



## Prosiding Seminar Sains Antariksa

Homepage: <http://www.lapan.go.id>



### EVOLUSI SEPARASI DAN SUDUT KEMIRINGAN DAERAH AKTIF NOAA 12192 TERHADAP PERISTIWA FLARE KELAS X (Magnetic Separation and Tilt Evolution of NOAA 12192 Related to the X-Class Flare Event)

Tiar Dani, Rhorom Priyatikanto, Gunawan Admiranto, Nana Suryana

Pusat Sains Antariksa,  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
e-mail: [tiar.dani@lapan.go.id](mailto:tiar.dani@lapan.go.id)

Diterima: 19-11-2015  
Direvisi: 16-10-2016  
Disetujui: 19-10-2016  
Diterbitkan: 24-10-2016

**Kata kunci:**  
NOAA 12192, Line-of-Sight Magnetogram, Separasi, Sudut Kemiringan, Flare X.

#### ABSTRAK

NOAA 12192 merupakan daerah aktif penghasil flare kelas X terbanyak selama tahun 2014. Tercatat 4 flare kelas X dan 10 flare kelas M terjadi dari daerah aktif ini. Peristiwa flare terkait dengan kompleksitas medan magnet di grup sunspot dan diamati menggunakan instrumen yang dapat mendeteksi lokasi dan kuat medan magnet di matahari yang disebut magnetogram. Dengan menggunakan data *Line-of-Sight (LoS) Magnetogram* satelit *Solar Dynamics Observatory (SDO)* yang memiliki resolusi temporal 15 menit, dan resolusi citra 512 x 512 piksel, telah dilakukan deteksi otomatis polaritas positif dan negatif NOAA 12192 tanggal 19 – 27 Oktober 2014. Metode untuk deteksi otomatis menggunakan olah citra berupa *thresholding*, *filtering area*, *filtering intensitas* dan deteksi tepi untuk memperoleh titik berat (*centroid*) dari masing-masing polaritas. Diperoleh bahwa NOAA 12192 bergerak menuju ke ekuator dan mengalami rotasi antara polaritas positif dan negatifnya dengan kecepatan geraknya masing-masing 0,35°/hari dan 0,27°/hari. Evolusi separasi antar polaritas mengalami kenaikan sesuai dengan bertambahnya luas grup yang mencapai nilai maksimum 23,95°. Sedangkan sudut kemiringan selama evolusinya mengalami penurunan sebesar 20,49°. Dari 4 kasus kejadian flare kelas X diperoleh bahwa tidak terlihat kecenderungan yang jelas pada perubahan separasi antar polaritas sebelum, saat dan sesudah flare. Sedangkan perubahan sudut kemiringan antar polaritas terlihat jelas saat terjadi flare.

#### ABSTRACT

NOAA 12192 is the most active region producing X-class flares in 2014. Four X-class flares and 10 M-class flares occurred from this region. Flares occurred by reconnection of the complex magnetic field above the sunspot group. The magnetic field is observed using an instrument to detect the magnetic field location and magnetic fields intensity on the solar disk and produced data called magnetogram. Using *Line-of-Sight (LoS) Magnetogram* data from *Solar Dynamics Observatory (SDO)* satellite with 15 minutes temporal resolution and 512 x 512 pixel image resolution conduct dan automatic detection of positive and negative polarity of the NOAA 12192 magnetogram data from October 19 to 27, 2014. Polarity automatic detection method is using image processing on the magnetogram in the form of grayscale thresholding, area filtering, intensity filtering and edge detection to obtain a center of gravity (*centroid*) for each polarity. It was founded that the both polarity is move toward the equator and experienced rotation between the positive and negative polarity with the drift velocity of 0,35°/day and 0,27°/day, respectively. Evolution of the distance between polarity is increase corresponding to the area increase in the group with maximum value of 23,95°. While the tilt angle evolution decreased by 20,49°. As

**Keywords:**  
NOAA 12192, Line-of-Sight Magnetogram, Separation, Tilt Angles, X-class flare.

four X-class flares cases Fund no distinct trend in separation changes before, during and after the flare. While the change in tilt angle between the polarities is perceptible during a flare.

## 1. Pendahuluan

Grup sunspot yang muncul di permukaan matahari selalu mengalami perubahan, baik dalam bentuk kompleksitas medan magnet, luas area, kompleksitas formasi tiap bintik dan posisinya. Dalam setiap evolusi grup sunspot, jika terjadi perubahan dalam kompleksitasnya, maka peluang terjadinya flare akan meningkat. Flare terjadi akibat adanya rekoneksi tabung fluks magnet di atas daerah aktif akibat adanya pergerakan *footpoint* dari tabung magnet, baik berupa pergerakan *shear*, *twist* ataupun rotasi. Munculnya tabung fluks magnet baru juga dapat menyebabkan terjadinya rekoneksi dengan tabung fluks magnet yang lama.

Beberapa parameter kuantitatif yang bisa diperoleh dari suatu evolusi grup sunspot dalam menghasilkan flare adalah jumlah total fluks medan magnet, jarak efektif antar polaritas, dan kemiringan sudut antar-polaritas terhadap sumbu timur-barat piringan matahari (Guo et al., 2006). Penelitian tentang ketiga parameter ini telah banyak dilakukan dalam jangka waktu yang panjang, misalnya dalam beberapa siklus matahari baik menggunakan data pengamatan *white-light* ataupun magnetogram. Sedangkan untuk skala evolusi yang lebih pendek serta keterkaitannya dengan flare kelas X belum banyak penelitian yang membahasnya.

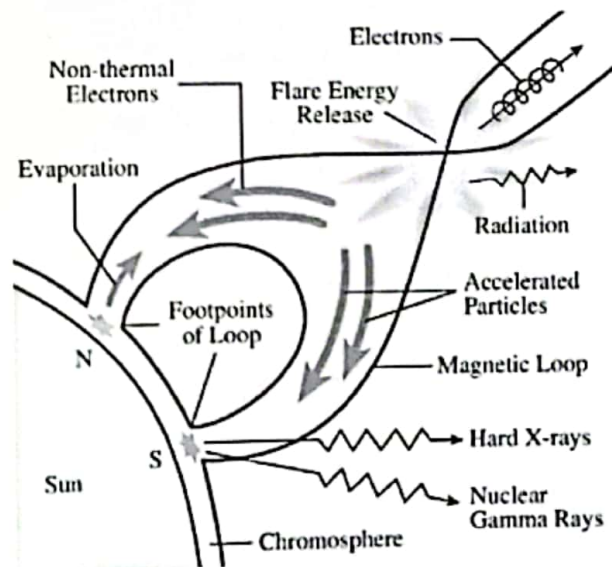
Penelitian ini membahas evolusi dua parameter kuantitatif dari daerah aktif NOAA 12192 selama berada di piringan matahari, yaitu parameter separasi antar-polaritas dan sudut kemiringan antar polaritas dengan mempergunakan data magnetogram. Evolusi dua parameter ini kemudian dikaitkan dengan kejadian flare X. Karakteristik evolusi dua parameter ini diharapkan dapat dijadikan sebagai prekursor untuk memprediksi terjadinya flare X.

