

LEDAKAN MATAHARI PEMICU ANOMALI DINAMIKA ATMOSFER BUMI

Suratno

Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN

e-mail: suratno@bdg.lapan.go.id

RINGKASAN

Matahari merupakan sumber utama energi, menjadi penggerak dan sebagai sumber gangguan bagi atmosfer bumi. Kondisi matahari selalu mengalami perubahan dalam skala waktu pendek (detik, menit, dan 27 hari-an) dan skala panjang (misalnya siklus matahari 11 tahun). Perubahan dalam skala waktu pendek dari matahari yang mempengaruhi lingkungan antariksa dikatakan sebagai cuaca antariksa. Hubungan matahari-bumi merupakan pembahasan tentang fenomena aktivitas matahari sebagai sumber energi dan gangguan terhadap orbit satelit dan dinamika sampah antariksa, magnet antariksa dan magnet bumi regional, dinamika ionosfer dan propagasi gelombang radio, dan dinamika atmosfer tengah dan atas bumi, serta peran aktivitas matahari pada pemanasan dan perubahan iklim global. Parameter aktivitas matahari yang perlu ditinjau adalah bintik matahari (*sunspot*), *solar flux* ($F_{10.7}$), *flare* optik ($H\alpha$) dan *flare* X-ray, ultra violet (UV), semburan radio (*radio bursts*), lontaran massa korona (*Coronal Mass Ejection/CME*), angin surya (*solar wind*) dan *solar proton*.

1 PENDAHULUAN

Matahari berperan sebagai sumber utama energi dan merupakan penggerak atmosfer bumi. Kondisi matahari selalu mengalami perubahan dalam skala waktu pendek dan skala panjang (misalnya siklus matahari 11 tahun), seperti halnya cuaca dan iklim bagi bumi. Aktivitas matahari bervariasi secara periodik dengan periode ~11 tahun untuk periode panjang dan periodik sesuai rotasi matahari sekitar ~27 hari (Lean, 1991). Karena aktivitasnya tersebut maka energi radiasi dan intensitas pancaran partikel dari matahari juga turut bervariasi. Perubahan aktivitas matahari akan mengakibatkan terjadinya dinamika ionosfer dan akan berdampak pada gangguan telekomunikasi baik yang memanfaatkan pantulan ionosfer maupun yang melalui ionosfer (*trans ionosphere*). Perubahan aktivitas matahari juga akan berdampak pada kala hidup satelit-satelit yang mengorbit bumi.

Atmosfer atas bumi merupakan daerah pemroses masukan energi dan massa baik dari atas yaitu energi dan massa dari matahari dan angkasa terdekat lainnya, maupun dari bawah

yaitu dari permukaan bumi yang berupa energi dan massa dari kegiatan alam (vulkanik, biosfer) dan hasil aktivitas industri dan atau manusia. Masukan *fluks* energi dan massa yang bervariasi berinteraksi di atmosfer atas selanjutnya diteruskan ke atmosfer bawah dan atau dipantulkan kembali ke ruang angkasa, atau menjalar secara horizontal ke daerah lintang dan atau bujur yang berbeda.

Dalam kaitannya dengan pemanasan dan perubahan iklim global, isu yang masih berkembang adalah emisi yang berlebihan dari CFC, polusi, dan peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca. Isu ini dikaitkan dengan penipisan lapisan ozon di stratosfer dan pemanasan global yang terjadi hampir di seluruh muka bumi. Penyebab lain variasi atmosfer atas yang bersumber dari lapisan bawah yaitu peristiwa atau aktivitas alami misalnya adanya pasang surut atmosfer, propagasi gelombang planetary, gelombang gravitasi, dan terjadinya ledakan gunung. Aerosol akibat ledakan gunung berapi dapat mencapai ketinggian stratosfer dan akan mengakibatkan konsentrasi partikel meningkat dan bertahan sampai beberapa tahun. Aerosol mengabsorpsi radiasi matahari dan

mengakibatkan peningkatan temperatur atmosfer (Roederer et al., 1986). Perubahan intensitas radiasi matahari terutama perubahan radiasi ultraviolet berpengaruh besar pada komposisi kimia atau konsentrasi ozon stratosfer (O'Mara, 1980). Pada ketinggian lebih dari 10 km sampai dengan 50 km, masukan energi bagi stratosfer terutama diperoleh dari absorpsi radiasi ultraviolet matahari oleh ozon. Sebagai sumber energi bagi bumi dan penggerak cuaca antariksa, matahari berperan dan memberikan kontribusi pada perubahan kondisi atmosfer bumi termasuk pemanasan dan perubahan iklim. Pemanasan dalam skala tahunan berperan besar terhadap perubahan iklim global.

