

KAITAN FLARE DENGAN PEMUNCULAN SUNSPOT

Suprijatno Jasman

Peneliti Matahari dan Lingkungan Antariksa
Bidang Matahari dan Antariksa

Ringkasan

Peristiwa *flare* umumnya akan terjadi di lingkungan *sunspot*/grup *sunspot*. Sumber energi pembentuk *flare* adalah medan magnet *sunspot*. Makin banyak/ besar *sunspot*/grup *sunspot* makin banyak juga peristiwa *flare* yang terjadi. Peristiwa *flare* akan banyak terjadi di sekitar saat puncak siklus matahari. Korelasi antara pemunculan *sunspot* di permukaan matahari dan banyaknya peristiwa *flare* yang terjadi cukup tinggi yaitu 0.95.

Abstract

Solar flare happens at sunspot/group sunspot environment. Magnetic field of the sunspot is the source of the flare energy. Increasing the number of sunspot will increase the number of flare. Maximum of flare event achieved at around maximum cycle. The correlation of sunspot appearance and flare event is 0.95.

1. Pendahuluan

Awal adanya aktivitas matahari yang bisa diamati dari bumi adalah *sunspot*. Dari perkembangan *sunspot* selanjutnya ada kemungkinan disusul oleh aktivitas matahari lainnya, antara lain *flare*, *prominence*, pelemparan partikel energetik dan burst radio. Aktivitas matahari tersebut bergantung pada kondisi saat perkembangan *sunspot*nya, terutama keadaan struktur medan magnet *sunspot*. Dari struktur medan magnet unipolar menjadi bipolar ada kemungkinan memunculkan *flare*, makin besar *sunspot* dan medan magnetnya makin kuat dan kompleks, maka akan makin banyak dan makin kuat *flare* yang terjadi.

Solar flare adalah peristiwa pelepasan energi yang kuat secara tiba-tiba dari daerah di atas dan di lingkungan grup *sunspot*. Pelepasan energi tersebut memberikan pemanasan lokal, sehingga temperatur kromosfer meningkat menjadi 10^4 K dan temperatur korona menjadi 10^7 K. *Flare* juga menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik dengan rentang yang sangat lebar dari sinar X-kuat sampai gelombang radio, pelemparan partikel energetik dan gelombang kejut. Peningkatan radiasi tersebut akan menimbulkan gangguan-gangguan di bumi antara lain gangguan komunikasi antariksa, komunikasi radio HF, dan medan magnet bumi.

Dalam makalah ini ditinjau korelasi banyaknya peristiwa *flare* yang terjadi berdasarkan banyaknya *sunspot* yang muncul di permukaan matahari. Data yang dipergunakan pada tulisan ini adalah data *sunspot* dan *flare* untuk selang waktu siklus matahari yang ke 22, dari Juni 1986 sampai dengan Oktober 1996.

2. Data

Data pengamatan yang dipakai pada tulisan ini adalah data rata-rata bulanan sunspot dan *flare* siklus ke 22, dari bulan Juni 1986 sampai dengan bulan Agustus 1996 (Solar Geophysical Data, 1999). Plot data rata-rata bulanan bilangan *sunspot* dan jumlah peristiwa *flare* yang terjadi diperlihatkan pada gambar 2.1. Harga minimum bilangan *sunspot* terjadi pada bulan Juni tahun 1986 dengan harga $R = 1.1$, mencapai harga R maksimum pada bulan Agustus tahun 1990 sebesar 200.3, kemudian turun ke harga minimum kembali pada bulan Oktober tahun 1996 dengan $R = 0.9$. Demikian juga dengan peristiwa *flare* yang terjadi bahwa jumlah *flare* yang terjadi pada bulan Juni 1986 adalah minimum hanya 3 buah. Agak berbeda dengan bilangan *sunspot* ternyata peristiwa *flare* mencapai harga puncaknya pada bulan Juni 1989 sebanyak 977 buah, kemudian kembali ke minimum pada bulan Oktober 1966 dan tidak ada peristiwa *flare* yang terjadi.