## 2. Tinjauan Pustaka

Sunspot merupakan salah satu bentuk aktivitas magnet yang terjadi di matahari. Beberapa sunspot yang berdekatan akan

membentuk suatu grup yang disebut daerah aktif. Tabung-tabung fluks magnet akan muncul dari grup sunspot yang berasal dari daerah konveksi menuju ke fotosfer membentuk busur yang menghubungkan dua *footpoint* dengan polaritas yang berbeda. Jika terjadi rekoneksi antar tabung fluks magnet, maka radiasi dan partikel akan dilepaskan ke ruang antar planet. Peristiwa ini disebut flare. Flare terjadi akibat adanya pergerakan dari *footpoint* dari bintik yang berbeda polaritas sehingga tabung fluks magnet di atas bintik tersebut mengalami puntiran, rekoneksi dan deformasi. Adapun jenis-jenis pergerakan tersebut:

1. *Shear* berupa pergerakan bintik pada arah berbeda dan pada garis yang berbeda.
2. Konvergensi berupa pergerakan bintik pada arah berbeda tetapi dalam satu garis
3. Rotasi dari *footpoint* baik searah ataupun berlawanan jarum jam
4. Munculnya fluks magnet yang baru dan mengganggu kestabilan fluks magnet yang telah ada sebelumnya.



Gambar 2-1. Skema terjadinya flare akibat rekoneksi dari footpoint berbeda polaritas (Lang, 2010)

Kejadian flare terkait dengan kompleksitas medan magnet di grup sunspot diamati menggunakan instrumen yang dapat mendeteksi lokasi dan kuat medan magnet di matahari yang disebut magnetogram. Magnetogram merupakan citra matahari yang menunjukkan polaritas positif berwarna putih dan polaritas negatif berwarna hitam. Sedangkan warna latar belakang piringan matahari berwarna abu-abu yang merepresentasikan granula di permukaan matahari. Magnetogram dapat mengamati *plage* yang tidak tampak dalam pengamatan *white-light*. Satelit *Solar Dynamics Observatory* (SDO) mengamati kuat medan magnet di fotosfer matahari menggunakan salah satu instrumennya yang disebut *Heliioseismic and Magnetic Imager* (HMI) dengan resolusi temporal 45 detik dan 12 menit (HMI Team, 2011). Studi untuk mempelajari evolusi medan magnet dari suatu grup sunspot selama berada di piringan matahari memerlukan resolusi temporal yang tinggi sehingga memerlukan pengolahan data citra yang cepat.

Terdapat banyak literatur mengenai metode untuk mengolah citra data magnetogram, tetapi pada makalah ini hanya membahas teori dari metode olah citra yang akan dipergunakan pada penelitian ini. Pengolahan citra magnetogram untuk mendeteksi otomatis polaritas positif dan negatif di piringan matahari memerlukan beberapa tahap (Spahr, 2014). Tahap pertama adalah *thresholding* untuk membedakan daerah polaritas, yaitu warna hitam yang merepresentasikan polaritas negatif dan warna putih yang merepresentasikan polaritas positif berdasarkan nilai dari intensitas setiap piksel. Kanal format citra *grayscale* memiliki rentang intensitas dari 0 hingga 255. Nilai intensitas 0 untuk warna hitam dan 255 untuk warna putih. Hal ini perlu dilakukan untuk meningkatkan tingkat akurasi saat dilakukan deteksi tepi (*edge detection*) (Cakmak, 2014). Langkah selanjutnya adalah melakukan *filtering* intensitas dan area. Dari tiga langkah tersebut akan menghilangkan deteksi *noise* dan granula dari permukaan matahari yang tampak pada data magnetogram sehingga didapat daerah aktif dengan pasangan polaritas positif dan negatif. Deteksi tepi kemudian dilakukan dengan menggunakan teknik *Canny* (Rodriguez, 2006). Langkah terakhir yang dilakukan adalah penentuan titik berat (*centroid*) dari masing-masing polaritas

menggunakan persamaan (2-1). *Centroid* diperoleh dengan menjumlahkan posisi tiap piksel  $(x_n, y_n)$  pada suatu daerah dengan polaritas yang sama dan membaginya dengan jumlah piksel pada daerah tersebut.

$$Centroid = \left( \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \right) \quad (2-1)$$

*Centroid* dalam koordinat *Cartesian*  $(x,y)$  kemudian dikonversi menjadi koordinat heliografik dalam garis lintang dan garis bujur. Konversi koordinat *Cartesian* dalam piksel  $(x,y)$  menjadi koordinat heliografik diperlukan untuk faktor koreksi kecepatan matahari pada daerah tepi dan meridian. Cakmak (2014) melakukan konversi dari koordinat piksel suatu citra menjadi koordinat heliografik dimana titik pusat koordinat berada pada titik tengah piringan matahari.

$$x_a = x_p - x_0 \quad (2-2)$$

$$y_a = y_p - y_0 \quad (2-3)$$

$x_p$  dan  $y_p$  adalah koordinat piksel dalam citra dengan titik koordinat  $(0,0)$  berada di ujung kanan atas citra.  $x_0$  dan  $y_0$  adalah koordinat titik pusat piringan matahari pada citra. Seperti yang telah diketahui, titik pusat koordinat heliografik berada pada titik tengah piringan matahari, sehingga  $x_a$  dan  $y_a$  merupakan koordinat *Cartesian* relatif terhadap titik pusat piringan matahari.

$$z_r = z \cos B_0 + y \sin B_0 \quad (2-4)$$

$z_r$  adalah nilai transform dari sumbu  $z$  yang bergantung kepada garis lintang koordinat heliografik dari titik tengah piringan matahari ( $B_0$ ). Dihitung pula nilai transformasi sumbu  $y$  ( $y_r$ ) dengan persamaan berikut:

$$y_r = (r^2 - x^2 - z_r^2)^{1/2} \quad (2-5)$$

Dari persamaan (2 - 3) diinvers kembali menjadi z sebagai berikut:

$$z = y_r \sin B_e + z_r \cos B_e \quad (2-6)$$

Kemudian untuk mengetahui titik lintang dan titik bujur dari koordinat Cartesian menjadi koordinat heliografik dipergunakan persamaan (2-6) dan (2-7)

$$B = \arcsin\left(\frac{z}{r}\right) \quad (2-7)$$

$$L = L_e + \arcsin\left(\frac{x}{r \cos(90 - B)}\right) \quad (2-8)$$

Parameter kuantitatif pada penelitian ini hanya membahas parameter separasi antar polaritas dan sudut kemiringan.