Penelitian tentang pengaruh aktivitas matahari pada lingkungan bumi banyak diungkapkan dengan menggunakan indikator radiasi pada rentang gelombang pendek yaitu UV, EUV, sinar-X dan sinar infra-merah, pada spektra gelombang radio (dari gelombang mikro sampai dengan gelombang panjang), bilangan *sunspot* (R), fluks $F_{10.7}$, peristiwa *flare* $H\alpha$, lontaran massa korona (*Coronal mass Ejection/CME*).

2 FENOMENA FLARE MATAHARI

Flare merupakan peristiwa mendadak terjadi di kromosfer ditandai dengan meningkatnya kecerlangan yang sangat tinggi, berlangsung beberapa menit sampai beberapa jam. Energi yang dilontarkan ketika *flare* terjadi mencapai lebih dari 10^{25} Joule. *Flare* sangat jelas bila diamati pada panjang gelombang (λ) 6563 Å dengan cara memasang filter $H\alpha$ pada teleskop optik; dapat juga terlihat (untuk *flare* yang sangat besar) tanpa menggunakan filter, namun peristiwa ini sangat jarang dan hanya kira-kira 5 kali dalam satu siklus matahari (11 tahun).

Fenomena ikutan ketika terjadi peristiwa *flare* antara lain *CME*, peningkatan intensitas Sinar-X baik sinar-X keras maupun sinar-X lunak (*Hard X-ray* dan *Soft X-ray*), peningkatan intensitas sinar ultra violet (UV), dan terjadinya semburan radio (*radio bursts*) matahari baik

pada gelombang mikro dan gelombang panjang (Svestka, 1976).

Dalam pengamatan *flare* matahari secara optik pada panjang gelombang $H\alpha$, ada dua aspek yang perlu ditinjau, yaitu : *penampakan flare* dan *karakterisasi*. **Penampakan flare** adalah terlihatnya fisik permukaan matahari secara optik sedangkan **karakterisasi** (ciri-ciri) adalah waktu kejadian (*start time*, *peak time* dan *end time*), lokasi, luas dan kecerlangan berdasar luas dan kecerlangan *flare H α* diklasifikasi dalam beberapa kelas (*importance*) yaitu *Importance 0* atau *S (sub flare)*, *1*, *2*, dan *3* dan ada 3 (tiga) kategori berdasarkan atas kecerlangannya yaitu **F (faint)**, **N (normal)** dan **B (bright)**.

Ciri-ciri lain tentang *flare* yang menandai tingkat dan efek ikutan yang akan ditimbulkannya adalah luas daerah aktif dan grup *sunspot*, perbandingan luas umbra penumbra yang menandai tingkat atau kelas *flare*, formasi garis gaya magnet dan *filament* (garis gaya terbuka dan paralel akan menandai kuatnya CME), bentuk prominensi (prominensi berbentuk *loop* menandai *flare* temperatur tinggi), pusat semburan (tunggal atau beberapa), banyaknya titik-titik kecerlangan (akan menandai besarnya *flare*), dan indikasi timbulnya semburan radio oleh terlontarnya partikel energi tinggi dan gelombang kejut.

3 GELOMBANG KEJUT KORONA (CORONAL SHOCK WAVES), LONTARAN MASSA KORONA (CORONAL MASS EJECTION), DAN SEMBURAN RADIO (RADIO BURSTS)

