

HELISITAS MAGNETIK DAERAH AKTIF DI MATAHARI

Clara Y. Yatini

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

email: clara@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The solar magnetic helicity obey the helicity rule. Negative helicity dominates in the northern hemisphere, and positive helicity dominates in the southern part. The magnetic helicity does not agree with the 11- or 22-year solar cycles. In strong flares, the helicity patches that disagreed with the hemispheric sign rule show significant changes around the flare time, while in the weak flares, such change is not observed successfully.

ABSTRAK

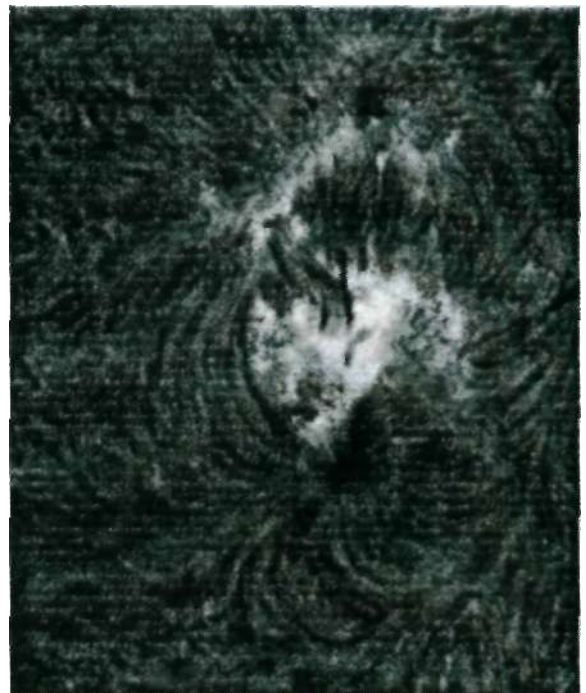
Helisitas di matahari mengikuti kaidah tertentu, Hemisfer utara helisitas yang dominan adalah helisitas negatif sedangkan di selatan adalah helisitas positif. Helisitas magnetik ini tidak berubah seperti siklus aktivitas matahari 11 atau 22 tahun. Pada *flare* yang kuat terjadi perubahan pada helisitas yang mempunyai polaritas berlawanan dengan kaidah helisitas yang cukup signifikan pada waktu sebelum dan saat terjadinya flare, sedangkan pada flare yang lemah perubahan ini belum berhasil diamati.

1 PENDAHULUAN

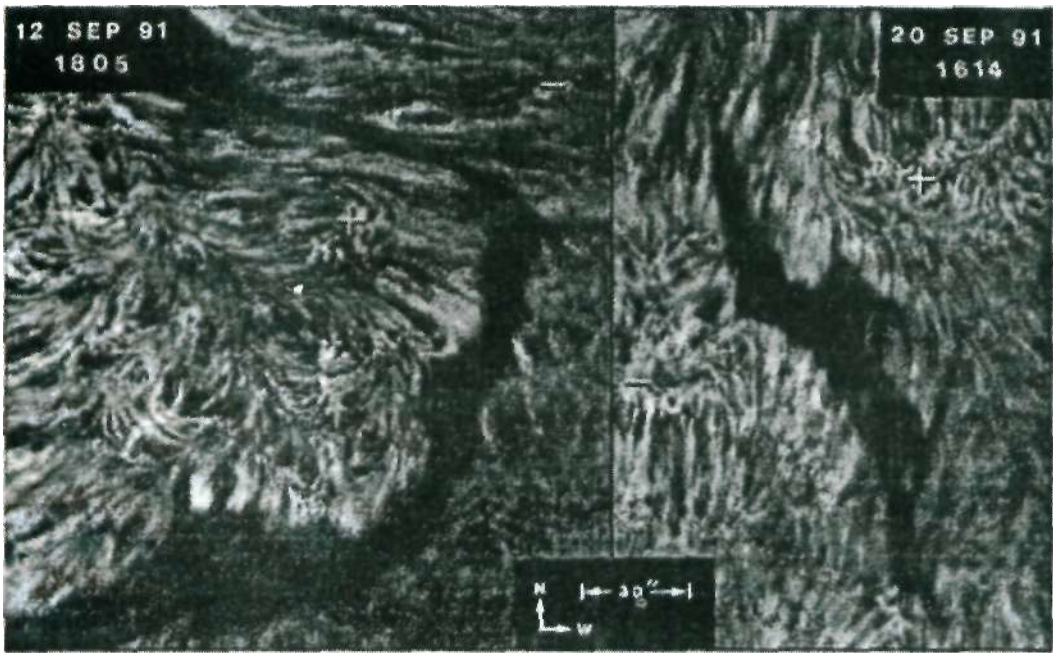
Konsep helisitas magnetik (*magnetic helicity*) dibangun untuk menjelaskan topologi medan magnetik. Helisitas magnetik dapat membantu dalam memahami rekoneksi magnetik, proses dinamo, dan proses relaksasi. Dalam bidang fisika matahari konsep ini digunakan untuk mempelajari topologi medan-medan magnetik di daerah konveksi matahari, fotosfer, kromosfer, korona, dan di ruang antar planet.

