

PRAKIRAAN TINGKAT GANGGUAN MEDAN MAGNET BUMI BERDASARKAN AMPLITUDO SIKLUS MATAHARI

Suprijatno Jasman

*Bidang Penelitian Matahari dan Lingkungan Antariksa
Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN*

Ringkasan

Gangguan medan magnet bumi terjadi karena adanya interaksi antara partikel bermuatan dari matahari (solar wind) dengan medan magnet bumi. Perbandingan pola siklus aktivitas matahari dengan gangguan medan magnet bumi menunjukkan bahwa peningkatan gangguan medan magnet bumi mempunyai kecenderungan yang sama dengan tingkat aktivitas siklus matahari.

Abstract

Geomagnetic disturbance is caused by interaction between solar charged particle (solar wind) and geomagnetic field. By comparing solar cycle patterns and geomagnetic disturbance, it appears that the increase of the geomagnetic disturbance have the same tendency with the increase of solar cycle activities.

1. Pendahuluan

Variasi medan magnet bumi mula-mula ditemukan oleh Graham pada tahun 1722 di London, di mana pada waktu itu sedang melakukan pengamatan gerakan-gerakan kecil jarum kompas dengan menggunakan mikroskop. Suatu saat ia mencatat ada perubahan deklinasi yang berlangsung lambat dan teratur. Pada kesempatan lain ternyata ada perubahan yang tidak teratur, di mana kadang-kadang ia berjalan lebih kuat dan lebih cepat. Selanjutnya Graham membuat pemisahan-pemisahan yang berhubungan dengan hari-hari di mana medan magnet tenang, dan hari-hari di mana medan magnet aktif atau terganggu (Matsushita dan Campbell, 1967).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan medan magnet bumi dihasilkan oleh adanya perubahan baik kecepatan maupun kerapatan partikel angin matahari (solar wind), di mana angin matahari tersebut terus menerus mengalirkan partikel bermuatan dari matahari melewati bumi dan terus menuju ruang antar planet. Aliran partikel bermuatan ini akan mengganggu medan magnet bumi, menekan medan di dalam arah yang menghadap matahari dan sesudah melewati bumi akan menyebar di dalam arah yang menjauhi matahari. Fluktuasi aliran angin matahari akan mengakibatkan distorsi yang menyebabkan adanya variasi pada kuat dan arah medan magnet yang diukur di permukaan bumi. Kejadian ini disebut gangguan magnet bumi, dan banyak fenomena menarik yang terkait dengan gangguan medan magnet bumi tersebut. Beberapa fenomena menarik tersebut yang dapat dicatat adalah :

- badai ionosfer, mengganggu komunikasi frekuensi tinggi (high frequency, HF);
 - pemanasan lapisan luar atmosfer bumi yang menyebabkan perubahan orbit satelit-satelit dan membuatnya jatuh ke bumi lebih awal;
 - arus di dalam jaringan pipa-pipa panjang yang akan meningkatkan korosi; dan
 - munculnya aurora ke arah lintang ekuator, seperti yang berlangsung di Australia.
- Secara sepintas terjadinya gangguan ini tidak mempunyai pola teratur terhadap perubahan waktu. Meskipun demikian, kalau dilihat lebih teliti gangguan medan

magnet bumi mempunyai pola tertentu yang dapat dipakai untuk penelitian-penelitian lebih lanjut. Tujuan dari artikel ini adalah meninjau kembali pola-pola gangguan medan magnet bumi, dan untuk itu diperlukan beberapa informasi tentang gangguan dan sumber-sumber penyebabnya dari matahari. Di samping itu, tulisan ini akan melihat bagaimana besarnya peningkatan gangguan magnet bumi dibandingkan dengan tingkat aktivitas matahari yang menjadi sumber penyebab adanya gangguan magnet bumi yang datanya baru mulai dicatat sejak tahun 1932.

2. Siklus Matahari

Sumber gangguan medan magnet bumi berasal dari matahari dan terjadinya bergantung pada tingkat aktivitas matahari (siklus matahari). Siklus matahari tersebut bervariasi baik amplitudonya maupun periodanya, dan mempunyai perioda rata-rata sebelas tahun. Siklus matahari merupakan manifestasi dari banyak sifat yang dikandung matahari, dan dalam hal ini menunjukkan munculnya bintik di piringan matahari. Bintik matahari adalah daerah-daerah di permukaan matahari yang mempunyai medan magnet lebih kuat dan nampak lebih gelap dari daerah sekitarnya. Pada saat-saat tertentu bintik ini jarang atau kadang-kadang tidak muncul, sehingga permukaan matahari nampak mulus. Saat tersebut dikenal sebagai solar minimum (matahari tenang) dan dianggap sebagai awal dari siklus matahari. Selanjutnya bintik matahari akan mulai muncul, dan bisa membentuk kelompok-kelompok bintik. Keadaan di mana bintik paling banyak muncul disebut solar maksimum.