Pelepasan massa gas dan medan magnet secara tiba-tiba yang terbentuk sebagai lidah medan magnet disebut sebagai *Coronal Mass Ejection (CME)*. Peristiwa *CME* sangat terkait dengan kejadian *flare* baik *flare H α* , X-ray maupun semburan radio. Walaupun kadang-kadang *CME* bisa terjadi ketika peristiwa *flare* tidak terdeteksi. Dalam selang waktu empat puluh sampai delapan puluh jam (bahkan lebih) setelah terjadi ledakan di kromosfer matahari, gelombang kejut (*shock wave*) yang menyeret/disertai dengan

partikel energi tinggi mencapai atmosfer bumi. Kemungkinan implikasi selanjutnya adalah timbulnya badai magnet bumi (*geomagnetic storm*). Di atmosfer bumi khususnya di ionosfer, badai magnet akan menimbulkan gangguan pada lapisan ionosfer khususnya pada lapisan atas dengan terjadinya perubahan frekuensi kritis foF2 yang dapat mengakibatkan gangguan pada komunikasi radio HF (Silja Pohjolainen; and Niina Lehtinen, 2006). *Coronal Mass Ejection* terlontar keluar dari matahari dengan kelajuan sekitar 2000 km/detik, namun dalam penjarannya akan menurun sehingga menjadi hanya beberapa ratus kilometer per detik. Pada ketinggian 10 sampai 40 jejari matahari, kelajuan muka gelombang kejut berubah dari ≈ 1200 km/detik sampai ≈ 250 km/detik, lebih spesifik dilaporkan bahwa kelajuan gelombang tersebut sebesar 834 km/detik (Robinson et al., 1984), bahkan data dari LASCO menyebutkan kelajuan CME di bawah 100 km/detik.

Fenomena semburan radio matahari terkait dengan CME adalah semburan radio tipe II dan tipe III. Tipe II dan tipe III berasosiasi kuat dengan garis gaya magnet, gelombang kejut dan lemparan partikel energi tinggi. Mekanisme kemunculan semburan radio tipe II dan tipe III melalui proses plasma radiasi yaitu lewatnya partikel bermuatan (elektron) berenergi tinggi dan atau lewatnya muka gelombang kejut yang merangsang plasma lokal dan mengubah osilasi plasma menjadi gelombang yang teradiasi. Frekuensi dari gelombang yang dipancarkan akan terjadi pergeseran frekuensi terhadap waktu pengamatan yang menurun (*negative frequency drifting*) (Nelson G.J. & Melrose D.B., 1985). Newkirk G. Jr., 1961, mengemukakan tentang kerapatan korona sebagai fungsi dari ketinggian (dikenal dengan model Newkirk) dan dapat digunakan untuk memperkirakan ketinggian sumber emisi radio pada frekuensi yang terkait.

4 KOPLING ATMOSFER ATAS DAN ATMOSFER BAWAH BUMI

Atmosfer atas dan atmosfer bawah terkopel melalui proses-proses turbulensi dan

radiasi. Spektrum sinar tampak yang merupakan fraksi terbesar keluaran energi radiasi matahari, secara langsung dapat berpengaruh pada temperatur permukaan bumi. Perubahan intensitas pada panjang gelombang pendek (< 300 nm) hampir seluruh energinya diabsorpsi oleh atom dan molekul oksigen, molekul nitrogen, dan ozon. Radiasi ultra violet ini, walaupun hanya $\sim 1\%$ luaran total radiasi matahari, namun di atmosfer tengah dan atmosfer atas sangat berperan dalam proses-proses kimia, fisika dan dinamika dan dapat menentukan struktur atmosfer termasuk temperatur dan variasinya di stratosfer (Brasseur & Verstaete, 1988).

Keating et. al, dalam Brasseur dan Verstaete, 1988, meneliti adanya korelasi negatif yang kuat antara konsentrasi ozon dan temperatur stratosfer pada ketinggian 2 milibar. O. Mara, 1980 menyebutkan bahwa akibat dari variabilitas matahari, konsentrasi ozon di stratosfer dapat berubah sebesar 5%. Sinar ultra violet pada rentang 200-300 nm berperan dalam pembentukan dan pengrusakan ozon. Meskipun banyak dugaan bahwa pengrusakan ozon di stratosfer berasal dari masukan energi dan massa dari stratosfer bawah (gelombang planetary, gelombang gravitasi, aktivitas vulkanik dan unsur-unsur kimia dari gas-gas rumah kaca), namun peran radiasi matahari sangat berperan dalam pembentukan dan pengrusakan ozon (O_3). Terutama radiasi pada panjang gelombang 242 nm terbentuk melalui proses fotodisosiasi UV, di sisi lain ozon stratosfer dapat dirusak oleh peningkatan intensitas ultra violet menjadi O_2 dan atom O (Brasseur & Verstaete, 1988).