Di matahari banyak sekali fenomena *helical*. Beberapa fenomena *helical* di atmosfer matahari antara lain adalah *whirls* atau gerak memutar di sekitar bintang matahari (Gambar 1-1), *filament chirality* atau arah dan kecondongan filamen (Gambar 1-2), serta helisitas di fotosfer. Di korona matahari struktur yang dikenal dengan sigmoid atau berbentuk S juga merupakan akibat dari medan magnetik yang terpuntir. Sedangkan helisitas di ruang antar planet dapat ditunjukkan dengan fenomena CME

(*Coronal Mass Ejection* atau lontaran massa korona).



Gambar 1-1: Contoh penumbra! *whirls* (Norikura Solar Observatory, <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/en/norikura.html>)



Gambar 1-2: *Filament chirality* (Big Bear Solar Observatory, <http://www.bbso.njit.edu>)

2 DEFINISI HELISITAS

Helisitas magnetik didefinisikan dengan

$$H_m = \int_D (\nabla \times A) \cdot A dV \quad (2-1)$$

dengan A adalah potensial vektor untuk medan magnet B . Dengan ini dapat didefinisikan bahwa *current helicity* dapat dinyatakan dengan

$$H_c = \int_D (\nabla \times B) \cdot B dV \quad (2-2)$$

dan helisitas kinetik dinyatakan dengan

$$H_k = \int_D (\nabla \times v) \cdot v dV \quad (2-3)$$

Dalam Hagino (2004) disebutkan bahwa dari vektor magnetogram dapat diketahui *current helicity vertical* yang dinyatakan dengan

$$J_z = (\nabla \times B)_z = \frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} \quad (2-4)$$

dengan vektor medan magnet $B = (B_x, B_y, B_z)$.

Dari data vektor magnetogram dapat dilakukan pendekatan

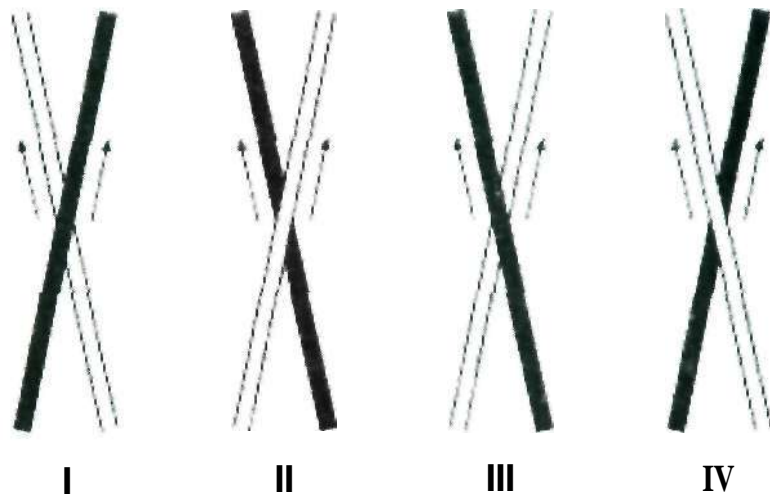
$$\nabla \times B = \alpha B \quad (2-5)$$

dengan α adalah proksi untuk *current helicity*, yang dapat dihitung dengan

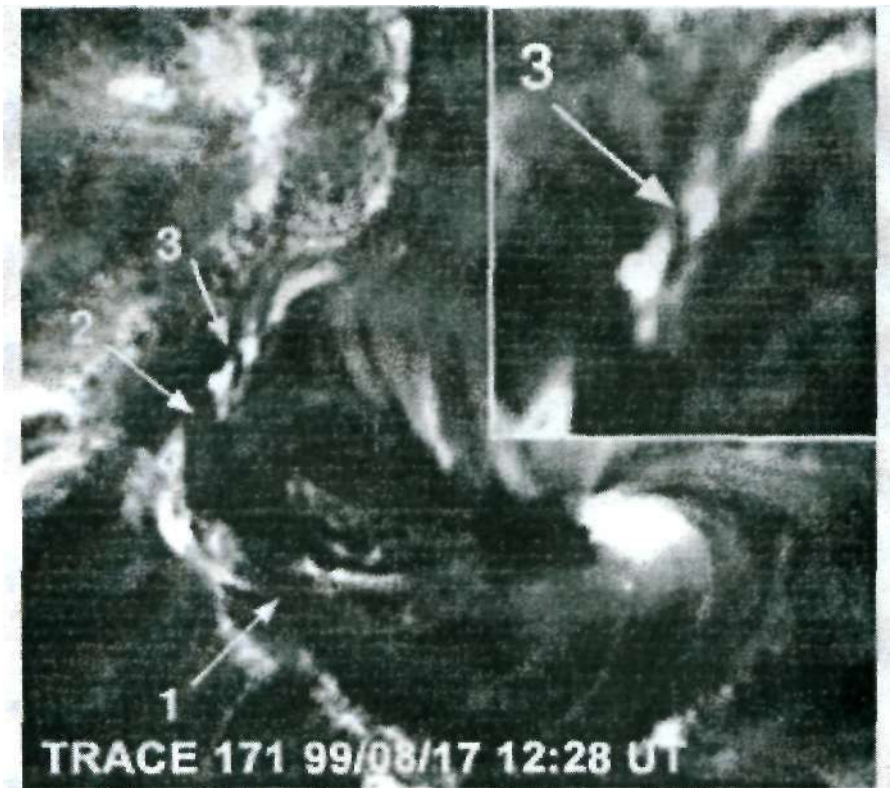
$$\alpha = \frac{J_z}{B_z} = \frac{(\partial B_y / \partial x - \partial B_x / \partial y)}{B_z} \quad (2-6)$$

