

IDENTIFIKASI FLUKS MAGNETIK DARI GERAK PASANGAN BINTIK BIPOLAR £,

Clara Y. Yatini
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN

ABSTRACT

Proper motion of a pair of bipolar spots is analyzed using TRACE white light data to find their relation with the emerging flux. These spots were located under flaring region of NOAA 0424, which ejected an M1.7/S N flare on August 5, 2003. As the result, it is found that the preceding moved westward of the following. We interpret this as the indicator of emerging magnetic flux triggering flare.

ABSTRAK

Gerak diri dua buah bintik yang berpasangan dengan polaritas berbeda yang terletak tepat di bawah kaki pita dianalisis dengan menggunakan data cahaya putih TRACE untuk mengetahui pertumbuhan fluks magnetik yang menghubungkan keduanya. Analisis dilakukan untuk flare kelas M1.7/SN yang terjadi tanggal 5 Agustus 2003 di NOAA 0424. Dari pengukuran pergerakannya terlihat bahwa bintik yang mendahului bergerak menjauh ke arah barat dari bintik yang mengikuti. Gerakan ini dapat diinterpretasikan sebagai petunjuk adanya fluks magnetik yang naik ke atas, dan memicu terjadinya flare.

Kata kunci: *bintik bipolar, proper motion, flare, emerging, magnetic flux*

1 PENDAHULUAN

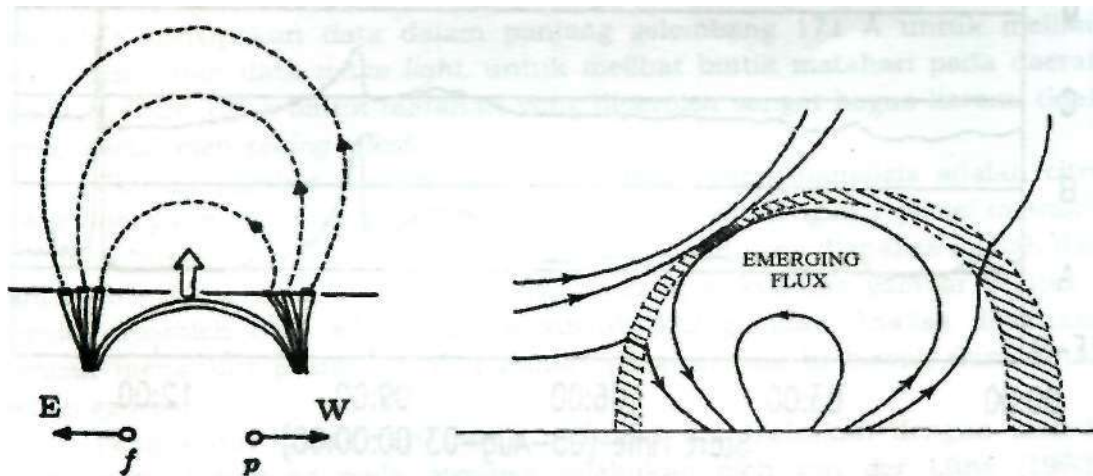
Flare merupakan fenomena energetik dari matahari yang didahului oleh konversi energi dari energi medan magnetik menjadi energi dalam bentuk lain. Proses konversi energi ini berlangsung dengan cepat, terutama pada saat awal terjadinya flare. Pada saat ini juga terjadi percepatan partikel menjadi energi tinggi. Kondisi ini membuat para peneliti menyimpulkan bahwa terjadinya flare dipicu oleh energi magnetik dan ketidakstabilan plasma, Kondisi utama yang diperlukan untuk terjadinya flare adalah adanya daerah aktif, sehingga pengetahuan mengenai karakteristik medan magnet dalam daerah aktif untuk memahami pemicu terjadinya flare (Sundara Raman et al., 1998). Beberapa faktor dapat mempengaruhi pembangkitan energi dalam daerah aktif, misalnya kompleksitas magnetik, konfigurasi 8, munculnya fluks, dan pergerakan di fotosfer.

Penelitian mengenai kaitan antara flare dan bintik matahari telah lama dilakukan (misalnya Antalova, 1965; Gesztelyi, 1984). Pergerakan bintik matahari yang cepat seringkali merupakan pemicu terjadinya flare. Dezso et al. (1980) menemukan adanya spot yang berubah arah bergerak dengan sangat cepat pada saat terjadinya fasa maksimum pada flare. Perubahan posisi dan

bentuk sunspot selama fasa impulsif juga dikemukakan oleh Anwar et. al. (1993).

Gerak diri (*proper motion*) bintang matahari pada umumnya dianggap sebagai akibat dari adanya interaksi yang kompleks pada rotasi matahari, medan magnet, dan proses konveksi. Gerak diri yang sistematis dalam bujur (*longitude*) matahari telah diketahui dengan baik. Komponen yang lebih dahulu (disebut sebagai *preceeding*) bergerak searah dengan rotasi matahari (ke arah tepi barat matahari) selama beberapa hari berturut-turut dengan kecepatan yang makin lambat, sementara bintang pasangannya (disebut sebagai *following*) bergerak sebaliknya, yaitu ke tepi timur atau diam (Kiepenheuer, 1953). Pergerakan relatif antara bintang *preceeding* dan *following* dengan polaritas berbeda diinterpretasikan sebagai akibat dari naiknya fluks magnetik di fotosfer (Gesztelyi, 1984; Mazzucconi, et al., 1990, van Driel-Gesztelyi & Petrovay, 1990). Munculnya fluks ini juga dapat memicu terjadinya flare bila terjadi rekoneksi dengan medan magnetik yang sudah ada di atasnya (Gambar 1-1). Bila gerak diri dari kedua bintang bipolar diinterpretasikan sebagai hasil dari tabung fluks magnetik di bawah fotosfer yang sedang naik akibat gaya apung magnetik, maka informasi dari sifat-sifat tabung ini dapat diketahui.

