

PERIODISITAS KEMUNCULAN SEMBURAN RADIO MATAHARI TIPE III PADA SIKLUS MATAHARI 23

JOHAN MUHAMAD
Pusat Sains Antariksa - LAPAN
e-mail: johan_in@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Kemunculan semburan radio Matahari tipe UI pada siklus Matahari 23 dianalisis dengan menggunakan metode analisis FFT dan wavelet untuk mengidentifikasi keberadaan periodisitasnya. Periodisitas yang teridentifikasi tersebut adalah siklus 27 hari, 50 hari, 134 hari, 160 hari, dan 365 hari. Periodisitas ini teramati sangat jelas di sekitar masa puncak siklus Matahari 23. Periodisitas ini memiliki keterkaitan yang kuat dengan periodisitas fenomena aktivitas Matahari lainnya, terutama flare. Analisis terhadap kemungkinan mekanisme fisis yang menghasilkan periodisitas jangka menengah ini juga dibahas pada penelitian ini.

Kata kunci: semburan radio Matahari tipe III, periodisitas, aktivitas Matahari, analisis wavelet

Abstract. The occurrences of type III solar radio bursts in the solar cycle 23 have been analyzed using FFT and wavelet analysis method to identify its periodicity. The identified periodicities were showed 27-day, 50-day, 134-day, 160-day, and 365-day cycles. These periodicities were obviously observed around the maximum of the solar cycle 23. It has strong correlation with the periodicities observed in other solar transient phenomena particularly flare. The analysis of the possible physical mechanism generating this mid-term periodicity was also discussed in this research.

Keywords: Type III solar radio burst, periodicity, solar activity, wavelet analysis

1. Pendahuluan

Pengamatan Matahari dalam jangka waktu yang panjang telah mengungkap adanya periodisitas dalam aktivitas Matahari. Periodisitas aktivitas Matahari tersebut ditunjukkan dengan adanya siklus aktivitas Matahari. Salah satu siklus aktivitas Matahari yang telah lama dikenal adalah siklus Matahari yang panjangnya sekitar 11 tahun. Siklus Matahari 11 tahun terakhir terjadi dalam rentang waktu 1996-2008 yang dikenal sebagai siklus Matahari 23. Selain siklus Matahari 11 tahun, terdapat beberapa periodisitas aktivitas Matahari lainnya yang panjangnya bervariasi dan berkaitan dengan aktivitas matahari yang berbeda-beda.

Berdasarkan jangka waktunya, periodisitas aktivitas Matahari dapat dibedakan menjadi periodisitas jangka panjang (*long-term*), jangka menengah (*mid-term*), dan jangka pendek (*short-term*). Periodisitas jangka panjang berlangsung dalam kurun waktu siklus Matahari 11 tahun hingga siklus lainnya yang lebih panjang. Di antara periodisitas jangka panjang yang telah teridentifikasi adalah siklus polaritas medan

Matahari dan Lingkungan Antariksa (2011), 21-30

© 2011 Andira Publishing, Bandung.

magnet 22 tahun (siklus Hale), siklus Gleissberg 80-100 tahun, siklus de-Vries 200 tahun, dan siklus Hallstatt 2300-2500 tahun (Schatten, 1998; Lundstedt et al., 2006). Pada kurun waktu yang lebih pendek, terdapat periodisitas jangka menengah yang terutama lebih berkaitan dengan kemunculan flare dan CME. Periodisitas jangka menengah ini berada pada rentang waktu 27 hari hingga siklus 11 tahun (Bai, 2003a). Selain itu, terdapat juga periodisitas jangka pendek yang terlihat pada teridentifikasinya osilasi 5 menitan pada permukaan Matahari, dan adanya periodisitas 160 menitan (Khomenko et al., 2008; Bai, 2003b).

