

TELAAH OBSERVASI HELIOFER SELAMA OKTOBER-NOVEMBER 2003 DIKAITKAN DENGAN BADAI GEOMAGNET SANGAT KUAT

WILSON SINAMBELA

Bidang Matahari dan Antariksa

Pusat Pemanfaatan Sains dan Antariksa-LAPAN

wilson @bdg.lapan.go.id

ABSTRAK. Meskipun dalam fase menurun dari aktivitas matahari, periode Oktober-November, 2003, tetapi merupakan periode dengan jumlah flare matahari yang banyak dan terkuat (sampai mencapai kelas X28). Sesungguhnya tiga flare dalam periode ini diklasifikasikan sebagai flare terkuat yang pernah direkam sejak tahun 1976. Analisis efek kebumihan dari aktivitas matahari yang sangat kuat ini dilakukan. Dalam periode ini terjadi badai geomagnet terkuat disebabkan oleh interaksi angin surya yang padat dan cepat. Banyak dari badai geomagnet ini ditemukan tidak terkait dengan medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field/IMF*) komponen Z negatif (B_z neg). Dalam kenyataannya, ketika B_z negatif, indeks geomagnet Kp sebagian besar adalah rendah. Nilai-nilai B_z besar terkait dengan peningkatan aktivitas geomagnet. Ditemukan bahwa indeks geomagnet Kp terkait dengan tekanan angin surya dan bukan dengan arah dan magnitudo dari medan magnet antarplanet.

THE solar activity, but have been the period many number and most powerful solar flares (up to a class of X28). In fact three flares in this period are classified as the most powerful flare recorded since 1976. The analysis of the terrestrial effects of this very intense solar activities have been carried out. There were most severe geomagnetic storms due to the interaction of dense and fast solar wind observed in this period. Many of these storms are not found to be associated with the negative z component (B_z) of the Interplanetary Magnetic Field. In fact when B_z is negative, geomagnetic index Kp is mostly low. The large positive B_z values are correlated with enhanced geomagnetic activity. The Kp is found to be related to solar wind pressure and not with the direction and the magnitude of Interplanetary Magnetic Field (IMF).

Kata kunci : flare matahari, Badai Geomagnet, Medan Magnet Antarplanet

KEY WORDS: solar flare, geomagnetic storm, Interplanetary Magnetic Field.

1. Pendahuluan

Flare adalah suatu ledakan yang terjadi di matahari ketika energi tersimpan dalam medan magnet terpuntir (pada umumnya di sekitar kelompok sunspot) dan dilepaskan secara mendadak. Peristiwa flare matahari menghasilkan radiasi dalam spektrum elektromagnet, gelombang radio sampai dengan sinar gamma dan sinar-X. Flare matahari diklasifikasikan menurut kecerlangan sinar-X nya dalam rentang panjang gelombang 1-8 Angstrom. Ada 3 kelompok kelas flare yakni, (1) flare kelas-X adalah yang terkuat; adalah peristiwa utama yang dapat menyebabkan *blackout* radio secara luas dan peristiwa badai radiasi yang berlangsung lama. (2) flare kelas-M, adalah ukuran sedang; biasanya menyebabkan *blackout* radio singkat yang mempengaruhi atmosfer bumi, khususnya di daerah kutub Bumi. (3) flare kelas-C adalah ukuran kecil dengan pengaruh lemah terhadap lingkungan bumi.

Sebagian besar flare memprakarsai terjadinya lontaran masa corona besar (*large coronal mass ejection/ CME*). Ketika sebuah CME menghantam magnetosfer, CME ini dapat memampatkan magnetosfer dan mengakibatkan badai geomagnet. Aktivitas matahari pada periode Oktober-November 2003, dikenal sebagai peristiwa *Halloween* (*NASA, Solar System Exploration: News and Events, July 8, 2004, News Archive, Space Storm Tracking*). Komunikasi radio jarak jauh terganggu oleh karena efeknya pada ionosfer, dan cahaya utara (*aurora borealis*) tampak jauh sampai ke Florida selatan. Astronaut *Internasional Space Station* membatasi sebagian aktivitasnya dan berlindung di dalam *Russian-supplied Service Module* beberapa kali selama badai terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa efek terhadap lingkungan bumi sangat kuat yang menyebabkan perubahan jadwal rute penerbangan, mempengaruhi operasi satelit, dan mempercepat gangguan daya listrik di Malmoe, Swedia. Snyder et al. (1963) menunjukkan suatu hubungan antara kecepatan angin surya antarplanet dan indeks geomagnet Kp. Hubungan seperti itu telah diuji oleh banyak para peneliti, tetapi tidak memperoleh hasil korelasi yang baik. Dalam makalah ini telah observasi flare sinar-X matahari, dan keterkaitan parameter angin surya dengan aktivitas geomagnet dilaporkan.