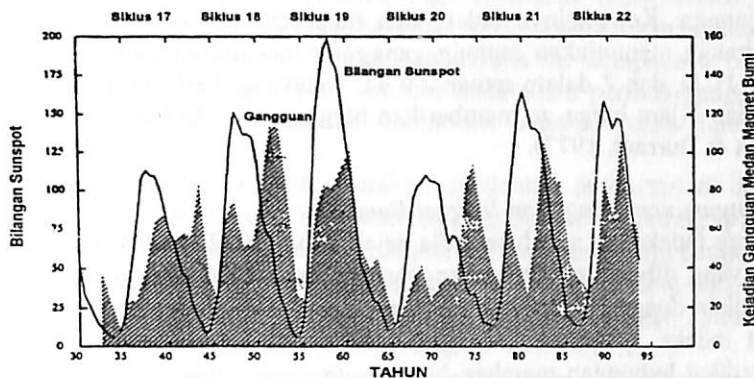
Pertambahan pemunculan bintik akan meningkatkan apa yang disebut bilangan sunspot, yang merupakan pengukuran siklus matahari yang tradisional. Dengan menggunakan sistem pemberian bilangan pada siklus matahari, dimana siklus ke 1 (pertama) oleh Wildmeier dimulai pada tahun 1755 (Bray and Loughhead, 1964), sampai saat ini (tahun 2000) sudah sampai pada siklus yang ke 23.

Puncak bilangan sunspot berdasarkan sejarah pengamatan siklus matahari, ternyata tidak memberikan harga yang sama tetapi sangat bervariasi. Dari gambaran enam buah siklus yang terakhir yaitu siklus ke 18 s/d 22, siklus ke 19 (dengan puncak bilangan sunspot $R = 201$ pada tahun 1957) merupakan puncak tertinggi pertama; siklus ke 21 (puncak bilangan sunspot 165) pada tahun 1965 merupakan puncak tertinggi ke dua; dan siklus ke 22 (dengan puncak 159) pada tahun 1989 adalah puncak tertinggi ke tiga. Tabel 1 memperlihatkan karakteristik beberapa siklus terakhir, yaitu siklus ke 14 s/d 22 (Thomson, 1994).

Tabel 1 : Karakteristik siklus sunspot ke 14 s/d 22

No. Siklus	Tahun Min	Smooth R terkecil	Tahun Mak	Smooth R terbesar	Waktu ke Mak (tahun)	Waktu ke Min (tahun)	Panjang siklus (tahun)
14	1901.7	2.6	1907.0	64.2	5.3	6.6	11.9
15	1913.6	1.5	1917.6	105.4	4.0	6.0	10.0
16	1923.6	5.6	1928.4	78.1	4.8	5.4	10.2
17	1933.8	3.4	1937.4	119.2	3.6	6.8	10.4
18	1944.2	7.7	1947.5	151.8	3.3	6.8	10.1
19	1954.3	3.4	1957.9	201.3	3.6	7.0	10.6
20	1964.9	9.6	1968.9	110.6	4.0	7.6	11.6
21	1976.5	12.2	1979.9	164.5	3.4	6.9	10.3
22	1986.8	12.3	1989.6	158.5	2.8		

Puncak siklus ke 22 mencapai sebesar 158.5 pada tahun 1989, bilangan sunspot terus berada pada harga cukup tinggi sampai awal tahun 1992, di mana dari sana kurvanya menurun dengan cepat. Pengamatan siklus matahari sejak tahun 1932 diperlihatkan pada Gambar 2.1, untuk dibandingkan dengan hasil pengamatan gangguan magnet bumi.