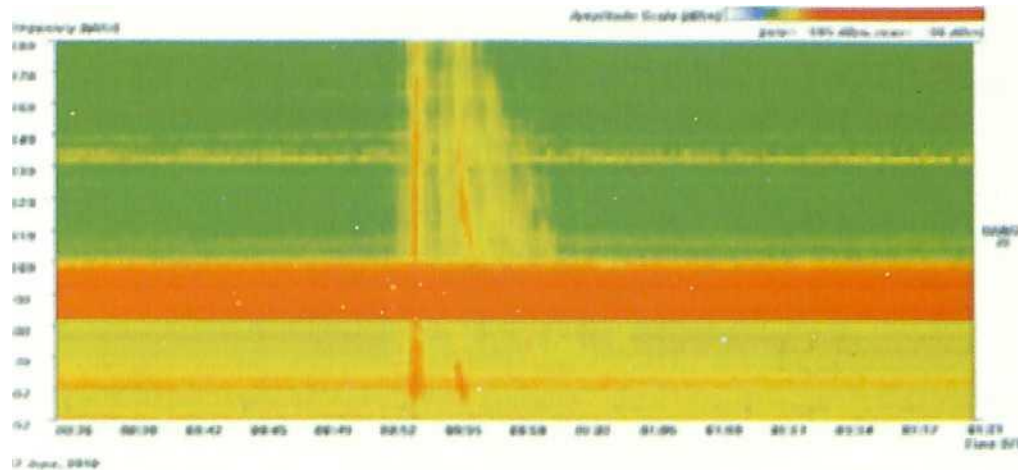
Di antara periodisitas yang ditemukan di Matahari, penyelidikan tentang periodisitas jangka menengah merupakan salah satu yang terpenting selain periodisitas 11 tahun. Hal ini disebabkan kuatnya keterkaitan periodisitas jangka menengah ini dengan aktivitas *transient* di Matahari seperti flare dan CME yang dampaknya sangat luas bagi cuaca antariksa. Beberapa periodisitas jangka menengah yang telah teridentifikasi pada banyak parameter di Matahari adalah periodisitas 27 hari, 51 hari, 84 hari, 127 hari, dan 153 hari (Schatten, 1998). Selain itu, ditemukan juga periodisitas Matahari pada 240-330 hari, 358 hari, hingga 1.3 tahun (Hiremath, 2009).

Salah satu aktivitas Matahari yang dapat diamati dari Bumi (*ground-based*) adalah semburan radio Matahari. Semburan radio Matahari adalah radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang radio yang berasal dari aktivitas di Matahari dan berlangsung relatif singkat. Semburan radio Matahari dibedakan menjadi lima tipe sesuai dengan pola spektrum radio yang teramati. Salah satu tipe semburan radio yang paling sering teramati adalah semburan radio tipe III. Semburan radio tipe III ditandai dengan pola penurunan frekuensi radio secara singkat dengan laju penurunan frekuensi sekitar 100 MHz/dtk dalam rentang panjang gelombang meter (Suzuki dan Dulk, 1985). Laju penurunan frekuensi spektrum yang sangat cepat inilah yang membedakan semburan radio tipe III dengan semburan radio lainnya yang lebih lambat atau bentangan waktunya yang lebih lebar. Contoh semburan radio tipe III dan perbandingan tampilannya dengan tipe semburan radio lainnya ditampilkan pada Gambar 1-1.

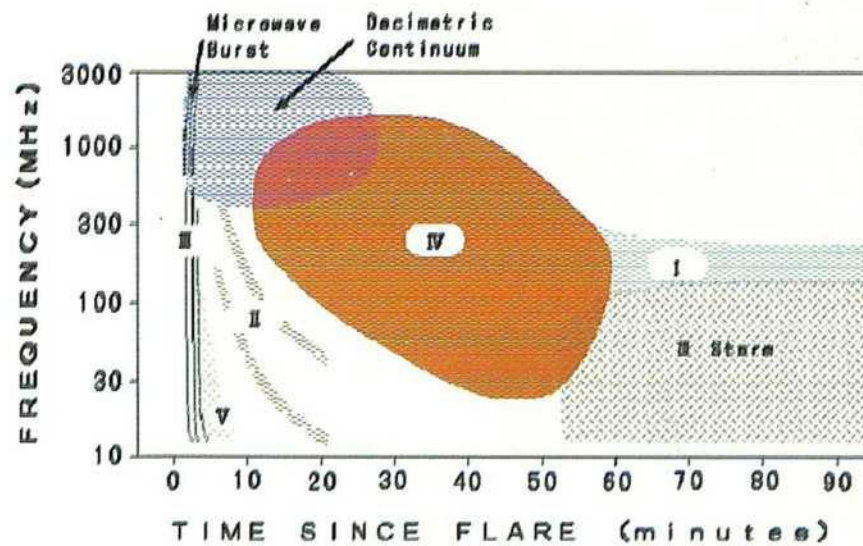
Semburan radio tipe III diperkirakan berasal dari lontaran elektron yang menjalar di atmosfer Matahari dengan kecepatan hingga sepertiga kecepatan cahaya. Peristiwa di Matahari yang diduga berkaitan dengan akselerasi elektron yang menghasilkan semburan radio tipe III adalah peristiwa flare (Pohjolainen et al., 2008). Flare yang impulsif dan disertai oleh pelontaran massa yang besar dapat menghasilkan semburan radio tipe III yang kuat (Cane dan Reames, 1988).

