

KETERKAITAN AKTIVITAS MATAHARI DENGAN SUHU PERMUKAAN LAUT {*SEA SURFACE TEMPERATURE/SSI*} DAN ENSO DI ATAS INDONESIA

**Wilson Slnambela, Tiar Dani, dan Iyus E. Rusnadi
Peneliti Matahari dan Antariksa, LAP AN**

ABSTRACT

This paper presents the relationships between long-term solar activities and sea surface temperature (SST) anomalies over Indonesian regions. Analysis on the relationships between these parameters is carried out by using wavelet-base analysis techniques and correlation analysis. The wavelet Transform-base analysis (WWZ) for SST anomaly time series are grouped for overall Indonesian SST (SSTI), Western Indonesia SST (SST KIB), Middle Indonesian (SST KITeng) and Eastern Indonesian SST (SST KIT). And also grouped by season, dry season (JJA) and wet season (DJF) during the period of 1860-2005. The WWZ result for SST anomaly time series over Indonesia show some long period main signals with periods of 83 year, (50, 33, 25) year, (9-13) year which are suspected to be associated with solar activity cycles of 80-110 year (Gleissberg cycle), 50 year (interdecadal cycle), 22 year (cycle Hale) and 11-year of solar activity. There are also appear some signals with shorter periods of (3-7) year, (1.5-2.7) year, and (0.5-1) year which are suspected to be associated with ENSO, QBO, and seasonal / annual effects, respectively. From the results of long-term correlation analysis between solar activities with solar cycle length indicators and the 11 and 22 year running moving average Indonesian SST anomalies show good correlation for all data, group. While the SST over KIT shows a negative correlation, but during period of 1950-2005 shows a positive correlation.

ABSTRAK

Makalah ini mengemukakan hasil penelitian keterkaitan aktivitas matahari jangka panjang dengan anomali suhu permukaan (Sea Surface Temperature/SST) di atas Indonesia. Analisis keterkaitan antara kedua parameter yang dikaji dilakukan dengan teknik analisis berbasis wavelet dan analisis korelasi. Analisis berbasis transformasi wavelet (WWZ) terhadap deret waktu anomali SST Indonesia yang dikelompokkan berdasarkan kawasan Indonesia keseluruhan (SSTI), Kawasan Indonesia Barat (SST KIB), Indonesia Tengah (SST KITeng) dan SST Kawasan Indonesia Timur (SST KIT) dan berdasarkan musim kemarau (JJA) dan musim Hujan (DJF) dalam selang

waktu antara 1860-2005. Hasil WWZ deret waktu anomali SST di atas Indonesia menunjukkan sejumlah sinyal utama dengan periode panjang pada periode-periode 83 tahun, (50; 33,35; 25) tahun, (9-13) tahun yang diduga berasosiasi dengan siklus-siklus aktivitas matahari 80-110 tahun (siklus Gleissberg), 50 tahun (siklus interdekadal), 22 tahun (siklus Hale) dan 11 tahun. Selain itu tampak juga sinyal-sinyal dengan periode lebih pendek seperti periode (3-7 tahun) diduga berasosiasi dengan efek ENSO, (1,5-2,7) tahun, dengan efek QBO, dan (0,5 - 1) tahun berasosiasi dengan efek musiman/tahunan. Dari hasil analisis korelasi jangka panjang antara aktivitas matahari dengan indikator panjang siklus matahari dan rata-rata bergerak 11 dan 22 tahun anomali SST Indonesia menunjukkan korelasi yang baik untuk seluruh kelompok data. Sementara SST di atas KIT menunjukkan korelasi negatif, tetapi dalam selang waktu 1950-2005 menunjukkan korelasi positif.

Kata kunci : *Aktivitas matahari, Suhu permukaan laut (Sea Surface Temperature/SST), ENSO, QBO*

1 PENDAHULUAN

Keluaran energi matahari dalam semua bentuk seperti cahaya, angin matahari dan partikel-partikel bermuatan tidak konstan, tetapi bervariasi baik terhadap waktu (detik sampai abad) maupun terhadap posisi di matahari. Perubahan-perubahan ini disebut aktivitas matahari. Aktivitas matahari bervariasi dengan periode rata-rata-11 tahun (Siklus Schwabe), 22 tahun (siklus Hale) seperti yang tercermin dalam variasi siklus bilangan *sunspot* dan medan magnet yang terkait dengannya. Siklus aktivitas matahari lainnya yang dirangkum oleh Perry (1994) yang meliputi "periode-periode 0,64 ; 1,14 ; 2,74 ; 11,0 ; 22,0 ; 47,0 ; 88,0 ; dan 179 tahun. *Forcing* eksternal penggerak dari berbagai fenomena kebumihan seperti badai geomagnet, aurora dan sistem iklim dan sebagainya, bersumber dari matahari dan variasinya seperti yang tercermin melalui bilangan *sunspot*, *flare*, irradiansi matahari, plasma antarplanet (IMF), variasi medan magnet dan peristiwa partikel-partikel energetik.

Bukti-bukti adanya keterkaitan antara aktivitas matahari dan parameter iklim telah diketemukan di beberapa tempat kajian. Hasil-hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang erat antara selubung (*envelope*) aktivitas matahari dan suhu iklim global. Suhu terdingin selama jaman es kecil [*Little Ice Age*] antara tahun 1450-1850 terjadi bersesuaian dengan periode *Maunder minimum* (1645-1715), yang pada saat itu *sunspot* tidak ada pada permukaan matahari (matahari tenang) (Eddy, 1976). Eddy berpendapat bahwa hubungan jangka panjang yang diperoleh tersebut disebabkan oleh perubahan irradiansi total matahari.

Seperti daratan, lautanpun mempunyai peran besar mempengaruhi iklim. Reid (1987) memperoleh korelasi yang baik antara suhu permukaan laut global [*Sea Surface Temperature/SST*], dengan rata-rata bergerak 11

tahun bilangan *sunspot* dalam kurun 1851-1980. Berdasarkan fakta ini Reid berpendapat bahwa irradiansi total matahari telah bervariasi sekitar 0,6 % dalam periode waktu 1910-1960 dengan siklus matahari 80-90 tahun (siklus Gleissberg, 1944) yang direpresentasikan oleh selubung siklus matahari 11 tahun. Menurut Reid ada dua cara aktivitas matahari dapat mempengaruhi lautan yakni, langsung maupun tidak langsung melalui atmosfer. Sebagai contoh, jika aktivitas matahari bisa mempengaruhi pembentukan awan, pada gilirannya akan mempengaruhi lautan melalui perubahan distribusi panas secara geografis dan melalui siklus hidrologi. Friis-Christensen dan Lassen (1991) menganalisis temperatur global udara permukaan di belahan bumi utara (BBU) selama 130 tahun terakhir, memperoleh suatu korelasi yang baik dengan panjang siklus matahari. Penjelasan fisis yang masuk akal dari hubungan yang diperoleh, berhubungan dengan variabilitas irradiansi total matahari dalam skala waktu yang lebih panjang daripada siklus matahari 11 tahun.

