

Karakteristik Daerah Aktif di Matahari Penghasil *Flare* Besar Pada Siklus ke-24

Najmy Yaritsul Firdaus^{1*}, Judhistira Aria Utama¹, Muhamad Zamzam Nurzaman²

¹Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung 40154, Indonesia

²Pusat Sains Antariksa, LAPAN, Jl. Dr. Djunjunan No.133, Pajajaran, Cicendo, Kota Bandung, Jawa Barat 40173, Indonesia

*Corresponding author E-mail: najmy1106@gmail.com

Telp : +6281321435672

ABSTRAK

Flare merupakan suatu ledakan energi yang terjadi di permukaan Matahari. Kemunculan *flare* adalah hal yang biasa namun tidak dapat terprediksi. Sumber utama penghasil *flare* adalah aktivitas medan magnet yang termanifestasi sebagai daerah aktif atau bintik di permukaan matahari. Aktivitas magnetik di Matahari mempunyai pola maksimum-minimum dengan periodisitas rata-rata 11 tahun atau disebut 1 siklus, dan saat ini aktivitas Matahari sedang memasuki akhir siklus ke-24. Pada siklus ini, terdapat beberapa *flare* besar yang bersumber dari beragam karakteristik fisis daerah aktif, mulai dari yang cukup kompleks hingga sangat kompleks. Dengan mengandalkan data pengamatan harian, kami melakukan penyusunan karakteristik fisis daerah aktif penghasil *flare* besar. Mulai dari awal daerah aktif tersebut muncul di permukaan Matahari sampai tidak terlihat. Karakteristik fisis yang diamati diantaranya kelas McIntosh, kelas magnetik, bilangan bintik dan luas bintik. Dengan melakukan perbandingan data dari 4 parameter tersebut, maka dapat dilihat ciri-ciri daerah aktif yang menghasilkan *flare* besar ketika sebelum dan sesudah *flare* tersebut terjadi.

Kata Kunci: Medan Magnet; Daerah Aktif; *Flare*

ABSTRACT

Flare is an energy explosion that occurs on the surface of the Sun. The occurrence of flare is normal, but is also unpredictable. The primary source of flare production is magnetic field activity which manifests as active region on the surface of the sun, namely sunspots. Magnetic activity in the Sun has a maximum-minimum pattern with an average period of 11 years, which makes 1 cycle, and currently the sun's activity is entering the end of its 24th cycle. In this cycle, there are several large flares produced by a variety of physical characteristics of sunspots, ranging from fairly complex to very complex. Using the data obtained from daily observations, we determined the physical characteristics of active zones that produce large flares. The observation started from when the active region appeared on the surface of the sun until it disappeared. Physical characteristics that were observed were those of McIntosh class, magnetic class, spot number and spot area. By comparing data from these 4 parameters, the characteristics of the active region that produce large flares can be seen when before and after the flare occurs.

Keywords: Magnetic Field; Active Zones; Flare

1. Pendahuluan

Matahari merupakan sumber energi di tata surya, terutama untuk kehidupan di Bumi. Sebagai contoh, tanaman hijau daun memerlukan cahaya Matahari untuk berfotosintesis sehingga dapat menghasilkan oksigen untuk kehidupan. Namun ada kalanya energi dari Matahari berdampak kurang baik untuk kehidupan di Bumi. Diantaranya adalah aktivitas *flare* yang dapat merusak satelit-satelit buatan manusia yang berada di angkasa. Kerusakan satelit tersebut akan mengganggu beberapa aspek kehidupan terutama yang mengandalkan satelit komunikasi dan navigasi.

Flare didefinisikan sebagai perubahan kecerlangan yang mendadak, cepat, dan intens di Matahari yang dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap cuaca dan lingkungan antariksa [1]. *Flare* terjadi ketika energi magnetik yang ada di atmosfer Matahari secara tiba-tiba dilepaskan akibat pertemuan dua medan magnet yang memiliki polaritas berlawanan. Radiasi yang dipancarkan mencakup hampir seluruh spektrum elektromagnetik, mulai dari panjang gelombang radio, emisi optik dan cahaya tampak. Jumlah energi yang dilepaskan setara dengan jutaan bom hydrogen berkekuatan 100 megaton meledak pada saat yang bersamaan. Radiasi yang dilepaskan tadi akan memberikan dampak ke Bumi. *Flare* pertama kali teramati secara kebetulan oleh R. C. Carrington dan R. Hodgson pada tempat yang berbeda di Inggris pada tanggal 1 September 1859 [2,3].