Berkaitan dengan *filament chirality* atau tanda helisitas (positif atau negatif) Chae (2000) memperkenalkan metode baru untuk menentukan tanda helisitas dengan mengamati benang terang dan gelap pada filamen pada pengamatan EUV. Asumsi-asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Filamen terdiri dari benang benang halus.
- Benang-benang halus ini mengikuti garis-garis medan magnetik di dalam filamen.
- Medan magnet di dalam 2 benang yang bersilangan membentuk sudut yang kecil dan mempunyai tanda helisitas yang sama.



Gambar 2-1: Empat kondisi persilangan antara benang-benang terang dan gelap



Gambar 2-2: Contoh pita *flare* yang memotong filamen. Persilangan yang ditunjukkan dengan no. 3 merupakan tipe III (helisitas negatif) (Chae, 2000)

Chae (2000) menggambarkan hasil pengamatan dengan EUV seperti pada Gambar 2-1. Tipe I dan II mengindikasikan helisitas positif, sedangkan tipe III dan IV mengindikasikan helisitas negatif. Sebagai contoh, Gambar 2-2 menunjukkan helisitas negatif.

Untuk lebih memudahkan penggambaran helisitas ini maka digunakan metode tangan kiri dan kanan. Helisitas negatif digambarkan dengan tangan kiri, sedangkan helisitas positif digambarkan dengan tangan kanan.

Tanda panah menunjukkan arah medan magnetik. Helisitas positif (puntiran

tangan kanan) ditunjukkan pada kondisi I dan II, sedangkan negatif (puntiran tangan kiri) ditunjukkan pada kondisi III dan IV (Chae, 2000)

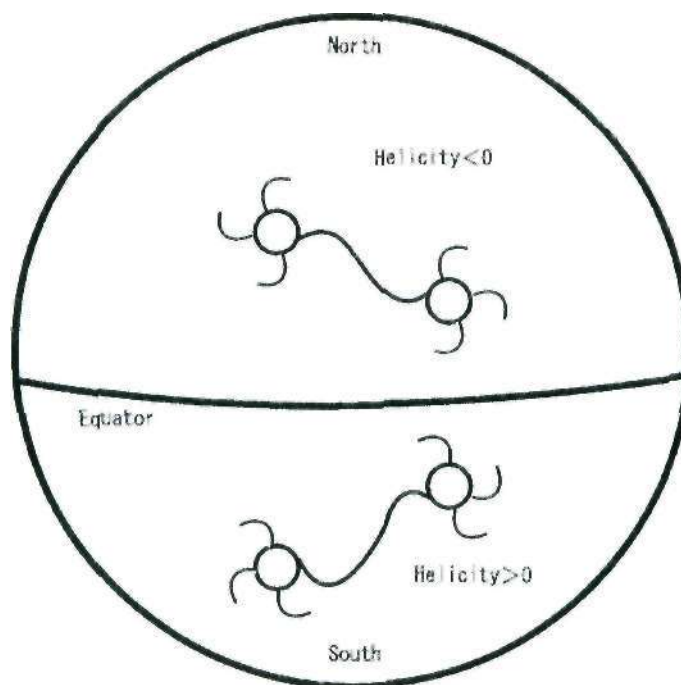
3 DISTRIBUSI HELISITAS DI HEMISFER MATAHARI

Seehafer (1990) melihat adanya perbedaan helisitas di hemisfer utara dan selatan matahari (asimetri), yaitu salah satu helisitas (positif/ negatif) dominan di salah satu hemisfer, sementara helisitas yang berlawanan dominan di hemisfer yang lain. Tabel 3-1 memperlihatkan secara

statistik distribusi helisitas di hemisfer utara dan selatan matahari yang diamati oleh beberapa sumber untuk siklus ke 22 dan 23. Pada tabel ini dapat dilihat perbedaan helisitas di hemisfer utara dan selatan matahari. Pada kedua siklus ini helisitas negatif lebih dominan di hemisfer utara, sedangkan helisitas positif lebih dominan di hemisfer selatan (Gambar 3-1). Dari sini dapat disimpulkan bahwa kaidah helisitas pada siklus ke 23 sama dengan siklus sebelumnya (siklus ke 22).