Indonesia sebagai negara maritim yang terletak di wilayah ekuator, diapit oleh dua benua Asia dan Australia, dan dua samudera, Pasifik dan Indonesia, maka faktor yang mempengaruhi iklim menjadi sangat bervariasi. Indonesia juga memiliki peranan penting dalam menentukan pola iklim global mengingat posisi Indonesia sebagai salah satu daerah penyuplai energi matahari terbesar di bumi. Demikian juga perubahan di lautan Pasifik yang merupakan sumber ENSO (*El Nino*, dan *La Nina*). Berdasarkan uraian-uraian di atas kami akan melakukan penelitian keterkaitan aktivitas matahari dengan SST, ENSO di atas Indonesia. '

2 DATA DAN METODA

2.1 Data dan Pengolahannya

Basis data parameter iklim yang digunakan dalam penelitian ini adalah anomali suhu permukaan laut [*Sea Surface Temperature*, seterusnya disingkat SST; di atas Indonesia ($7,5^{\circ}\text{U}$ s.d $-12,5^{\circ}\text{S}$; $87,5^{\circ}\text{E}$ - $147,5^{\circ}\text{T}$), yang di kutip dari anomali SST Global UKMO (*United Kingdom Meteorological Office*), dengan grid ($5^{\circ}\times 5^{\circ}$) dalam rentang waktu 1850-2005, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices>, dan basis data ENSO/SOI (<http://www.stormfax.com/elnino.htm>). Basis data aktivitas matahari yang digunakan adalah bilangan *sunspot* relatif yang bersumber dari kompilasi *Royal Observatory Belgium* dan *Sunspot Index Data Center* (SIDC), <http://www.astro.oma.be/SIDC>.

Keterkaitan aktivitas matahari jangka panjang dengan SST dan ENSO di atas Indonesia dilakukan dengan analisa teknik spektral *wavelet* menggunakan program komputer WWZ (*The Weighted Wavelet Z-Transform*, Foster 1996) untuk mendapatkan sinyal-sinyal dominannya, terutama indikasi sinyal-sinyal aktivitas matahari. Karena makalah ini terutama membahas keterkaitan aktivitas matahari jangka panjang dengan SST dan

ENSO di atas Indonesia, maka pengaruh periode-periode jangka pendek terhadap SST tidak dibahas secara rinci. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh aktivitas matahari pada SST dan ENSO di atas Indonesia.

2.2 Hetoda

Pada tahap awal dikembangkan basis data acuan untuk keseluruhan tahapan kegiatan penelitian, yaitu (1) basis data *sunspot*, dan (2) basis data anomali SST di atas Indonesia, mengutip data dari SST Global UKMO dengan memakai perangkat lunak *Panoply* dalam kurun 1850-2005. Pada saat yang bersamaan juga dilakukan pengelompokan data anomali SST Indonesia, berdasarkan kawasan; SST Indonesia Barat ($7,5^{\circ}\text{U}$ s.d $-12,5^{\circ}\text{S}$; $87,5^{\circ}$ - $102,5^{\circ}\text{T}$), Indonesia Tengah ($7,5^{\circ}\text{U}$ s.d $-12,5^{\circ}\text{S}$; $107,5^{\circ}$ - $117,5^{\circ}\text{T}$) dan kawasan Indonesia Timur ($7,5^{\circ}\text{U}$ s.d $-12,5^{\circ}\text{S}$; $122,5^{\circ}$ - $147,5^{\circ}\text{T}$), berdasarkan musim kering (JJA) dan musim basah (DJF). Keterkaitan aktivitas matahari dengan anomali SST dikaji dengan membandingkan deret waktu indikator variabilitas aktivitas matahari (bilangan *sunspot*) dengan anomali SST berdasarkan wilayah dan musim. Analisis dengan teknik *Weighted Wavelet Z-Transform* (WWZ) dan analisis statistik digunakan dalam perbandingan tersebut.

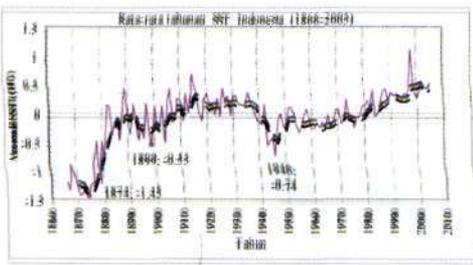
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3-1 menunjukkan hasil pengolahan data rata-rata tahunan dan rata-rata bergerak 5 tahun dari rata-rata bulanan anomali SST di atas Indonesia, masing-masing anomali SST untuk seluruh Indonesia, Kawasan Indonesia Barat (KIB), Kawasan Indonesia Tengah (KITeng), dan Kawasan Indonesia Timur (KIT).

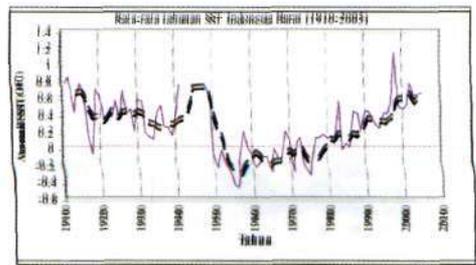
Dari Gambar 3-1 tampak bahwa anomali SST di atas Indonesia bervariasi secara periodik. Anomali SST mencapai nilai minimum tajam pertama sekitar tahun 1875 dan minimum ke dua sekitar tahun 1904. Untuk mengetahui periode dominan, maka dilakukan analisis deret waktu anomali SST di atas Indonesia dengan menggunakan analisis *wavelet*

3.1 Hasil Analisis Spektral *Wavelet* Anomali SST

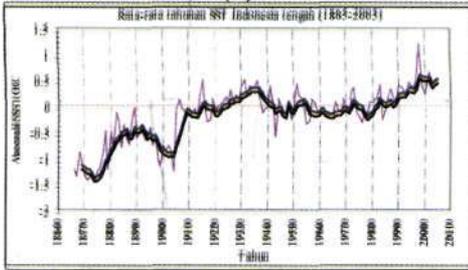
Hasil analisis WWZ deret waktu rata-rata bulanan anomali SST di seluruh Indonesia yang dikelompokkan berdasarkan keseluruhan Indonesia, KIB, KITeng, dan KIT, maupun berdasarkan musim kemarau (Juni, Juli, Agustus/JJA) dan musim hujan (Desember, Januari, Februari/DJF) seperti yang disajikan dalam Gambar 3-2 sampai dengan Gambar 3-13, dan analisis WWZ ENSO/SOI (Gambar 3-14) menunjukkan adanya sejumlah sinyal utama pada periode-periode sekitar 83 tahun, (50 ; 33,33; 25,20) tahun, (9-13) tahun yang diduga berasosiasi dengan siklus Gleissberg (80-110) tahun, siklus aktivitas matahari 50 tahun, siklus magnetik Hale (22 tahun), dan siklus *sunspot* 11 tahun dari aktivitas matahari.



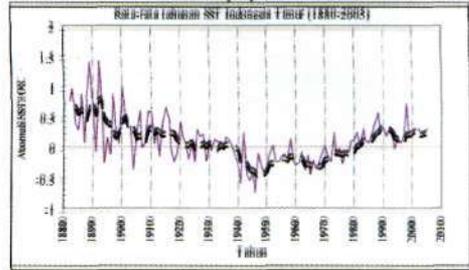
(a)



(b)

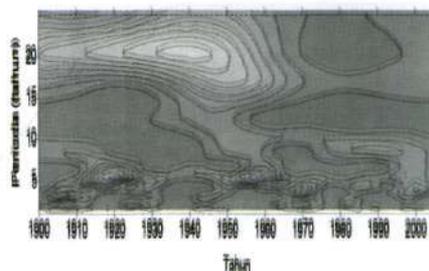
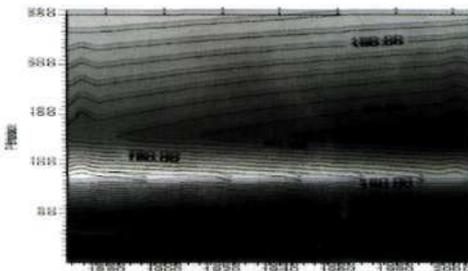
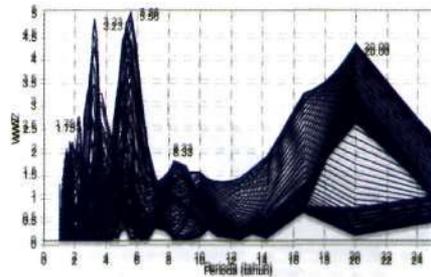
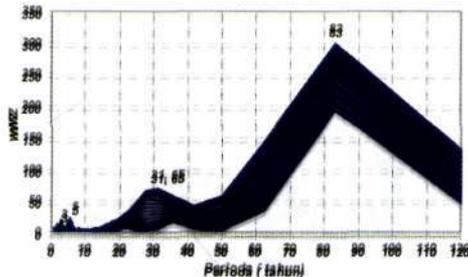