Flare melontarkan gelombang elektromagnetik dan beberapa gelombang radiasi. Karena berupa gelombang, waktu tempuh untuk sampai ke Bumi hanya dalam beberapa menit saja setelah terjadinya *flare*. Dampak *flare* yang diikuti badai geomagnet terhadap kehidupan di Bumi salahsatunya dapat mengacaukan sistem komunikasi dan telegram serta memunculkan aurora yang terlihat dari daerah Kuba yang berada pada lintang rendah [4]. Perubahan kondisi ionosfer selama badai geomagnet juga dapat mengganggu komunikasi radio frekuensi tinggi dan gangguan pada satelit *Global Positioning System* (GPS) untuk navigasi. Paparan radiasi terhadap pesawat ruang angkasa akibat tingginya fluks partikel enerjetik akan menyebabkan anomali pada operasional satelit, kerusakan komponen elektronik, menurunkan kinerja panel surya, dan kerusakan pada sistem optik satelit seperti pada pencitra dan *star-tracker*.

Karakteristik *flare* satu dengan *flare* lainnya sangat beragam, bergantung pada frekuensi radiasi waktu spasial dan resolusi instrumen yang digunakan. Namun, berdasarkan waktu pengamatan dan radiasi elektromagnetik, karakteristik *flare* dapat dibedakan menjadi tiga fase, yaitu fase pendahuluan, fase impulsif, dan fase gradual. Fase pendahuluan diidentifikasi dengan penambahan fluks yang relatif kecil pada radiasi. Fase berikutnya yaitu fase impulsif yaitu dimana adanya penambahan dan penurunan yang cepat dari fluks radiasi selama berlangsungnya *flare*. Fase terakhir pada masa penampakannya yaitu fase gradual. Setelah mencapai tingkat maksimum, *flare* ini akan menurun pada tahap *pre-flare*.

Kejadian *flare* cenderung terjadi di daerah aktif. Oleh karena itu kemungkinan kemunculan *flare* sering dihubungkan dengan karakteristik daerah aktif seperti kelas McIntosh [5], kelas Hale atau luasnya [6]. Sehingga pengetahuan kita tentang karakteristik daerah aktif menjadi penting dan setidaknya dapat membantu untuk memperkirakan kejadian *flare*. Priyatikanto [7] membuat katalog daerah aktif untuk siklus 23 sehingga memudahkan menelaah kejadian *flare* pada siklus tersebut. Dan penelitian ini bertujuan untuk menelaah karakteristik daerah aktif pada siklus 24, terutama yang menghasilkan *flare* besar.

2. Bahan dan Metode

Data yang dipilih adalah data siklus 24 dengan jangka waktu dari 2008 sampai 2017. Data tersebut diambil dari arsip *Solar Region Summary* (SRS) yang dirilis oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration / Space Weather Prediction Center* (NOAA/SWPC)[8]. File data berformat text dan diunduh dari [ftp.swpc.noaa.gov/pub/\[tahun\]/SRS](ftp.swpc.noaa.gov/pub/[tahun]/SRS).

Data berisi karakteristik daerah aktif yang teramati pada hari tertentu. Data karakteristik daerah aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah nomor daerah aktif, luas (dalam sepersepjuta kali luas piringan Matahari, μhem), bilangan bintang, kelas McIntosh (kelas Z) serta kelas Hale (tipe magnetik). Kelas McIntosh yang harusnya huruf dikonversi menjadi angka agar mudah untuk dibuat grafiknya (tabel 1). Hal yang sama juga diaplikasikan untuk kelas Hale (tabel 2).

Tabel 1. Keterangan Parameter Mc Intosh.