Tabel 3-1: DISTRIBUSI HELISITAS DI HEMISFER MATAHARI

Referensi	Siklus ke	Hemisfer	Helisitas		Sumber Data
			Negatif	Positif	
Pevtsov et al. (1995)	22	Utara	70%	-	Mees
		Selatan	-	69%	
Longcope et al. (1998)	22	Utara	62%	-	Mees
		Selatan	-	66%	
Abramenko et al. (1998)	22	Utara	79%	-	Huairou
		Selatan	-	86%	
Bao & Zhang (1998)	22	Utara	84%	-	Huairou
		Selatan	-	79%	
Bao et al. (2000)	23	Utara	59%	-	Huairou
		Selatan	-	65%	
Pevtsov et al. (2001)	23	Utara	63%	-	Mees
		selatan	-	70%	



Gambar 3-1: Kaidah helisitas di hemisfer. Daerah aktif di utara (selatan) hemisfer cenderung menunjukkan helisitas negatif (positif)

4 VARIASI HELISITAS DAN SIKLUS AKTIVITAS MATAHARI

Helisitas dari medan magnetik semestinya berkaitan erat dengan mekanisme pembangkitan medan magnetik dan siklus aktivitas matahari. Telah disebutkan di atas bahwa siklus ke 23 ternyata mempunyai tanda helisitas yang sama dengan sebelumnya. Seperti yang telah diketahui bahwa medan magnetik matahari mempunyai siklus 22 tahun, yaitu 2x siklus aktivitas *simspot*-nya. Untuk mengetahui apakah helisitas ini berkaitan juga dengan siklus 22 tahun medan magnet, maka perlu dilihat siklus yang lain, yaitu siklus ke 21.

Hagino (2004) menganalisa helisitas untuk daerah-daerah aktif pada sebagian siklus ke 21 (tahun 1983-1986) dan mendapatkan bahwa helisitas ternyata tidak berubah, yaitu bahwa hemisfer utara mempunyai helisitas negatif, sedangkan hemisfer selatan mempunyai helisitas positif.

Penyebab helisitas ini dan distribusinya di hemisfer masih dalam perdebatan. Belum ada teori yang pasti tentang hal ini. Akan tetapi dari beberapa penelitian diketahui bahwa mekanisme-mekanisme seperti gaya Coriolis, rotasi diferensial, dan dinamo lapisan di matahari terlibat dalam proses ini.

5 HELISITAS MAGNETIK DAN FLARE

Untuk mengetahui kaitan antara perubahan helisitas pada daerah aktif yang terkait dengan *flare*, maka dilakukan beberapa studi tentang helisitas pada beberapa daerah aktif yang menghasilkan *flare*. Sebagai contoh ditampilkan beberapa daerah aktif, yaitu NOAA 9415, NOAA 9661, NOAA 7912, dan NOAA 8100.

5.1 Daerah aktif NOAA 9415

Daerah aktif ini muncul pada bulan April 2001, dan terletak di hemisfer selatan (S22). Selama di permukaan matahari melontarkan beberapa *flare*

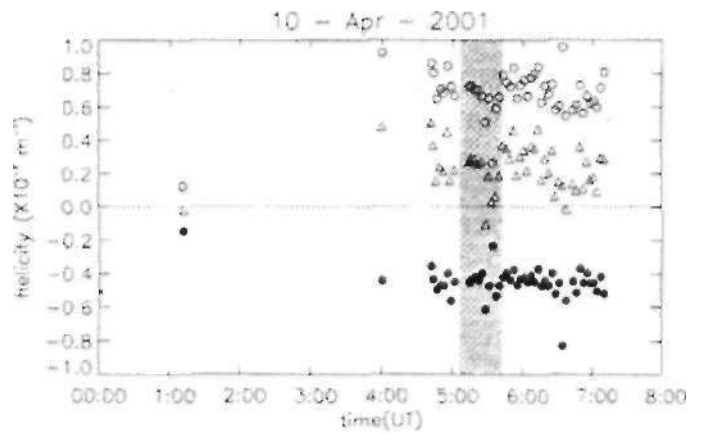
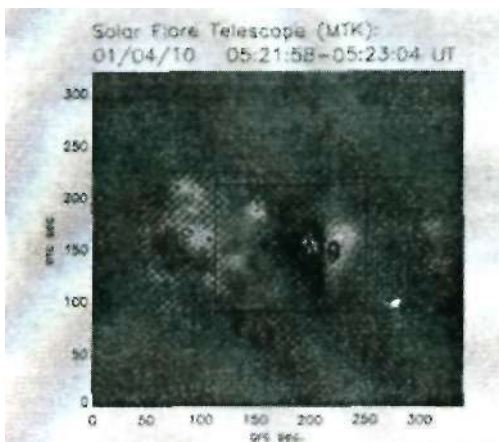
kelas X, salah satunya adalah *flare* X2.3 pada tanggal 10 April 2001 yang mulai pada jam 05.06 UT. Sesuai dengan kaidah helisitas, maka helisitas yang dominan pada daerah ini adalah helisitas positif (Gambar 5-1). Helisitas pada daerah yang terjadi *flare* (lokal) ditunjukkan pada Gambar 5-2. Daerah kelabu pada gambar menunjukkan selang waktu terjadinya *flare*. Dibandingkan dengan total helisitas pada daerah total (seluruh daerah aktif yang teramati), maka pada helisitas lokal ini terlihat ada perubahan yang lebih jelas pada saat terjadi *flare*. Perubahan terjadi pada helisitas negatif.