Untuk keperluan penelitian mengenai kaitan bintang matahari dengan flare ini, maka diambil satu contoh daerah aktif yang memunculkan flare. Dalam hal ini sebagai daerah aktif yang diamati adalah NOAA 0424 yang melontarkan banyak flare, salah satunya adalah flare pada tanggal 5 Agustus 2003. Yang diamati dari daerah aktif ini adalah pergerakan bintang yang terletak di bawah pita flare jauh sebelum flare tersebut terjadi. Dari pergerakan pasangan bintang ini diharapkan dapat diketahui juga sifat-sifat tabung fluks magnetik yang menyebabkan rekoneksi dan kemudian memicu terjadinya flare.

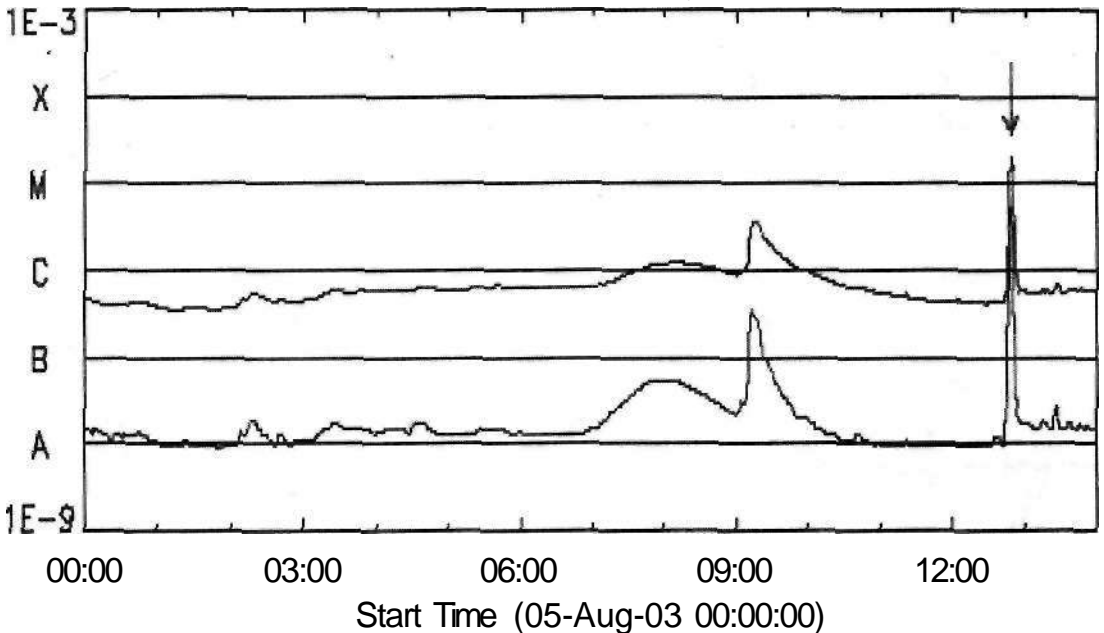


Gambar1-1: Kiri: Naiknya fluks yang berkaitan dengan gerak pasangan bintang bipolar; p menyatakan bintang preceeding, f adalah bintang following. W menunjukkan barat, dan E menunjukkan timur (van-Driel Gesztelyi & Leka, 1994). Kanan: Fluks yang naik terus pada suatu saat akan bertemu dengan medan magnetik yang sudah ada di atasnya, dan kemudian bisa mengakibatkan rekoneksi yang memicu terjadinya flare (Priest, 1982).