5 HUBUNGAN MATAHARI - BUMI

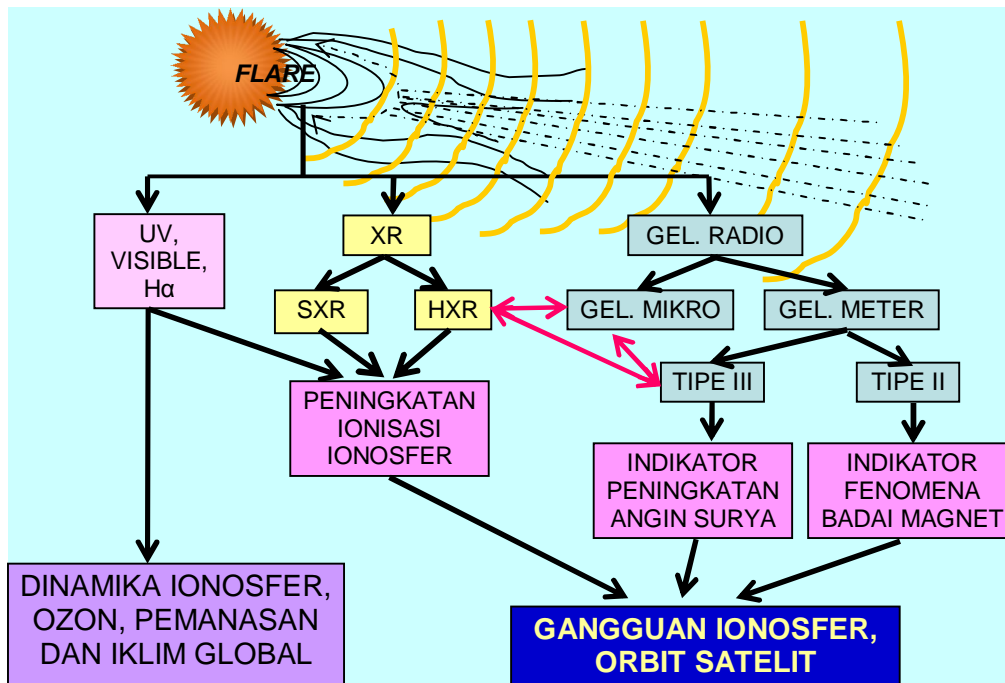
Variabilitas karakteristik ionosfer, geomagnet dan magnet antariksa sangat tergantung pada variabilitas aktivitas matahari jangka panjang dan sering dikatakan ketergantungan terhadap cuaca antariksa. Anomali iklim sering dirasakan di muka bumi, ditandai dengan gejala kekeringan di wilayah Indonesia-Australia dan

curah hujan di atas normal di beberapa negara di benua Amerika. Fenomena alam ini bersifat global, terjadi di seluruh muka bumi, kejadiannya hampir periodik setiap 3-5 tahunan. Dalam penelitian yang pernah dilakukan oleh Suratno, dkk. (2000) terungkap bahwa variasi aktivitas matahari tidak secara langsung berpengaruh pada variasi iklim di bumi. Apabila di matahari terjadi peristiwa mendadak (*flare*), fenomena di atmosfer bumi yang ditinjau juga fenomena mendadak, misalnya anomali ionosfer mendadak (*Sudden Ionospheric Disturbance/SID*), badai magnet (*magnetic storm*), gangguan orbit satelit dan gangguan komunikasi dan navigasi.