2. Data Dan Metoda

Informasi data flare dan kaitannya dengan daerah-daerah aktif diperoleh dari *online Solar Geophysical Data (SGD)*, termasuk flare matahari yang berasal dari tiga daerah aktif (*Active Region/AR*) dengan nomor NOAA 10484, 10486, dan 10488. Data angin surya diperoleh dari situs; <http://rumba.gsfc.nasa.gov/cdaweb/> (CDAWeb). Data geomagnet dengan indeks Dst, dan Kp diperoleh dari situs: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG>. Sementara data CME diperoleh dari *white-light CME* pada CDAW Data Center di *NASA's Goddard Space Flight Center* (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list).

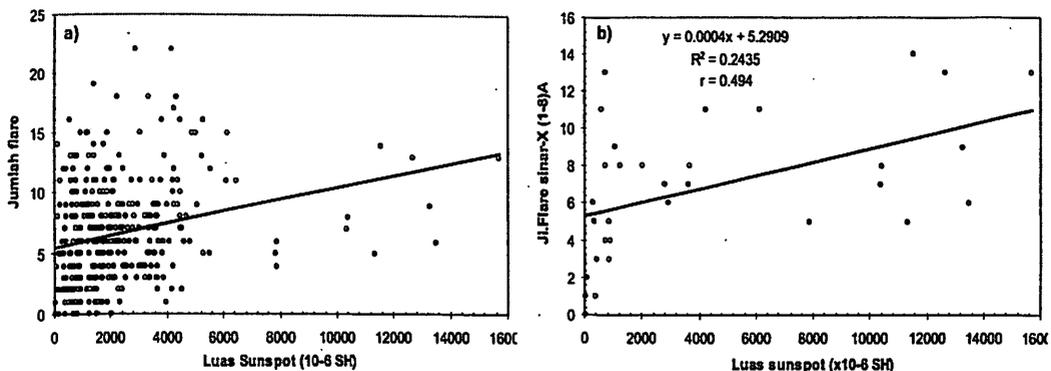
Untuk menyelidiki variasi medan geomagnet (dengan indeks Dst dan atau Indeks Kp) pada saat peningkatan aktivitas matahari yang tinggi dilakukan dengan metoda

perbandingan data variasi aktivitas matahari, variasi parameter geomagnet terkait dengan parameter angin surya yang meningkat karena aktivitas matahari sangat kuat dalam kurun waktu Oktober-November 2003. Dengan mengintegrasikan analisis dari parameter medan geomagnet dan variasi parameter angin surya dalam kurun waktu tersebut, maka penyebab utama badai geomagnet sangat kuat itu dapat diprakirakan dengan baik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Flare Sinar-X Matahari Terkuat

Peristiwa flare di matahari pada umumnya dihubungkan dengan daerah aktif di matahari. Gambar 3.1 menunjukkan variasi dari seluruh jumlah flare sinar-X matahari selama tahun 2003 dengan luas sunspot (dalam 10^{-6} Solar Hemisphere). Dari garis regresi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1a, tampak adanya kecenderungan keterkaitan antara luas sunspot dan jumlah flare sinar-X, meskipun dengan korelasi yang lemah.