5.2 Daerah aktif NOAA 9661

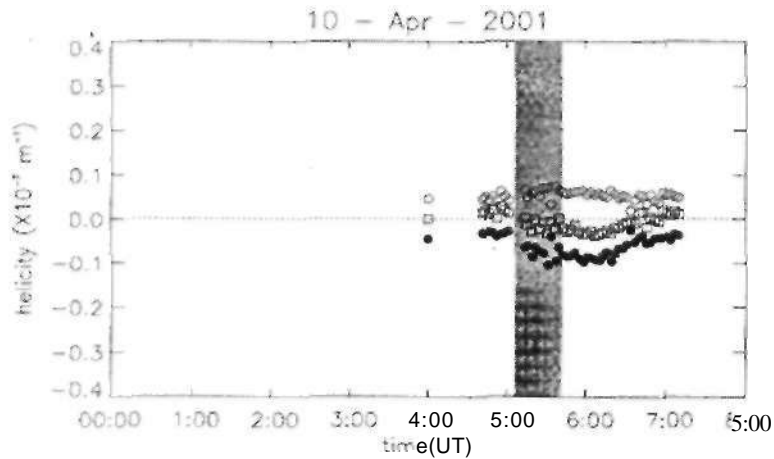
Pada tanggal 19 Oktober 2001 jam 01.05 UT daerah aktif NOAA 9661 yang terletak di lintang 6° Utara melontarkan *flare* kelas XI.6. Daerah aktif ini mempunyai helisitas negatif, meskipun amplitudonya sangat kecil (Gambar 5-3). Gambar 5-4 memperlihatkan helisitas lokal pada daerah tersebut. Pada kejadian *flare* di sini perubahan helisitas terjadi pada helisitas positif. Sama halnya dengan daerah aktif NOAA 9415, kedua *flare* besar ini (kelas X) mengakibatkan perubahan helisitas pada polaritas yang berbeda dengan helisitas pada daerah yang terjadi *flare*.

5.3 Daerah aktif NOAA 7912

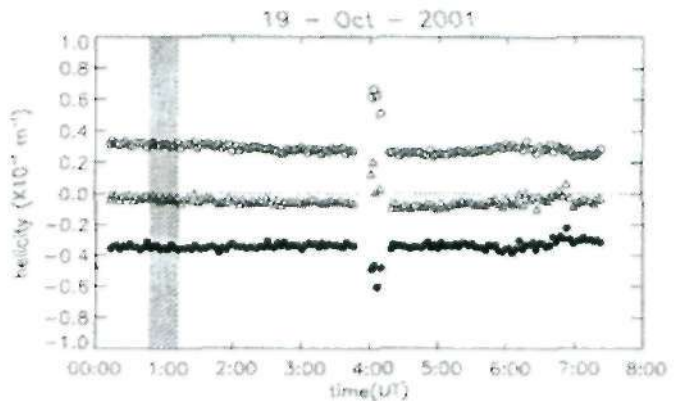
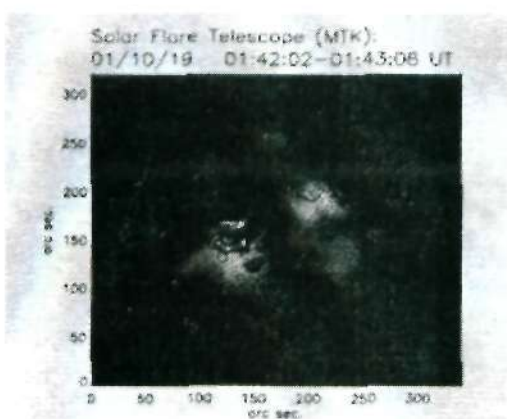
Daerah ini menghasilkan *flare* M4.8 pada tanggal 13 Oktober 1995 jam 05:00 dan berakhir pada jam 05:21 UT. Posisinya di S10 E43, yaitu di hemisfer selatan matahari, sehingga helisitasnya adalah positif seperti pada Gambar 5-5, walaupun hampir tidak terlihat. Helisitas positif ini lebih terlihat pada daerah lokal, yaitu tempat terjadinya *flare*, seperti pada Gambar 5-6. Akan tetapi pada helisitas lokal inipun tidak terlihat adanya perubahan selama ataupun sebelum terjadinya *flare*. Helisitas totalnya pun tidak tampak berubah.



