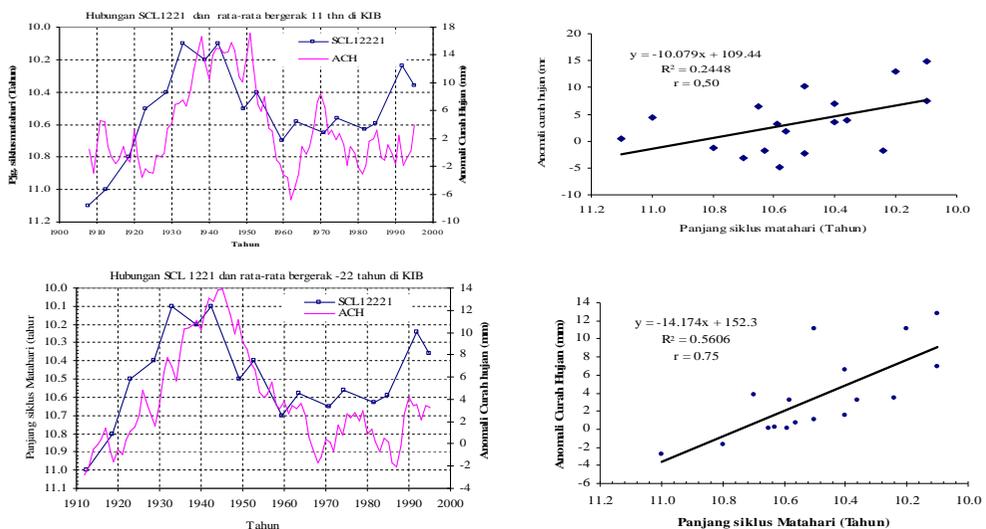


Gambar 3-12: Hubungan antara rataan tahunan dari bilangan-bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan Indonesia untuk cluster KIB setelah dimuluskan dengan rata-rata bergerak 11 tahun dalam kurun waktu 1900-2005. Tampak bahwa anomali curah hujan untuk cluster KIB mendahului sekitar (15-20) tahun daripada perubahan bilangan *sunspot*

Dari Gambar 3-12, tampak jelas bahwa variasi anomali curah hujan untuk cluster KIB cenderung mengikuti pola bilangan *sunspot*, tetapi pola curah hujan mendahului sekitar (15-20) tahun daripada perubahan bilangan *sunspot*. Hasil ini, mirip dengan yang ditemukan oleh Friis-Christensen dan Lassen (1991), ketika mereka menghubungkan antara bilangan *sunspot* dan suhu permukaan global selama kurun waktu tahun 1750-1990, dengan suhu permukaan mendahului sekitar 20 tahun daripada perubahan bilangan *sunspot*, dan kemudian, ternyata berkorelasi sangat baik dengan panjang siklus matahari. Hasil analisis *WWZ* dari anomali curah hujan untuk cluster KIB dengan periode lebih panjang sekitar 76,92 tahun seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 3-5 yang terkait dengan siklus Gleissberg aktivitas matahari tampak lebih kuat mempengaruhi curah hujan untuk cluster KIB dibandingkan dengan pengaruh aktivitas matahari lainnya dengan periode yang lebih pendek daripada siklus Gleissberg tersebut.