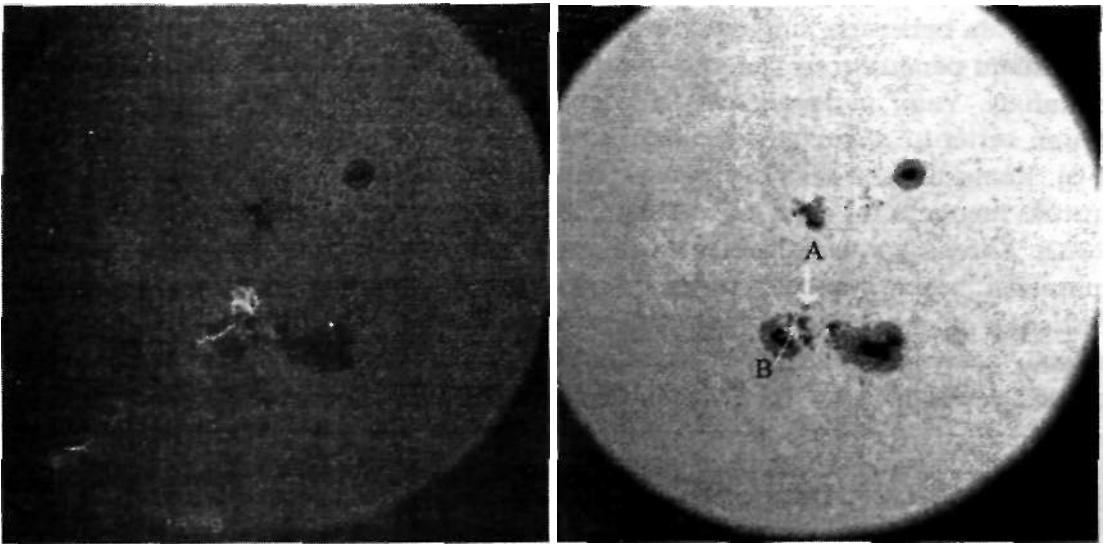
2 DATA DAN METODE ANALISIS

Daerah aktif NOAA 0424 mulai tampak di permukaan matahari pada saat daerah ini muncul di tepi timur pada tanggal 2 Agustus 2003. Pada saat kemunculannya daerah ini sudah aktif dan melontarkan beberapa flare yang tidak terlalu kuat (kelas B dan C dalam klasifikasi sinar X nya, yaitu dengan energi sinar X maksimum berturut-turut 10^{-7} dan 10^{-6} Watt/m²). Pada tanggal 5 Agustus 2003 jam 12:46 UT daerah aktif ini kembali melontarkan flare yang merupakan flare yang kompak dengan kelas M1.7/SN. Artinya, energi sinar X maksimumnya adalah 1.7×10^5 Watt/m² (Gambar 2-1) dan tergolong flare yang kecil [*subflare*]. Pada saat ini daerah aktif terletak pada koordinat S16 E33 atau terletak di belahan selatan matahari pada 16 derajat dan timur pada 33 derajat. Data citra yang diperoleh adalah dalam panjang gelombang 171A dan *white light*, seperti pada Gambar 2-2. Kedua gambar ini mempunyai ukuran 1024 x 1024 piksel. Dengan melakukan superposisi kedua gambar yang diambil pada waktu yang sama (Gambar 2-2 kiri) dapat diketahui bintang yang berkaitan langsung dengan flare. Pada gambar sebelah kanan diperlihatkan bintang yang terkait langsung dengan flare, yaitu bintang A dan B, dengan A adalah bintang negatif dan B adalah bintang dengan polaritas positif. Sehingga dalam hal ini kedua bintang ini merupakan pasangan bintang bipolar.

GOES 10 X-Rays:



Gambar 2-1: Plot sinar X pada tanggal 5 Agustus 2003. Flare yang berasal dari NOAA 0424 adalah flare yang terjadi pada jam 12.46 UT (tanda panah). Kurva atas adalah pada panjang gelombang 1 - 8 A, bawah pada 0.5 - 4 A. Flare sinar X pada sekitar jam 09 UT tidak berasal dari daerah ini, tetapi dari NOAA 0421. (sumber: Yohkoh Solar Observatory, <http://www.lmsal.com/SXT/>)



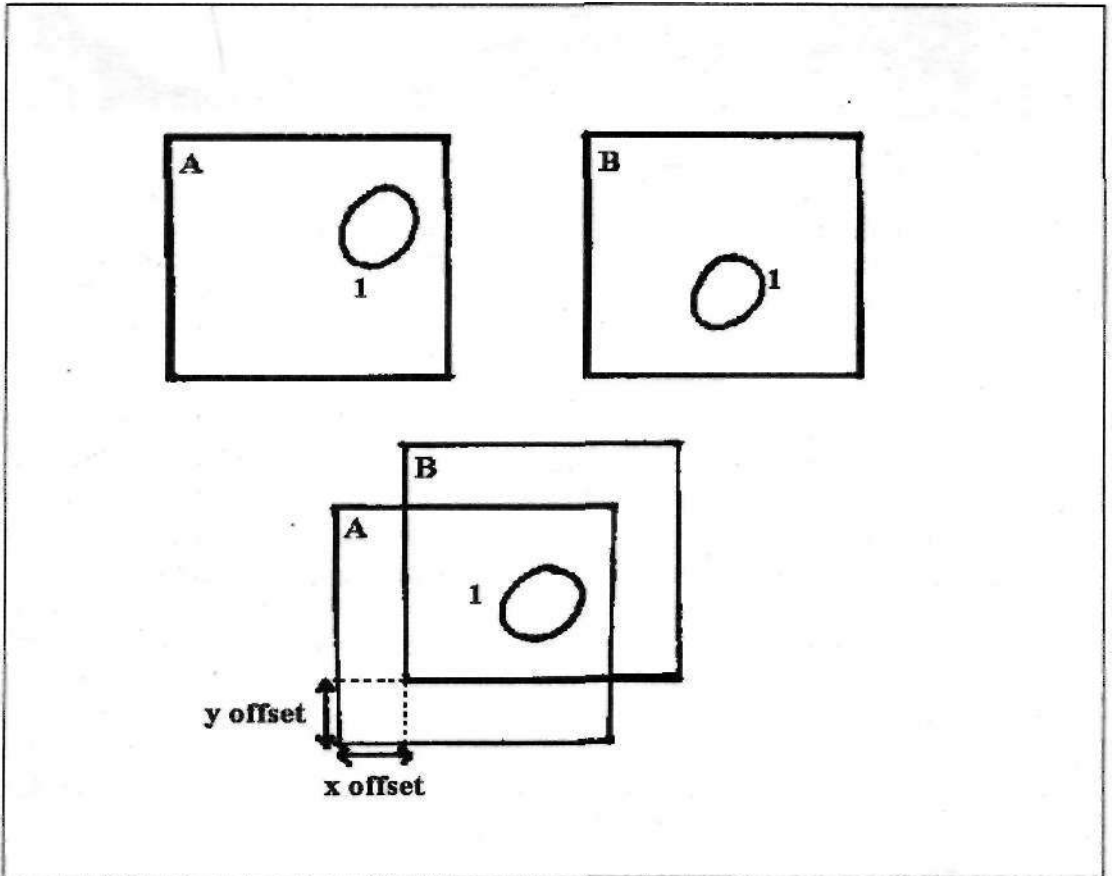
Gambar 2-2: Flare X1.7/SN yang terjadi di daerah aktif 0424 pada jam 12:46 UT. Tanda panah pada panel sebelah kanan menunjukkan bintik matahari (A dan B) yang terkait langsung dengan flare. Dalam gambar ini Utara ke arah atas, dan Barat ke arah kanan. Ukuran gambar adalah 1024 x 1024 piksel dengan 1 piksel mewakili 0.5 detik busur (*arcsec*) atau 360 km (sumber: Transition Region and Coronal Explorer)