Gambar 2.1. Variasi siklus matahari bintang matahari (garis tebal, sumbu ordinat sebelah kiri) dan kejadian gangguan medan magnet bumi (daerah yang diarsir, sumbu ordinat sebelah kanan) (Thomson, 1994)

2. Medan Magnet Bumi

Sumbu dipol magnet bumi mempunyai kemiringan sekitar 11° terhadap sumbu rotasi bumi. Sumbu dipol menembus permukaan bumi di belahan utara pada 81° N, 84.7° W di Greenland, disebut *Geomagnetic North Pole*, dan pada 75° S, 120.4° E di Antartica, disebut *Geomagnetic South Pole*. Intensitas medan magnet bumi pada setiap tempat diukur dalam satuan Gauss (G) atau tesla (T ; $1 T = 10^4 G$) atau Gamma ($1 \text{ Gamma} = 10^{-5} G = \text{nT}$) (Bruzek & Durrant, 1977).

3.1. Indeks Gangguan Magnet Bumi

Adanya peristiwa-peristiwa kompleks seperti halnya badai magnetik (magnetic storm) adalah cocok sekali untuk memahaminya dengan menggunakan istilah-istilah sederhana yaitu indeks gangguan. Medan magnet bumi memperlihatkan fluktuasi pada bermacam-macam skala waktu. Untuk menggambarannya beberapa indeks magnet bumi disusun untuk studi statistik dalam kaitannya dengan fisika bumi-matahari.

Indeks yang paling umum dipakai untuk gangguan magnetik bumi adalah *planetary index Kp*, yang diturunkan dari indeks *K* dari sejumlah stasiun-stasiun pengamat magnet yang dipilih. Indeks *K* untuk suatu observatory diperoleh dengan mengamati elemen-elemen H, D dan Z untuk kedelapan interval harian tiga jam, 00-03, 03-06 dan seterusnya. Harga H, D dan Z yang paling besar untuk setiap interval dipakai untuk mendapatkan indeks *K* dari tabel standar. Tabel untuk setiap stasiun diatur sedemikian rupa sehingga variasi terbesar dan terkecil yang terjadi pada stasiun masing-masing ditunjukkan oleh $K = 9$ dan $K = 0$. Indeks *K* merupakan skala

semi-logaritmik. Indeks Kp -3 jam diperoleh dengan mengambil suatu harga rata-rata indeks K hasil pengamatan. Planetary indeks K -3 jam biasanya dinyatakan dalam satu per tiga unit dengan menambahkan tanda-tanda -, 0, + pada bilangan-bilangan 0 sampai 9; sehingga memberikan 28 tingkat skala dari 0₀ sampai 9₀. Harga Kp dapat dilihat pada Solar Geophysical Data, Prompt Reports, NOAA Boulder, Co.

Indeks lainnya yang akhir-akhir ini dipakai di dalam fisika bumi-matahari adalah indeks ap , suatu indeks linier yang diturunkan dari masing-masing planetary indeks Kp 3 jam-an. Konversinya sedemikian rupa sehingga pada 500 lintang dipole, ap diperkirakan menunjukkan rentang gangguan maksimum dari harga terbesar ketiga elemen H, D, dan Z dalam satuan 2.0 nT. Indeks ap berkisar antara 0 - 400. Jumlah kedelapan 3-jam harga ap memberikan harga indeks Ap harian untuk hari universal (Bruzek & Durrant, 1977).

3.2 Pengamatan Gangguan Magnet Bumi

Harga indeks Ap sudah tersedia sejak tahun 1932 (Thomson, 1994). Ada enam istilah yang diberikan untuk menggambarkan tingkat gangguan yang terjadi yang disesuaikan dengan besarnya indeks ap . Tabel 2 memperlihatkan kejadian berbagai tingkat indeks Ap bersama dengan gambaran besaran-besaran yang dipakai oleh pemrediksi hubungan matahari-bumi (*solar-terrestrial forecasters*), sekaligus juga ditunjukkan persentase jumlah kemunculan masing-masing tingkatan indeks ap , yang terjadi untuk perioda pengamatan dari tahun 1932 sampai tahun 1992.

Tabel 2. : Prosentase gangguan magnet bumi selama perioda tahun 1932 s/d 1994

Descriptive level	Ap range	Percentage of days
Quiet	0 - 7	36.8
Unsettled	8 - 15	33.0
Active	16 - 29	19.6
Minor storm	30 - 49	7.3
Major storm	50 - 59	2.8
Severe storm	100 - 400	0.6

Hasil pengamatan gangguan magnet bumi sejak tahun 1932 diperlihatkan pada Gambar 2-1. Untuk keperluan pembuatan grafik tersebut data indeks ap yang dipakai adalah yang mempunyai harga lebih besar atau sama dengan 25 ($ap > 25$). Selain menunjukkan gangguan magnet bumi, Gambar 2-1 juga menampilkan bersama-sama pemunculan bintik matahari (siklus sunspot) yang diambil dalam perioda waktu pengamatan yang sama. Garis tebal menunjukkan data bilangan sunspot dengan skala ordinat sebelah kiri, sedangkan garis-garis tipis menunjukkan kejadian gangguan magnet bumi dengan skala ordinat sebelah kanan.