(c)

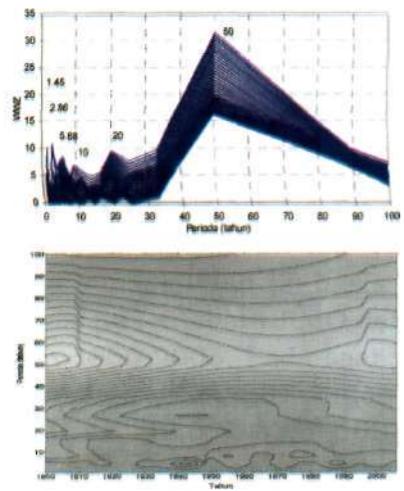
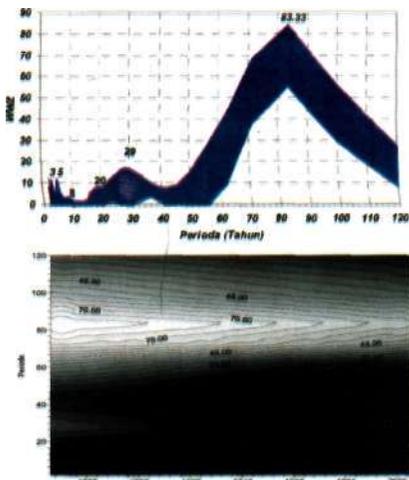


(d)

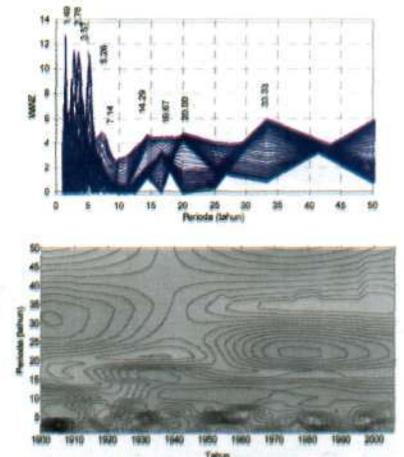
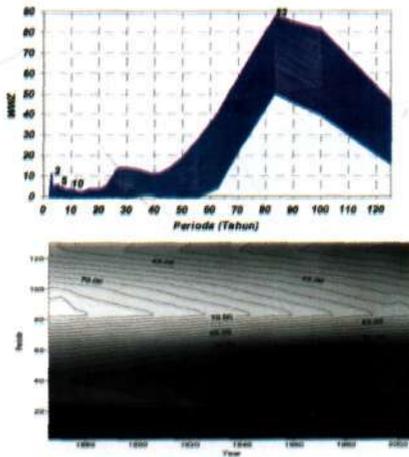
Gambar 3-1: a) rata-rata tahunan dan rata bergerak 5 tahun anomali SST Indonesia (1866-2005) , b) sama dengan a) anomali SST di atas kawasan Indonesia Barat (1910-2005), c) anomali SST di atas kawasan Indonesia Tengah (1865-2005), dan anomali SST di atas kawasan Indonesia Timur (1880-2005)



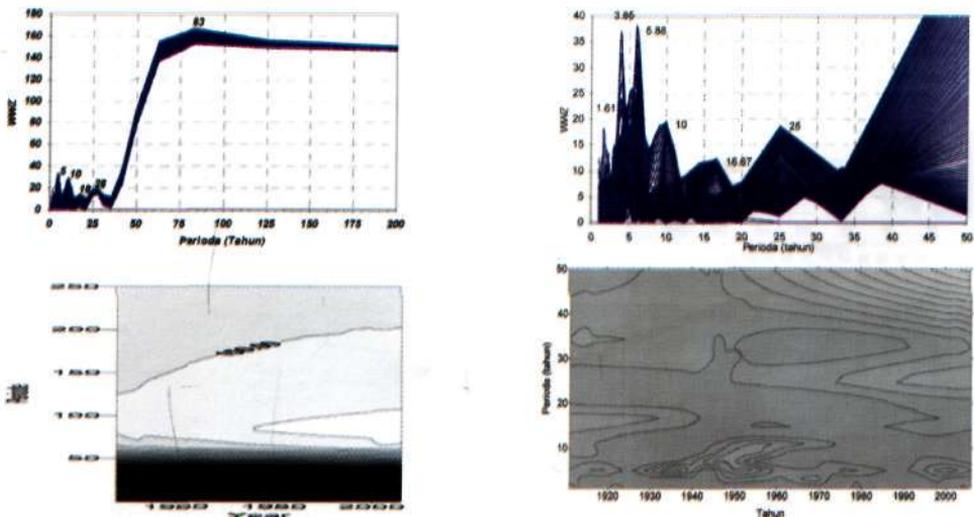
Gambar 3-2: Hasil analisis WWZ deret waktu anomali SST di atas Indonesia dari tahun 1866-2005. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari perioda-perioda dominannya. Periode dominan dengan sinyal puncak 83 tahun (kuat) berkaitan dengan efek siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 20 tahun (kuat) dengan efek aktivitas magnetik matahari (siklus Hale, 22 tahun); 8,33-10 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas matahari -11 tahun, dan 3,23-56 tahun (kuat) dengan efek ENSO (3-7 tahun), dan 1,75 (sedang) tahun berkaitan dengan efek QBO (siklus 22-34 bulan)



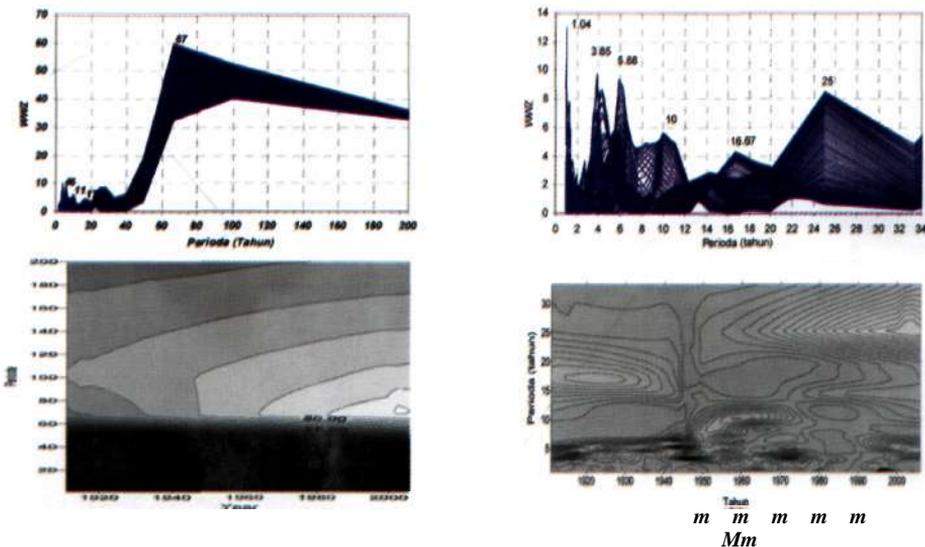
Gambar 3-3: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas Indonesia musim kering (JJA). Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari perioda-perioda dominannya. Periode dominan dengan sinyal puncak 83 tahun (kuat) berkaitan dengan efek siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 50 tahun (kuat) dengan efek siklus aktivitas matahari dekadal, 20 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas magnetik Hale (22 tahun), 10 tahun (lemah) dengan efek siklus *sunspot* 11 tahun, dan 2,85-5,88 tahun (lemah) berkaitan dengan efek ENSO, dan sinyal 1,45 tahun (lemah) berkaitan efek QBO