(Sumber : <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-classification-of-sunspots-after-malde>)

Keterangan Parameter Mc Intosh							
1	Axx	16	Dri	31	Dac	46	Dki
2	Bxo	17	Eri	32	Eac	47	Eki
3	Bxi	18	Fri	33	Fac	48	Fki
4	Hrx	19	Dao	34	Dsc	49	Dho
5	Cro	20	Eao	35	Esc	50	Eho
6	Cri	21	Fao	36	Fsc	51	Fho
7	Hax	22	Dai	37	Hkx	52	Dhi
8	Cao	23	Eai	38	Cko	53	Ehi
9	Cai	24	Fai	39	Cki	54	Fhi
10	Hsx	25	Dso	40	Hhx	55	Dkc
11	Cso	26	Eso	41	Cho	56	Ekc
12	Csi	27	Fso	42	Chi	57	Fkc
13	Dro	28	Dsi	43	Dko	58	Dhc
14	Ero	29	Esi	44	Eko	59	Ehc
15	Fro	30	Fsi	45	Fko	60	Fhc

Tabel 2. Indikator Parameter Kelas Hale (Kelas Magnitudo) (Sumber :

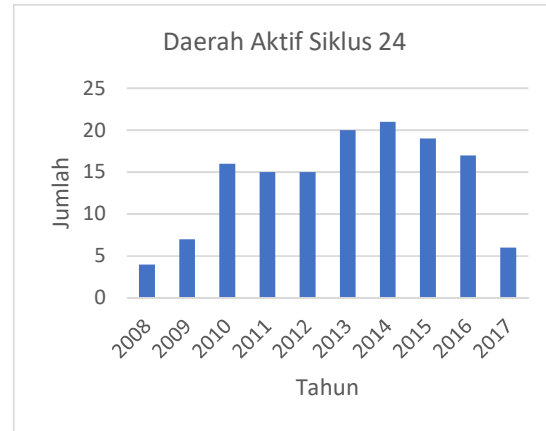
<https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-magnetic-classification-of-sunspots>).

Indikator Kelas Hale	
No.	Kategori
1.	α – Alpha
2.	β – Bèta
3.	γ – Gamma
4.	β - γ – Bèta-Gamma
5.	δ – Delta
6.	β - δ – Bèta-Delta
7.	β - γ - δ – Bèta-Gamma-Delta
8.	γ - δ – Gamma-Delta

Selanjutnya dicari data kejadian *flare* yang berkesesuaian dengan data karakteristik daerah aktif tersebut. Kejadian *flare* dilihat dari laman www.spaceweatherlive.com [9]. Selanjutnya dipilih beberapa daerah aktif yang menghasilkan *flare* besar untuk ditelaah karakteristik fisisnya sejak terlihat di piringan Matahari sampai tidak teramati.

3. Hasil dan Pembahasan

Data daerah aktif selama siklus 24 tercermin dalam gambar 1.

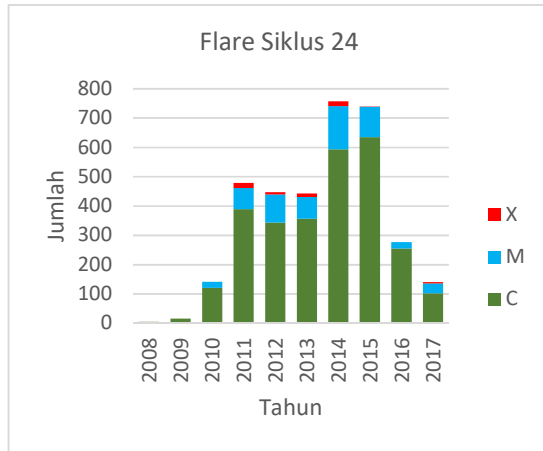


Gambar 1. Jumlah daerah aktif siklus 24 dari 2008 hingga 2017.

Berdasarkan gambar di atas, daerah aktif paling sedikit (kurang dari 5 daerah aktif) berada pada tahun 2008. Tahun tersebut merupakan awal siklus 24. Tahun-tahun berikutnya jumlah daerah aktif mengalami peningkatan. Dan daerah aktif paling banyak berada di tahun 2014. Setelah 2014, jumlah daerah aktif mengalami penurunan sampai tahun 2017.