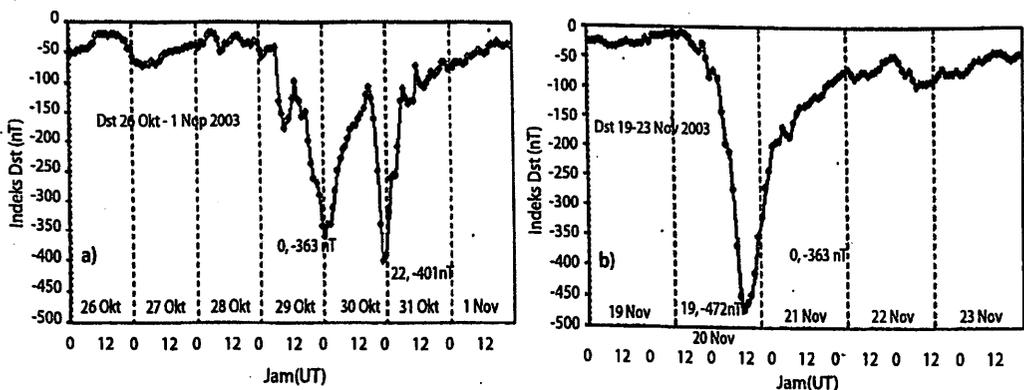


Gambar 3.1. Variasi antara jumlah flare sinar - X matahari pada panjang gelombang 1-8 Å dan luas sunspot selama tahun 2003 (panel a, dengan korelasi yang lemah), dan panel b) sama dengan panel a) hanya untuk selama bulan Oktober 2003 (koefisien korelasi $r = 0.494$).

Dari observasi, tampak bahwa luas sunspot pada bulan Oktober 2003 adalah yang tertinggi sampai mencapai 15710×10^{-6} SH. Keterkaitan antara luas sunspot dan jumlah flare sinar-X selama bulan Oktober (Gambar 3.1b) lebih baik dibandingkan dengan data observasi selama tahun 2003, dengan koefisien korelasi $r = 0.494$ (korelasi moderat). Jadi, jika luas sunspot bertambah, maka jumlah peristiwa flare sinar-X juga akan bertambah.

Meskipun siklus aktivitas matahari ke-23 dalam fase menurun, tetapi dalam kurun waktu Oktober-November 2003, terjadi peningkatan aktivitas matahari yang sangat kuat. Hasil observasi menunjukkan bahwa dalam kurun waktu ini banyak terjadi peristiwa flare matahari dan lontaran massa korona (CME) yang mengakibatkan kecepatan dan kerapatan angin surya meningkat, yang pada gilirannya menyebabkan badai geomagnet

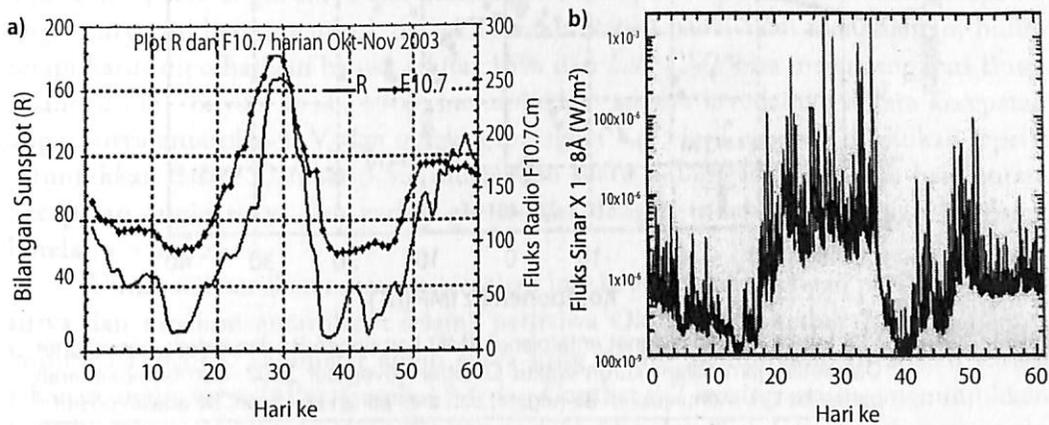
sangat kuat (badai magnet ekstrim). Selama peristiwa aktivitas matahari Oktober-November 2003, trio daerah aktif matahari yang besar dengan nomor NOAA 10484, 10486, dan 10488 menghasilkan serangkaian peristiwa flare yang sangat kuat di matahari. Letusan-letusan ini mengakibatkan peristiwa yang dikategorikan ekstrim jika dikaitkan dengan sumber dan dampaknya terhadap lingkungan Bumi (Gopalswamy et al. 2005). Kane (2005) mengatakan bahwa nilai Dst yang paling besar adalah -589 nT, terjadi pada 13 Maret 1989 dengan kecepatan CME, $V = -550-800$ km/s. Nilai-nilai Dst yang paling besar berikutnya adalah sekitar -400 nT, tetapi nilai kecepatan angin suryanya sangat berbeda. Peristiwa flare ekstrim, kelas X17, dan halo CME pada 28 Oktober, 2003 (*Halloween events*) berasal dari daerah aktif NOAA.10486, menyebabkan badai badai geomagnet sangat kuat berturut-turut, pertama dengan nilai Dst minimum = -363 nT pada 29 Oktober, 2003, kedua dengan nilai Dst minimum = -401 nT, pada 30 Oktober, 2003 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2a. Berdasarkan Kane (2005) kecepatan angin surya pada *Halloween events* sampai mencapai $V = 2000$ km/s. Pada 20 November, 2003, sekitar dua minggu setelah trio daerah aktif besar yang sama muncul kembali di tepi piringan matahari sebelah timur, menimbulkan flare kuat pada 20 November, 2003, dengan kelas M9, diikuti halo CME, berasal dari daerah aktif NOAA 10484. Peristiwa flare dan CME ini menyebabkan badai geomagnet sangat kuat (ekstrim) dengan Dst = -472 nT seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2b, tetapi dengan kecepatan angin matahari hanya sekitar 770 km/detik.



