

AKTIVITAS MATAHARI DAN PERUBAHAN IKLIM BUMI GLOBAL: Apakah Indeks Aktivitas Geomagnetik aa Dapat Digunakan Untuk Memprediksi Variabilitas Temperatur Global Secara Parsial

WILSON SINAMBELA

Bidang Matahari dan Antariksa,
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN
wilson@bdg.lapan.go.id

Abstrak. Analisis korelasi diterapkan pada data indeks aktivitas geomagnetik aa dan jumlah sunspot Rz dengan temperatur global (TG) dalam kurun waktu 1868-2004. Rata-rata tahunan TG menunjukkan bahwa TG memiliki dua fasa pemanasan global dan satu periode pendinginan. Pengamatan temperatur permukaan dekat Bumi menunjukkan adanya pertambahan rata-rata temperatur global sekitar 1.1°C sejak 1877, terjadi dari 1887 ke 1940 dan dari 1970 ke 1998. Perubahan temperatur selama 35 tahun yang lalu (1970-2004) tampaknya tidak mungkin seluruhnya disebabkan oleh variabilitas iklim internal. Pemanasan yang berlangsung di awal abad lebih sukar difahami. Korelasi silang antara variasi temperatur global dengan geomagnetik aa dan bilangan sunspot menunjukkan koefisien korelasi berturut-turut adalah $(+0.5 \pm 0.05)$, dan $(+0.4 \pm 0.03)$, untuk setiap fasa yang ketinggalan atau mendahului, dan menunjukkan peran yang penting dari variasi seperti itu. Semua grafik menggambarkan korelasi kuat antara aktivitas matahari, geomagnetik, dan temperatur global. Meskipun demikian, hasil ini tidak mengesampingkan adanya keterkaitan antara aktivitas matahari dan iklim Bumi. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan geomagnetik aa saat ini dapat mencerminkan suatu perubahan temperatur global di masa yang akan datang.

Abstract. Data for geomagnetic activity index aa and solar sunspot number Rz for 1868-2004 are applied to correlation analysis with the global temperature (GT). The yearly average GT shows that it has two warming phases and one cooling period. Observations of the Earth's near-surface temperature showed a global-mean temperature increase of approximately 1.1°C since 1877, occurred from 1887 to 1940 and from 1970 to the 1998. The temperature change over the past 35 years (1970-2004) is unlikely to be entirely due to internal climate variability. Attribution of the warming in the early century has proved more elusive. The correlation analysis between the variation of global temperature and both aa geomagnetic and sunspot number Rz, respectively, are $+0.5 \pm 0.05$, and $\sim(+0.4 \pm 0.03)$, for any lag or lead, indicating a significant role in such variation. All graphs have illustrated strong correlations between the solar activity, geomagnetic, and surface global temperature. Its results do not, by any means, rule out the existence of important links between solar activity and earth climate. This result displayed that the present changes in aa geomagnetic may reflect partially some future changes in the global surface temperatures.

Kata Kunci: Temperatur Global (TG), Indeks Geomagnetik aa, Variabilitas iklim internal.

1. Pendahuluan

Pemanasan global adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan pertambahan rata-rata temperatur atmosfer dan lautan dengan waktu. Ini sangat penting karena sampai sekarang masih berlangsung perdebatan di masyarakat umum tentang pemanasan global dan resiko perubahan iklim akibat ulah manusia. Selama satu abad terakhir, temperatur

global (daratan dan laut) telah bertambah sekitar $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$. Temperatur troposfer bawah telah bertambah antara 0.08°C dan 0.22°C per dekade. Sejak tahun 1979, rata-rata temperatur bertambah secara tidak linier, tetapi bertambah dan berkurang saling tindih disebabkan oleh variabilitas alamiah (*private communications*, [http://www.grida.no/climate/ipcc tar/wg1/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/)).