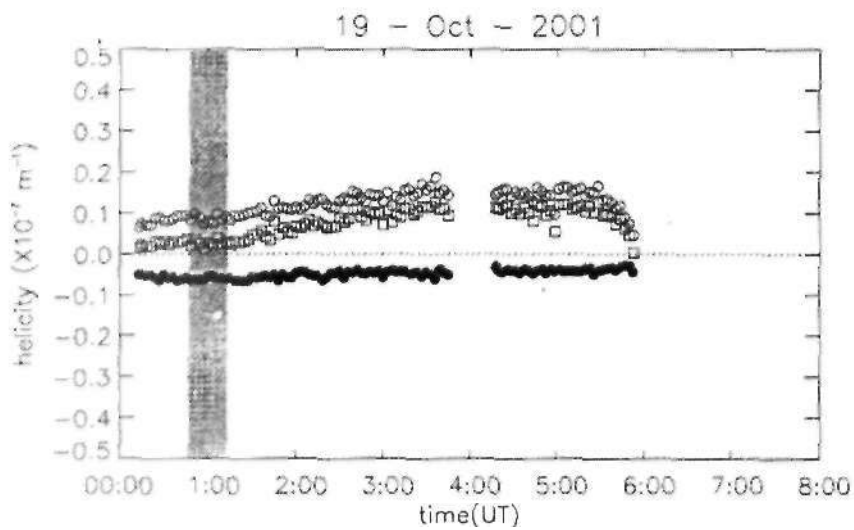
Gambar 5-1: Magnetogram NOAA 9415 pada tanggal 10 April 2001 (kiri). Terang (gelap) menunjukkan polaritas positif (negatif). Garis kontur pada gambar menunjukkan helisitas positif (garis tidak terputus) dan negatif (garis putus-putus) (Mitaka Solar Observatory). Gambar kanan menunjukkan helisitas daerah tersebut (Hagino, 2004). Tanda o menunjukkan helisitas positif, • menunjukkan helisitas negatif, dan A menunjukkan resultan-nya



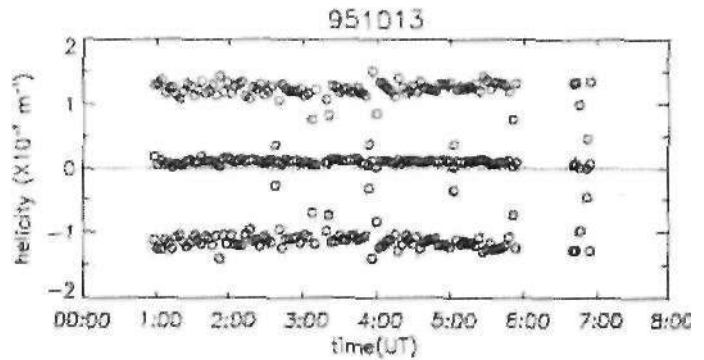
Gambar 5-2: Helisitas lokal NOAA 9415 (daerah dalam kotak pada Gambar 5-1 kiri) di daerah yang terjadi flare (Hagino, 2004). Tanda o menunjukkan helisitas positif, • menunjukkan helisitas negatif, dan a menunjukkan resultan-nya



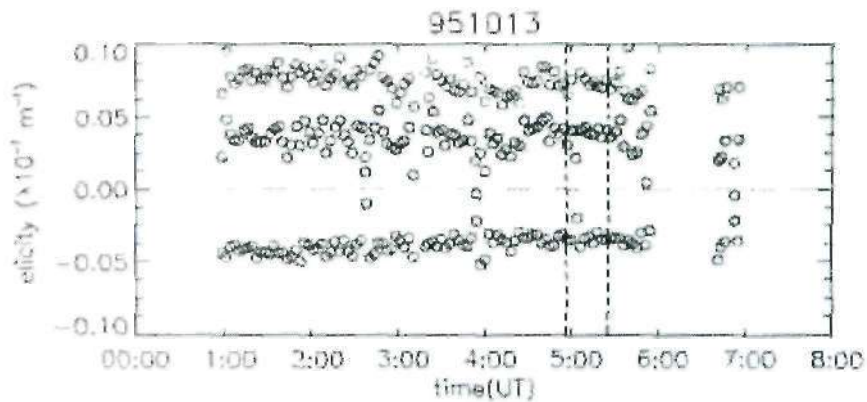
Gambar 5-3: Magnetogram NOAA 9611 pada tanggal 19 Oktober 2001 (kiri). Terang (gelap) menunjukkan polaritas positif (negatif). Garis kontur pada gambar menunjukkan helisitas positif (garis tidak terputus) dan negatif (garis putus-putus) (Mitaka Solar Observatory). Gambar kanan menunjukkan helisitas daerah tersebut (Hagino, 2004). Simbol yang digunakan sama dengan Gambar 5-1.