Gambar 3.2. Plot variasi geomagnet dengan indeks Dst setiap jam dari 26 Oktober - 1 November 2003 dari 26 Oktober-1 November 2003 (panel a), dan dari 19-23 November, 2003 (panel b). Tampak badai geomagnet ekstrim berturut-turut yang terjadi pada 29 Oktober, 2003 dengan Dst minimum = -363 nT, pada 30 Oktober, 2003 dengan Dst minimum = -401 nT, dan Dst minimum = -472 nT pada 20 November, 2003.

Gambar 3.3 menunjukkan aktivitas matahari dengan indeks bilangan sunspot dan fluks radio matahari F10,7 cm dan fluks sinar-X harian selama bulan Oktober-November 2003. Gambar 3.3a dalam kurun waktu tersebut, terlihat dengan jelas bahwa aktivitas meningkat secara tajam terutama dalam kurun waktu dari 18 Oktober-5 November 2003

dengan puncak pada 29 Oktober 2003 ($R = 167$, dan $F10,7\text{cm} = 275.4$ SFU). Peningkatan aktivitas matahari yang tinggi ini diikuti oleh sering dan banyak terjadi peristiwa-peristiwa flare kuat dan CME. Peristiwa-peristiwa flare kuat dan CME menyebabkan fluks sinar-X meningkat. Gambar 3.3.b menunjukkan variasi intensitas fluks flare sinar-X pada panjang gelombang 1-8 Angstrom yang diamati oleh satelit GOES selama periode Oktober-November 2003. dari Gambar 3-3 tampak dengan jelas bahwa aktivitas matahari dan fluks sinar-X saat itu sangat aktif dan sangat kuat. Periode ini mempunyai jumlah peristiwa flare matahari yang banyak, termasuk tiga flare pada Oktober 28, 29 dan 4 November 2003 dengan masing-masing kelas X17.2, X10 dan kelas X28. Sampai sejauh ini, flare dengan kelas-X28 adalah flare sinar-X adalah yang terkuat, dan semua dari ke tiga flare ini adalah salah satu di antara 14 flare terkuat yang pernah diamati dalam tiga dekade terakhir. Ini menunjukkan bahwa periode Oktober-November 2003 adalah periode aktivitas matahari yang terkuat selama siklus matahari ke 23.