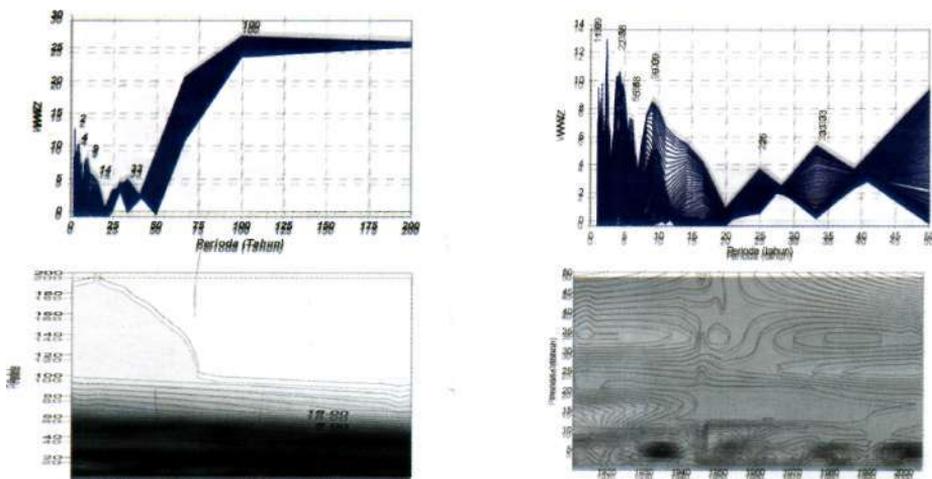
Gambar 3-4: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas Indonesia musim basah (DJF). Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari perioda-perioda dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 83 tahun (kuat) berkaitan dengan dengan siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 33,33 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas matahari "big fingers" (35,8 tahun), 20 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas magnetik Hale (22 tahun); 16,67 tahun (lemah) dengan efek pasang surut, 14 tahun dengan efek aktivitas matahari 11 tahun; 3,57-7,14 tahun (kuat) berkaitan dengan efek ENSO, dan sinyal 1,49-2,78 tahun (kuat) berkaitan efek QBO



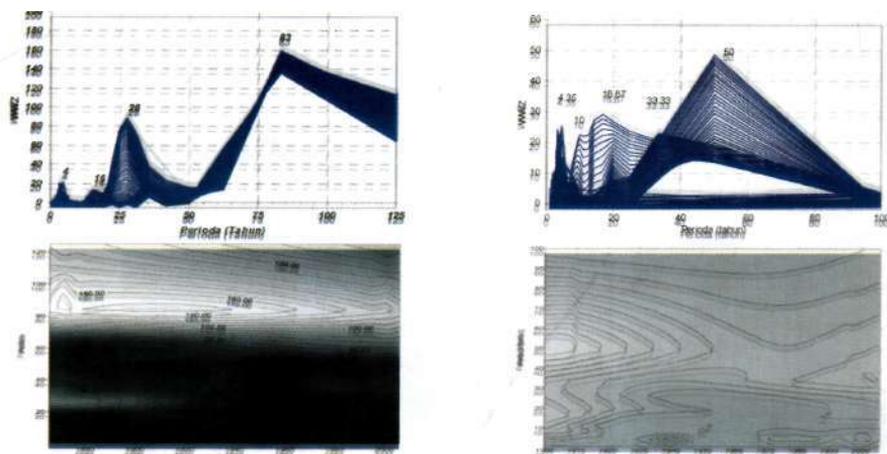
Gambar 3-5: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIB dari tahun 1910-2005. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 83 tahun (kuat) berkaitan dengan efek siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 25 tahun (sedang) dengan efek siklus aktivitas magnetik Hale (22 tahun); 16,67 tahun (lemah) dengan efek pasang surut, 10 tahun (sedang) dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun; 3,85-5,88 tahun (kuat) dengan efek ENSO, dan 1,61 tahun (sedang) berkaitan dengan dengan efek QBO



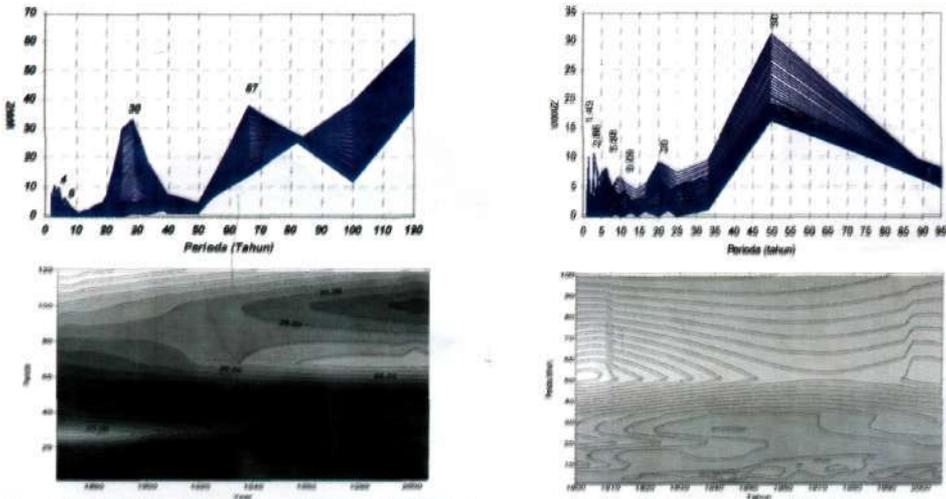
Gambar 3-6: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIB musim kering (JJA). Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 67 tahun berkaitan dengan siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 25 tahun (kuat) dengan efek siklus aktivitas magnetik Hale (22 tahun); 16,67 tahun (lemah) dengan efek pasang surut, 10 tahun (lemah) dengan siklus aktivitas matahari 11 tahun, dan 3,85-5,88 tahun (kuat) dengan efek ENSO, dan sinyal 1 tahun (kuat) berkaitan efek musiman/tahunan



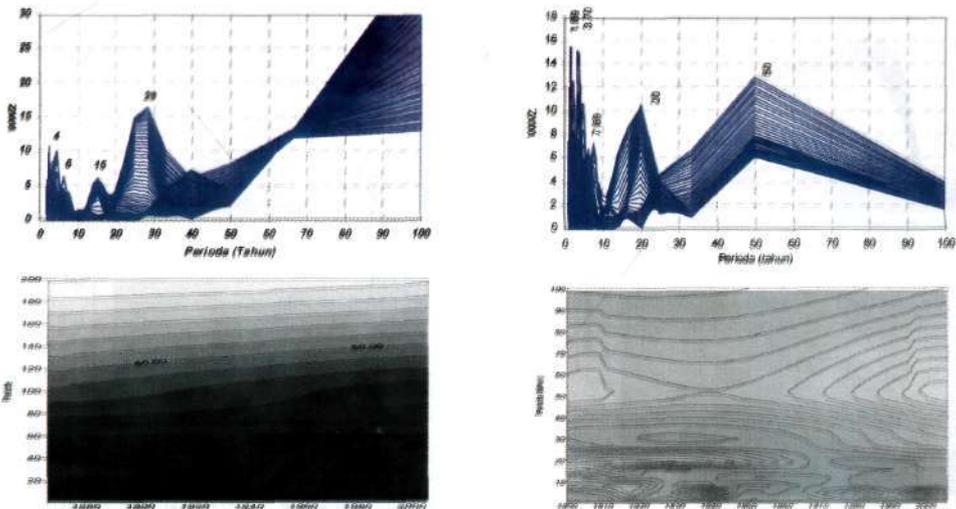
Gambar 3-7: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIB musim basah (DJF). Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 100 tahun (kuat) berkaitan dengan siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 33,33 tahun (lemah) dengan siklus aktivitas matahari dekadal (siklus *big fingers*; 35,8 tahun), 25 tahun (lemah) dengan efek siklus magnetik Hale (22 tahun), 9 tahun (sedang) dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun; 5,88 tahun (sedang) dengan efek ENSO, dan 1,69- 2,38 tahun (kuat) berkaitan dengan efek QBO