### 1. Separasi (S)

Jarak antar dua polaritas yang berbeda merupakan parameter struktur dari bintik. Chumak et al., (2004) dalam Guo et al., (2006) menemukan bahwa distribusi kuat medan jarak dua polaritas menunjukkan perbedaan yang jelas antara daerah aktif yang stabil dan daerah aktif yang produktif menghasilkan flare. Separasi ini dapat dipergunakan sebagai parameter kuantitatif untuk mengukur keterkaitan antara struktur magnet daerah aktif dengan indikator aktivitas matahari yang lain, misalnya flare dan CME (Guo et al., 2006). Pada makalah ini, dipergunakan persamaan untuk menghitung separasi adalah:

$$S = \cos^{-1}\left(\frac{\sin B_l \sin B_f + \cos B_l \cos B_f \cos(L_f - L_l)}{1}\right) \quad (2-9)$$

S adalah jarak antar dua centroid polaritas positif dan negatif yang bergantung kepada posisi lintang polaritas leading (B<sub>l</sub>) dan following (B<sub>f</sub>) serta posisi bujur polaritas leading (L<sub>l</sub>) dan following (L<sub>f</sub>)

### 2. Sudut kemiringan (T)

Parameter ini dapat memberikan informasi tentang proses di sub-permukaan matahari yang berkaitan dengan pembentukan dan evolusi tabung fluks medan magnet di dalam matahari (Guo et al., 2006). Sudut kemiringan akan lebih besar nilainya seiring dengan

semakin jauh posisi lintang suatu grup sunspot dari ekuator atau yang dikenal dengan Hukum Joy (Dasi-Espuig, et al., 2010). Sudut kemiringan juga lebih besar pada hemisfer selatan dibandingkan di hemisfer utara (Li dan Ulrich, 2012). Medan magnet toroidal merupakan penyebab instabilitas pada tabung fluks yang muncul di permukaan fotosfer. Tabung fluks tersebut kemudian akan dikenai gaya Coriolis dan hentakan dari turbulensi yang berasal dari zona konvektif. Hal ini mengakibatkan tabung fluks magnet mengalami pergerakan berupa puntiran atau kemiringan. Sudut kemiringan didefinisikan sebagai sudut antara arah sumbu polaritas dan garis lintang lokal (Tian et al., 1999 dalam Guo et al., 2006). Sudut kemiringan dihitung menggunakan persamaan:

$$\tan(T) = \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2-10)$$

dx dan dy merupakan perbedaan jarak antara polaritas positif dan negatif dalam koordinat Cartesian.

### 3. Data dan Metode

Data yang dipergunakan adalah data yang terkait dengan daerah aktif NOAA 12192 selama melintas di belahan hemisfer selatan pada piringan matahari dari tanggal 19 Oktober 2014 hingga 27 Oktober 2014. Data tersebut adalah:

1. Data peristiwa flare berupa tanggal, waktu mulai flare, waktu puncak flare dan waktu selesai flare serta kelas flare yang terjadi diperoleh dari *Solar-Terrestrial Physics Division (STP), National Centers for Environmental Information (NCEI) dan National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA)* (<ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/space-weather/solar-data/solar-features/solar-flares/x-rays>). Data perkembangan luas harian sunspot NOAA 12192 yang terangkum dalam *Solar Regions Summary* diperoleh dari *Space Weather Prediction Center (SWPC) NOAA*. Data rangkuman banyaknya flare serta luas sunspot disajikan pada Tabel 3-1.

**Tabel 3-1**  
Jumlah kejadian flare kelas C, M dan X serta luas sunspot daerah aktif NOAA 12192

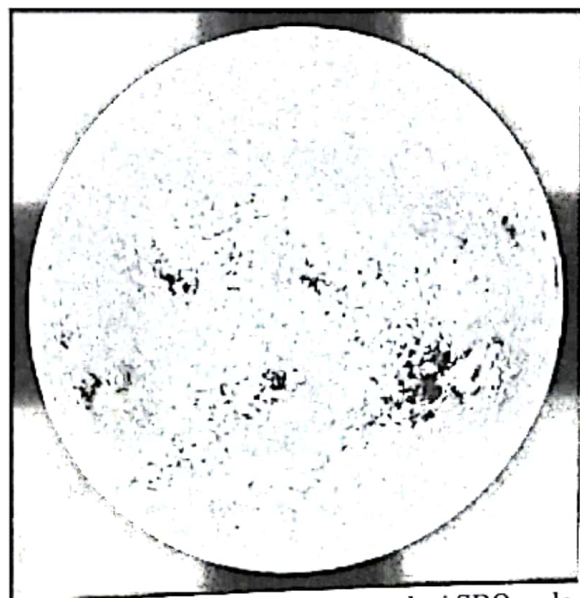
No	Tanggal	Jumlah Flare Sinar X			Luas Sunspot (SMH)	
		C	M	X		
1	19 Okt 2014	3		1	4	1560
2	20 Okt 2014	11	4		15	2180
3	21 Okt 2014	5			5	2410
4	22 Okt 2014	2	1	1	4	2700
5	23 Okt 2014	3	1		4	2740
6	24 Okt 2014	4			4	2510
7	25 Okt 2014	1			1	2570
8	26 Okt 2014	5		1	6	2750
9	27 Okt 2014	5	4	1	10	2380
Jumlah		39	10	4	53	21800

Untuk data rinci waktu puncak terjadinya flare dan kuat kelas flare dapat dilihat pada Tabel 3-2.

2. Data *Line-of-Sight* (LoS) Magnetogram berupa citra *full disk* dari Satelit *Solar Dynamics Observatory* (SDO) dengan resolusi citra 512 x 512 piksel dan resolusi temporal 15 menit dengan format gambar JPG yang diperoleh dari *Goddard Space Flight Center* (GSFC) *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) pada alamat <http://sdo.gsfc.nasa.gov>. Titik pusat piringan matahari ( $x_0, y_0$ ) pada citra magnetogram pada koordinat (256, 256). Jumlah total citra yang diperoleh adalah 839 citra dari tanggal 19 Oktober 2014 hingga 27 Oktober 2014. Contoh citra LoS magnetogram saat terjadi flare X2.0 tanggal 26 Oktober 2014 berpuncak pada pukul 10:56 UT dapat dilihat pada Gambar 3-1.