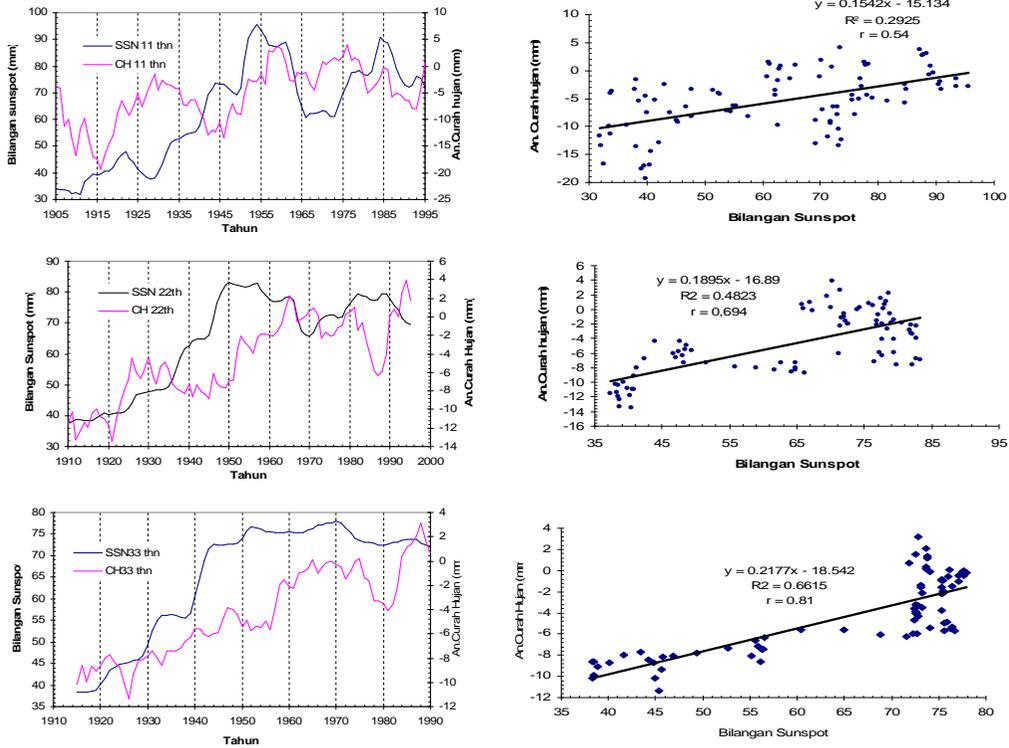
Oleh karena itu, maka anomali curah hujan untuk cluster KIB dihubungkan dengan panjang siklus matahari menggunakan filter 12221 (*SCL12221*) sebagai indikator aktivitas matahari. Hasilnya ditunjukkan

dalam Gambar 3-13. Dari gambar tersebut, tampak bahwa pola variasi curah hujan cenderung mengikuti pola panjang siklus matahari. Data variasi curah hujan yang bersesuaian waktunya dengan data panjang siklus matahari ditentukan dengan metode *fitting*. Koefisien korelasi dihitung dengan anggapan bahwa hubungan kedua set data adalah linier. Tampak bahwa curah hujan untuk cluster KIB ternyata berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari SCL12221, bukan dengan bilangan *sunspot*-nya. Koefisien korelasi makin meningkat dengan meningkatnya derajat pemulusan dengan rata-rata bergerak, dari koefisien korelasi 0,12 untuk deret waktu data tahunan anomali curah hujan meningkat menjadi koefisien korelasi sebesar $r = 0,50$ (untuk rata-rata bergerak 11 tahun), dan $r = 0,75$ (untuk rata-rata bergerak 22 tahun). Seperti diketahui bahwa panjang siklus matahari 11 tahun tidak konstan, tetapi bervariasi terhadap aktivitas matahari. Interpretasi fisis dari panjang siklus matahari adalah jika interval panjang siklus matahari pendek menyatakan aktivitas matahari tinggi, akibatnya energi radiasi yang dipancarkan oleh matahari lebih besar, sebaliknya interval panjang siklus matahari lebih panjang menyatakan aktivitas matahari rendah, akibatnya energi radiasi matahari yang dipancarkan oleh matahari lebih rendah. Tampaknya parameter panjang siklus matahari menjadi indikator dari variasi keluaran energi total matahari yang lebih panjang dari 11 tahun, yang pada gilirannya berakibat pada variasi jangka panjang dari curah hujan di cluster Indonesia Barat.



Gambar 3-13: Panel kiri, analisis hubungan antara panjang siklus matahari SCL12221 dan rataan tahunan anomali curah hujan setelah dilakukan pemulusan dengan rata-rata bergerak masing-masing 11, dan 22 tahun untuk cluster KIT. Panel kanan, koefisien korelasi antara panjang siklus matahari SCL12221 dan hujan rata-rata bergerak 11 tahun, dan 22 tahun dari rataan tahunan, masing-masing sebesar $r = 0,50$ dan $r = 0,75$

Gambar 3-14 menunjukkan hubungan antara rata-rata tahunan bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan Indonesia untuk cluster KIT dalam rentang tahun 1900-2005, setelah dilakukan pemulusan dengan rata-rata bergerak masing-masing dengan 11, 22 dan 33 tahun dari rata-rata tahunan.