Selaras dengan jumlah daerah aktif, kejadian *flare* pada tahun 2008 juga yang paling sedikit selama siklus 24 (gambar 2). Semua *flare* tersebut mempunyai kelas *flare* C atau M dan berasal dari semua daerah aktif. Kecenderungan jumlah *flare* hampir sama dengan kecenderungan jumlah daerah aktif selama siklus 24. Terlihat jumlah *flare* akan meningkat seiring dengan banyaknya daerah aktif. *Flare* terbanyak terjadi pada tahun 2014 dengan kelas *flare* C, M atau X dan mengalami penurunan jumlah pada tahun berikutnya. Penurunan jumlah *flare* yang signifikan terjadi pada tahun 2015-2016. Penurunan jumlah ini berkaitan dengan fase siklus 24 yang sedang

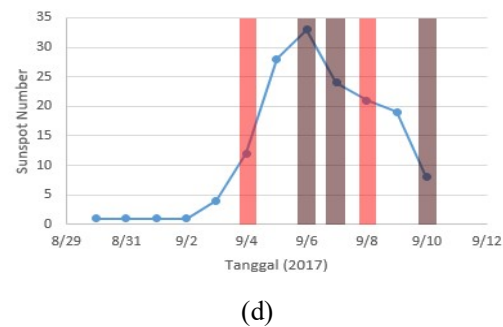
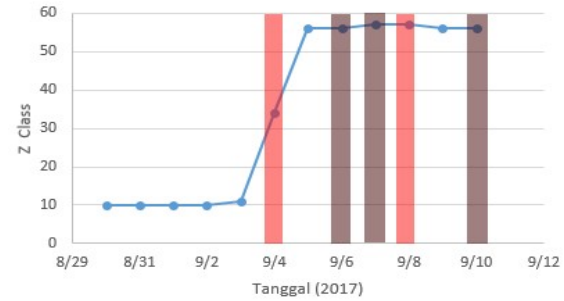
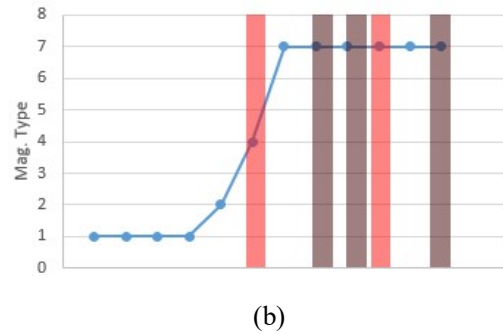
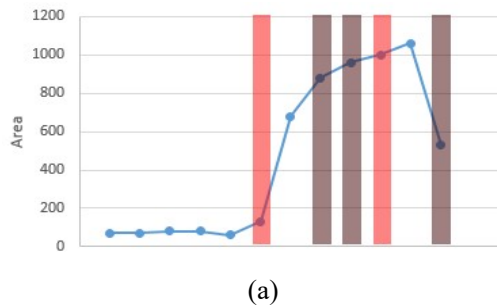
menurun. Meskipun tahun 2017 sedang fase menurun, namun masih terdeteksi *flare* kelas X.



Gambar 2. Jumlah *flare* siklus 24 berdasarkan kelasnya.

3.1. Daerah Aktif AR12673

Daerah aktif AR12673 sangat banyak menghasilkan *flare*, salahsatunya *flare* terbesar siklus 24 yaitu *flare* kelas X9,3. *Flare* tersebut terjadi pada tanggal 6 September 2017 dengan tipe magnetik (kelas Hale) kompleks yaitu Beta – Gamma – Delta, kelas McIntosh dengan nilai 56 atau Dkc dan bilangan bintik 34, yang tertinggi untuk daerah aktif ini (gambar 3). Lalu keesokan harinya menghasilkan *flare* kelas X1,3 dengan kelas Hale yang sama, kelas McIntosh dengan nilai 57 atau Ekc dan bilangan bintik yang lebih kecil menjadi 23 (gambar 3). Area daerah aktif pada dua hari tersebut belum mencapai puncaknya dan masih di bawah 1000 μhem . Akan tetapi saat area daerah aktif mencapai puncaknya pada 9 September 2017, tidak terjadi *flare* sama sekali. Luasnya kala itu 1060 μhem (gambar 3).

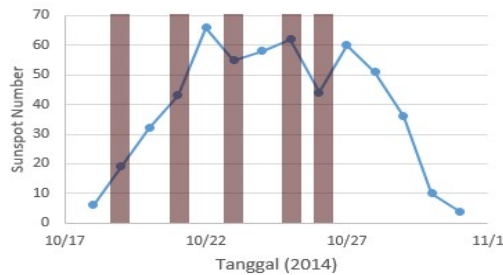


Gambar 3. Karakteristik daerah aktif AR12673 yang meliputi area/luas (a), tipe magnetik/kelas Hale (b), kelas McIntosh atau Z (c) dan bilangan bintik atau *sunspot number* (d) selama kemunculannya di permukaan tampak Matahari mulai 29 Agustus sampai 10 September 2017. Daerah arsiran merah menandakan kejadian *flare* M. Sedangkan arsiran coklat menandai kejadian *flare* X.