Data yang digunakan merupakan data TRACE (*Transition Region and Coronal Explorer*) yang diperoleh dari <http://vestige.lmsal.com/TRACE/>. TRACE merupakan misi yang diluncurkan NASA untuk mengamati korona matahari dan daerah transisi dengan resolusi ruang dan waktu yang tinggi. Data yang dianalisis merupakan data dalam panjang gelombang 171 Å untuk melihat posisi flare, dan data *white light*, untuk melihat bintik matahari pada daerah aktif tersebut. Citra bintik matahari yang diperoleh sangat bagus karena tidak terpengaruh oleh *seeing effect*.

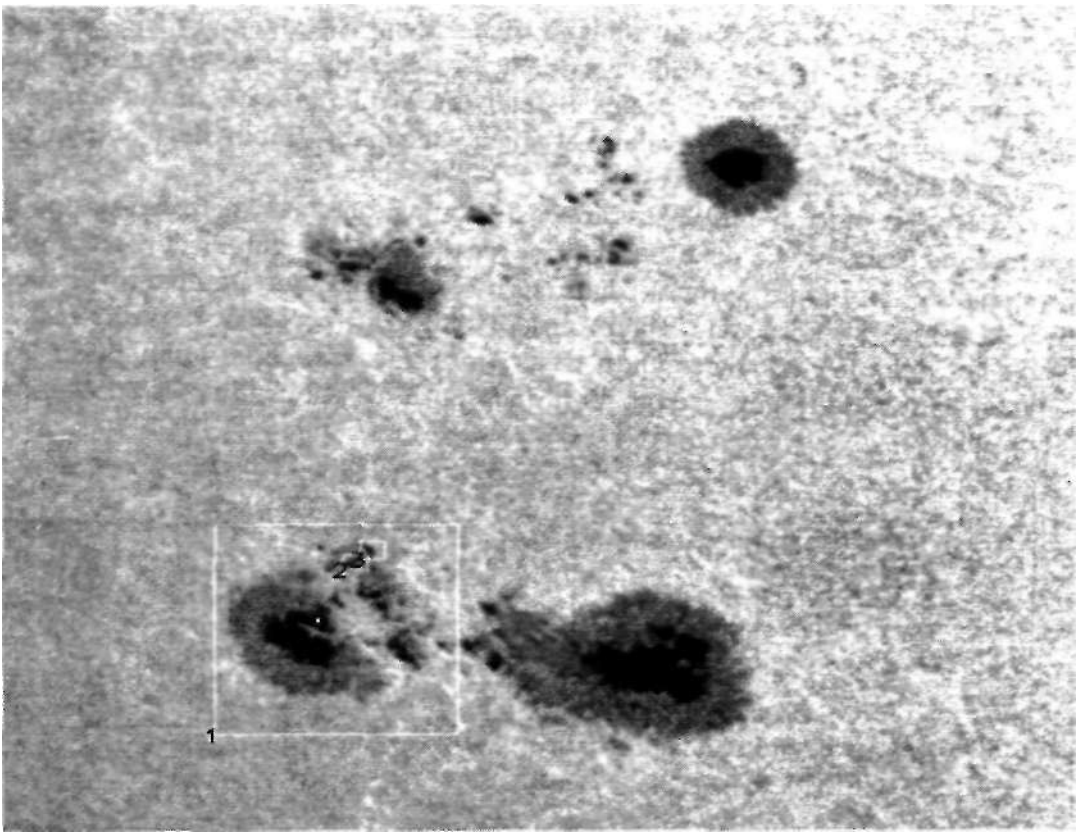
Ukuran gambar daerah aktif NOAA 0424 yang dianalisis adalah citra *white light* yang mempunyai ukuran 768 x 768 piksel, dengan 1 piksel mewakili 0.5 detik busur atau sekitar 360 km. Rentang waktu yang dianalisa adalah dari jam 01.00 UT sampai 13.30 UT. Dengan selang waktu tiap gambar sekitar 1 menit, diperoleh data *white light* sebanyak 622 gambar. Analisa dilakukan dengan mengukur posisi bintik matahari yang terletak di bawah flare untuk setiap gambar.