Lassen dan Friis-Christensen (1995) mendapatkan korelasi kuat antara panjang siklus matahari dan temperatur belahan bumi utara selama periode 1860-1990. Berikutnya (Lassen dan Friis-Christensen, 2000; Thejll dan Lassen, 2000) dengan menggunakan data yang sama setelah diperbanyak, juga memperoleh korelasi yang kuat. Shaviv dan Veizer, 2003 melaporkan bahwa fluktuasi sinar kosmik yang mencapai Bumi menjelaskan 66% dari variasi temperatur selama 520 juta tahun terakhir, dan bahwa sensitivitas iklim terhadap CO_2 ganda (*double of CO_2*) kurang dari pada prakiraan sebelumnya. Belov et al. (2005) menunjukkan suatu metoda prediksi baru untuk menaksir perubahan iklim global dengan memprakirakan variasi intensitas sinar kosmik galaksi terhadap waktu (*galactic cosmic ray intensity /GCRI*) dimasa mendatang berdasarkan data medan magnetik matahari. Svensmark dan Friis-Christensen (1997) melaporkan korelasi kuat antara liputan awan total dengan intensitas sinar kosmik yang diukur pada Climax, Colorado. Suatu hipotesis baru dipresentasikan oleh Marsh dan Svensmark (2000a;b) menunjukkan bahwa liputan awan rendah, lebih baik daripada liputan awan total, yang menghasilkan korelasi kuat dengan intensitas sinar kosmik galaksi. Kristjánsson et al. (2000, 2002) membandingkan korelasi liputan awan rendah dengan irradiansi matahari total dan intensitas sinar kosmik galaksi, berturut-turut mendapatkan koefisien korelasi dengan irradiansi matahari total jauh lebih tinggi ($r = 0.80$ berbanding $r = 0.47$).

Teori-teori pemanasan global telah mencoba menghitung kenaikan temperatur global rata rata sejak akhir abad ke 19 ($0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$) dan menaksir berapa besarnya efek yang disebabkan oleh ulah manusia. Teori pemanasan global yang paling umum ditandai dengan kenaikan temperatur global oleh efek pertambahan gas rumah kaca (GRK), terutama oleh karbon dioksida (CO_2), dan oleh kenaikan aktivitas matahari (Lassen and Friis-Christensen, 2000; Kristjánsson et al., 2002; Rohmstorf et al., 2004). Model iklim, yang dikendalikan oleh pertambahan CO_2 dan oleh aerosol sulfat pada umumnya, memprakirakan bahwa temperatur akan bertambah (dalam rentang 1.4°C - 5.8°C untuk tahun-tahun antara tahun 1990 dan 2100). Panyelidikan iklim memprakirakan bahwa walaupun jika tingkat gas-gas pemanasan sekitar 0.5°C selama 100 tahun berikutnya karena waktu ketinggalan dalam pemanasan yang disebabkan oleh lautan. Hipotesis ini memainkan peranan penting dalam perdebatan baik secara ilmiah, maupun dalam masyarakat tentang kemungkinan dan realita perubahan iklim global disebabkan oleh ulah manusia.

Disamping pengaruh variasi aktivitas matahari dan ulah manusia jangka panjang, tampaknya variasi intansitas angin surya juga berperan pada perubahan pemanasan global. Variasi intensitas angin surya dekat Bumi yang diukur dengan indeks aktivitas geomagnet aa, menunjukkan korelasi yang erat dengan temperatur global (Landscheidt, 2000). Lockwood et al. (1999) mendapatkan bahwa fluks magnet total, yang meninggalkan matahari dan yang digerakkan oleh angin surya telah bertambah dengan faktor 2.3 sejak 1901, mengakibatkan pertambahan temperatur global sekitar 0.5°C . Selain itu, letusan partikel energetik matahari, yang merambat keluar, dan dikendalikan oleh variasi angin

surya, berkorelasi baik dengan lingkungan dekat bumi (El-Borie, 2003a;b). Perbandingan indeks geomagnetik aa dengan angin surya, setelah tahun 1965, yang menunjukkan suatu kecocokan yang baik, dapat menjelaskan bahwa variasi geomagnetik aa terutama yang disebabkan oleh variasi angin surya, berasal dari proses-proses fisis (Feynman, 1982; Kane, 1997; El-Borie, 2003a;b).

Dalam makalah ini, diselidiki peranan yang mungkin dari beberapa parameter dari aktivitas matahari pada temperatur global rata-rata. Indeks gangguan matahari seperti variasi angin surya dekat Bumi diselidiki. Untuk itu dilakukan studi korelatif antara aktivitas geomagnetik aa dan aktivitas matahari dengan perubahan iklim global, dengan menggunakan data selama 137 tahun terakhir (1868-2004).