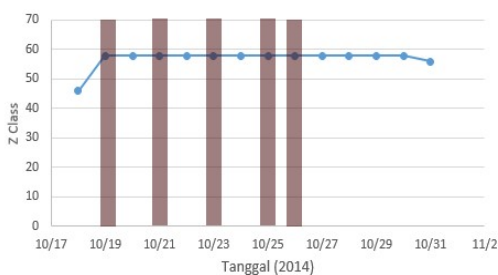
Pada tanggal 10 September 2017 daerah aktif 12673 sudah berada di tepian barat piringan Matahari. Efeknya, area dan bilangan bintik daerah aktif yang teramati lebih kecil. Meskipun begitu, telah terjadi kejadian *flare* X8,2, *flare* terbesar kedua di siklus 24. Pada saat itu daerah aktif mempunyai tipe magnetik yang masih kompleks dan kelas McIntosh dengan nilai 56 atau Dkc.

3.2. Daerah Aktif AR12192

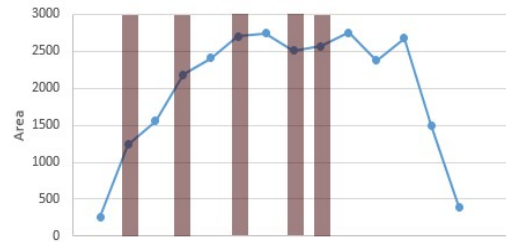
Daerah aktif AR12192 telah menghasilkan 5 *flare* kelas X. *Flare-X* pertama dengan kelas X1,1 terdeteksi tanggal 19 Oktober 2014. Sehari sebelum *flare*, luasnya hanya 260 μhem lalu meningkat tajam menjadi 1240 μhem pada saat terjadi *flare*. Bilangan bintik serta kelas McIntosh juga mengalami kenaikan namun tidak seperti perubahan luas. Setelah *flare* pertama, terjadi 4 *flare-X* lainnya dengan dibawah X5. Selama kemunculan di permukaan Matahari, kelas McIntosh dan kelas Hale AR12192 stabil sangat kompleks. Kelas McIntosh cenderung stabil di nilai 58 atau Fkc dan kelas Hale cenderung stabil di Beta-Gamma-Delta. (gambar 4). Nilai tertinggi bilangan bintik dan luas AR12192 lebih besar dua kali lipat dibanding AR12673. Namun tidak ada *flare* kelas X yang lebih besar dari yang dihasilkan AR12673.



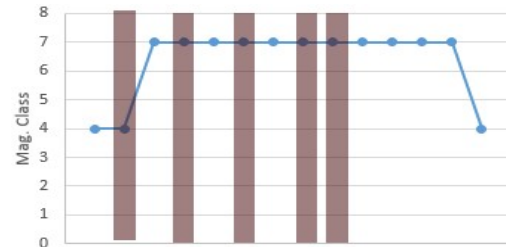
(a)



(b)



(c)