4. Pembahasan

Dengan melihat bentuk kurva kejadian gangguan magnet bumi dan siklus sunspot yang diperlihatkan oleh Gambar 2.1, nampak bahwa gangguan magnet bumi umumnya memberikan kecenderungan yang hampir sama dengan pemunculan bintik. Gangguan magnet bumi cenderung berkurang saat siklus sunspot menuju arah minimum. Di sini terjadi pergeseran fasa antara pemunculan bintik dan terjadinya

gangguan magnet bumi, di mana gangguan magnet bumi terjadi sesudah pemunculan bintik matahari.

Jika Gambar 2.1 diperhatikan dengan lebih teliti dikaitkan dengan bentuk kurva gangguan magnet bumi, terlihat bahwa untuk suatu perioda gangguan ternyata muncul dua buah puncak yang menonjol. Seperti telah kita ketahui bahwa gangguan medan magnet bumi terjadi karena adanya interaksi antara medan magnet bumi dengan partikel bermuatan, yang dibawa oleh angin matahari (solar wind) dari matahari. Partikel bermuatan (elektron) yang terlempar dari matahari akan bersumber dari flare dan lubang korona (*coronal hole*). Oleh karena itu nampaknya bahwa kedua puncak gangguan magnet bumi yang muncul pada suatu perioda gangguan, kemungkinan besar disebabkan oleh kedua komponen tersebut yaitu flare dan coronal hole.

Menurut Hale (Babcock, 1961) bintik matahari cenderung untuk terjadi dalam bentuk bipolar grup atau BMR (bipolar magnetic region), dengan preceding (p) dan following (f) memperlihatkan polaritas medan magnet berlawanan (dalam pengertian arah rotasi matahari timur barat). Menurut pengamatan bagian preceding dari pada BMR akan berekspansi atau bergerak ke arah ekuator, sementara bagian following berekspansi atau bermigrasi ke arah pole.

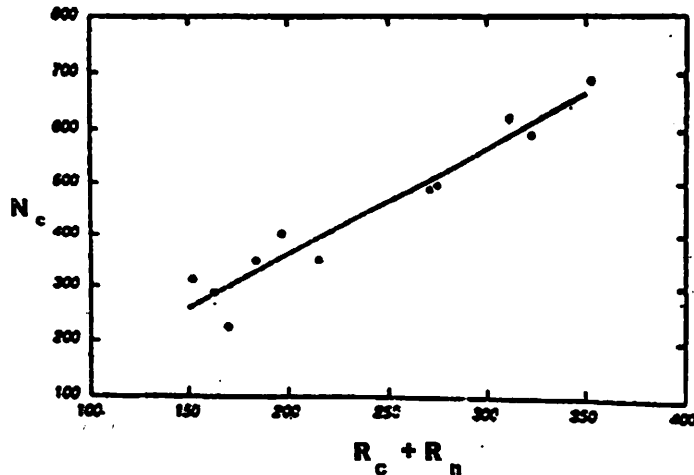
Pengamatan aktivitas magnetik matahari sering menunjukkan ketidakseimbangan antara belahan matahari utara dengan belahan matahari selatan. Seperti diuraikan oleh Hale bahwa bagian preceding (p) bergerak ke arah ekuator, maka bisa terjadi bahwa bagian p dari BMR akan terakumulasi di daerah dekat ekuator. Daerah akumulasi p ini bisa berlangsung untuk beberapa saat sebelum nantinya dinetralkan oleh bagian p lainnya yang muncul dari belahan matahari lainnya. Daerah akumulasi tersebut yang akan membentuk unipolar magnetic regions (UMR) atau selanjutnya dikenal sebagai lubang korona.