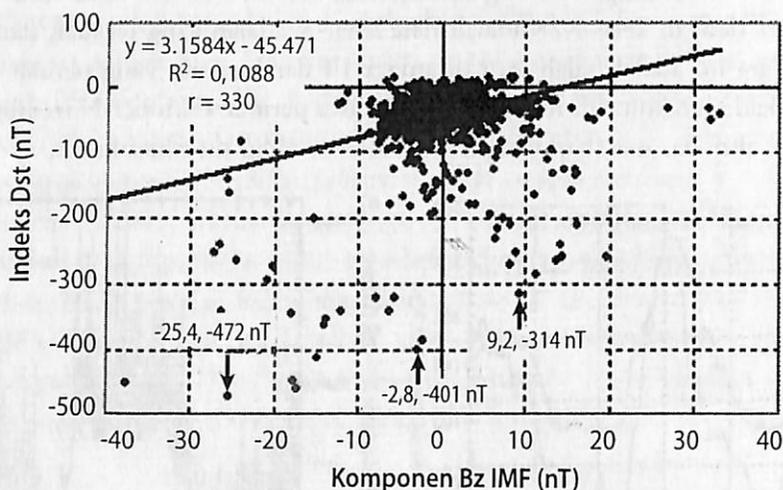
Gambar 3.3. a) Aktivitas matahari (bilangan sunspot dan fluks radio F10,7 cm harian), dan b) fluks flare sinar-X harian dalam kurun waktu bulan Oktober-November 2003.
Keterangan: hari ke 0 = 1 Oktober, 2003, hari ke 60 = 30 November, 2003.

3.2. Pengaruh Parameter Angin Surya pada Variasi Geomagnet

Pengaruh angin surya pada variasi geomagnet dilakukan dengan menganalisis medan magnet antarplanet (*Interplanetary Magnetic Field /IMF*) komponen B_z . Gambar 3.4 menunjukkan plot antara indeks geomagnet Dst dan medan magnet antarplanet komponen B_z setiap jam dalam kurun waktu bulan Oktober-November 2003.

Gambar tersebut, memperlihatkan bahwa indeks geomagnet Dst mengikuti pola medan magnet antarplanet komponen B_z , dan terlihat bahwa variasi geomagnet Dst terkait dengan komponen B_z , tetapi lemah (dengan koefisien korelasi $r = 0,330$). Jika nilai komponen B_z naik, maka indeks geomagnet Dst juga naik yang ditunjukkan oleh garis regresinya. Semua nilai-nilai indeks Dst minimum yang tinggi, pada umumnya terkait dengan nilai-nilai komponen B_z negatif (B_z^- , dengan tanda panah ke kiri),

tetapi terdapat beberapa pasangan titik-titik, misalnya pada 31 November 2003, dengan ($B_z = -2,8$; $Dst = -401$) nT. Indeks geomagnet Dst berkurang sampai mencapai minimum -401 nT, sedangkan nilai B_z adalah kecil $-2,8$ nT (lihat tanda panah dalam gambar). Disamping itu terdapat banyak pasangan-pasangan titik antara B_z dan Dst, dengan Dst yang lebih kecil dari -200 nT, mempunyai nilai-nilai B_z adalah positif (dalam gambar 3-4 dengan tanda panah arah kekanan), bahkan nilai Dst negatif yang tertinggi $= -314$ nT berkaitan dengan komponen B_z positif dengan nilai $B_z = 9,2$ nT (lihat tanda-tanda panah dalam Gambar 3.4 sebelah kanan).