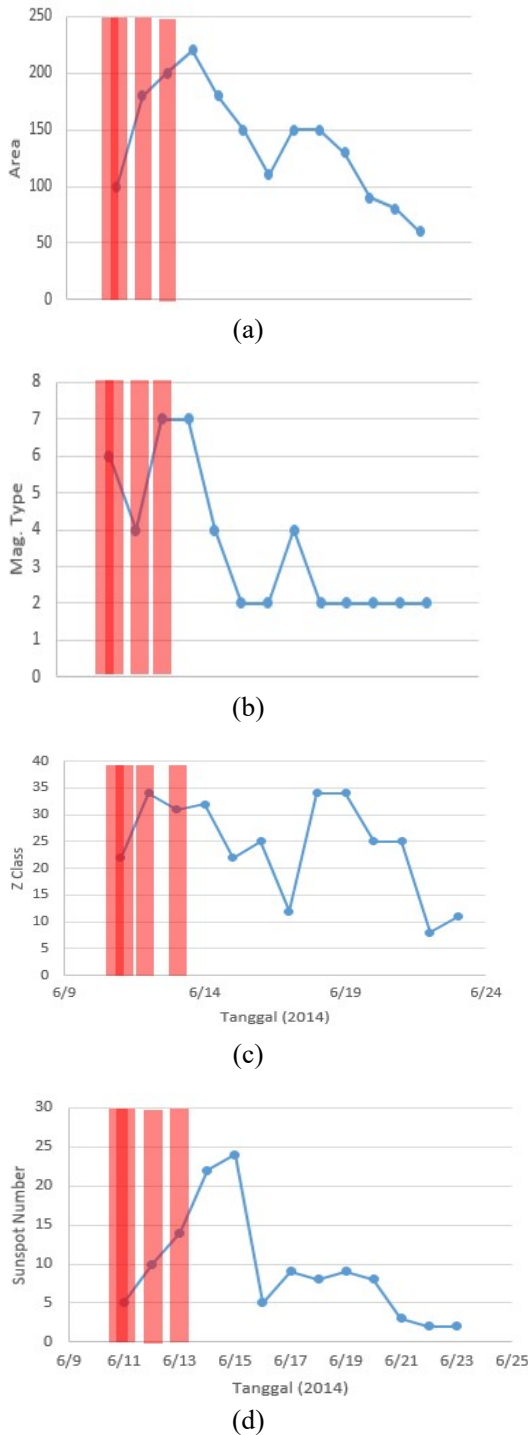


(d)

Gambar 4. Karakteristik daerah aktif 12192 yang meliputi area/luas (a), tipe magnetik/kelas Hale (b), kelas McIntosh atau Z (c) dan bilangan bintik atau *sunspot number* (d) selama kemunculannya di permukaan tampak Matahari mulai 17 - 31 Oktober 2014. Daerah arsiran coklat menandai kejadian *flare-X*.

3.3. Daerah Aktif AR12087

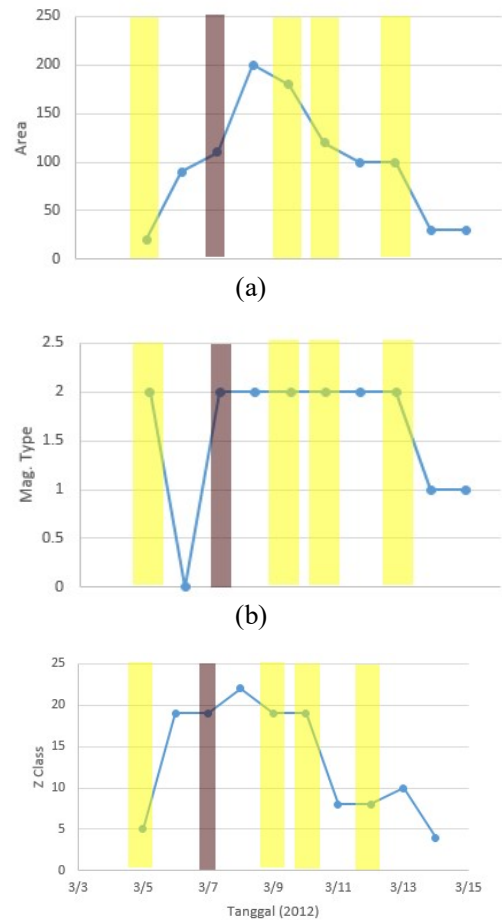
Daerah aktif AR12087 mulai tampak di piringan Matahari tanggal 11 Juni 2014 dan langsung menghasilkan 3 *flare*. Kejadian flare diawali oleh kelas M3,0 lalu kelas X1,0 dengan selang waktu kurang dari 1 jam dan terakhir kelas *flare* M3,9 dengan selang waktu 13 jam 54 menit. Sehari kemudian terjadi *flare* M2,7 dengan kelas Hale Beta - Gamma, lebih sederhana dibandingkan kemarin yang tercatat mempunyai nilai Beta - Delta. *Flare* terakhir terjadi tanggal 13 Juni 2014, dengan kelas Hale yang kembali kompleks yaitu Beta - Gamma - Delta. Tapi setelah ini tidak ada lagi *flare* yang tercatat dan karakteristik daerah aktif menunjukkan kecenderungan yang menurun untuk semua parameter (gambar 5). Pola ini sedikit berbeda dengan dua contoh daerah aktif sebelumnya yang menghasilkan lebih dari satu *flare-X*.