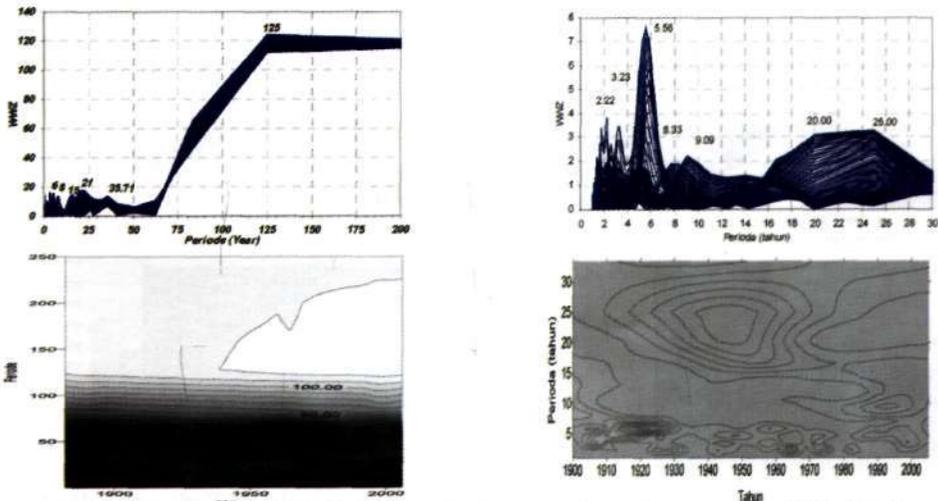
Gambar 3-8: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KITeng dari tahun 1866-2005. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 83 tahun (kuat) berkaitan dengan periode siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun ; 50 tahun (kuat) dengan efek siklus aktivitas matahari dekadal; 33,33 tahun (kuat) dengan efek aktivitas matahari *big fingers* (35,8 thun); 16,67 tahun (lemah) dengan efek pasang surut, 10 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun, dan sinyal 4,35 tahun (lemah) berkaitan dengan efek ENSO



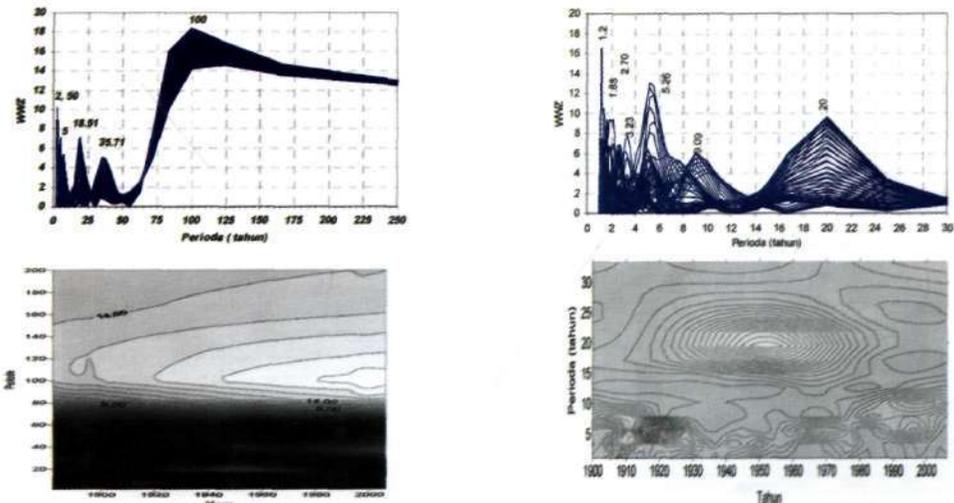
Gambar 3-9: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KITeng musim kering (JJA) dari tahun 1866-2005. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 67 tahun (sedang) berkaitan dengan periode siklus aktivitas matahari Gleissberg (70-90) tahun; 50 tahun (kuat) dengan siklus aktivitas matahari dekadal, 20 tahun (lemah) dengan efek siklus magnetik Hale (22 Tahun); 9,9 tahun (lemah) dengan aktivitas matahari 11 tahun; 2,86-5,88 tahun (lemah) berkaitan dengan efek ENSO, dan sinyal 1,45 tahun (lemah) berkaitan efek QBO



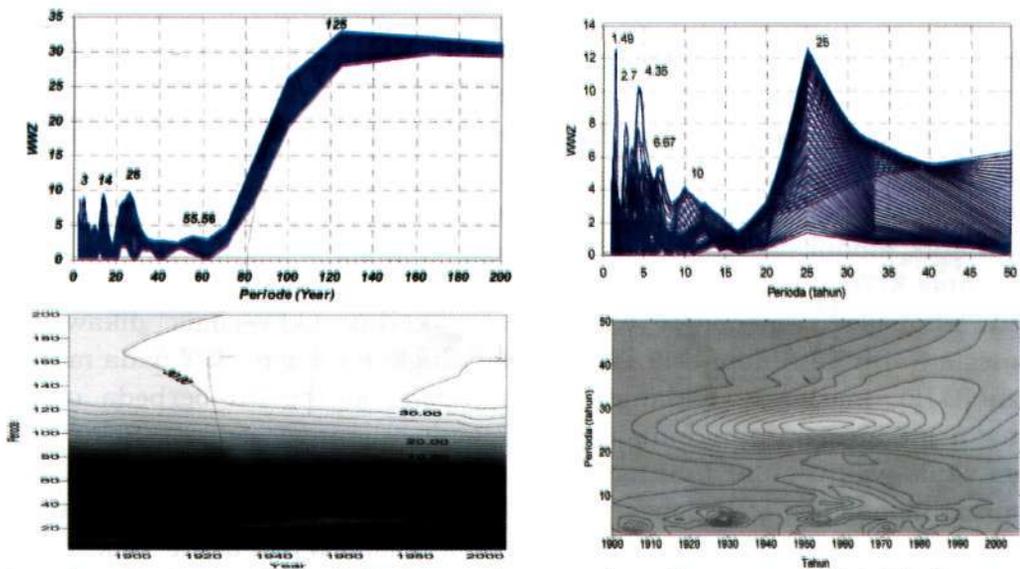
Gambar 3-10: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KITeng musim basah (DJF). Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal di atas 100 tahun berkaitan dengan efek siklus Gleissberg (80-110 tahun), 50 tahun (kuat) dengan efek siklus aktivitas matahari dekadal, 20 tahun (sedang) dengan efek siklus magnetik Hale (22 tahun); 3,7-7,69 tahun (sedang) berkaitan dengan efek ENSO, dan sinyal 1,69 tahun berkaitan dengan efek QBO



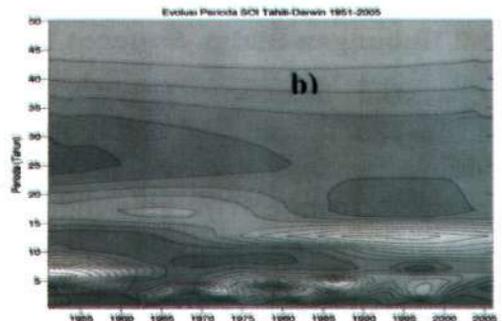
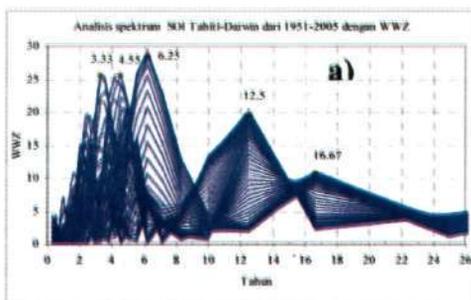
Gambar 3-11: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIT dari tahun 1880-2005. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 125 tahun (kuat) berkaitan dengan efek siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 20-25 tahun (sedang) dengan efek aktivitas matahari Hale (22 tahun), 9 tahun (lemah) dengan efek aktivitas matahari 11 tahun; 3,23-5,56 tahun (kuat) berkaitan dengan efek ENSO, dan sinyal 2,22 tahun (lemah) berkaitan efek QBO