Kemunculan semburan radio tipe III biasanya berasosiasi dengan kemunculan flare. Namun, kebanyakan flare (70 % flare impulsif) tidak disertai dengan semburan radio tipe III (Suzuki dan Dulk, 1985). Hingga saat ini, hubungan kejadian flare dan semburan radio tipe III masih belum sepenuhnya dipahami. Pertanyaan terbesar terkait dengan hubungan flare dan produksi semburan radio tipe III adalah mekanisme awal percepatan

elektron dan gelombang Langmuir yang memicu terbentuknya semburan radio tipe III (Sakai et al., 2005). Oleh karena itu, penelitian mengenai kemunculan semburan radio tipe III perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik kemunculan dan keterkaitan semburan radio tipe III dengan fenomena lain, terutama dengan flare.



(a)



(b)

Gambar 1-1. Tipe-tipe spektrum semburan radio Matahari pada radio spektrogram. (a) Semburan radio tipe III terekam pada radio spektrogram tanggal 12 Juni 2010 (LAPAN, 2010). (b) Perbedaan tipe semburan radio Matahari (<http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/hiras/gif/typefignew.gif>).

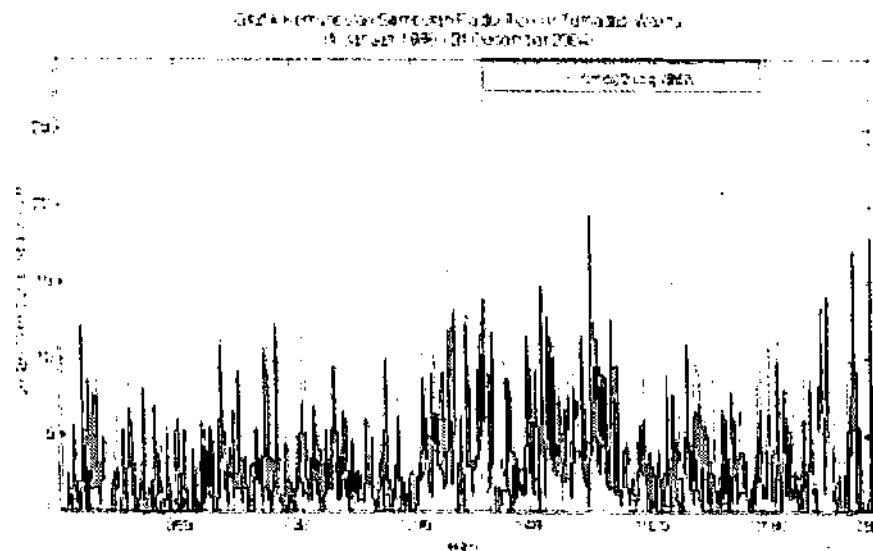
Penelitian ini bertujuan untuk mencari pola kemunculan semburan radio tipe III, khususnya pada siklus Matahari 23, agar dapat mengungkap keberadaan periodisitas semburan radio tipe III. Dengan mengetahui keberadaan periodisitas kemunculan semburan radio tipe III ini, diharapkan dapat ditemukan keterkaitannya dengan periodisitas aktivitas Matahari lainnya yang telah diketahui sebelumnya. Melalui keterkaitan kemunculan semburan radio tipe III dengan peristiwa lainnya, maka karakteristik aktivitas Matahari lainnya yang berkaitan dengan semburan radio tipe III dapat diketahui. Penemuan karakteristik ini akan memudahkan diperolehnya penjelasan fisis mengenai hubungan semburan radio tipe III dan aktivitas Matahari lainnya.