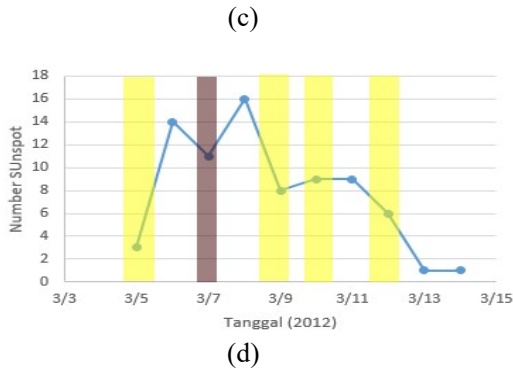


Gambar 5. Karakteristik daerah aktif AR12087 yang meliputi area/luas (as), tipe magnetik / kelas Hale (bs), kelas McIntosh atau Z (c) dan bilangan bintik atau sunspot number (d) selama kemunculannya di permukaan tampak Matahari mulai 9 - 24 Juni 2014. Daerah arsian merah menunjukkan peristiwa flare kelas M dan arsian merah tua untuk flare kelas X.

3.4. Daerah Aktif AR11430

Daerah aktif AR11430 telah menghasilkan 5 kali flare yaitu 4 flare kelas C dan 1 flare kelas X. Flare pertama mempunyai kelas C4,7 pada tanggal 5 Maret 2012 dengan kelas Hale Beta dan kelas McIntosh bernilai 5 atau Cro. Sehari kemudian data kelas Hale tidak terbaca sehingga nilainya 0. Namun tercatat memiliki kelas McIntosh yang lebih kompleks yaitu bernilai 19 atau Dao. Flare berikutnya mempunyai kelas X1,3 terjadi pada tanggal 7 Maret 2012 dan mempunyai kelas Hale dan kelas McIntosh yang cukup sederhana untuk ukuran kelas X yaitu Beta dan 19 atau Dao. Setelah terjadi flare-X, karakteristik daerah aktif tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dan hanya menghasilkan 3 flare kelas C. Kejadian flare X dari AR 11430 termasuk yang jarang terjadi karena konfigurasi magnetik (digambarkan oleh kelas Hale dan kelas McIntosh) daerah aktif tergolong sederhana. Sementara untuk ketiga kasus di atas, flare-X bersumber dari daerah aktif yang kompleks.





Gambar 6. Karakteristik daerah aktif AR11430 yang meliputi area/luas (*kiri atas*), tipe magnetik / kelas Hale (*kanan atas*), kelas McIntosh atau Z (*kiri bawah*) dan bilangan bintik atau *sunspot number* (*kanan bawah*) selama kemunculannya di permukaan tampak Matahari mulai 5 - 14 Maret 2014. Daerah arsiran kuning menunjukkan *flare* kelas C dan arsiran coklat untuk *flare* kelas X.

3.5. Pembahasan

Empat daerah aktif yang merupakan daerah aktif yang menghasilkan *flare* besar, dapat dilihat karakteristiknya secara kualitatif. Daerah aktif yang diamati yaitu AR12673, AR12192, AR12087, dan AR11430.

Berdasarkan 4 daerah aktif ini, *flare* kelas X terjadi ketika luas area dari daerah aktif berada pada nilai yang cukup besar. *Flare-X* cenderung terjadi ketika luas daerah aktif ini mendekati puncak luas area. Puncak luas area ini dapat diartikan juga area terluas yang dapat dihasilkan dari daerah aktif. *Flare* kelas M cenderung terjadi ketika luas area daerah aktif ini tidak terlalu luas dan tidak terlalu kecil. Untuk *flare* kelas C cenderung terjadi sama seperti *flare* kelas M, tidak terlalu luas dan tidak terlalu kecil. Tapi jika luas daerah aktif ini dibandingkan, luas ketika terjadi *flare* -M lebih besar daripada ketika terjadi *flare*-C. Hal ini karena *flare*-C memiliki tingkat energi yang lebih kecil dari *flare*-M sehingga luas daerahnya tidak akan sama.

Berdasarkan kelas McIntosh (Z), *flare-X* cenderung terjadi ketika nilai Z memiliki nilai yang terbesar. *Flare*-M tidak berpengaruh terhadap nilai Z, karena ketika nilai Z berada pada nilai yang paling rendah ataupun paling tinggi, *flare*-M dapat terjadi. Sedangkan *flare*-C terjadi ketika nilai Z tidak berada pada nilai tertinggi, cenderung terjadi ketika nilai Z berada pada nilai yang kecil.