3. Hasil

Melihat bentuk kedua kurva antara bilangan *sunspot* dan *flare* ternyata memberikan kecenderungan yang sama. Dengan mengasumsikan bahwa kedua data mempunyai hubungan linier, ternyata memberikan harga koefisien korelasi yang baik yaitu 0.95 diperlihatkan pada gambar 3.1.

Untuk mengetahui peristiwa harian *flare* yang terjadi berdasarkan pemunculan *sunspot* di permukaan matahari, data rata-rata bulanan *sunspot* dan *flare* dirubah menjadi data rata-rata harian. Dengan anggapan bahwa pada setiap bulan ada tiga puluh hari pengamatan, maka data rata-rata bulanan bisa dirubah menjadi data rata-rata harian. Selanjutnya data rata-rata harian tersebut dirubah urutannya dari perubahan berdasarkan deret waktu menjadi deretan perubahan *sunspot* dari bilangan *sunspot* minimum ke bilangan *sunspot* maksimum seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2. Dari hasil plot data rata-rata harian dapat dilihat bahwa pada hari-hari dimana pemunculan *sunspot* sedikit, ternyata peristiwa *flare* yang terjadipun sebanding yaitu hanya beberapa kali saja, malah ada kemungkinan bahwa walaupun ada *sunspot* belum tentu ada *flare*. Hal tersebut terjadi karena R sedikit menunjukkan saat-saat awal atau akhir siklus matahari, sehingga kondisi *sunspot*/grup *sunspot* masih atau sudah berubah kembali ke klasifikasi grup *sunspot* A, B atau C. Sebaliknya pada keadaan R besar yaitu pada saat di sekitar puncak siklus matahari, banyak muncul *sunspot*/grup *sunspot* di permukaan matahari dan sebagian dalam kondisi perkembangan mendekati atau dalam keadaan yang maksimum yaitu klasifikasi D, E atau F. Dalam kondisi grup *sunspot* demikian maka akan terjadi peristiwa *flare* lebih dari satu kali.