Gambar 3-14: Panel kiri, hubungan antara rata-rata tahunan bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan tahunan untuk cluster KIT, setelah dilakukan pemulusan masing-masing dengan rata-rata bergerak-11 tahun (atas), 22-tahun (tengah), dan 33-tahun (bawah). Panel kanan, koefisien korelasi antara bilangan *sunspot* dan anomali curah hujan, dengan koefisien korelasi masing-masing sebesar $r = 0,54$ (atas), $r = 0,70$ (tengah), dan $r = 0,81$ (bawah)

Tampak bahwa variasi curah hujan tahunan mengikuti pola bilangan *sunspot*, dan memiliki korelasi yang baik. Makin tinggi derajat pemulusan yang dilakukan terhadap kedua parameter yang dihubungkan makin erat hubungan antara variasi aktivitas matahari dan curah hujan tahunan untuk cluster KIT. Hal itu dapat dilihat dari koefisien korelasi yang meningkat masing-masing dari koefisien korelasi $r = 0,09$ untuk variasi tahunan antara kedua set data (sebelum dilakukan pemulusan data) meningkat menjadi $r = 0,54$ (pemulusan dengan rata-rata bergerak 11 tahun), dan $r = 0,70$ (untuk rata-rata bergerak 22 tahun), dan $r = 0,81$ (untuk rata-rata bergerak 33 tahun). Hasil ini juga didukung oleh hasil analisis *wavelet* dari anomali

curah hujan untuk cluster KIT (Gambar 3-6) bahwa aktivitas matahari jangka panjang memberikan pengaruh yang lebih kuat dibandingkan dengan anomali curah hujan untuk cluster KIB, terutama siklus aktivitas matahari 11 tahun sangat kuat. Jadi variasi curah hujan untuk cluster Indonesia Timur sama halnya dengan variasi curah hujan di seluruh Indonesia dipengaruhi langsung oleh aktivitas matahari dengan indikator bilangan *sunspot*, tetapi pengaruh aktivitas matahari pada variasi curah hujan untuk cluster KIT lebih kuat dibandingkan dengan pengaruhnya pada variasi curah hujan untuk seluruh wilayah Indonesia.

4 KESIMPULAN

Variasi curah hujan di Indonesia terbagi atas dua cluster besar, yaitu Cluster Indonesia Barat dan Cluster Indonesia Timur, baik itu untuk data tahunan, data musim DJF maupun data musim JJA. Adanya dua cluster ini menunjukkan bahwa variasi curah hujan di Indonesia juga dipengaruhi salah satunya oleh pola pergerakan matahari yang berpindah dari 23.5° LU ke 23.5° LS sepanjang tahun mengakibatkan perubahan pola angin dan tekanan yang mempengaruhi variasi curah hujan di Indonesia. Dua cluster besar ini dibatasi oleh garis batas daerah hujan, yaitu pada garis 120° BT.

Adanya sinyal-sinyal dari aktivitas matahari pada anomali curah hujan untuk semua cluster, yang tampak lemah ataupun kuat pada data tahunan, data musim DJF maupun data musim JJA memperlihatkan bahwa energi radiasi matahari turut memberikan pengaruhnya terhadap curah hujan di Indonesia. Walaupun mekanisme fisis pengaruh aktivitas matahari pada variabilitas curah hujan sampai saat ini belum difahami seutuhnya. Sinyal-sinyal dari anomali curah hujan yang berkaitan dengan aktivitas matahari mulai dari periode sekitar, 11 tahun (siklus *sunspot* 11 tahun), 22 tahun (siklus magnetik Hale), (33-37) tahun (siklus matahari Brucner), (40-50) tahun (siklus matahari antar dekade), hingga periode jangka panjang 70-90 tahun (siklus matahari Gleissberg) menunjukkan adanya pengaruh aktivitas matahari jangka panjang pada variasi curah hujan di Indonesia. Untuk pengaruh jangka pendek pada curah hujan di Indonesia masih didominasi oleh pengaruh fenomena *ENSO* (periode sekitar 3-7 tahun), dan fenomena *QBO* (periode sekitar 22-34 bulan).