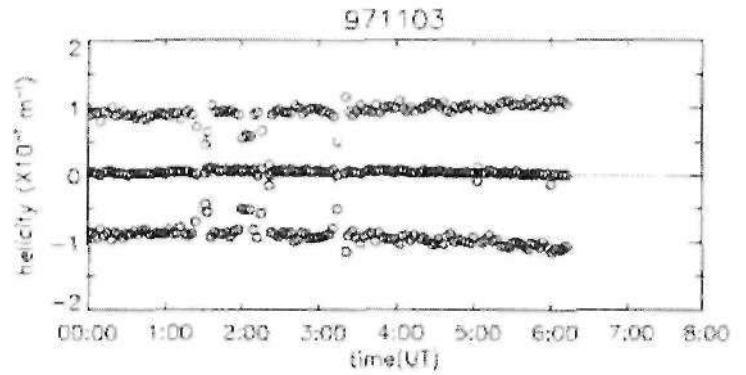
Gambar 5-4: Helisitas lokal NOAA 9611 di daerah yang terjadi *flare* (Hagino, 2004). *Flare* terjadi di daerah dalam kotak pada Gambar 5-3 (kiri). Simbol yang digunakan sama dengan Gambar 5-2



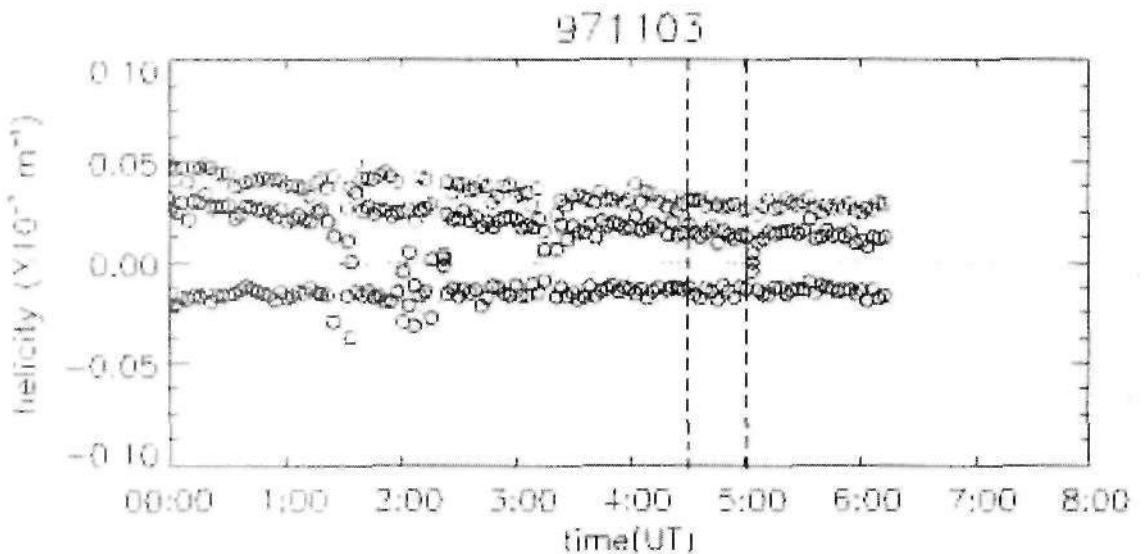
Gambar 5-5: Magnetogram NOAA 7912 pada tanggal 13 October 1995 (kiri). Terang (gelap) menunjukkan polaritas positif (negatif). Garis kontur pada gambar menunjukkan helisitas positif (garis tidak terputus) dan negatif (garis putus-putus). Gambar kanan menunjukkan helisitas daerah tersebut. Simbol o di atas, di tengah dan di bawah masing-masing menunjukkan helisitas positif, resultan-nya, dan helisitas negatif



Gambar 5-6: Helicity lokal NOAA 9415 di daerah yang terjadi *flare*, yaitu daerah dalam kotak pada Gambar 5-5 (kiri). Simbol o di atas, di tengah dan di bawah masing-masing menunjukkan helisitas positif, resultan-nya, dan helisitas negatif



Gambar 5-7: Magnetogram NOAA 8100 pada tanggal 4 November 1997 (kiri). Terang (gelap) menunjukkan polaritas positif (negatif). Garis kontur pada gambar menunjukkan helisitas positif (garis tidak terputus) dan negatif (garis putus-putus). Gambar kanan menunjukkan helisitas daerah tersebut. Simbol o di atas, di tengah dan di bawah masing-masing menunjukkan helisitas positif, resultan-nya, dan helisitas negatif