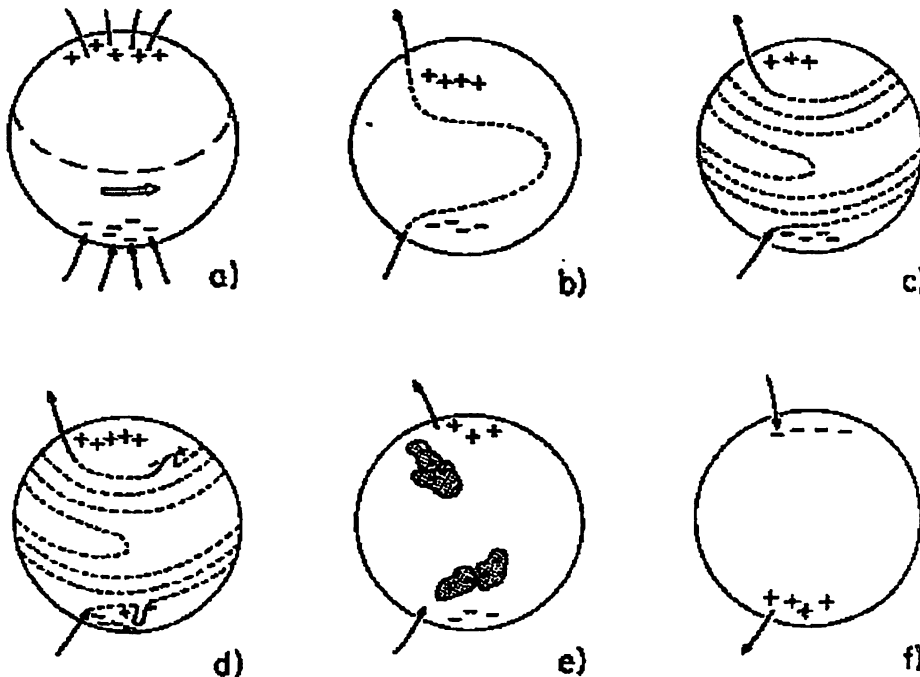
4. Pembahasan

4.1 Sunspot

Aktivitas matahari yang paling awal muncul di permukaan matahari dan bisa diamati dari bumi dengan teleskop yang beroperasi pada sinar tampak adalah *sunspot*. Terjadinya *sunspot* bermula dari munculnya bintik cemerlang di permukaan matahari. Bintik cemerlang tersebut adalah medan magnet yang muncul ke permukaan dari bawah fotosfer matahari.

Sebelum *sunspot* muncul di permukaan matahari, medan magnet matahari adalah medan dipole seperti diperlihatkan pada gambar 4.1a. (Robert W. Noyes, 1982).

Kecepatan rotasi plasma matahari tidak sama untuk semua lintang. Kecepatan rotasi plasma di daerah equator matahari lebih cepat dari kecepatan rotasi di daerah lintang yang lebih tinggi. Akibat perbedaan kecepatan rotasi tersebut maka garis gaya yang berada di bawah permukaan matahari yang menghubungkan kutub utara dan kutub selatan akan mengalami kecepatan perputaran yang berbeda pula, gambar 4.1b. Garis-garis gaya medan magnet yang ada di daerah equator bergerak lebih cepat mendahului garis-garis gaya medan magnet pada lintang-lintang yang lebih tinggi. Setelah matahari berotasi sekitar tiga tahun, maka medan dipole matahari akan berubah membentuk medan toroidal dengan arah yang sejajar dengan equator, gambar 4.1c (Robert W. Noyes, 1982). Dalam keadaan demikian medan magnet menjadi dalam keadaan teregang. Adanya gerakan konveksi di daerah konveksi di bawah permukaan matahari (fotosfer), maka garis gaya medan magnet matahari yang berada di bawah permukaan matahari menjadi terpuntir. Dalam keadaan tegang dan terpuntir, medan magnet akan menjadi bertambah kuat. Selanjutnya selubung magnet akan terangkat karena timbulnya daya angkat/daya apung, dan akan muncul ke permukaan matahari dalam bentuk loop.



Gambar 4.1: Pemunculan *sunspot* di permukaan matahari, berdasarkan perubahan medan magnet dipole menjadi medan toroidal disebabkan adanya perbedaan rotasi plasma matahari untuk lintang berbeda

Loop magnet tersebut membentuk daerah aktif *sunspot*/grup *sunspot* dengan polaritas medan magnet berlawanan, gambar 4.1d, dan 4.1e. Menurut model siklus matahari oleh Babcock (dalam Robert W. Noyes, 1982), setelah sekitar 11 tahun medan magnet matahari akan kembali membentuk medan dipole dengan polaritas medan magnet yang berubah, gambar 4.1f.

Awal pemunculan *sunspot-sunspot* adalah pada lintang $30^{\circ} - 40^{\circ}$ di lintang utara dan di lintang selatan. Kondisi ini merupakan awal dari suatu siklus matahari. Bertambah lama bertambah banyak jumlah *sunspot*/grup *sunspot*, yang berarti makin besar bilangan *sunspot*-nya. Bilangan *sunspot* atau R didefinisikan sebagai,

$$R = k (10g + f)$$

dengan R : bilangan *sunspot*

k : konstanta

g : jumlah grup *sunspot*

f : jumlah total individu *sunspot*

Selama perkembangan dan pemunculannya sampai menghilang, *sunspot-sunspot* selain bergerak ke barat juga ada pergerakan ke arah equator matahari. *Sunspot-sunspot* selain berdiri sendiri dapat juga berkembang menjadi grup/kelompok *sunspot*. Berdasarkan luas dan kompleksitas medan magnetnya grup *sunspot* diklassifikasikan ke dalam kelas-kelas A, B, C, D, E, F, G, H dan J yang dikenal sebagai klassifikasi Zurich (R.J. Bray and R.E. Loughhead, 1964).