Pengukuran gerak diri bintik matahari ini dilakukan dengan metoda *cross correlation* yang pada awalnya dilakukan oleh von der Luhe (1983), November (1986), dan November & Simon (1988) untuk mengukur pergerakan granulasi di matahari. Metode ini kemudian digunakan untuk mengukur pergerakan bintik dengan beberapa modifikasi. Dengan metode ini maka kesalahan pengukuran akibat gerakan teleskop yang tidak tepat mengikuti gerak matahari atau gerak acak teleskop itu sendiri (*telescope jitter*) dapat dihilangkan.

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam menerapkan metoda ini, dalam pengukuran besarnya pergeseran bintang (gerak dirinya) di permukaan matahari. Yang pertama adalah dengan menggeser setiap gambar terhadap acuan tertentu sehingga diperoleh koefisien korelasi yang maksimum (Gambar 2-3). Kemudian, seperti pada Gambar 2-4, mengukur pergeseran setiap bintang untuk mengetahui posisinya dalam gambar pada setiap saat (Yatini et. al., 2003). Karena gambar daerah aktif hanya mencakup sebagian daerah di piringan matahari, maka besarnya pergeseran yang diukur adalah pergerakannya relatif terhadap suatu acuan, yang dalam hal ini yang digunakan sebagai acuan adalah kelompok bintang di mana kedua bintang yang berpasangan tersebut berada di dalamnya.



Gambar 2-3: Sketsa superposisi gambar A dan gambar B untuk menentukan besarnya pergeseran gambar (x offset dan y offset) terhadap gambar acuan (gambar A). Sebagai bintang acuan adalah bintang nomor 1



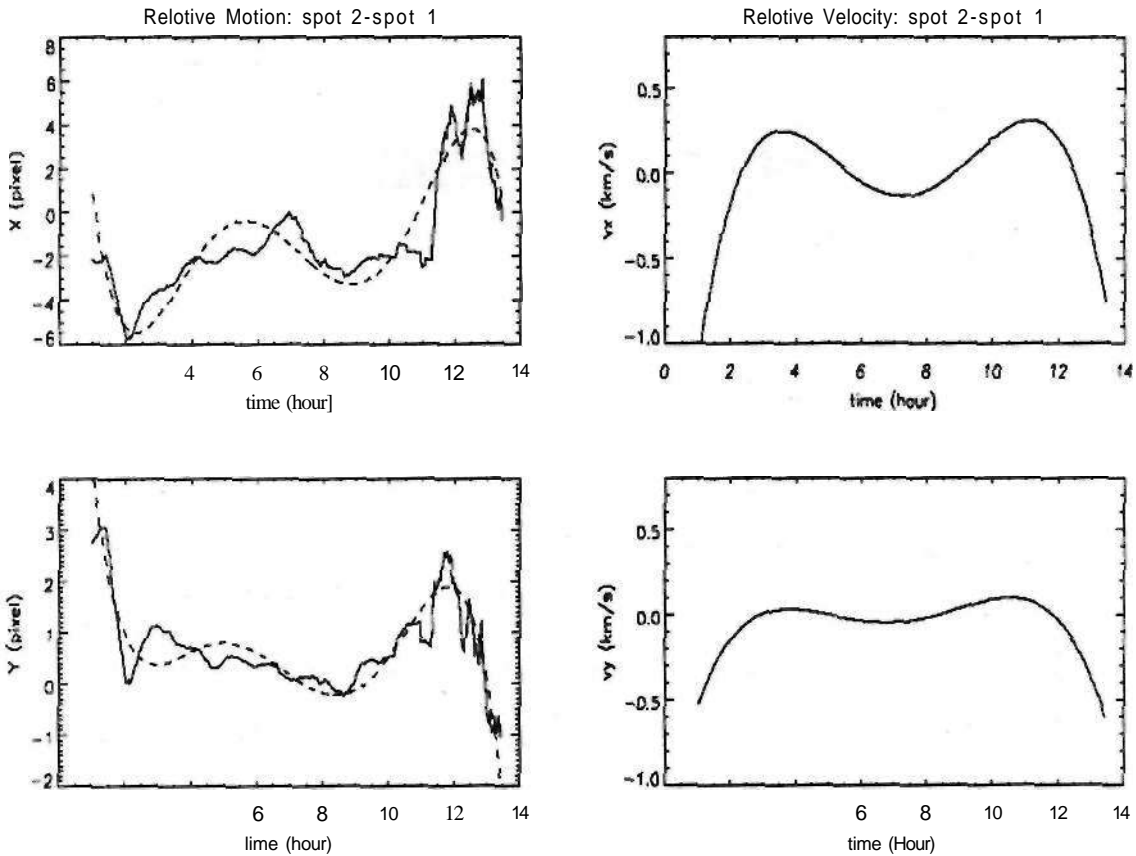
Gambar 2-4: Gambar daerah aktif di mana bintang yang akan dihitung pergerakannya adalah bintang 2 dan 3 (dalam Gambar 2-2 disebut sebagai bintang B dan A), di mana sebagai acuan adalah konfigurasi bintang dalam kotak no 1