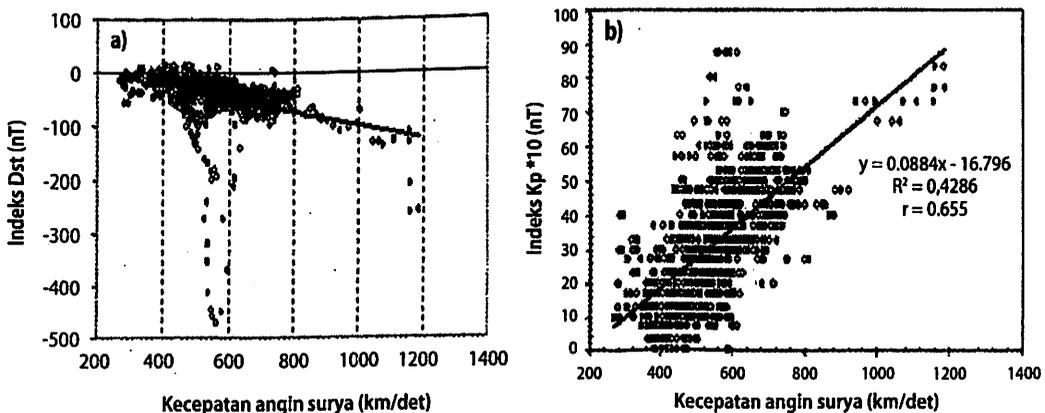


Gambar 3.4. Plot antara medan magnet antarplanet (IMF) komponen B_z dan indeks geomagnet Dst setiap jam dalam kurun waktu Oktober-November 2003. Sumbu absis arah panah ke kiri, menunjukkan B_z negatif, dan arah panah ke kanan, B_z adalah positif.

Kondisi di atas dapat dijelaskan bahwa variasi aktivitas geomagnet terjadi disebabkan oleh perpindahan energi dan momentum dari angin surya ke magnetosfer. Medan magnet antaplanet (IMF) mempunyai tiga komponen. Komponen IMF yang mengarah keselatan dengan B_z negatif, adalah parameter terpenting untuk perpindahan energi dan momentum dari angin surya ke magnetosfer. Jika nilai B_z adalah negatif, medan magnetosfer pada siang hari mempunyai arah yang berlawanan, sehingga memudahkan rekoneksi dari dua medan magnet itu. Rekoneksi menghasilkan gaya yang mengangkut fluks magnet ke dalam kopian kutub (Lindsay et al., 1995). Angin surya yang kuat akan meningkatkan interaksi sehingga menambah fluks energi yang terangkut ke dalam magnetosfer. Sekitar satu jam setelah arah selatan B_z IMF berputar, rekoneksi mulai terjadi di *magneto tail*. Jika IMF masih arah selatan (B_z negatif) untuk beberapa jam, dalam kaitannya dengan konveksi medan listrik secara terus menerus memberi energi pada arus cincin (*ring current*), dengan demikian menghasilkan badai geomagnet (yang ditunjukkan oleh nilai-nilai A_p dan K_p yang tinggi atau dengan nilai Dst berkurang (indeks Dst mencapai minimum negatif)). Ketika B_z berotasi ke arah utara, proses rekoneksi berhenti, arus cincin meluruh (*decay*) dan magnetosfer kembali ke kondisi tenang (Burton et al., 1975).

Demikian juga dengan badai geomagnet dapat terjadi oleh beberapa perilaku medan magnet antarplanet, termasuk awan magnet, tetapi itu hanyalah ketika perilaku medan magnet antarplanet yang mencapai bumi mempunyai komponen mengarah ke selatan adalah kuat (Wang et al., 2003). Medan magnet antarplanet yang menyebabkan badai geomagnet sudah diteliti secara ekstensif (Tsurutani et al., 1992). Kecepatan angin surya yang mengarah ke Bumi dan komponen medan magnet antarplanet arah selatan mempunyai peranan sangat penting untuk meningkatkan gangguan geomagnet. Ini menunjukkan bahwa komponen Bz yang berputar kearah selatan kurang mempunyai hubungan yang kuat dengan aktivitas geomagnet. Gambar 3-5 menunjukkan hubungan antara variasi kecepatan angin surya dan variasi geomagnet dengan indeks Dst dalam selang waktu Oktober–November 2003. Dari *garis fitting* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5a) menunjukkan adanya suatu hubungan antara antara kecepatan angin surya dan indeks Dst, tetapi dengan korelasi yang lemah. Hasil ini memperkuat hasil yang ditemukan oleh Gonzalez et al.,(2004) yang memperoleh hubungan lemah antara kecepatan angin surya dan indeks Dst. Meskipun demikian perkiraan kecepatan angin surya ini berguna untuk menaksir waktu ketika badai akan menghantam bumi, tetapi harus diperhatikan bahwa sekitar 15% dari *halo CME* bisa melenceng dari Bumi (Kane, 2005). Snyder et al., 1963, menunjukkan adanya keterkaitan antara kecepatan angin surya antarplanet, V, dan indeks geomagnet Kp. Hasil uji yang dilakukan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.5b, didapatkan suatu hubungan yang lebih baik antara kecepatan angin surya dan variasi geomagnet dengan indeks Kp, dengan koefisien korelasi $r = 0,655$.