Selubung magnet yang muncul ke permukaan matahari dari bawah fotosfer akan selalu membentuk *sunspot* klas A. Jika berkembang terus akan membentuk grup *sunspot*. Grup *sunspot* besar dan yang hidupnya lama semua klassifikasi akan dijalani, yaitu klas-klas A - B - C - D - E - F - G - H - J dan terakhir kembali ke klas A sebelum hilang dari permukaan matahari. Untuk grup *sunspot* yang hidupnya tidak lama hanya sebagian klassifikasi yang dijalani misalnya A - B - C - B - A. Grup *sunspot* kecil kadang-kadang hanya berkembang sebagai klas A - B - A, bahkan dari pemunculannya klas A tidak terus berkembang tetapi langsung lenyap.

4.2 Solar Flare

Solar flare adalah suatu ledakan di matahari yang merupakan peristiwa pelepasan energi yang kuat secara tiba-tiba dari suatu daerah di atas dan di lingkungan grup *sunspot*. Pelepasan energi tersebut memberikan pemanasan local, sehingga temperature kromosfer meningkat mejadi 10^4 K dan temperatur korona menjadi 10^7 K. *Flare* juga menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik dengan rentang yang sangat lebar dari *Hard X-ray* sampai gelombang radio, pelemparan partikel energetik dan gelombang kejut.

Ada tiga macam sumber energi yang diperkirakan sebagai pembentuk *flare*, yaitu energi termal, energi gravitasi dan energi magnet (Einar Tandberg-Hansen and Gordon Emslie, 1988). Ketiga sumber energi tersebut adalah :

a. Estimasi energi termal di dalam daerah *pre-flare* adalah,

$$E_{\text{thermal}} = \{ (3S/m_H) \} \{ (m_{\text{cor}} k T_{\text{cor}} + (m_{\text{chrom}} - m_{\text{cor}}) k T_{\text{chrom}}) \}$$

S = luas flare

m_{cor} = kolom masa materi *corona*, m_{chrom} = massa *chromosphere*

Dengan mensubstitusikan harga-harga $S = 10^{18} \text{ cm}^2$, $m_{\text{chrom}} = 3 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2}$, $T_{\text{cor}} = 3 \times 10^6 \text{ K}$, dan $T_{\text{chrom}} = 10^4 \text{ K}$, maka besarnya energi termal menjadi, $E_{\text{ther}} = 3 \times 10^{28} \text{ erg}$.

b. Energi gravitasi yang terbentuk dari percepatan materi dari daerah *flare* ke permukaan matahari karena gaya gravitasi, dinyatakan sebagai,

$$E_{\text{grav}} = S g_0 \int h \, dm$$

Dengan, h merupakan ketinggian materi daerah *flare* dan $g_0 = 2.74 \times 10^4 \text{ cm s}^{-2}$ merupakan percepatan gravitasi di permukaan matahari. Substitusi ke dalam persamaan di atas akan diperoleh energi,

$$E_{\text{grav}} = 3 \times 10^{28} \text{ erg}$$

c. Sumber energi yang ketiga untuk *flare* matahari diperoleh dari simpanan proses elektromagnetik. Sumber energi yang terkait adalah medan magnet B , yang memberikan kerapatan energi sebesar $B^2/8\pi \text{ erg cm}^{-3}$. Diintegrasikan mencakup volume *flare* sekitar 10^{27} cm^3 , akan memberikan energi $\approx 4 \times 10^{25} B^2 \text{ erg}$. Dengan medan magnet dari sunspot sebesar 10^3 G , maka akan memberikan energi magnet, $E_{\text{mag}} = 10^{32} \text{ erg}$. Materi yang membentuk kondisi *pre-flare* adalah materi di daerah kromosfer dengan temperatur $T_{\text{chrom}} = 10^4 \text{ K}$, sehingga dengan temperatur yang rendah hanya akan memberikan energi sebesar $E_{\text{ther}} = 3 \times 10^{28} \text{ erg}$.