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

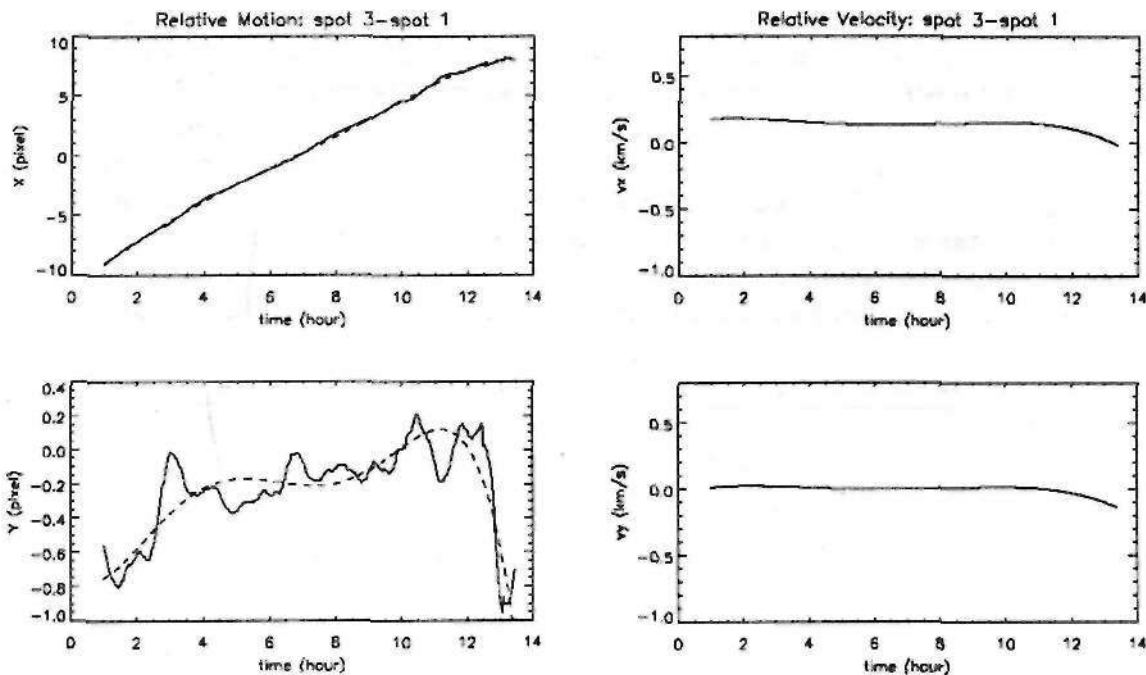
Dengan menggunakan metode seperti di atas, maka diperoleh gerak bintang 2 dan 3 terhadap konfigurasi bintang no 1. Pada Gambar 3-1 diperlihatkan gerak bintang no 2 di dalam konfigurasi bintang di sekitarnya (gambar kiri). Sumbu horisontal menunjukkan waktu dalam *Universal Time* (UT), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan besarnya pergerakan dalam piksel. Gambar atas adalah pergerakan dalam sumbu x (arah bujur/longitudinal), gambar arah adalah pergerakan dalam sumbu y (arah lintang/latitudinal). Pergerakan dengan garis yang turun (x atau y makin kecil) menunjukkan bahwa gerakannya adalah ke kiri atau ke bawah (ke arah timur atau selatan) terhadap referensinya, sedangkan garis yang naik berarti sebaliknya. Garis putus-putus pada gambar sebelah kiri merupakan *fitting* polinomial menggunakan orde (derajat) 5. Pemilihan polinom orde lima ini berdasarkan kesesuaiannya dengan data. Dari *fitting* ini kemudian dihitung kecepatan pergerakannya terhadap waktu, yang merupakan kecepatan bintang tersebut bergerak di dalam grupnya (gambar kanan). Pada gambar ini terlihat bahwa pada awalnya (sebelum jam 2 UT) bintang no 2 bergerak ke arah timur-selatan dari acuannya dengan kecepatan yang makin lambat. Kemudian bintang ini bergerak ke arah barat dengan

kecepatan yang hampir sama dengan acuannya. Kira-kira 2 jam sebelum munculnya flare (± 10 UT) bintik berubah arah menuju ke barat-utara dengan kecepatan yang sedikit lebih besar. Setelah flare dilontarkan, bintik bergerak dengan cepat ke arah timur selatan dengan kecepatan lebih dari 500 m per detik pada akhir pengukuran.

Berbeda dengan bintik 2, bintik 3 tampak bergerak dengan kecepatan yang hampir konstan ke arah barat (kira-kira 200 m per detik), dan pada arah utara-selatan bintik ini tampak diam terhadap acuannya Gambar 3-2. Akan tetapi kira-kira 2 jam sebelum flare terjadi bintik ini bergerak ke arah selatan dengan kecepatan yang bertambah besar (kira-kira mencapai lebih dari 50 m per detik saat terjadi flare), sedangkan dalam arah x (arah bujur) kecepatannya melambat.