2. Metode

Untuk mencari periodisitas kemunculan semburan radio tipe III, digunakan data deret waktu semburan radio pada siklus 23 antara tahun 1996-2008. Data semburan radio diperoleh dari arsip data spektrum semburan radio pada Observatorium Matahari Hiraiso (HiRAS), Jepang, yang tersedia di situs http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/spe_summary/. Pemilihan data dari observatorium ini dilakukan karena ketersediaan yang cukup lengkap sejak saat awal siklus hingga akhir siklus 23. Ringkasan data deret waktu semburan radio tipe III pada Hiraiso juga hanya menampilkan semburan radio tipe III untuk semburan tunggal atau grup kecil sehingga mempermudah pemilihan data. Data semburan radio tipe III yang kosong pada beberapa hari, yang disebabkan oleh ketidaktersediaan data, dilengkapi dengan data semburan radio dari Observatorium fuer Solar Radioastronomie, Astrophysikalisches Institut Postdam (AIP), Jerman, yang terdapat pada situs <http://www.aip.de/groups/osra/data/montab/>. Untuk melengkapi data yang juga tidak terdapat di AIP, digunakan data dari Observatorium Radio Culgoora, Ionospheric Prediction Service (IPS), Australia, yang tersedia pada situs http://www.ips.gov.au/World_Data_Centre/1/9. Data kemunculan semburan radio Matahari tipe III selama rentang waktu 1998-2004 ditampilkan pada gambar 2-1 dengan permulaan hari dihitung sejak 1 Januari 1998 hingga 31 Desember 2004.

Pemilihan data dilakukan dengan menghitung jumlah kemunculan semburan radio tipe III yang terdeteksi pada setiap hari dalam siklus 23. Dikarenakan jumlah kemunculan semburan radio tipe III yang sangat sedikit pada awal dan akhir siklus, maka data yang digunakan hanya untuk tahun 1998 hingga 2004. Pemilihan rentang tahun ini mempertimbangkan kemunculan semburan radio yang cukup banyak saat menjelang dan sebelum rata-rata puncak siklus 23 pada 2001. Sedangkan data semburan radio tipe III yang dipilih hanyalah semburan radio tipe III tunggal dan grup kecil. Jenis seperti ini dipilih karena mudah diinterpretasikan sebagai semburan radio tipe III dan bukan merupakan jenis badai semburan radio (*storm*).

Dalam melakukan analisis data deret waktu, diperlukan metode analisis spektral sebagai suatu alat yang efektif dalam memilah informasi data deret waktu menjadi data periodisitas. Dalam penelitian ini, metode analisis spektral yang digunakan adalah metode *Fast Fourier Transform* (FFI) dan analisis wavelet. Metode FFT merupakan optimasi algoritma dari *Discrete Fourier Transform*. Pada dasarnya, teknik transformasi Fourier merupakan alat utama untuk mengubah domain waktu pada data deret waktu menjadi domain frekuensi. Dengan melakukan analisis data deret waktu pada domain frekuensi, periodisitas dalam deret waktu tersebut akan lebih mudah untuk dilihat. Oleh karena itu, metode FFT diterapkan pada data deret waktu semburan radio tipe III yang muncul sepanjang siklus Matahari 23. Dalam penelitian ini, proses transformasi Fourier data deret waktu dilakukan dengan menggunakan fungsi FFT pada program MATLAB.



Gambar 2-1. Grafik *smoothing* kemunculan semburan radio Matahari selama siklus Matahari 23 menunjukkan adanya variasi jumlah kemunculan yang mencapai nilai tertinggi pada sekitar puncak siklus Matahari 23.

Namun, metode FFT mempunyai keterbatasan dalam menganalisis suatu deret waktu karena tidak dapat memperlihatkan variasi periodisitas dalam suatu rentang waktu. Padahal, kemunculan semburan radio tipe III merupakan peristiwa yang *non-stasioner* terhadap waktu dan periodisitas kemunculannya diduga memiliki pola yang serupa dengan fenomena *transient* Matahari lainnya terutama flare. Untuk itulah digunakan metode analisis spektral lainnya yaitu metode analisis *wavelet*. Metode analisis *wavelet* dapat digunakan untuk menentukan mode yang dominan dalam suatu deret waktu dan bagaimana mode tersebut bervariasi terhadap waktu (Torrence dan Compo, 1998).