**Tabel 3-2**  
Daftar kejadian flare pada daerah aktif NOAA 12192 berupa waktu dan energinya dalam watt/m<sup>2</sup>

No	Tanggal	Watt/m <sup>2</sup>	Flare
1	19-10-14 12:47	5.7E-06	C 57
2	19-10-14 13:03	0.00011	X 11
3	19-10-14 13:19	4.2E-06	C 42
4	19-10-14 12:14	5.9E-06	C 59
5	20-10-14 0:58	2.5E-06	C 25
6	20-10-14 2:00	2.8E-06	C 28
7	20-10-14 2:28	3.2E-06	C 32
8	20-10-14 3:57	5.4E-06	C 54
9	20-10-14 6:02	0.000009	C 90
10	20-10-14 9:11	0.000039	M 39
11	20-10-14 11:27	2.8E-06	C 28
12	20-10-14 14:08	2.7E-06	C 27
13	20-10-14 14:08	3.1E-06	C 31
14	20-10-14 15:24	8.6E-06	C 86
15	20-10-14 16:37	0.000045	M 45
16	20-10-14 18:07	6.2E-06	C 62
17	20-10-14 19:02	0.000014	M 14
18	20-10-14 20:04	0.000017	M 17
19	21-10-14 2:20	4.2E-06	C 42
20	21-10-14 6:34	5.7E-06	C 57
21	21-10-14 6:57	2.9E-06	C 29
22	21-10-14 8:30	3.1E-06	C 31
23	21-10-14 20:20	6.6E-06	C 66
24	22-10-14 14:28	0.00015	X 15
25	22-10-14 15:03	0.000014	M 14
26	22-10-14 17:03	5.8E-06	C 58
27	22-10-14 22:28	6.5E-06	C 65
28	23-10-14 9:50	0.000011	M 11
29	23-10-14 13:39	4.6E-06	C 46
30	23-10-14 17:58	5.9E-06	C 59
31	23-10-14 19:15	3.3E-06	C 33
32	24-10-14 2:43	4.2E-06	C 42
33	24-10-14 3:00	3.4E-06	C 34
34	24-10-14 4:00	3.6E-06	C 36
35	24-10-14 15:06	5.1E-06	C 51
36	25-10-14 4:35	4.4E-06	C 44
37	25-10-14 9:33	2.8E-06	C 28
38	25-10-14 9:50	0.000004	C 40
39	25-10-14 8:21	9.5E-06	C 95
40	26-10-14 10:56	0.0002	X 20
41	26-10-14 13:08	9.2E-06	C 92
42	26-10-14 13:20	5.2E-06	C 52
43	27-10-14 0:34	0.000071	M 71
44	27-10-14 2:02	0.000021	M 10
45	27-10-14 3:41	0.000013	M 13
46	27-10-14 9:04	3.4E-06	C 34
47	27-10-14 9:38	4.9E-06	C 49
48	27-10-14 7:00	9.6E-06	C 96
49	27-10-14 7:15	9.6E-06	C 96
50	27-10-14 10:09	0.000057	M 57
51	27-10-14 15:09	0.0002	X 20
52	27-10-14 25:08	4.6E-06	C 46



**Gambar 3-1.** LoS Magnetogram dari SDO pada tanggal 26 Oktober 2014 pukul 11:00 UT saat melepaskan flare kelas X2.0. NOAA 12192

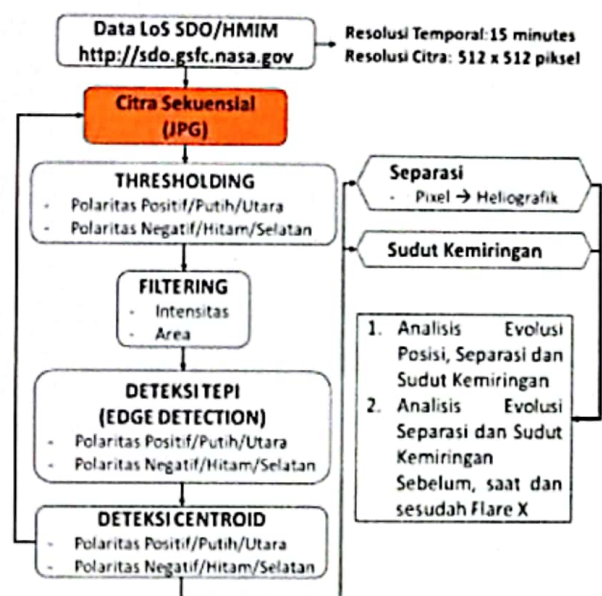
memiliki pasangan polaritas dengan luas terbesar (tanda lingkaran putih) (sumber : SDO)

Diagram alur metode yang dipergunakan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3-2. Pengolahan citra yang dilakukan telah dijelaskan pada Bagian 2 untuk mengolah 839 citra sekuensial. Proses pengolahan citra berupa *thresholding*, *filtering*, deteksi tepi dan deteksi *centroid* dilakukan secara otomatis dengan membuat program pengolahan citra berbasis Matlab. Keseluruhan fungsi-fungsi tersebut terdapat dalam Matlab dan bagian terpentingnya adalah penentuan intensitas dan area yang akan dideteksi sebagai salah satu cara untuk menghilangkan noise dan *background* granula dari matahari sehingga diperoleh hanya polaritas positif (warna putih) dan polaritas negatif (warna hitam). Adapun deteksi polaritas positif diperoleh dengan melakukan *filtering* intensitas bernilai lebih besar dari 200 dan area lebih besar dari 230. Sedangkan untuk deteksi polaritas negatif memerlukan proses pembalikan warna citra terlebih dahulu sebelum melakukan proses penentuan *filtering*. Pembalikan nilai dari warna citra dilakukan dengan merubah nilai 0 menjadi 255 dan sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan warna hitam pada latar belakang citra magnetogram sehingga diperoleh polaritas negatif menjadi berwarna putih dengan warna putih sebagai latar belakang. Deteksi polaritas negatif kemudian dilakukan dengan melakukan *filtering* intensitas bernilai lebih kecil dari 100 dan area bernilai antara 230 dan 2000. Nilai ini untuk memfilter luas latar belakang citra matahari yang berwarna putih agar tidak ikut terdeteksi.

Dari pengolahan citra tersebut diperoleh 839 data titik *centroid* berupa pasangan polaritas positif dan negatif dalam koordinat piksel dengan titik (0,0) berada di ujung kiri atas pada citra dan titik pusat piringan matahari pada titik (256, 256)

Data *centroid* ini kemudian dipergunakan untuk perhitungan separasi (S) dan sudut kemiringan (T). Khusus untuk perhitungan S, koordinat piksel yang diperoleh dikonversi menjadi koordinat heliografik menggunakan persamaan (2-7) dan (2-8). Konversi ini diperlukan untuk mengkoreksi posisi *centroid*

yang dipengaruhi faktor kecepatan matahari dari hasil pengamatan LoS magnetogram. Koordinat heliografik ini kemudian dipergunakan untuk menghitung S menggunakan persamaan (2-9). Untuk perhitungan T, konversi koordinat piksel ke heliografik tidak diperlukan karena sudut antara polaritas *following* dan *leading* berdasarkan persamaan (2-10) memiliki selisih jarak yang sangat kecil dibandingkan diameter piringan matahari sehingga faktor kecepatan matahari dapat diabaikan.



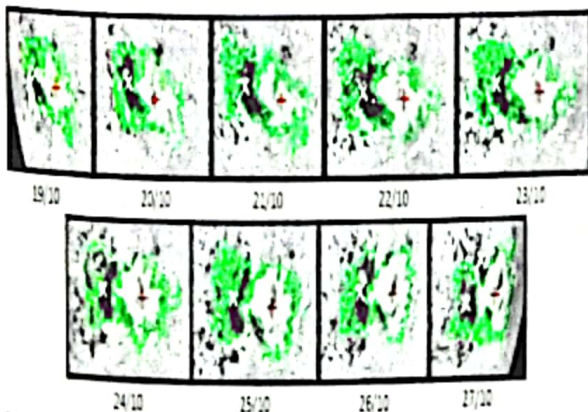
Gambar 3-2. Diagram alur metode yang dipergunakan untuk pengolahan citra hingga diperoleh *centroid* untuk kemudian dihitung separasi dan sudut kemiringan

Dari data *centroid* berupa titik lintang dan bujur, separasi serta sudut kemiringan kemudian dianalisis evolusinya selama berada di piringan matahari. Separasi dan sudut kemiringan yang diperoleh kemudian ditinjau keterkaitan evolusinya secara per kasus untuk 4 kejadian flare X dari NOAA 12192 untuk periode satu jam sebelum flare, saat puncak flare dan satu jam sesudah flare berakhir.