Gambar 3-1: Pergerakan bintik no 2 (bintik positif) terhadap konfigurasi bintik di sekitarnya (gambar kiri). Gambar kanan adalah kecepatannya yang diturunkan dari *fitting* pada pergerakannya (garis putus-putus pada gambar kiri).

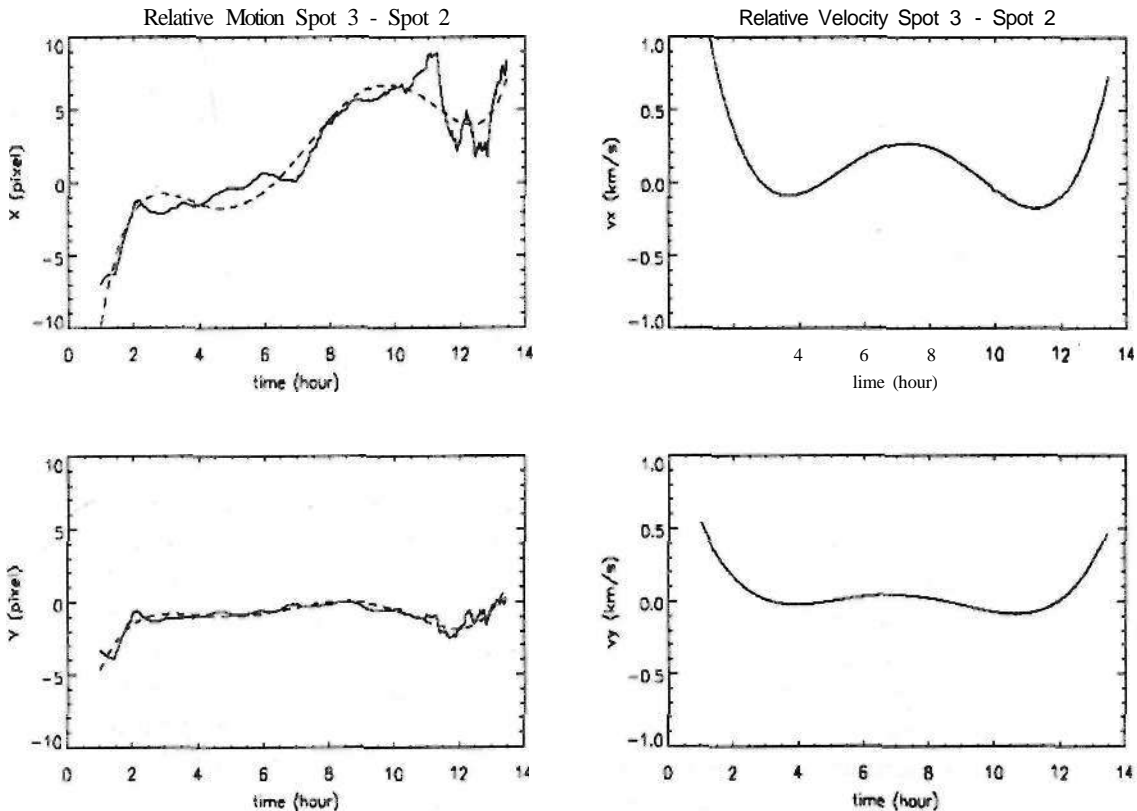


Gambar 3-2: Pergerakan bintang no 3 (bintang negatif) terhadap konfigurasi bintang di sekitarnya (gambar kiri). Gambar kanan adalah kecepatannya yang diturunkan dari *fitting* pada pergerakannya (garis putus-putus pada gambar kiri).

Untuk melihat pergerakan dari bintang bipolar, maka dibandingkan pergerakan kedua bintang ini. Dalam Gambar 3-3 diperlihatkan pergerakan bintang 3 dilihat dari bintang 2. Dilihat dari bintang 2, dalam arah longitudinal, bintang 3 tampak bergerak ke arah barat dengan kecepatan yang berubah-ubah. Hal ini terjadi sejak awal pengamatan. Akan tetapi pada sekitar 2 jam sebelum flare terjadi, gerakannya berubah ke arah timur, walaupun kemudian setelah flare terjadi gerakannya kembali ke arah barat dengan percepatan yang cukup besar. Pada akhir pengamatan kecepatannya mencapai 700 m per detik. Pada arah latitudinal (arah y) tidak ada pergeseran yang berarti pada kedua bintang ini, tetapi seperti halnya pada arah x, pada arah y ini sekitar 2 jam sebelum flare bintang 3 tampak bergerak ke arah selatan, dan kemudian kembali lagi ke utara, dengan kecepatan yang makin besar dibandingkan dengan sebelum flare terjadi.