Analisis *wavelet* pada dasarnya melakukan transformasi domain waktu pada data deret waktu ke dalam domain frekuensi dengan melibatkan fungsi *wavelet* induk (*mother wavelet function*) tertentu. Pada penelitian ini, digunakan fungsi *wavelet* induk Morlet untuk melakukan transformasi data deret waktu kemunculan semburan radio tipe III. Adapun teknik transformasi *wavelet* yang digunakan adalah *Continuous Wavelet Transform* (CWT), yang memang lebih sesuai untuk tujuan ekstraksi sifat dari suatu deret waktu. CWT dari suatu deret diskrit x_n didefinisikan sebagai konvolusi x_n dengan suatu skala dan fungsi translasi $\psi_{\omega, \tau}(n)$ -

Persamaan dasar *Continuous Wavelet Transform*

$$W(f, s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \psi \left[\frac{(n - \tau)k\pi}{s} \right] \quad (2.1)$$

Untuk fungsi *wavelet* induk Morlet maka nilai $\psi_{\omega_0}(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\eta^2/2}$ dengan ω_0 adalah frekuensi. Teknik CWT yang digunakan pada makalah ini mengadopsi algoritma dan *script* kode MATLAB oleh Grinsted yang digunakan untuk melakukan analisis *wavelet* terhadap data deret waktu variabilitas iklim pada Laut Arktik dan Laut Baltik di belahan Bumi utara (Grinsted dan Moore, 2004).

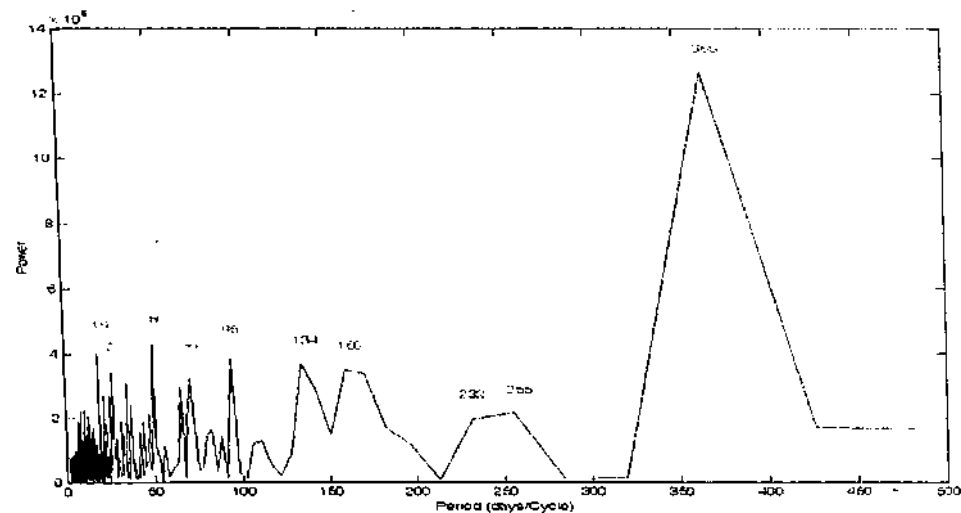
Hasil temuan periodisitas kemunculan semburan radio tipe III dari analisis spektral selanjutnya dibandingkan dengan temuan penelitian sebelumnya mengenai periodisitas di Matahari. Perbandingan dilakukan terutama dengan periodisitas yang telah ditemukan pada flare matahari. Perbandingan atas periodisitas lainnya di Matahari juga dilakukan sesuai dengan kemiripan pola dan kedekatan waktu.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil transformasi Fourier (FFT) pada data deret waktu kemunculan semburan radio tipe III antara tahun 1998 hingga 2004, didapatkan hasil seperti terlihat pada Gambar 3-1. Dari gambar 3-1, dapat diidentifikasi bahwa terdapat beberapa periodisitas yang ditemukan, yaitu 27, 50, 71, 95, 134, 160, 255, dan 365 hari. Hasil ini, meskipun tidak sepenuhnya sama seperti periodisitas pada aktivitas Matahari yang telah ditemukan sebelumnya, namun memiliki kedekatan waktu dalam selang 1-7 hari.

Hasil transformasi *wavelet* kemunculan semburan radio tipe III pada siklus matahari 23 ditampilkan pada gambar 3-2. Dari gambar 3-2, dapat diidentifikasi adanya variasi periodisitas kemunculan semburan radio tipe III yang dimulai sejak mendekati puncak siklus hingga setelah terjadinya puncak siklus Matahari 23. Periodisitas 250-360 hari terjadi hampir pada sepanjang siklus 23. Sementara periodisitas 120-160 hari terjadi terutama pada masa puncak siklus Matahari antara tahun 2001-2003. Begitu juga dengan periodisitas 19, 27, dan 50 hari terjadi pada beberapa saat di sekitar puncak siklus, yakni pada rentang tahun 2001-2003.