Diperoleh pula bahwa anomali curah hujan di Indonesia dan anomali curah hujan untuk Cluster Indonesia Timur, baik untuk data tahunan, musim DJF maupun musim JJA selalu muncul sinyal-sinyal aktivitas matahari yang lebih kuat dibandingkan dengan sinyal aktivitas matahari pada anomali curah hujan untuk Cluster Indonesia Barat, karena penyerapan energi radiasi matahari lebih besar untuk Cluster Indonesia Timur yang mempunyai lautan lebih luas dibandingkan dengan di Cluster Indonesia Barat. Kuat lemahnya sinyal-sinyal aktivitas matahari pada curah hujan, secara kuantitatif menunjukkan bahwa tidak setiap daerah

memberikan tanggapan yang sama terhadap variasi aktivitas matahari, yang tampaknya bergantung kepada wilayah, topografi (darat atau laut), dan pola curah hujan di Indonesia.

Kecenderungan pola yang mirip antara variasi curah hujan dan bilangan *sunspot* tahunan membuktikan bahwa variasi curah hujan di wilayah Indonesia dan untuk Cluster Indonesia Timur pada umumnya dipengaruhi oleh siklus aktivitas matahari 11 tahun. Sementara curah hujan untuk KIB ternyata berkorelasi baik dengan panjang siklus matahari SCL1222. Tampaknya variasi curah hujan jangka panjang untuk Cluster Indonesia Barat, bukan dipengaruhi oleh bilangan *sunspot*-nya (sebagai indikator aktivitas matahari), tetapi dipengaruhi oleh panjang siklus matahari yang terkait dengan siklus Gleissberg (70-90) aktivitas matahari. Panjang siklus matahari bervariasi dengan aktivitas matahari, interval panjang siklus matahari lebih pendek, aktivitas matahari kuat, sehingga energi radiasi yang dipancarkan oleh matahari lebih besar, sebaliknya interval panjang siklus matahari lebih panjang menyatakan aktivitas matahari rendah, sehingga energi radiasi matahari yang dipancarkan oleh matahari lebih rendah. Pengaruh aktivitas matahari pada variasi curah hujan ada yang bersifat global, lokal maupun regional dengan waktu tunda dan dengan tanpa waktu tunda.

DAFTAR RUJUKAN

- Anantha Krishnan, R. dan R. Parthasarathy, 1985. *J.Clim*, Vol.4, hal. 149.
- Beer, J.; Mende, W.; and Stellmacher, R., *The Role of Sun in Climate Forcing*. Quat. Sci.Rev., 2000, Vol.19, hal.403-415.
- Bhattacharya, S. dan R. Narashimha, 2005. *Geophys.Res.Lett*, Vol.32, hal. L05813.
- Bruckner, 1890. *Geographische Abhandlugen*, Vol.14, hal.325.
- Foster, G., 1996. *Wavelets for Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series*, *Astronomical Journal*, Vol.112, hal. 1709.
- Friis-Christensen, E. dan Lassen, K., 1991. *Length of the Solar Cycle : An Indicator of Solar Activity Closely Assciated with Climate*, *Science*, Vol.254, hal. 698-700.
- Gleissberg W., 1944. *A Table of Secular Variations of Solar Cycle*, *Terr. Magn. Atm. Electr.* 49, hal.243-244.
- Haigh, J., 1996. *The Impact of Solar Variability on Climate*. *Science* 272, hal. 981-984.
- Hiremath K.M., 2005. *Influence of Solar Activity on the Rainfall over India*, *Astrophysics Journal*, Vol. 27, hal. 367-372.
- Hiremath, K. M. dan P. I. Mandi, 2004. *Influence of Solar Activity on the Indian Monsoon Rainfal*, *New Astronomy*, vol.9, hal. 651-662.

- Labitzke, K. dan van Loon, 1997. *The Signal of the 11-Year Sunspot Cycle in the Upper Troposphere - Lower Stratosphere*, Space Sci. Rev.80, hal. 393-410.
- Parthasarathy, B.; K. Rupa Kumar; dan A. Munnot, 1993. *Homogeneous Indian Monsoon Rainfall: Variability and Prediction*, Proc. Indian. Acad. Sci. (Earth Planet. Sci), Vol. 102, hal. 121-155.
- Zhao J.; Yan-Ben Han; dan Zhi-An Li, 2003. *The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area*, Journal of Beijing Normal University (Natural Science, 35 (1).