Dari gerak kedua bintang bipolar ini terlihat bahwa kedua bintang bergerak menjauh terutama pada arah longitudinalnya dengan kecepatan yang bervariasi. Dari sini dapat diinterpretasikan bahwa fluks magnetik yang menghubungkan kedua bintang ini juga terus naik. Gangguan atau ketidakstabilan fluks tampak beberapa saat sebelum flare yang ditandai dengan perubahan arah gerak bintang. Mungkin saja gangguan inilah yang memicu terjadinya flare. Setelah flare terjadi kedua bintang bergerak dengan kecepatan yang makin besar dalam arah longitudinal. Menurut Anwar et. al. (1993) naiknya kecepatan bintang setelah terjadi flare berkaitan dengan distorsi medan magnet fotosfer yang berkaitan dengan flare itu sendiri.

Gambaran umum mengenai pembentukan daerah aktif yang telah diterima sampai saat ini adalah bahwa tabung fluks yang berbentuk Q , bergerak naik dari dasar daerah konveksi sampai akhirnya berpotongan dengan fotosfer matahari untuk membentuk daerah bipolar (Fan, 2001). Kemudian fluks ini akan terus naik ke atas, membentuk garis-garis medan magnetik yang menghubungkan kedua bintik bipolar tersebut. Munculnya fluks magnetik yang naik ke atas karena gaya apung magnetiknya berkaitan erat dengan munculnya flare. Ishii et al. (2000) mendapatkan bahwa terjadinya aktivitas flare yang tinggi terjadi di lokasi dan pada saat fluks magnetik yang terpuntir muncul ke fotosfer.



Gambar 3-3: Pergerakan bintik negatif no 3 terhadap bintik no 2 yang positif (gambar kiri). Kurva naik berarti bahwa bintik bergerak ke kanan (barat) untuk arah longitudinal atau ke atas (utara) untuk arah latitudinal. Gambar kanan adalah kecepatannya yang diturunkan dari *fitting* polinomial derajat 5 pada pergerakannya (garis putus-putus pada gambar kiri).

4 KESIMPULAN

Gerak bintik dan interaksi fluks magnetik merupakan indikator yang baik untuk mengetahui proses penyimpanan energi (Priest dan Raadu, 1975). Dalam penelitian ini telah ditunjukkan bahwa ada korelasi antara gerak bintik dan terjadinya flare. Di sini terlihat bahwa pada flare ini terlihat adanya gerakan bintik bipolar yang saling menjauh. Bila gerak diri dari kedua bintik bipolar diinterpretasikan sebagai hasil dari tabung fluks magnetik di bawah fotosfer

yang sedang naik akibat gaya apung magnetik, maka dapat disimpulkan bahwa tabung fluks magnetik yang menghubungkan kedua polaritas ini juga naik. Naiknya fluks magnetik ini akan mengakibatkan terjadinya rekoneksi dengan garis medan magnetik yang sudah ada di atasnya, dan rekoneksi ini menyebabkan terjadinya flare (Svestka, 1976; Priest 1982). Akan tetapi interpretasi ini mungkin bukan satu-satunya kondisi yang menimbulkan flare, karena mungkin masih ada beberapa faktor lain yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan yang mengakibatkan rekoneksi medan magnetik dan lepasnya medan magnetik dalam bentuk energi flare.

DAFTAR RUJUKAN

- Antalova, A., 1965. *Bull. Astron. Inst, of Czech.* 16, 32.
- Anwar, B., Acton, L.W., Hudson, H.S., Makita, M., McClymont, A.N., Tsuneta, S., 1993. *Solar Phys.* 147, 287.
- Dezso, L., Gesztelyi, L., Kondas, L., Kovacs, A., Rostas, S, 1980. *Solar Phys.* 67, 317.
- Fan, Y., 2001. *Astrophys. J.* 554, L11
- Gesztelyi, L., 1984. *Adv. Space Res.* 4, No.7, 19.
- Ishii, T.T., Kurokawa, H., Takeuchi, T., 2000. *Publ. Astron. Soc. Japan* 52, 337.
- Kiepenheuer, K.O., 1953. in *The Sun*, ed. G.P. Kuiper (University of Chicago Press, Chicago), p.322.
- Mazzucconi, F., Coveri, C, Godoli, G., 1990. *Solar Phys.* 125, 269.
- November L.J., 1986. *Applied Optics* 25, 392.
- November.L.J., Simon, G.W., 1988. *Astrophys. J.* 333, 427.
- Priest, E.R., Raadu, M.A., 1975. *Solar Phys.* 43, 177.
- Priest, E.R., 1982. in *Solar Magnetohydrodynamics*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.
- Sundara Raman, K., Selvendran, R., Thiagarajan, R., 1998. *Solar Phys.*180, 331.
- Svestka, Z., 1976. in *Solar Flares*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.
- Transition Region and Coronal Explorer NASA, <http://vestige.lmsal.com/TRACE/>.
- Van-Driel Gesztelyi, L., Petrovay, K., 1990. *Solar Phys.* 126, 285.
- Van-Driel Gesztelyi, L., Leka, K.D., 1994. in K.S. Balasubramaniam and George W. Simon (eds), *Solar Active Region Evolution: Comparing Models with Observations*, *ASP Conference Series*, Vol 68, 138.
- Von der Liihe, O., 1983. *Astron & Astrophys.* 119, 85.
- Yatini, C.Y., Suematsu, Y., Mumpuni, E.S., 2003. *Jurnal Matematika dan Sains*, Vol 8 No. 3, 97
- Yohkoh Solar Observatory, <http://www.lmsal.com/SXT/>