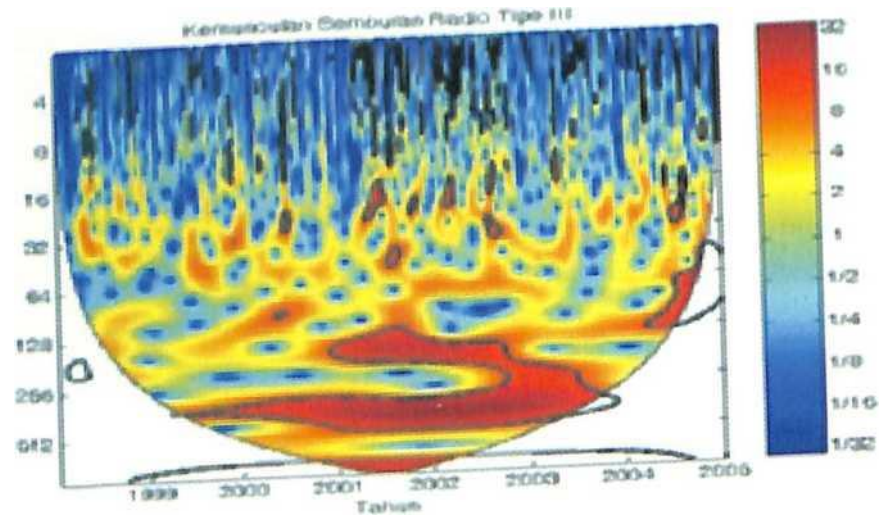
Dari hasil analisis wavelet terhadap data deret waktu kemunculan semburan radio tipe III, diketahui terdapat persamaan periodisitas yang juga teridentifikasi pada analisis wavelet flare yang dilakukan oleh Hiremath (Hiremath, 2009). Pada gambar 3-1 ditampilkan wavelet power spectrum kemunculan flare untuk tahun 1996-2001. Dari Gambar 3-1 dapat diketahui adanya periodisitas yang kuat untuk periode 200-500 hari antara tahun 2000-2001 yang merupakan masa puncak siklus Matahari 23. Penguatan power spectrum juga tampak pada masa yang sama untuk periode 30-70 hari. Hal ini sesuai dengan hasil analisis wavelet pada gambar 3-2 khususnya pada saat masa puncak siklus 23. Sedikit perbedaan distribusi power spectrum pada kedua gambar ini lebih dipengaruhi oleh perbedaan rentang deret waktu pada analisis wavelet kemunculan semburan radio tipe III dan kemunculan flare.



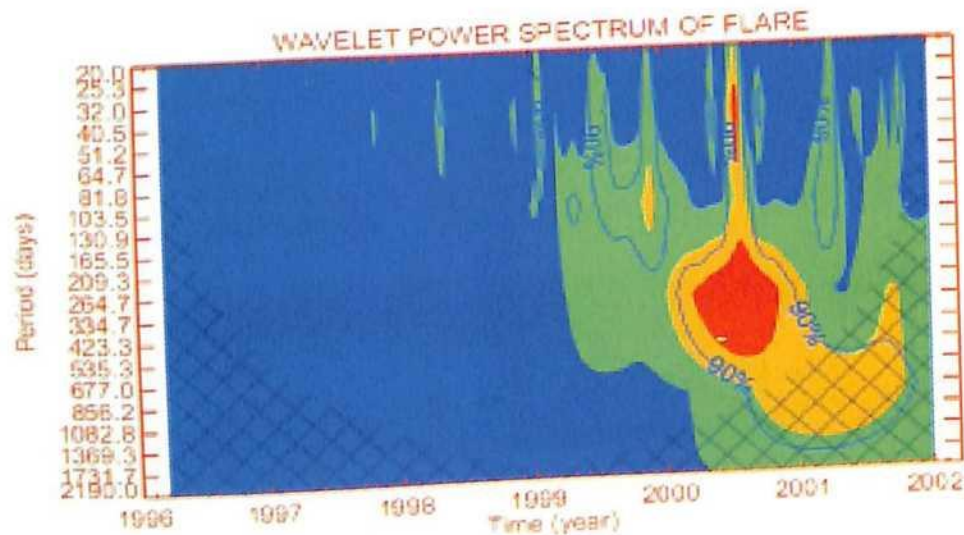
Gambar 3.1. Grafik FFT *power spectrum* untuk data kemunculan semburan radio tipe III pada siklus matahari 23.