Gambar 3-12: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIT musim JJA. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 100 tahun (kuat) berkaitan dengan periode siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 20 tahun (sedang) dengan efek siklus magnetik Hale (22 tahun), 9 tahun (lemah) dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun; 3,23-5,23 tahun (kuat) dengan efek ENSO, dan sinyal 1,85-2,75 tahun (kuat) berkaitan dengan efek QBO



Gambar 3-13: Hasil analisis WWZ deret waktu data anomali SST di atas KIT musim DJF. Dua panel atas menunjukkan sejumlah puncak dan dua panel bawah menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan puncak sinyal 125 tahun berkaitan dengan dengan periode siklus aktivitas matahari Gleissberg (80-110) tahun; 25 tahun (kuat) dengan aktivitas magnetik Hale matahari (22 tahun), 10 tahun (lemah) berkaitan dengan efek aktivitas matahari 11 tahun; 4,35-6,67 tahun (sedang) dengan efek ENSO, dan sinyal 1,49-27 tahun (kuat) berkaitan efek QBO

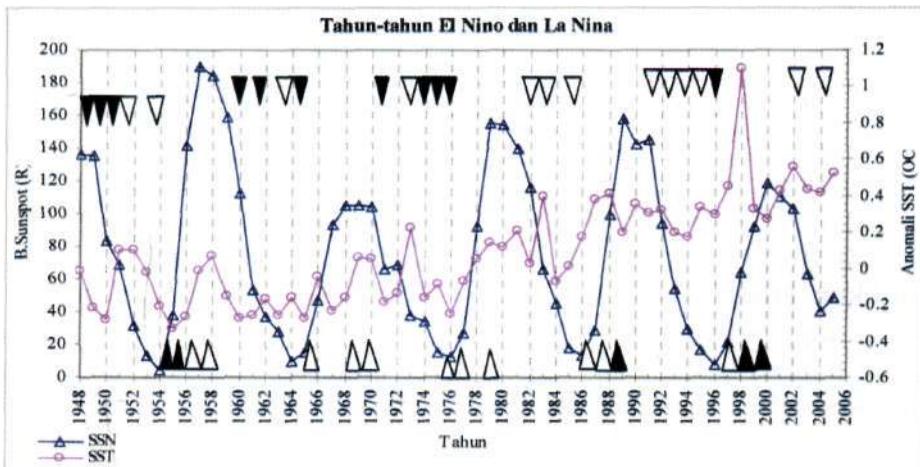


Gambar 3-14: Hasil analisis WWZ deret waktu SOI Tahiti-Darwin dari tahun 1951-2005. a) Panel kiri menunjukkan sejumlah puncak, dan b) panel kanan menunjukkan kontur evolusi dari periode-periode dominannya. Periode dominan dengan sinyal 2-7 tahun (kuat) dengan puncak (3,3; 4,55; dan 6,25) tahun berkaitan dengan perioda ENSO, 12,5 tahun (sedang) berkaitan dengan efek siklus aktivitas matahari), dan sinyal 16,67 tahun (lemah) berkaitan dengan efek pasang surut pada ENSO

Adanya sinyal-sinyal kuat dengan periode (80-110) tahun pada semua deret waktu anomali SST menunjukkan bahwa SST di atas Indonesia lampaknya terkait dengan siklus Glacisberg dari aktivitas matahari jangka panjang, semenlara sinyal-sinyal kuat dengan periode sekitar 50, 25, dan 20 tahun terkait dengan siklus magnetik Hale dari aktivitas matahari (sekitar 22 tahun). Sinyal aktivitas matahari 11 tahun pada seluruh deret waktu data SST di atas Indonesia tampak lemah, bahkan sinyal ini tidak tampak pada SST di atas KITeng musim hujan (DJF). Juga tampak bahwa sinyal sekitar 11 tahun lebih lebih menonjol pada musim kering (JJA) baik dikawasan Indonesia Barat dan Indonesia Timur dibandingkan dengan SST pada musim basah (DJF), meskipun berlangsungnya musim kering itu berbeda untuk kawasan Indonesia Timur (musim DJF malah hujannya sedikit). Selain itu, dalam skala waktu antar tahunan (*interannual*), seluruh anomali SST di atas Indonesia didominasi oleh pcngaruh ENSO dengan periode sekitar (3-7 tahun) dengan rata sekitar 5 tahun. Dari hasil anaiisis WWZ deret waktu SOI tampak sinyal sekitar 12,5 tahun (sedang) yang diduga berasosiasi dengan efek siklus aktivitas matahari 11 tahun pada ENSO yang pada gilirannya mempengaruhi SST. Dengan memperhatikan bukti-bukti empiris dari siklus ativitas matahari yang dirangkum oleh Perry (1994) yang mempunyai siklus tertentu, dan dengan memperhatikan sejumlah periode SST yang telah diperoleh tampak adanya keterkaitan antara pasangan-pasangan sinyal yang terdeteksi pada deret waktu anomali SST di atas Indonesia pada seluruh data dengan sejumlah periode yang terdeteksi pada deret waktu *sunspot* Hasil yang diperoleh dari anaiisis transformasi *wavelet* WWZ merupakan indikasi pertama adanya keterkaitan aktivitas matahari jangka panjang pada suhu muka laut di atas Indonesia

3.2 Hubungan Siklus *Sunspot* 11 Tahun Dengan Peristiwa ENSO/SOI

Dari hasil anaiisis WWZ deret waktu SOI yang menampakkan adanya sinyal 12,5 tahun yang berkaitan aktivitas matahari 11 tahun menunjukkan adanya *forcing* eksternal (matahari) terhadap SOI yang pada gilirannya mempengaruhi SST di atas Indonesia. Aliran energi eksternal yang periodik dari aktivitas matahari dapat *memforce* ritmenya pada lautan dan atmosfer. Anaiisis hubungan antara variasi irradiansi matahari dalam kurun siklus *sunspot* 11 tahun dan perubahan iklim biasanya difokuskan pada maksima dan minima dari aktivitas *sunspot* Gambar 3-15 menunjukkan bukti empirik adanya hubungan antara siklus *sunspot* 11 tahun dan ENSO serta SST dalam kurun waktu tahun 1948- 2005.



Gambar 3-15: Hubungan antara siklus *sunspot* 11 tahun dan peristiwa ENSO (El Nino= ∇ dan La Nina = \blacktriangle), serta SST (<http://www.stormfax.com/elnino.htm>)

Tampak jelas dari Gambar 3-15 hubungan yang erat antara peristiwa ENSO (El Nino dan La Nina) pada anomali SST di Indonesia. Peristiwa El Nino pada tahun-tahun 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1991/1992, dan 1997/1998 menyebabkan anomali SST naik (panas), sementara peristiwa La Nina pada tahun-tahun 1975/76, 1983/85, 1995/96, 1998/99, dan 1999/2000 menyebabkan anomali SST turun (dingin). Anomali tertinggi SST sebesar $1,15^{\circ}\text{C}$ terjadi pada tahun 1998 bertepatan dengan ENSO kuat tahun 1997/1998, sedangkan anomali terendah sebesar $-0,25^{\circ}\text{C}$ pada tahun 1955 bertepatan dengan peristiwa La Nina 1954/55, dan 1955/56.