Dari ketiga sumber energi tersebut terlihat bahwa energi magnet merupakan sumber energi paling besar, hampir 10.000 kali dari energi lainnya, sehingga energi magnet yang paling memungkinkan untuk terbentuknya *flare*. Menguatnya medan magnet disebabkan oleh terpuntirnya garis-garis gaya magnet di dalam selubung magnet *sunspot*, yang disebabkan oleh gerakan konveksi di bawah permukaan matahari.

4.3 Kaitan Flare dengan Sunspot

Flare adalah peristiwa ledakan dengan kecerlangan yang terjadi secara tiba-tiba di daerah kromosfer atau korona bawah di lingkungan *sunspot*/grup *sunspot*, untuk beberapa menit sampai beberapa jam, kemudian hilang. Ledakan tersebut merupakan hasil pelepasan energi yang terbentuk oleh medan magnet sunspot yang kompleks. Energi terbentuk di dalam medan magnet disebabkan bertambah tegangnya selubung medan magnet *sunspot* oleh gerakan perbedaan rotasi plasma dimana terjadi sifat *frozen in field* atau *frozen in plasma* dan terpuntirnya selubung medan magnet.

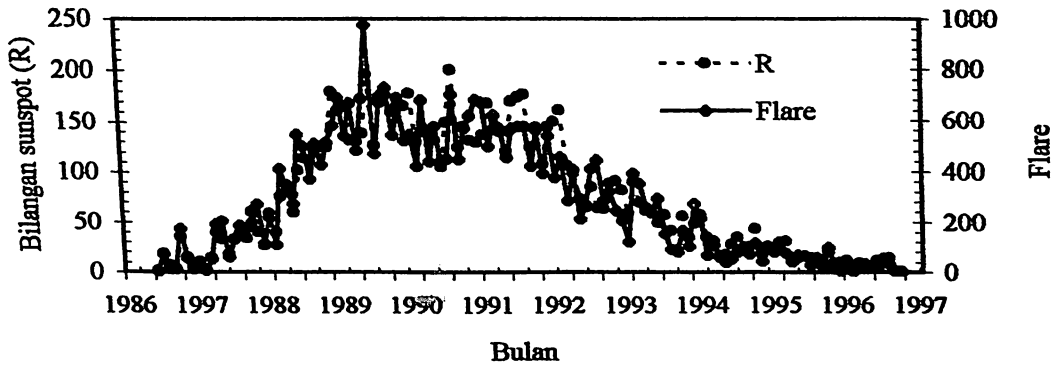
Kambry dkk, (1993), meneliti mengenai adanya gerak *sunspot* dari lintang tinggi ke lintang rendah (gerak meridional) selain bergerak dari timur ke barat (gerak rotasi). Seperti diuraikan di atas (bab 4.1) bahwa plasma matahari pada lintang lebih rendah berotasi lebih cepat dibandingkan dengan lintang lebih tinggi, gerak tersebut dikenal sebagai beda rotasi (*differential rotation*). Dengan adanya gerak meridional dan beda rotasi menyebabkan selubung medan magnet *sunspot* menjadi terpuntir. Munculnya fluks magnet baru di daerah grup *sunspot* yang sudah ada akan menyebabkan bertambah kompleks medan magnet. Makin kompleks medan magnet grup *sunspot* akan mungkin kuat flare yang terjadi.