Dari beberapa periodisitas yang diidentifikasi pada kemunculan semburan radio tipe III, terdapat dua jenis periodisitas berdasarkan harmonik utamanya, yakni yang merupakan fungsi harmonik dari 27 hari dan 25,5 hari. Di antara periodisitas yang mendekati fungsi harmonik 27 hari adalah 134 hari dan 160 hari. Periodisitas 27 hari, yang juga ditemukan pada banyak analisis periodisitas di Matahari, lebih merupakan akibat dari pengaruh spasial di Matahari. Pengaruh spasial dalam hal ini adalah rotasi Carrington Matahari yang memang berlangsung selama 27 hari (Prabakharan Nayar, 2006). Keberadaan daerah aktif yang bertahan lama di Matahari dan kembali ke posisi awalnya selama terjadi rotasi Carrington menjadi alasan utama munculnya periodisitas 27 hari ini.

JOHAN MUHAMAD



(a)



(b)

Gambar 3-2. Wavelet power spectrum dari aktivitas Matahari: (a). Kemunculan semburan radio Matahari tipe III pada siklus Matahari 23 antara tahun 1998 hingga akhir 2004. Garis kontur tebal hitam menunjukkan tingkat signifikansi 5% atas *red noise*, sedangkan garis batas tipis antara daerah berwarna dan hitam putih menunjukkan *cone of influence* (COI). (b). Kemunculan flare pada tahun 1996-2001 yang didapatkan oleh Hiremath (2009). Garis kontur menunjukkan tingkat kepercayaan 90% dan daerah yang diarsis silang menunjukkan *power* yang tidak signifikan.

Periodisitas yang mengikuti pendekatan fungsi harmonik 25,5 hari adalah 50 hari dan 255 hari. Penjelasan mengenai kemunculan periodisitas 25,5 dan 27 hari diusulkan oleh Bai (2003) dimana kedua periodisitas tersebut berkaitan dengan sistem hot spot ganda yang ada di Matahari. Melalui data kemunculan flare di siklus Matahari 19 dan 21, Bai menemukan adanya periode sinodik selama 27,41 hari dan periode siderik 25,5 hari dari sistem hot spot ganda di siklus tersebut (Bai, 2003a). Teridentifikasinya periodisitas 27 hari serta fungsi harmoniknya, dan fungsi harmonik 25,5 hari pada kemunculan semburan radio tipe III mengindikasikan kuatnya hubungan kemunculan semburan radio tipe III dengan daerah aktif yang menjadi tempat kemunculan flare.

Periodisitas 120-160 hari serta periodisitas di rentang 250-360 hari yang teridentifikasi kuat dengan menggunakan wavelet power spectrum di hampir sepanjang siklus 23 pada kemunculan semburan radio tipe III juga ditemukan pada aktivitas Matahari lainnya. Keberadaan periodisitas ini terutama berkaitan erat dengan aktivitas flare di Matahari. Pada siklus 21, periodisitas 153 hari bahkan sangat efektif menghasilkan flare energetik (Bai, 2003a). Kemunculan periodisitas 155 hari yang ditemukan di banyak tinjauan aktivitas Matahari mengindikasikan bahwa periodisitas ini tidak hanya terkait dengan flare saja, tetapi juga oleh konsentrasi medan magnet pada area yang sempit di Matahari. Sedangkan untuk periodisitas di rentang 365 hari, perbandingan yang ditemukan dari peneliti lainnya adalah 323 hari, yang muncul pada analisis deret waktu fungsi penghalang bintik Matahari, fluks radio 10.7, bilangan bintik Matahari, indeks plage harian (Lean dan Brueckner, 1989). Periodisitas 358 ± 38 hari juga terekam pada kemunculan CME meskipun keterkaitan CME dan semburan radio tipe III diragukan karena mekanisme fisis dan perbandingan kecepatan yang sangat berbeda (Lou et al., 2003). Mekanisme kemunculan periodisitas 360-an hari ini belum sepenuhnya dipahami dan diperkirakan berasal dari mekanisme yang berbeda dengan periodisitas 120-160 hari.