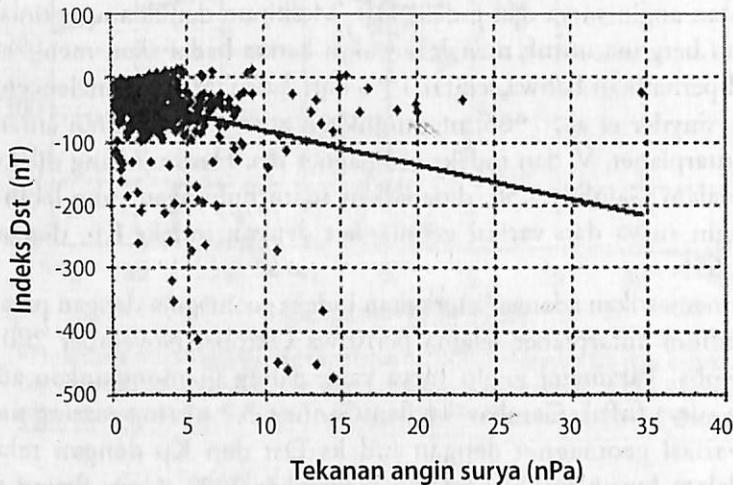
Untuk memastikan adanya keterkaitan indeks geomagnet dengan parameter angin surya dan medium antarplanet selama peristiwa Oktober-November 2003, beberapa kombinasi dicoba. Parameter angin surya yang paling memungkinkan adalah variasi tekanan angin surya (nPa). Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 masing-masing menunjukkan keterkaitan variasi geomagnet dengan indeks Dst dan Kp dengan tekanan angin surya (nPa) dalam kurun waktu Oktober-November 2003. Garis fitting seperti yang



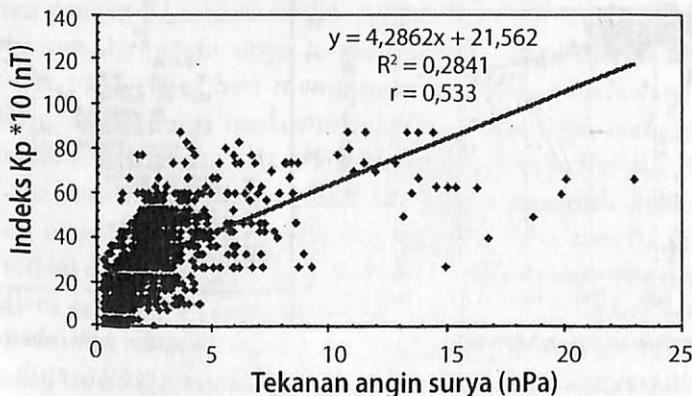
Gambar 3.5. Hubungan antara variasi kecepatan angin surya dan variasi geomagnet dengan indeks Dst (panel a), dengan korelasi yang lemah. Panel b menunjukkan hubungan antara kecepatan angin surya dan variasi geomagnet indeks Kp dalam kurun waktu Oktober –November 2003, dengan koefisien korelasi $r = 0.655$.

ditunjukkan dalam Gambar 3.6 terlihat adanya keterkaitan indeks geomagnet Dst dengan tekanan angin surya (nPa), tetapi lemah.

Tetapi dari Gambar 3.7 diperoleh suatu *garis fitting* antara keterkaitan aktivitas geomagnet indeks Kp dan tekanan angin surya (nPa) lebih baik jika dibandingkan dengan keterkaitan antara aktivitas geomagnet indeks Dst dan kecepatan angin surya. Ini mengindikasikan bahwa sebagian besar dari data observasi selama Oktober-November 2003 menunjukkan adanya suatu hubungan hampir linier antara indeks geomagnet Kp dengan tekanan angin surya (nPa) dengan koefisien korelasi, $r = 0.533$. Dari gambar juga terlihat, jika tekanan angin surya (nPa) meningkat puluhan kali, maka indeks geomagnet Kp bertambah dari (60-80)nT atau variasi geomagnet bertambah mencapai indeks Kp - 7. Indeks geomagnet Kp kuat terkait erat dengan tekanan angin surya dan bukan dengan arah dan magnitudo dari medan magnet antarplanet.