5. Kesimpulan

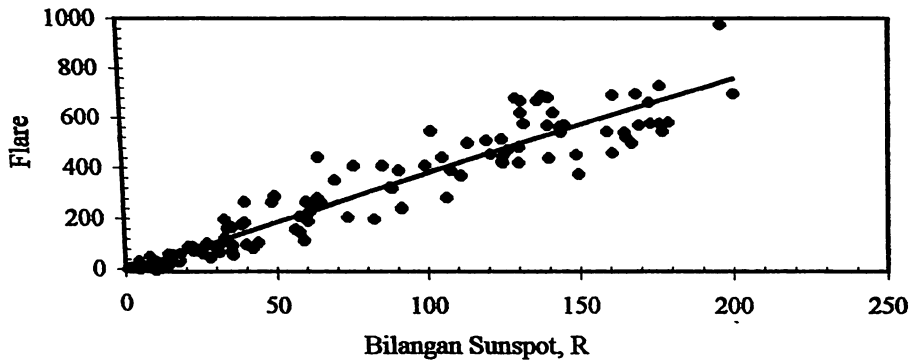
Pada saat dan sekitar fase minimum siklus aktivitas matahari dengan bilangan *sunspot* R kecil, menunjukkan bahwa *sunspot*/grup *sunspot* sedikit dengan klasifikasi A, B, C, dan kemungkinan D, sehingga peristiwa yang terjadi sedikit atau tidak ada peristiwa *flare*. Sebaliknya pada saat dan sekitar fase maksimum siklus aktivitas matahari selain *sunspot*/grup *sunspot* banyak, juga bisa dalam kondisi seluruh klasifikasi ada yaitu dari yang terkecil klas A sampai dengan klas terbesar E dan F. Grup *sunspot* klas D, E, dan F memunculkan peristiwa *flare* lebih dari sekali.

Daftar Rujukan

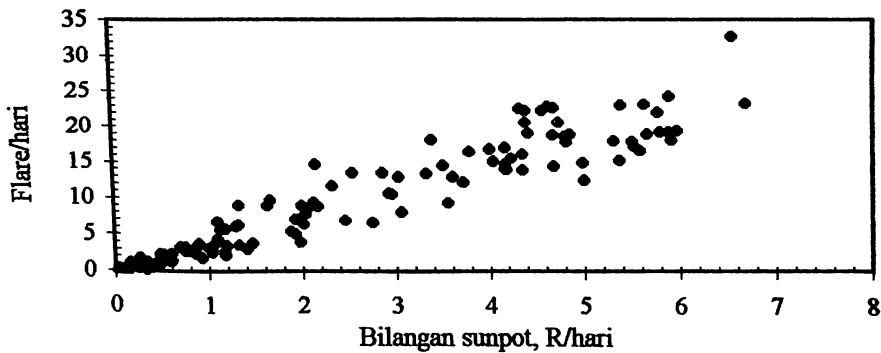
- Bray R.J. and Loughhead R.E., (1964), *Sunspot*; Chapman and Hall Ltd, 227-228
- Bruzek A. and Durrant C.J., (1977), "*Illustrated Glossary for Solar and Solar-Terrestrial Physics*", D. Reidel Publishing Company, 81
- Einar Tandberg-Hansen & Gordon Emslie A., (1988), *The Physics of Solar Flare*, Cambridge University Press, 131-133
- Kambry M.A., Sinambela W., Setiahadhi B., Admiranto A.G., Paramita L.P., (1993), "*Gerak meridional yang ditentukan dari translasi bintang surya pada arah lintang di fotosfer matahari*", Proceeding Program Penelitian Dirgantara LAPAN, 55-65
- Noyes Robert W., (1982), *The Sun Our Star*, Harvard University Press. 109-114



Gambar 2.1 : Rata-rata bulanan bilangan sunspot, R, dan peristiwa flare selama siklus ke-22



Gambar 3.1 : Hubungan linier antara bilangan sunspot, R dan peristiwa flare selama siklus ke 22



Gambar 3.2 : Plot data rata-rata harian bilangan sunspot, R, dan peristiwa flare