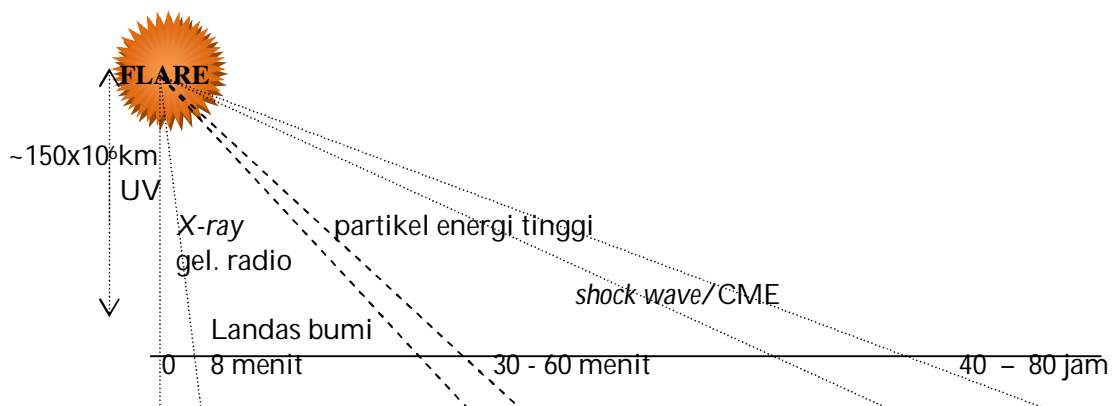
Parameter-parameter aktivitas *flare* matahari yang dapat digunakan sebagai indikator gangguan pada fenomena atmosfer bumi, yaitu : **Flare H α** , adalah indikasi adanya peningkatan mendadak intensitas radiasi matahari. *Flare* yang kuat umumnya bersamaan dan atau diikuti dengan peristiwa transien yang lain (peningkatan angin surya, CME, peningkatan intensitas sinar-X, UV). Peningkatan intensitas UV akan berpengaruh pada lapisan D ionosfer. **Sinar-X lunak (Soft X-Ray)**, yang diamati pada panjang gelombang 1–8 Å. Peningkatan intensitas sinar-X ini berpengaruh pada lapisan E dan F ionosfer. **Sinar-X kuat (Hard X-Ray)**, terjadi melalui proses non termal, yaitu ketika terjadi rekoneksi dari puncak *loop* magnet matahari, sekelompok populasi partikel (elektron) terjun ke permukaan/kromosfer sepanjang *loop* magnetik dan terjadi tumbukan dengan plasma setempat atau terjadi pengereman mendadak sehingga terjadi radiasi pada sinar-X kuat (panjang gelombang <0.5Å). Sinar-X kuat ini juga berpengaruh pada lapisan E dan F ionosfer. **Semburan radio tipe III**, sebagai indikator adanya peningkatan pelepasan massa korona (CME) yang berupa partikel (elektron) energi tinggi. Prosesnya, seperti halnya kejadian sinar-

X kuat, yaitu berasal dari populasi elektron yang terperangkap di dalam puncak *loop* magnet. Ketika terjadi rekoneksi sebagian populasi elektron ini terjun ke permukaan (menimbulkan sinar-X kuat) dan sebagian lagi terlempar keluar sepanjang garis gaya magnet ke ruang angkasa dan merangsang peningkatan radiasi pada panjang gelombang radio. Dari hasil analisis spektra dinamis yang telah ada diperkirakan selang waktu sampai di bumi berkisar 30 – 60 menit dari waktu kejadian *flare*. Peningkatan intensitas angin matahari berupa partikel energi tinggi ini akan berpengaruh pada lapisan E dan lapisan F ionosfer. **Semburan radio tipe II**, sebagai indikator lewatnya muka gelombang kejut dan CME, yang merangsang peningkatan intensitas radiasi gelombang radio. Kecepatan dari gelombang kejut rata-rata 500 - 1000 km/detik adalah kecepatan magnetohidrodinamik, di dalamnya mengandung magnet sehingga menjadi indikator adanya badai magnet. Jangka waktu yang diperlukan sampai di bumi sekitar 40–80 jam sejak peristiwa *flare* terjadi. Fenomena lain yang kemungkinan akan terjadi adalah timbulnya badai magnet yang berpengaruh pada magnetosfer dan juga akan sangat berpengaruh juga pada dinamika ionosfer.

Diagram pada Gambar 5-1, dan 5-2, adalah sketsa apabila terjadi peristiwa matahari secara mendadak (*flare*) yang akan berpotensi kemungkinan terjadinya anomali atmosfer bumi dan perlu dibangun model sistem informasi awal guna mengantisipasi dan minimasi dampaknya. Gambar 5-1, adalah fenomena ikutan yang akan timbul setelah kejadian *flare* matahari. Gambar 5-2, menunjukkan perbedaan selang waktu penalaran masing-masing fenomena antara radiasi elektromagnet, partikel energi tinggi dan gelombang kejut (*shock wave*) yang menandai adanya CME dan atau badai magnet.