#### 4. Pembahasan

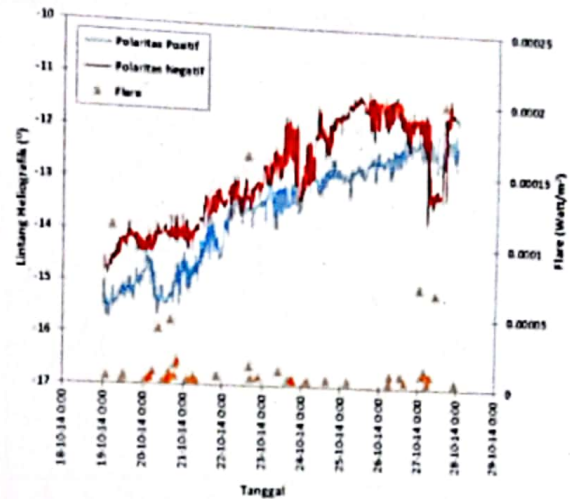
Contoh hasil deteksi otomatis polaritas positif dan negatif serta penentuan titik *centroid* dari citra sekuensial LoS Magnetogram daerah aktif NOAA 12192 dengan menggunakan pemrograman Matlab disajikan pada Gambar 4-1. Hasil yang ditampilkan merupakan hasil deteksi satu hari setiap pukul 12:00 UT dari tanggal 19 – 27 Oktober 2014. Terlihat dari gambar tersebut bahwa NOAA 12192 mengalami perkembangan luas dilihat dari magnetogram. Hal ini sesuai dengan pengamatan sunspot secara *white-light* dimana daerah aktif tersebut mengalami penambahan luas (lihat Tabel 3-1). Sudut kemiringan yang diperoleh dari citra magnetogram lebih besar dibanding pada citra *white-light* yang disebabkan oleh adanya kontribusi luas dari plage yang tidak terdeteksi pada *white-light* (Wang, et al., 2014). Secara umum, program deteksi otomatis berbasis Matlab yang dibuat mampu mengenali dengan baik kedua polaritas dan menetapkan *centroid* dari masing-masing polaritas setelah terlebih dahulu menetapkan batasan *filtering* intensitas dan luas area.

Dari 839 data *centroid* pasangan polaritas berupa koordinat piksel dalam bentuk Cartesian, kemudian diubah menjadi koordinat heliografik (lintang dan bujur heliografik) dengan titik pusat (0,0) berada dibagian tengah titik pusat piringan matahari mempergunakan persamaan (2-7) dan (2-8). Gambar 4-2 menunjukkan grafik evolusi lintang heliografik dari *centroid* untuk masing-masing polaritas dan diplot pula kejadian flare selama rentang waktu evolusi tersebut dalam bentuk energi flare dalam Watt/m<sup>2</sup>.



Gambar 4-1. Hasil deteksi otomatis daerah aktif pada data LoS magnetogram SDO. Garis hijau menandai area polaritas *leading* dan *following*. Tanda positif berwarna merah

merupakan *centroid* dari polaritas *leading* dan tanda silang berwarna putih menandai *centroid* dari polaritas *following*

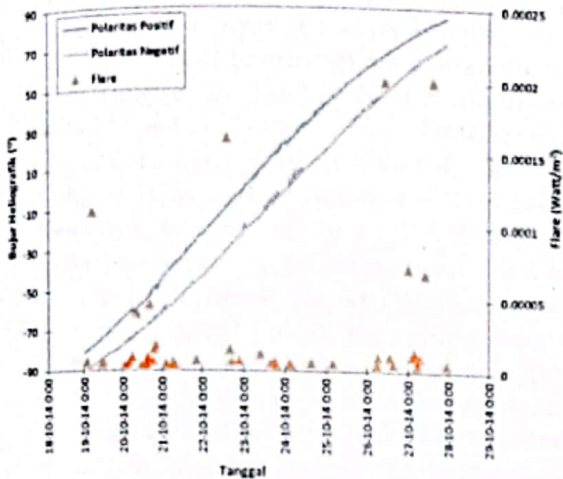


Gambar 4-2. Plot evolusi posisi lintang heliografik polaritas positif dan negatif serta energi flare yang terjadi.

Pada Gambar 4-2 terlihat bahwa polaritas positif bergerak menuju ekuator dengan kecepatan 0.35°/hari. Sedangkan polaritas negatif juga bergerak menuju ekuator dengan kecepatan 0.27°/hari. Kecepatan pergerakan polaritas positif lebih cepat daripada polaritas negatif yang mengakibatkan bertambahnya jarak (S) diantara dua polaritas, tetapi sudut kemiringan (T) akan mengalami penurunan. Dari gambar ini juga dapat dikatakan bahwa kedua polaritas dari NOAA 12192 tidak mengalami jenis pergerakan *shear* ataupun *twist*. NOAA 12192 mengalami pergerakan rotasi pada *footpointnya* yang merupakan pergerakan berlawanan dengan arah gerak rotasi diferensial sehingga mengakibatkan peluang terjadinya flare kelas M dan X semakin besar (Jiang et al., 2012). Pada gambar tersebut juga tidak terlihat jelas korelasi antara evolusi lintang heliografik kedua polaritas terhadap munculnya kejadian flare. Beberapa flare X yang terjadi (dengan energi > 1x10<sup>-4</sup> watt/m<sup>2</sup>) pada waktu tertentu (lihat Tabel 3-2) tidak menunjukkan suatu pola yang jelas dengan perubahan pola evolusi lintang heliografik kedua polaritas.

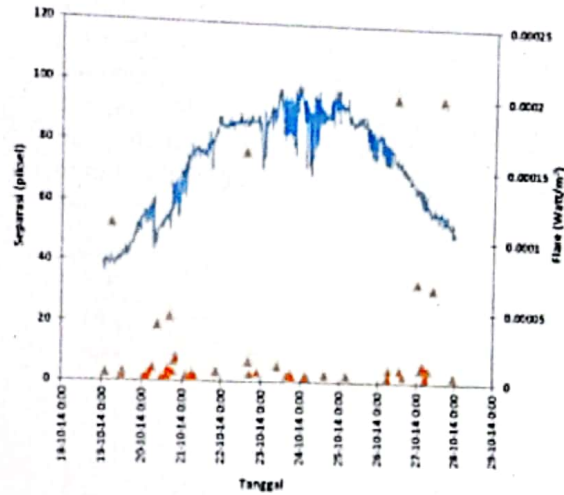
Setelah melihat evolusi lintang dari kedua polaritas daerah aktif NOAA 12192, Gambar 4-3 merupakan plot evolusi bujur heliografik dari

*centroid* kedua polaritas dan energi flare yang terjadi selama evolusi daerah aktif tersebut.



Gambar 4-3. Plot evolusi posisi bujur heliografik polaritas positif dan negatif serta energi flare yang terjadi.