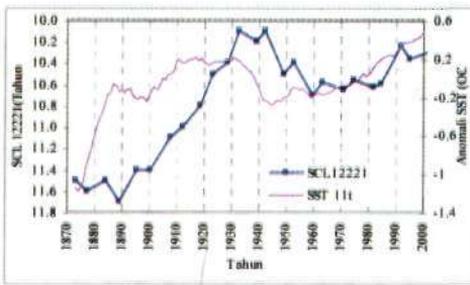
Dari pengamatan peristiwa ENSO (El Nino dan La Nina) pada rentang waktu tahun 1954-1976 (siklus sunspot ke-19 dan ke-20) dalam fase naik menuju maksimum dan fase menurun setiap siklus sunspot, peristiwa La Nina jumlahnya lebih dominan dari pada jumlahnya El Nino, tetapi pada tahun 1976, fasa berbalik, sebaliknya pada selang tahun 1976-1998 peristiwa El Nino jumlahnya lebih dominan dari La Nina. Bukti empirik hubungan antara siklus *sunspot* dan peristiwa ENSO yang ditunjukkan dalam Gambar 3-15 memperkuat makalah yang dikemukakan Landscheidt (2000) yang memperoleh hubungan erat antara ENSO yang dinyatakan dengan *Multivariate ENSO Index (MEI)* dan siklus magnetik Hale aktivitas matahari (periode 22 tahun), dimana peristiwa La Nina dalam siklus Hale tahun 1954-1976 jumlah lebih banyak dan siklus Hale berikutnya sejak tahun 1976-1998, jumlah El Nino lebih banyak. Jadi siklus *sunspot* sebenarnya adalah siklus magnetik Hale dengan panjang rata-rata sekitar 22 tahun. Polaritas dari *sunspot preceding* dan *sunspot following* pada setiap hemisfer matahari fasanya berbalik setiap siklus 11 tahun. Pola peristiwa El Nino dan La Nina yang bergantian ini dapat ditelusuri kembali ke tahun 1900-an sepanjang data ENSO tersedia. Jadi peristiwa ENSO mempunyai

hubungan erat dengan fasa-fasa khusus pada setiap siklus *sunspot* 11 tahun, dari fasa menaik menuju maksimum dan dari fasa menurun menuju minimum yang bersamaan dengan akumulasi signifikan dari letusan partikel-partikel energetik matahari (*flare* dan CME). Sejalan dengan makalah The Houw Liong dan Siregar (2006) yang memperoleh korelasi sangat kuat antara peristiwa ENSO, *sunspot* minimum (SM), dan harmoniknya SM/2 atau Smax (1950-1975) dengan waktu tunda (2-3) tahun. Waktu tunda tersebut menunjukkan energi yang diberikan ke bumi oleh aktivitas *flare* dan CME tidak langsung berpengaruh pada iklim di Indonesia. Energi pertama akan sampai ke bagian utara dan selatan bumi, kemudian akan mempengaruhi dinamika atmosfer - laut, sehingga pengaruhnya terhadap iklim di Indonesia mengalami waktu tunda.

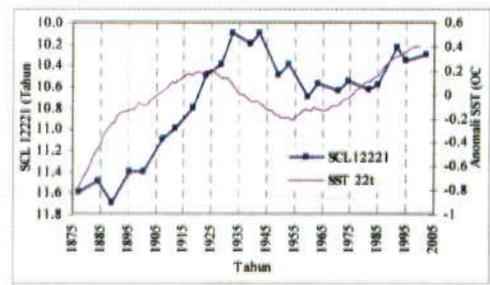
3.3 Analisis Korelasi Statistik Antara Aktivitas Matahari dan SST Indonesia

Analisis keterkaitan antara aktivitas matahari jangka panjang dengan anomali suhu permukaan lautan (SST) di atas Indonesia dilakukan dengan membandingkannya terhadap bilangan *sunspot* setelah terlebih dahulu dilakukan pemulusan dengan rata-rata bergerak 11 tahun dan/atau 22 tahun. Pemulusan rata-rata bergerak 22 tahun dilakukan karena pada umumnya sinyal aktivitas matahari yang dominan mempengaruhi SST adalah sinyal lebih panjang dari siklus aktivitas matahari 11 tahun. Selanjutnya dilakukan analisis keterkaitan antara anomali SST berdasarkan pengelompokan data SST Indonesia dan aktivitas matahari dengan indikator variasi panjang siklus matahari menggunakan filter SCL12221. Hasil-hasilnya disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-16 sampai dengan Gambar 3-19 masing-masing di atas seluruh Indonesia, KIB, KITeng, dan KIT.

Hasil analisis antara variasi anomali SST di atas Indonesia dengan rata-rata bergerak 11 dan atau 22 tahun serta panjang siklus matahari SCL12221 menunjukkan korelasi yang baik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-16 sampai dengan Gambar 3-19. Korelasi yang diperoleh semakin baik jika anomali SST dimuluskan dengan rata-rata bergerak 22 tahun dibandingkan dengan panjang siklus matahari SCL 12221. Tampaknya keterkaitan antara anomali SST di atas seluruh Indonesia dalam kurun waktu yang dikaji cenderung lebih kuat jika dihubungkan dengan aktivitas matahari yang lebih panjang dari 11 tahun yaitu dengan panjang siklus magnetik Hale dengan periode sekitar 22 tahun. Sementara anomali SST di atas Kawasan Indonesia Timur dalam selang waktu tahun 1900-1950 mempunyai hubungan terbalik, yang berarti jika aktivitas matahari meningkat, maka SST berkurang, tetapi dalam selang waktu tahun 1950-2005 korelasi korelasinya menjadi positif, yang berarti, jika aktivitas matahari meningkat maka SST meningkat mengikuti aktivitas matahari.

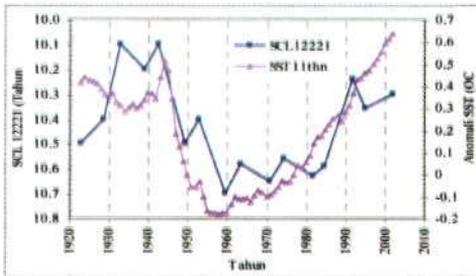


(a)

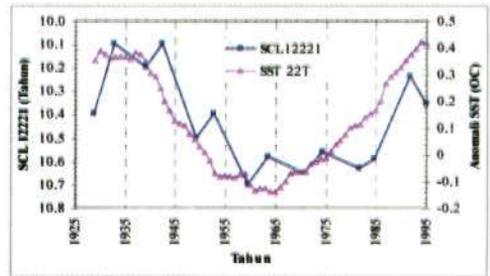


(b)

Gambar 3-16: a) Hasil plot rata-rata bergerak 11 tahun, dan b) rata-rata bergerak 22 tahun anomali SST di atas Indonesia di atas Indonesia dalam kurun waktu tahun 1870-2000 dan panjang siklus matahari SCL 12221. Tampak bahwa kurva SST cenderung mengikuti panjang siklus matahari, walaupun SST mendahului *sunspot* sekitar 10 tahun (a), sementara dengan rata-rata bergerak rata-rata bergerak 22 tahun (b) SST dengan SST hanya mendahului sekitar 5 tahun

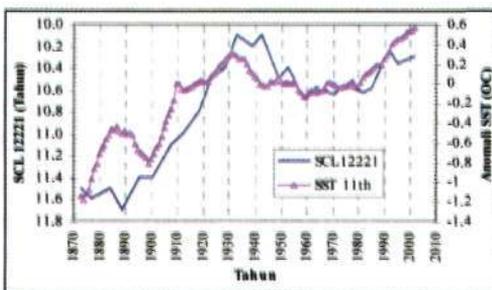


(a)