Gambar 3.6. Keterkaitan variasi geomagnet indeks Dst dengan tekanan angin surya (nPa) dalam selang waktu Oktober -November 2003, dengan korelasi yang lemah.



Gambar 3.7. Keterkaitan variasi geomagnet dengan indeks Kp dengan tekanan angin surya (nPa) dalam kurun waktu Oktober-November 2003 dengan koefisien korelasi $r = 0.533$ (korelasi moderat).

4. Kesimpulan

Telaah observasi heliosfer dari peristiwa matahari yang paling energetik dalam siklus ke 23 menunjukkan kondisi yang sangat unik karena terjadi flare-flare sangat kuat atau flare sinar-X terkuat yang disertai oleh lontaran massa korona (CME). Dalam kurun waktu tersebut banyak komponen Bz IMF harganya adalah positif. Bahkan ketika Bz nilainya negatif terkait dengan aktivitas geomagnet yang tidak begitu kuat. Dari observasi, adanya aktivitas badai geomagnet kuat yang terkait dengan medan magnet antarplanet komponen Bz positif adalah bertentangan dengan hipotesa yang umum selama ini. Dengan demikian bagaimanapun periode Oktober-November 2003 ini mempunyai beberapa hal khusus yang perlu untuk dipahami, dengan demikian, komponen Bz IMF bukanlah suatu syarat utama yang perlu untuk menyebabkan badai geomagnet kuat dan badai geomagnet sub-storm. Dalam kasus ini tekanan angin surya (nPa) tampak lebih berpengaruh seperti yang ditunjukkan oleh suatu korelasi yang hampir linier dengan variasi geomagnet indeks Kp. Indeks geomagnet Kp terkait erat dengan tekanan angin surya dan bukan dengan arah dan magnitudo dari medan magnet antarplanet. Pertambahan tekanan angin surya 10 kali lipat akan menambah indeks Kp menjadi nilai 7. Untuk membuktikan hasil ini, telaah lebih lanjut dengan peristiwa-peristiwa aktivitas matahari kuat lain diperlukan sehingga memperkuat hasil yang diperoleh ini.

Daftar Pustaka

- Gonzalez, W.D., A. Dal Lago., A.L. Clua de Gonzalez., L.E.A. Vieira., B.T. Tsurutani, 2004. *Prediction of peak-Dst from Halo CME/Magnetic Cloud-speed Observations*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 66,161-165
- Gopalswamy, N., L. Barbieri, G. Lu, S. P. Plunkett, and R. M. Skoug, 2005, *Introduction to the special section: Violent Sun-Earth connection events of October–November 2003*, Geophys. Res. Lett., 32, L03S01.
- Kane, R. P. 2005, *How good is the relationship of solar and interplanetary plasma Parameters with geomagnetic storms?*, J. Geophys. Res., 110, A02213.
- Lindsay, G. M. Russell C. T. and J. G. Luhmann, 1995, *Coronal mass ejection and stream interaction region characteristics and their potential geomagnetic effectiveness*, J. Geophys. Res. 100, 16999.
- Snyder, C. W., M. Neugebauer, and U. R. Rao, 1963, *The solar wind velocity and its correlation with cosmic ray variations and with solar and geomagnetic activity*, J. Geophys. Res., 68, 6361, 1963.
- Tsurutani, B. T., W. D. Gonzalez, F. Tang, and Y. T. Lee, 1992, *Great magnetic storms*, Geophys. Res. Lett., 19, 73.
- Wang, Y., C. L. Shen, S. Wang, and P. Z. Ye (2003), *An empirical formula relating the geomagnetic storm's intensity to the interplanetary parameters: (average) and Δt* , Geophys. Res. Lett., 30(20), 2039.