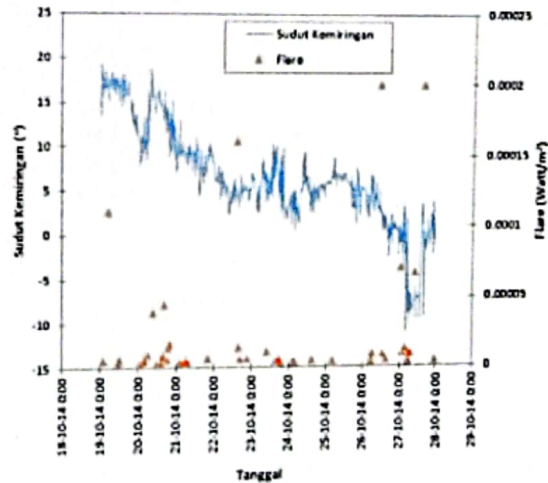
polaritas dalam arah bujur heliografik sesuai dengan yang diperoleh Herdiwijaya et al. (1997) dan Yatini dan Mumpuni (2006). Jika ditinjau keterkaitannya dengan kejadian flare juga masih tidak terlihat pola yang jelas dari evolusi separasi yang menyebabkan terjadinya flare.



Gambar 4-4. Plot evolusi separasi polaritas positif dan negatif dan energi flare yang terjadi

Evolusi posisi bujur heliografik dari *centroid* polaritas positif dan negatif tidak banyak mengalami perubahan. Keduanya bergerak dari arah timur ke barat di piringan matahari dengan kecepatan hampir sama, yaitu 15.94°/hari dan 15.47°/hari. Hasil yang sama dengan yang diperoleh pada evolusi lintang heliografik terkait kejadian flare, yaitu tidak diperoleh pola yang jelas.

Gambar 4-4 menunjukkan jarak antar polaritas terjauh terjadi pada tanggal 23 Oktober 2014 pukul 22:30 UT dengan maksimum jaraknya adalah 99.8 piksel (23.95°). Pada tanggal tersebut juga merupakan luas grup sunspot yang terbesar (lihat Tabel 3-1). Sedangkan jarak terdekat saat grup sunspot masih berada dekat tepi timur piringan matahari dengan jarak separasi adalah sekitar 39.34 piksel (9.44°). Efek proyeksi telah dikoreksi dan bentuk plot evolusi separasi seperti ini lebih disebabkan karena adanya peningkatan luas area dari grup sunspot sehingga *centroid* dari masing-masing polaritas semakin besar. Selain karena faktor penambahan luas area, jarak separasi yang semakin jauh juga menunjukkan adanya pergerakan antar *centroid* masing-masing



Gambar 4-5. Plot evolusi sudut kemiringan polaritas positif dan negatif terhadap garis lintang dan energi flare yang terjadi

Gambar 4-5 menunjukkan evolusi sudut kemiringan dari NOAA 12192. Terjadi fluktuasi sudut kemiringan tetapi secara umum mengalami penurunan. Tian, et al. (2003)

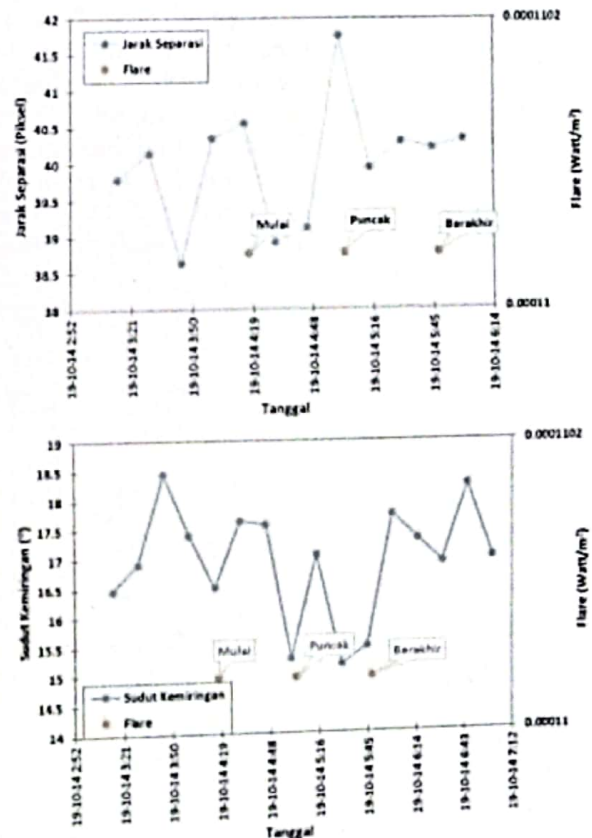


menemukan bahwa adanya fluktuasi pada sudut kemiringan tidak bergantung pada lintang tetapi bergantung pada separasi. Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4-2, kedua polaritas bergerak pada arah yang sama, tetapi karena pergerakan polaritas positif lebih cepat, maka dari titik referensi (polaritas positif) terlihat kemiringan berubah dari  $19.25^\circ$  pada tanggal 19 Oktober 2014 menjadi sekitar  $-1.24^\circ$  pada 29 Oktober 2015. Kecenderungan turun sudut kemiringan terlihat jelas pada gambar 4-5. Hal ini sesuai dengan kesimpulan Gilman dan Howard (1986) bahwa gerak relatif polaritas positif dan negatif secara sederhana dapat dianggap sebagai ekspansi daerah aktif sepanjang sumbunya. Konsekuensi logis dari ekspansi tersebut adalah penurunan nilai sudut kemiringan. Dari polaritas positif sebagai titik referensi tersebut dapat dikatakan bahwa pergerakan bintik merupakan pergerakan rotasional.

Hasil keterkaitan evolusi dari lintang heliografik, separasi dan sudut kemiringan terhadap kejadian flare tidak begitu jelas terlihat. Untuk itu, analisis dalam resolusi temporal yang lebih sempit dilakukan. Analisis evolusi separasi dan sudut kemiringan dilakukan terhadap kejadian flare dalam rentang waktu satu jam sebelum terjadinya flare, selama terjadinya flare dan satu jam setelah terjadinya flare. Analisis hanya dilakukan untuk empat kejadian flare kelas X dari daerah aktif NOAA 12192.

Untuk flare kelas X1.1 yang terjadi pada tanggal 19 Oktober 2014 yang berpuncak pada pukul 05:03 UT ditunjukkan pada Gambar 4-6. Pada gambar tersebut ditunjukkan jarak separasi 1 jam sebelum awal flare dan 1 jam sesudah flare berakhir. Untuk perubahan jarak separasi, terlihat mengalami peningkatan sebelum dan sesudah flare walaupun perbedaan perubahan separasi tidak signifikan pada sebelum, saat dan sesudah flare dengan rata-rata perubahan separasi sekitar  $0.95^\circ$  sebelum flare,  $0.98^\circ$  selama flare terjadi dan  $1.02^\circ$  setelah flare berakhir. Untuk perubahan sudut kemiringan, terlihat jelas perbedaannya bahwa saat flare, terjadi peningkatan rata-rata sudut kemiringan menjadi  $1.34^\circ$  dibanding sebelum dan sesudah flare yang masing-masing adalah  $0.98^\circ$  dan  $0.85^\circ$ .