Gambar 5-8: Helicity lokal NOAA 8100 (dalam kotak pada Gambar 5-7 sebelah kiri) di daerah yang terjadi flare. Simbol o di atas, di tengah dan di bawah masing-masing menunjukkan helisitas positif, resultan-nya, dan helisitas negatif

5.4 Daerah aktif NOAA 8100

Flare yang teramati dari daerah aktif ini adalah flare kelas C8.6 yang terjadi pada tanggal 3 November 1997. Flare muncul pada jam 04:32 dan berakhir pada 04:49 UT. Daerah aktif ini terletak di hemisfer selatan (S20), sehingga semestinya menurut kaidah helisitas helisitasnya adalah positif, walaupun helisitas ini terlihat pada daerah lokal (Gambar 5-8) dibandingkan dengan seluruh daerah aktif (Gambar 5-7)

5.5 Perubahan Helisitas Pada Daerah Aktif

Dari empat daerah aktif yang dibahas di atas, semuanya mengikuti kaidah helisitas yaitu di daerah aktif yang terletak di hemisfer matahari bagian utara mempunyai helisitas negatif (NOAA 9661), sedangkan yang terletak di selatan mempunyai helisitas positif (NOAA 9415, 7912, 8100). Dari keempatnya, ada 2 daerah aktif (NOAA 9415 dan 9611) yang menunjukkan perubahan helisitas terjadi di daerah lokal (tempat terjadinya flare) yang ber-

lawan polaritas dengan polaritas helisitas di daerah aktif secara keseluruhan. Perubahan terjadi hampir mendekati saat terjadinya *flare* dan saat berlangsungnya *flare* tersebut. Hal ini sesuai dengan yang ditemukan oleh Bao et. al. (2000) dan Hagino (2004). Akan tetapi pada dua daerah aktif yang lain, yaitu NOAA 7912 dan 8100, tidak tampak perubahan yang mencolok pada helisitasnya. Masih belum bisa dipastikan apakah perubahan hanya terjadi di daerah yang menghasilkan *flare* yang kuat saja, sementara untuk daerah yang menghasilkan *flare* yang lemah tidak terjadi perubahan.

6 KESIMPULAN

Kaidah helisitas yang terdapat di matahari terbagi menjadi 2 polaritas (tanda), yaitu helisitas positif lebih dominan di hemisfer selatan, sedangkan helisitas negatif lebih dominan di hemisfer utara. Sampai saat ini diketahui bahwa kaidah helisitas ini tidak berubah seperti halnya polaritas hemisfer matahari yang mempunyai siklus 22 tahun. Pada hampir tiga siklus yang telah dirujuk, helisitas di masing-masing hemisfer matahari tidak berubah.

Perubahan helisitas sebelum dan sesudah terjadinya *flare* terjadi pada bagian di daerah aktif yang mempunyai polaritas yang berlawanan dengan kaidah helisitas di daerah aktif tersebut (Hagino, 2004). Akan tetapi pada daerah aktif dengan *flare* yang kurang kuat

(lemah) perubahan ini tidak teramati. Meskipun demikian, kaitan antara perubahan helisitas pada daerah aktif yang menghasilkan *flare* besar, yaitu adanya kenaikan helisitas pada daerah yang mempunyai helisitas yang berlawanan dengan kaidah helisitas, dapat memberikan cara untuk memprakirakan terjadinya *flare* yang tentunya berkaitan dengan prakiraan cuaca antariksa.

DAFTAR RUJUKAN

- Abramenko, V.I., Wang, T.J., Yurchsin, V.B., 1996. *Solar Phys.* 168, 47.
- Bao, S., Zhang, H., 1998. *Astrophys. J.* 496, L43.
- Bao, S., Ai, G.X., Zhang, H.Q., 2000. *Astron & Astrophys.* 21, 303.
- Big Bear Solar Observatory, <http://www.bbso.njit.edu>.
- Chae, J., 2000. *Astrophys. J.* 540L, 115.
- Hagino, M., 2004. *Magnetic Helicity of Solar Active Regions*, PhD thesis, Meisei University.
- Longcope, D.W., Fisher, G.H., Pevtsov, A.A., 1998. *Astrophys. J.* 507, 417
- Mitaka Solar Observatory, <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp>.
- Norikura Solar Observatory, <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/en/norikura.html>.
- Pevtsov, A.A., Canfield, R.C., Metcalf, T.R., 1995. *Astrophys. J.*, 440, L109.
- Pevtsov, A.A., Canfield, R.C., Lasushko, S.M., 2001. *Astrophys. J.*, 549, L261.
- Seehafer, N., 1990. *Solar Phys.* 125, 219.