4. Kesimpulan

Periodisitas kemunculan semburan radio tipe III memperlihatkan adanya turunan fungsi harmonik dari harmonik utama 25,5 dan 27 hari. Selain itu, terdapat juga periodisitas 150-160 hari dan 250-360 hari yang teramati secara jelas pada kemunculan semburan radio tipe III. Periodisitas kemunculan semburan radio Matahari tipe III yang teridentifikasi pada siklus Matahari 23 ini memiliki pola yang serupa dengan periodisitas kemunculan flare. Penemuan periodisitas ini dapat memberi petunjuk karakteristik flare yang berpotensi menghasilkan semburan radio tipe III. Selain itu, periodisitas 150-160 hari dan 250-360 hari yang teramati secara jelas pada kemunculan semburan radio tipe III juga sangat berasosiasi dengan kuatnya periodisitas serupa pada kejadian flare. Oleh karena itu, penjelasan fisis mengenai kemunculan periodisitas 150-160 hari sangat diperlukan untuk mendapatkan jawaban atas mekanisme fisis suatu kejadian flare yang mengakibatkan kemunculan semburan radio tipe III.

Daftar Rujukan

- Bai, T., 2003a, *Periodicities in Solar Flare Occurrence: Analyses of Cycles 19-23*. The Astrophysical Journal. Vol. 591: 406-415.
- Bai, T., 2003b, *Periodicities Near 160 Minutes in Flare Occurrences*. Solar Physics Vol. 215: 327-334.
- Cane, H. V., Reames, D. V., 1988, *Soft X-Ray Emissions, Meter-Wavelength Radio Bursts, and Particle Acceleration in Solar Flare*. The Astrophysical Journal. 325: 895-900.
- Grinsted, A., Moore, J. C., Jevrejeva, S., 2004, *Application of The Cross Wavelet Transform and Wavelet Coherence to Geophysical Time Series*. Nonlinear Processes in Geophysics. 11: 561-566.
- Hiremath, K.M. 2009. *Periodicities in the Occurrences of Solar Coronal Mass Ejections*. arXiv:0909.4376v1 [astro-ph.SR] diakses dari http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0909/0909.4376v1.pdf pada 25 Juli 2010
- Khomenko, E., Centeno, R., Collados, M., Trujillo Bueno, J., 2008, *Channeling 5 Minute Photospheric Oscillations into the Solar Outer Atmosphere Through Small-Scale Vertical Magnetic Flux Tubes*. The Astrophysical Journal. 676: L85-L88.
- Lean, J. L., and Brueckner, G. E., 1989, *Intermediate-Term Solar Periodicity: 100-500 Days*, The Astrophysical Journal. 337: 568-578.
- Lou, Y. Q., Wang, Y. M., Fan Z., Wang, S., Wang, J. X., 2003, *Periodicities in Solar Coronal Mass Ejections*. Mon. Not. R. Astron. Soc. 345: 809-818.
- Lundstedt, H., Liszka, L., Lundin, R., Muscheler, R., 2006, *Long-Term Solar Activity Explored With Wavelet Methods*. Annales Geophysicae 24:769-778.
- Pohjolainen, S., Hori, K., Sakurai. T., 2008, *Radio Bursts Associated With Flare and Ejecta in the 13 July 2004 Event*. Solar Physics Vol. 253: 291-303.
- Prabakharan Nayar, S. R. 2006. *Periodicities in Solar Activities and Their Signature in The Terrestrial Environment*. Proc. ILWS Workshop.
- Sakai, J. I., Kitamoto, T., Saito, S., 2005, *Simulation of Solar Type III Radio Bursts From a Magnetic Reconnection Region*. The Astrophysical Journal. 622: L157-L160.
- Schatten, K., 1998, *Forecasting Solar Activity and Cycle 23 Outlook*. ASP Conference Series. Vol 154. CD-1315-1323.
- Suzuki, S., Dulk, G. A., 1985, *Bursts of Type III and Type V* dalam McLean, D. J. and Labrum, N. R. Solar Radiophysics. Cambridge University Press: 289-332.
- Torrence, C., Compo, G. P., 1998, *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. Bulletin of The American Meteorological Society. Vol. 79: 61-78.