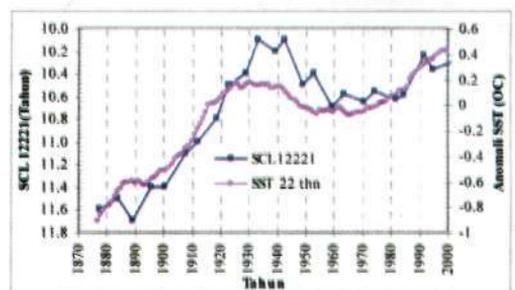


(b)

Gambar 3-17: a) Hasil plot rata-rata bergerak 11 tahun, dan b) 22 tahun anomali SST dari rata-rata tahunan di atas KIB dan panjang siklus matahari SCL 12221 dalam selang waktu tahun 1910-2005. Tampak bahwa pola anomali SST KIB cenderung mengikuti pola panjang siklus matahari SCL 12221 dengan baik

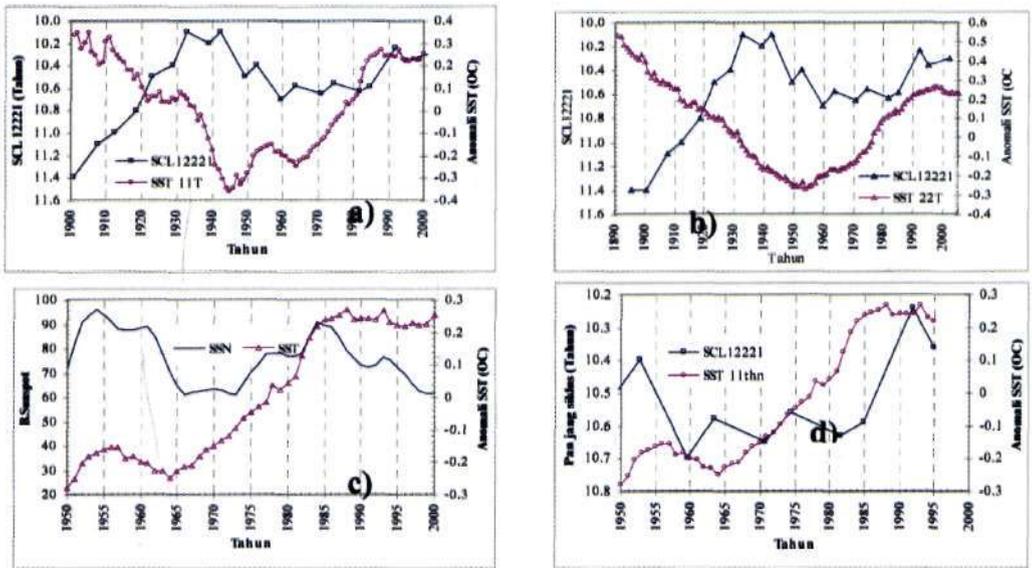


(a)



(b)

Gambar 3-18: a) Hasil plot rata-rata bergerak 11 tahun, dan b) 22 tahun anomali SST dari rata-rata tahunan di atas KIB dan panjang siklus sunspot SCL 12221 dalam selang waktu tahun 1870-2002. Tampak bahwa pola SST cenderung mengikuti pola aktivitas panjang siklus matahari SCL 12221. Hubungannya lebih baik jika menggunakan rata-rata bergerak 22 tahun SST



Gambar 3-19: a) Plot rata-rata bergerak 11 tahun, dan b) 22 tahun anomali SST di atas KIT dan panjang siklus *sunspot* SCL 12221 dalam selang waktu tahun 1900-2005. Tampak bahwa pola SST cenderung berhubungan terbalik dengan panjang siklus matahari SCL 12221. c) Plot rata-rata bergerak 11 tahun dan anomali SST dan rata-rata *sunspot* bergerak 11 tahun di atas Indonesia Timur. d) rata-rata bergerak 11 tahun SST dibandingkan dengan panjang siklus *sunspot* SCL 12221 dalam selang waktu tahun 1950-2000. Tampak bahwa pola SST cenderung mengikuti aktivitas matahari 11 tahun maupun panjang siklus SCL 12221

4 KESIMPULAN

Adanya sinyal-sinyal kuat dengan periode (80-110) tahun pada semua anomali SST menunjukkan bahwa SST di atas Indonesia tampaknya terkait dengan siklus Gleissberg jangka panjang dalam aktivitas matahari, sementara sinyal-sinyal kuat dengan periode sekitar 50, 25, dan 20 tahun terkait dengan siklus magnetik Hale dari aktivitas matahari (periode 22 tahun). Sinyal aktivitas matahari 11 tahun pada seluruh deret waktu data SST di atas Indonesia yang tampak lemah menunjukkan bahwa hubungan kedua parameter yang dikaji walaupun ada, tetapi mempunyai korelasi lemah. Dalam periode yang lebih pendek dari 11 tahun tampak jelas bahwa anomali SST di atas Indonesia didominasi oleh pengaruh peristiwa ENSO (El Nino dan La Nina) yang memiliki periode sekitar (3-7) tahun.

Sinyal dengan periode sekitar 12 tahun pada ENSO /SOI menunjukkan bahwa anomali SST secara tidak langsung dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Jadi peristiwa ENSO (El Nino dan La Nina) dan Osilasi

Selatan (*Southern Oscillation/SO*) mengalami *forcing* kuat dari matahari. Peristiwa ENSO mempunyai korelasi kuat pada fase khusus dari siklus-siklus *sunspot* 11 tahun pada fasa naik menuju ke maksimum dan dari fase turun menuju minimum dari setiap siklus aktivitas matahari. Pola peristiwa El Nino dan La Nina yang bergantian selama selang waktu sekitar 22 tahun tampaknya berkaitan erat dengan siklus magnetik Hale dari aktivitas matahari.

Dari hasil analisis korelasi jangka panjang antara aktivitas matahari dengan indikator panjang siklus matahari dan rata-rata bergerak 11 dan 22 tahun anomali SST Indonesia menunjukkan korelasi yang baik untuk seluruh kelompok data. Sementara SST di atas KIT menunjukkan korelasi negatif, tetapi dalam selang waktu tahun 1950-2005 menunjukkan korelasi positif. Pola korelasi antara aktivitas matahari jangka panjang dan anomali SST yang bergantian di atas Kawasan Indonesia Timur (KIT) ini kemungkinan besar berkaitan dengan siklus Hale (periode sekitar 22 tahun), dimana polaritasnya berubah setiap siklus 11 tahun. Jadi pengaruh aktivitas matahari terhadap iklim di Indonesia berdasarkan kajian dan analisis deret waktu data anomali SST di atas Indonesia adalah bersifat jangka panjang, lebih panjang dari siklus *sunspot* 11 tahun.

DAFTAR RUJUKAN

- Eddy, J.A., 1976. *The Maunder Minimum*, Science , 192, him. 1189.
- 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 Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series*, Astronomical Journal, Vol.112, him. 1709.
- Gleissberg, W., 1944. *A Table of Secular Variations of Solar Cycle*. Terr, Magn. Atm. Electr. 49, p. 243.
- Lean, J., 1991. *Variations in the Sun's Radiative Output*, Review of Geophysics, Vol.29, hlm.505.
- Landscheidt, T., 2000. *Solar Forcing El Nino dan La Nina*, Preceeding of the 1st Solar and Space Weather Euroconference, The Solar Cycle and Terrestrial Climate.
- 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*, Nature , 329, him. 142,
- The Houw Liong dan Siregar, P, M., 2006. *Sistem Peringatan Dim di Indonesia Berdasarkan Aktivitas matahari*, Disampaikan dalam Seminar Nasional Sains Antariksa III di Bandung pada 15-16 November 2006.