Gambar 4-7 menunjukkan evolusi separasi dan sudut kemiringan saat terjadi flare kelas X1.6 pada 22 Oktober 2014 berpuncak pada pukul 14:28 UT. Untuk perubahan separasi, terjadi peningkatan sebelum flare. Separasi hanya mengalami penurunan sedikit saat flare telah berakhir. Rata-rata perubahan separasi sekitar  $0.46^\circ$  sebelum flare,  $1.52^\circ$  selama flare terjadi dan  $1.41^\circ$  setelah flare berakhir. Untuk perubahan sudut kemiringan, terlihat mengalami penurunan selama flare terjadi dengan rata-rata sudut kemiringan berubah menjadi sekitar  $0.41^\circ$  dibanding sebelum dan sesudah flare yang masing-masing adalah  $1.88^\circ$  dan  $1.09^\circ$ .



Gambar 4-6. Plot evolusi separasi terhadap flare kelas X1.1 (atas) dan evolusi sudut kemiringan terhadap flare kelas X1.1 (bawah) yang terjadi pada tanggal 19 Oktober 2014

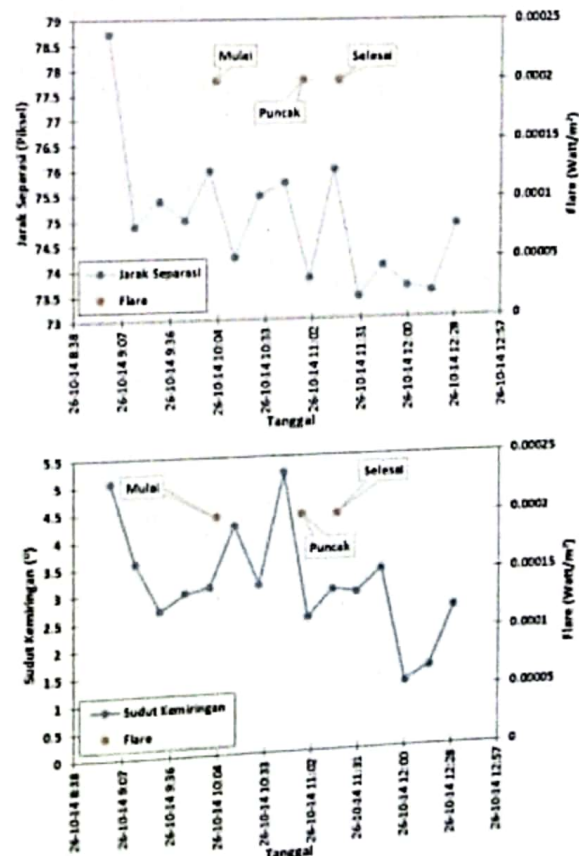
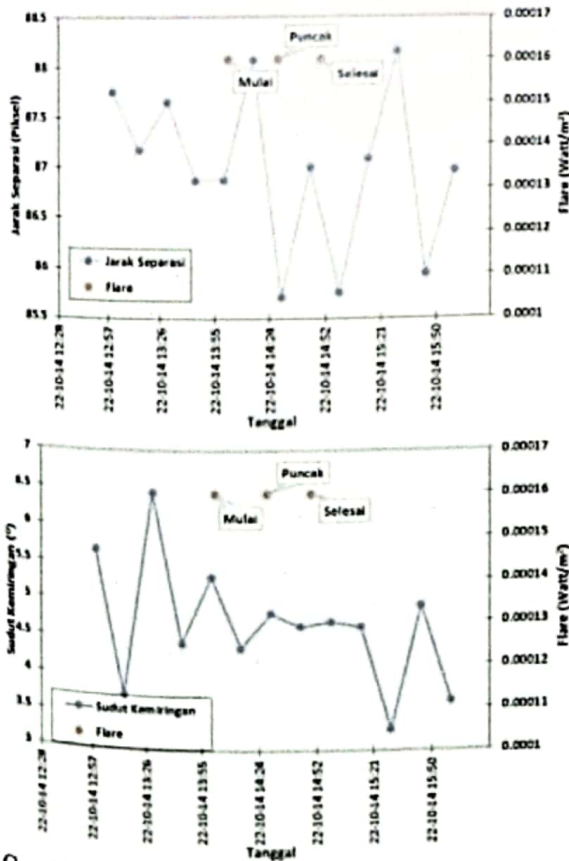
Gambar 4-8 menunjukkan evolusi separasi dan sudut kemiringan saat terjadi flare kelas X2.0 pada 26 Oktober 2014 yang berpuncak pada pukul 10:56 UT. Untuk perubahan separasi, terjadi peningkatan kecil saat terjadi flare dan kemudian mengalami penurunan saat

akhir flare dengan rata-rata perubahan separasi sekitar  $1.42^\circ$  sebelum flare,  $1.65^\circ$  selama flare terjadi dan  $0.62^\circ$  setelah flare berakhir. Untuk perubahan sudut kemiringan, terlihat mengalami peningkatan selama flare terjadi dengan perubahan rata-rata sudut kemiringan sekitar  $1.25^\circ$  dibanding sebelum dan sesudah flare yang masing-masing adalah  $0.69^\circ$  dan  $0.98^\circ$

Gambar 4-9 menunjukkan evolusi separasi dan sudut kemiringan saat terjadi flare kelas X2.0 pada 27 Oktober 2014 berpuncak pada pukul 14:47 UT. Untuk perubahan separasi, terjadi penurunan dari 1 jam sebelum, selama flare hingga 1 jam setelah flare berakhir dengan rata-rata perubahan separasi sekitar  $3.11^\circ$  sebelum flare,  $2.18^\circ$  selama flare terjadi dan  $1.88^\circ$  setelah flare berakhir. Untuk perubahan sudut kemiringan, terlihat mengalami penurunan yang signifikan setelah flare terjadi dengan perubahan rata-rata sudut kemiringan sekitar  $1.78^\circ$  dibanding sebelum dan saat flare yang masing-masing adalah  $5.98^\circ$  dan  $5.95^\circ$

kemiringan terhadap flare kelas X1.6 (bawah) yang terjadi pada tanggal 22 Oktober 2014