Gambar 5-1: Sketsa kejadian flare matahari dan fenomena yang akan timbul



Gambar 5-2: Sketsa perbedaan selang waktu antara penjalaran radiasi elektromagnet (UV, X-ray, gelombang radio), partikel energi tinggi dan penjalaran gembang kejut atau CME dari permukaan matahari sampai landas bumi berturut-turut ~8 menit, ~30 - 60 menit dan ~40 - 80 jam.

6 PENUTUP

Matahari merupakan sumber utama energi dan menjadi penggerak bagi atmosfer bumi, namun juga menjadi sumber gangguan. Aktivitas matahari selalu berubah dalam skala waktu pendek (detik, menit, dan 27 hari-an) dan skala waktu panjang (siklus matahari 11 tahun), dan kondisi tersebut dikatakan sebagai cuaca antariksa. Hubungan matahari-bumi merupakan pembahasan tentang fenomena aktivitas matahari sebagai sumber energi dan gangguan terhadap gangguan orbit satelit dan dinamika sampah antariksa, magnet antariksa dan magnet bumi

regional, dinamika ionosfer dan propagasi gelombang radio, dan dinamika atmosfer tengah dan atas bumi, serta peran aktivitas matahari pada pemanasan dan perubahan iklim global.

Parameter aktivitas matahari yang perlu ditinjau adalah variasi bintik matahari, flare, semburan radio, lontaran massa korona, angin surya. Data terkait yang diperlukan atau yang perlu ditinjau adalah data bilangan sunspot (R), solar flux ($F_{10.7}$), flare ($H\alpha$ dan X ray), ultra violet (UV), semburan radio (bursts), kecepatan dan arah angin surya dan solar proton. Peralatan

pengamatan landas bumi adalah teleskop optis untuk mengamati bintik matahari (*sunspot*), teleskop H α untuk memperoleh data *flare*, radiospektrograf, radioteleskop 10.7cm. Sedangkan data CME, sinar-X, angin surya, *solar proton* harus diperoleh melalui pengamatan luar angkasa dengan sarana satelit. Data Geomagnet dan data Ionosfer dapat diperoleh dan diolah dari hasil pengamatan dengan *fluxgate magnetometer* dan ionosonda.

DAFTAR RUJUKAN

- Brasseur & Verstaete, 1988. *The Role of Atmospheric Chemistry in Solar-Terrestrial Relation, Solar Terrestrial Energy Programme*, Proceeding of SCOSTEP Symposium, 166-185.
- Lean, J., 1991. *Variations in the sun's radiative output*. Reviews of Geophysics 29, 505-535.
- Newkirk, G. Jr., 1961. *The Solar Corona in Active Regions and the Thermal Origin of the Slowly Varying Component of Solar Radio Emission*, Astrophysical Journal 133, 983.
- Nelson G.J.; & Melrose D.B., 1985. *Type II Bursts*, Solar Radio Physics, ed. D.J.Mc Lean & Labrum. 333-359.
- O' Mara A.H., 1980. *Solar Activity and Variations of Meteorological Parameter*, Proceeding of The International Conference on Sun and Climate, Toulouse, France, pp. 221-237.
- Robinson R.D.; Stewart R.T.; Cane H.V., 1984. *Properties of Metre-Wavelength Solar Radio Bursts Associated with Interplanetary Type II Emission*. Solar Physics, 91, 159.
- Roederer, J.G.; R Bonnet; M. Geller; T. Ogawa; and V. Troitskaya, 1986. SPT Newsletter, 86-1. SCOSTEP Secretariat, University of Illinois, Urbana.
- Silja Pohjolainen and Niina Lehtinen, 2006. *Slow halo CMEs with Shock Signatures*, Astronomy and Astrophysics Vol. 449, 359-367.
- Suratno; Mezak A. Ratag; Suaydhi, 2000. *Keterkaitan antara Aktivitas Matahari dan gejala ENSO*, Majalah LAPAN, 42-48.
- Svestka Z., 1976. *Flare-Associated Optical Phenomena*, Solar Flares, D.Reidel Publ. Co., 216 -233.