Lubang korona menghasilkan gangguan magnet cukup besar pada hampir semua siklus sunspot pada saat penurunan siklus sunspot menuju minimum. Dengan melihat Gambar 2.1 nampak bahwa terjadinya gangguan magnet bumi cukup tinggi pada perioda tahun 1950-53 (fase penurunan siklus ke 18), dalam perioda 1974-76 (siklus ke 20) dan dalam perioda 1982-84 (siklus ke 21), hanya pada fase penurunan siklus ke 19 tidak begitu tinggi. Peningkatan aktivitas gangguan magnet diatas merupakan peristiwa gangguan yang berulang dengan selang interval 27 hari, yaitu pemunculan lubang korona yang menghadap ke bumi setiap satu kali rotasi matahari.

Berdasarkan perioda siklus dwikutub matahari 22 tahun (Babcock, 1964), yaitu perubahan polaritas kutub magnet dari positif ke positif kembali atau sebaliknya, terlihat bahwa pada saat fase penurunan suatu siklus bintik matahari biasanya di daerah ekuator matahari terbentuk percampuran/pertemuan antara bintik matahari dari lintang sebelah utara dengan bintik matahari dari lintang sebelah selatan. Jika aktivitas magnet di belahan utara dan di belahan selatan matahari tidak seimbang akan terbentuk suatu daerah yang cukup luas dengan medan magnet unipolar atau lubang korona. Dari sinilah akan muncul gangguan magnet bumi pada perioda penurunan suatu siklus matahari.

Selanjutnya pada pembahasan ini dicoba dicari hubungan antara jumlah total gangguan medan magnet bumi pada suatu siklus matahari dengan penjumlahan amplitudo dua buah siklus (Thomson, 1994), yaitu amplitudo siklus yang sedang berlangsung dan amplitudo siklus berikutnya. Untuk keperluan tersebut dibuat plot data antara jumlah hari ada gangguan magnet ($ap > 25$) dengan jumlah amplitudo

siklus yang sedang berjalan dan amplitudo siklus berikutnya, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.1. Garis lurus terbaik dari data ini memberikan hubungan yang cukup baik antara jumlah gangguan medan magnet bumi dan jumlah kedua amplitudo.



Gambar 4-1. Jumlah gangguan medan magnet bumi dalam satu siklus matahari (N_c) diplot terhadap jumlah amplitudo siklus yang sedang berlangsung (R_c) dan siklus berikutnya (R_n) (Thomson, 1994)

5. Kesimpulan

Gangguan medan magnet bumi yang berulang di dalam fasa-fasa penurunan suatu siklus matahari bisa memberikan cara yang cukup baik untuk memprediksi tingkat aktivitas siklus matahari berikutnya. Dapat dilihat dari hasil pengamatan bahwa intensitas dan kuat gangguan medan magnet bumi pada fasa penurunan akan menggambarkan bagaimana kondisi amplitudo siklus matahari berikutnya. Dari sini nampak bahwa untuk suatu siklus yang mempunyai amplitudo besar akan didahului oleh suatu semburan gangguan magnet bumi yang besar pula. Sebagai contoh, siklus ke 19 akan didahului oleh gangguan besar pada rentang waktu antara tahun 1950-1953. Sebaliknya siklus lemah seperti siklus ke 20 didahului oleh semburan gangguan kecil yaitu sekitar tahun 1963 (pada gambar 2-1 kurang begitu terlihat).

Sebaliknya, jika bertitik tolak dari amplitudo siklus matahari dapat ditunjukkan bahwa segera setelah selesai fasa maksimum matahari siklus matahari, maka akan disusul oleh tingkat gangguan medan magnet bumi yang sebanding dengan tingkat amplitudo siklus matahari yang sedang berlangsung.

Walaupun hubungan antara jumlah gangguan magnet dan jumlah amplitudo dua siklus matahari cukup baik, hal ini belum bisa dipakai untuk memprediksi besarnya gangguan magnet bumi. Kesukaran yang dihadapi adalah bagaimana dapat mengetahui secara tepat besarnya amplitudo siklus matahari yang akan datang. Sampai saat ini prediksi bilangan sunspot belum memberikan hasil yang akurat.

Daftar Pustaka

- Babcock, H., 1961, *The Astrophysical Journal* 133, 383-385
- Bray R.J., Loughhead R.E., 1964, *Sunspot*, Chapman and Hall Ltd.
- Bruzek A. and Durrant C.J., 1977, *Illustrated Glossary for Solar and Solar-Terrestrial Physics*, D.Reidel Publishing Company
- Matsushita S., Campbell W.H., 1967, *Physics of Geomagnetic Phenomena*, Academic Press.
- Thomson R., 1994, *The Occurrence of Geomagnetic Disturbance*, IPS Radio and Space Services, 16-20