Untuk bilangan bintik, memiliki kecenderungan semakin besar nilainya maka *flare-X* cenderung dapat terjadi. Tapi untuk kasus daerah aktif AR12087 dan AR11430, saat bilangan bintik berada pada nilai yang paling besar tidak terjadi *flare* sama sekali. *Flare* justru terjadi ketika nilai dari 2 daerah aktif ini berada pada nilai yang kecil.

Untuk tipe magnetik atau kelas Hale daerah aktif, semakin kompleks nilainya, maka kemungkinan besar terjadi *flare-X*. Dari 4 daerah aktif ini, *flare-X* terjadi ketika nilai tipe magnetik semakin kompleks kecuali untuk kasus AR11430 yang menghasilkan *flare-X* saat tipe magnetiknya beta atau bernilai 2. Tipe magnetik dikatakan kompleks ketika nilainya mencapai Beta – Gamma – Delta atau Gamma – Delta. Sedangkan nilai Beta dan Alpha termasuk belum kompleks.

4. Simpulan

Total Daerah Aktif pada siklus 24 selama 10 tahun yaitu sebanyak 140 daerah aktif yang tercatat. Total *flare* yang tercatat ada: *flare*-C sebanyak 2815, *flare*-M sebanyak 572, dan *flare-X* sebanyak 59. Karakteristik 4 daerah aktif penghasil *flare* besar ditelaah berdasarkan area, kelas McIntosh, tipe magnetik, dan bilangan bintik. Berdasarkan areanya, semakin luas area daerah aktif memiliki kecenderungan untuk menghasilkan *flare-X*. Berdasarkan nilai Z (kelas McIntosh) semakin kompleks nilai Z, maka *flare-X* semakin mungkin terjadi. Berdasarkan nilai bilangan bintik (*Sunspot Number*), kejadian *flare* cenderung terjadi saat bilangan bintik semakin besar. Akan tetapi untuk kasus AR11430 *flare-X* dapat terjadi ketika bilangan bintik dibawah 10 Berdasarkan tipe magnetiknya, *flare-X* dapat terjadi ketika tipe magnetik atau kelas Hale kompleks. Namun kasus AR11430 lagi-lagi membuktikan *flare-X* dapat terjadi saat tipe magnetik hanya bernilai 2 atau Beta.

Berdasarkan telaah kasus karakteristik daerah aktif penghasil *flare* besar siklus 24, parameter tipe magnetik atau kelas Hale yang hampir konsisten menunjukkan bahwa semakin besar nilai tipe magnetik daerah aktif, kejadian *flare* besar (*flare-X* atau M) akan semakin mungkin terjadi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan

penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains Antariksa, LAPAN yang telah memberikan kesempatan untuk meneliti dan mengolah data. Terima kasih atas ilmu yang diberikan oleh Pusat Sains Antariksa, LAPAN yang begitu berharga dan berguna dalam penelitian penulis.

6. Referensi

- [1] Hapgood, M. dan Thomson, A. (2010). *Space Weather: Its Impact on Earth and Implications for Business*. Lloyds 360 Risk Insight.
- [2] Carrington, R. C. (1859). Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20: 13
- [3] Hodgson, R. (1859). On a curious Appearance seen in the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20: 15
- [4] Bell, T. E. dan Phillips, T. (2008). A super solar flare, http://science.nasa.gov/science-news/scienceatnasa/2008/06may_carringtonflare/, diakses 10 November 2015
- [5] Bloomfield, D., Higgins, P., McAteer, R., dan Gallagher, P. (2012). Toward reliable benchmarking of solar flare forecasting methods. *The Astrophysical Journal*, 747: L41.
- [6] Lee, K., Moon, Y.-J., Lee, J.-Y., Lee, K.-S., and Na, H. (2012). Solar flare occurrence rate and probability in terms of the sunspot classification supplemented with sunspot area and its changes. *Solar Physics*, 281:639.
- [7] Priyatikanto, R. (2016). Katalog Daerah Eruptif Siklus Matahari ke 23. Bandung. LAPAN.
- [8] Space Weather Prediction Center, <https://www.swpc.noaa.gov/>
- [9] Space Weather Live, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/top-50-solar-flares/>