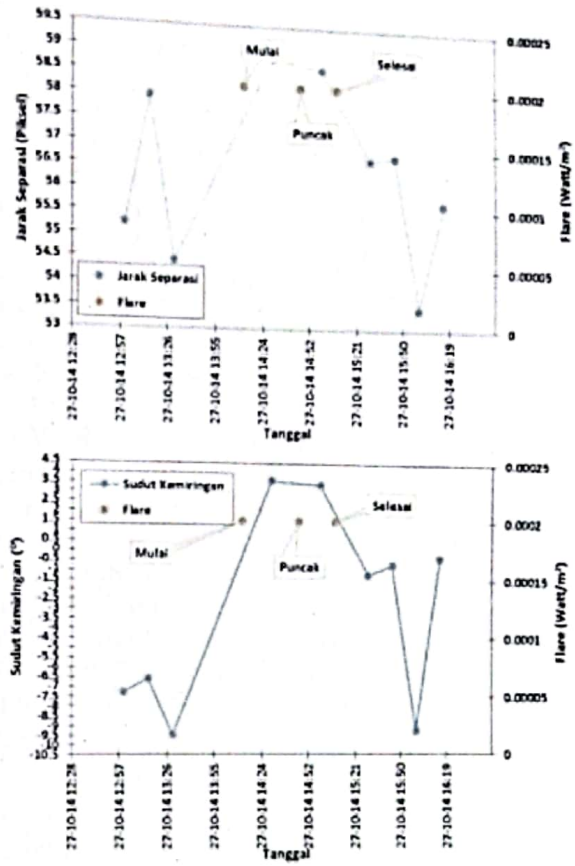
Dari keempat kasus evolusi separasi dan sudut kemiringan terkait kejadian flare kelas X, menunjukkan bahwa perubahan separasi sebelum, saat dan sesudah flare tidak terlihat pola yang jelas. Hal ini berbeda dengan yang diperoleh Guo et al. (2006) yang menyatakan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara separasi dan kejadian flare dimana daerah aktif dengan separasi yang besar lebih cenderung menghasilkan flare. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh persamaan yang dipergunakan untuk menghitung separasi berbeda dengan yang dipergunakan dalam penelitian ini. Persamaan Guo et al. (2006) memasukkan faktor luas area dari kedua polaritas. Selain itu, jumlah data yang dipergunakan pada penelitian ini jauh lebih sedikit dari penelitian Guo et al. (2006) yang mencakup 24 daerah aktif yang terkait dengan 43 peristiwa flare dan 25 peristiwa CME.



Gambar 4-7. Plot evolusi separasi terhadap flare kelas X1.6 (atas) dan evolusi sudut kemiringan terhadap flare kelas X1.6 (bawah) yang terjadi pada tanggal 22 Oktober 2014

**Gambar 4-8.** Plot evolusi separasi terhadap flare kelas X2.0 (atas) dan evolusi sudut kemiringan terhadap flare kelas X2.0 (bawah) yang terjadi pada tanggal 26 Oktober 2014

Sedangkan untuk perubahan sudut kemiringan antar sumbu polaritas terhadap garis lintang lokal terlihat memiliki pola yang jelas pada sebelum, saat dan sesudah flare. Terdapat 3 kasus yang menunjukkan saat terjadi flare, sudut kemiringan mengalami peningkatan atau penurunan yang signifikan dibandingkan satu jam sebelum dan sesudah flare. Pola ini memperlihatkan adanya gerak rotasional dari kedua polaritas tersebut, baik searah ataupun berlawanan arah jarum jam. Pergerakan rotasional kedua polaritas mengakibatkan peningkatan peluang terjadinya flare kelas M atau lebih besar yang dapat mencapai angka hingga 100% (Jiang et al., 2012). Hal ini berbeda dengan yang diperoleh Guo et al. (2006) yang menemukan korelasi yang rendah antara sudut kemiringan dan kejadian flare. Hasil ini masih perlu dikaji lebih lanjut



**Gambar 4-9.** Plot evolusi separasi terhadap flare kelas X2.0 (atas) dan evolusi sudut kemiringan terhadap flare kelas X2.0 (bawah) yang terjadi pada tanggal 27 Oktober 2014

**5. Kesimpulan**

NOAA 12192 bergerak menuju ke ekuator dan mengalami rotasi berlawanan arah jarum jam antara polaritas positif dan negatifnya dengan kecepatan geraknya masing-masing 0,35%/hari dan 0,27%/hari. Evolusi separasi antar polaritas mengalami kenaikan sesuai dengan bertambahnya luas grup yang mencapai nilai maksimum 23,95°. Sedangkan sudut kemiringan selama evolusinya mengalami penurunan sebesar 20,49°. Dari 4 kasus flare kelas X yang terjadi diperoleh bahwa tidak terlihat kecenderungan yang jelas perubahan separasi antar polaritas sebelum, saat dan sesudah flare. Perubahan sudut kemiringan antar polaritas justru terlihat jelas saat terjadi flare yang menunjukkan gerak rotasional dua polaritas sebagai penyebab terjadinya flare kelas X tersebut

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada NASA/SDO dan Tim Sains AIA, EVE, serta HMI atas diperkenalkannya menggunakan data LoS Magnetogram. Data LoS Magnetogram adalah milik hak cipta dari NASA/SDO dan Tim Sains AIA, EVE, dan HMI. Terima kasih juga kepada NOAA melalui SWPC dan NCEI sebagai sumber rujukan utama untuk data flare dan daerah aktif NOAA 12192.

## Rujukan

- Cakmak H. (2014). A digital method to calculate the true areas of sunspot groups, *Solar and Stellar Astrophysics*, doi:10.1007/s10686-014-9381-6.
- Dasi-Espuig M., Solanki S.K., Krivova N. A., Cameron R., dan Penuela T. (2010). Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle, *Astronomy and Astrophysics*, 518, A7, doi:10.1051/0004-6361/201014301
- Guo J., Zhang H., Chumak O. V. dan Liu Y. (2006). A quantitative study on magnetic configuration for active regions. *Solar Physics*, 237:25-43, doi:10-1007/s11207-006-2081-2
- Gilman P. A. dan Howard R. (1996). Rotation and expansion within sunspot groups, *Astrophysical Journal*, 303, 480, doi:10.1086/169093.
- Herdiwijaya D., Makita M. dan Anwar B. (1997). The proper motion of individual sunspots. *Publications of Astronomical Society of Japan*, 49, 235-248.
- HMI Teams. (2011). *Line-of-Sight Magnetograms*, <http://jsoc.stanford.edu/HMI/Magnetogram.html>, diunduh 17 Oktober 2015
- Jiang Y. Zheng R., Yang J., Hong J., Yi B. dan Yang D. (2012). Rapid sunspot rotation associated with the X2.2 flare on 2011 february 15, *The Astrophysical Journal*, 744:50, doi:10.1088/0004-637X/744/1/50
- Lang R. K. (2010). *NASA's Cosmos*, <https://ase.tufts.edu/cosmos>, diunduh 17 Oktober 2015
- Li J. dan Ulrich R. K. (2012). Long-term measurements of sunspot magnetic tilt angles. *The Astrophysics Journal*, 758:115, doi:10.1088/0004-637X/758/2/115
- Rodrigues M. (2006). Canny edge detector, [http://www.cs.ucf.edu/~mikel/Research/Edge\\_Detection.htm](http://www.cs.ucf.edu/~mikel/Research/Edge_Detection.htm), diunduh 13 Juni 2015
- Spahr G. M. (2014). *Fully automated sunspot detection and classification using SDO HMI imagery in Matlab*, Master's thesis, Air Force Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Management, 2014. AFIT/ENP/14-M-34.
- Tian L., Liu Y. dan Wang H. (2003). Latitude and magnetic flux dependence of tilt angle of bipolar regions, *Solar Physics*, 215, 2, 281-293
- Wang Y. M., Colaninno R. C., Baranyi T. Li J. (2014). Active-region tilt angles: Magnetic versus white-light determination of Joy's law, *Solar and Stellar Astrophysics*, doi:10.1088/0004-637X/796/1/1
- Yatini C. Y. dan Mumpuni E. S. (2006). Analisis pergerakan bintik matahari di daerah aktif NOAA 0375. *Jurnal Sains Dirgantara*, 4(1), 1-11