2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data temperatur permukaan global (TPG) (*private communications*, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/>) yang disediakan oleh *U.S. National Aeronautic and Space Administration's Goddard Institute for Space Studies GISS*, dalam selang tahun 1864-2004. Rekaman temperatur permukaan terdiri dari gabungan ribuan termometer di setiap negara, diseluruh dunia, sementara temperatur permukaan laut diukur dari kapal-kapal dan satelit-satelit. Sementara data indeks aktivitas geomagnetik aa dan bilangan sunspot R_z yang digunakan diperoleh dari *National Geophysical and Solar-Terrestrial Data Center* (*private communications*, <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/aastar.shtml>), dalam periode waktu yang sama.

Deret waktu data dari masing-masing parameter (anomali temperatur global, indeks aktivitas geomagnetik aa, dan bilangan sunspot R_z) akan dibandingkan dan dikorelasikan untuk menyelidiki keterkaitan jangka panjang dari masing-masing parameter setelah terlebih dahulu dilakukan pemulusan data dengan rata-rata bergerak -3-tahun, 5 tahun, dan 11 tahun dari rata-rata tahunan dari setiap parameter.

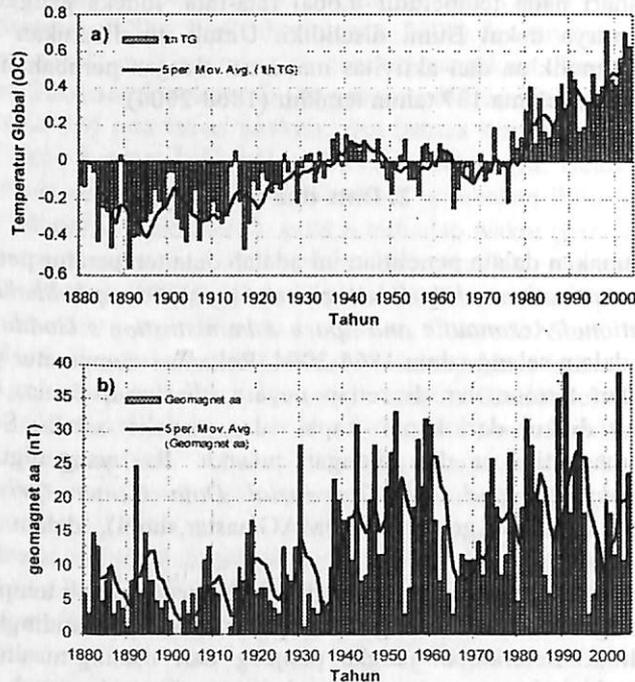
3. Hasil dan Pembahasan

3-1: Keterkaitan Temperatur Global dengan Aktivitas Geomagnetik

Gambar 3-1 menunjukkan plot rata-rata tahunan (garis-garis bar), dan rata-rata bergerak-5 tahun (kurva tebal) dari temperatur global (TG) (a), dan indeks aktivitas geomagnetik aa (b) selama periode waktu 1880-2004. Dari Gambar 3-1a tampak bahwa temperatur global (TG) menunjukkan kecenderungan bertambah selama lebih dari 100 tahun yang lampau, sekitar tahun 1880, artinya lingkungan Bumi menjadi lebih panas sejak tahun 1880. Juga tampak bahwa rata-rata tahunan TG menunjukkan pemanasan yang berkelanjutan sekitar $+0.45^{\circ}\text{C}$ dari 1890 ke 1940 ($+0.09^{\circ}\text{C}/\text{decade}$).

Suatu perilaku yang menarik tampak bahwa dari tahun 1910-1940, temperatur global bertambah secara tajam sekitar 0.4°C . Bersamaan dengan itu, dengan dimulainya era industri, konsentrasi gas buatan manusia (gas rumah kaca / GRK) sudah bertambah setelah tahun 1940. Oleh karena itu, kenaikan temperatur karena buatan manusia sebelum tahun

1940, tidak dapat dianggap akan menyebabkan pemanasan sekitar 0.4°C . Kemudian terjadi masa yang mendingin (periode pendinginan global) sekitar -0.22°C dari tahun 1940-1970 ($\sim -0.07^{\circ}\text{C}/\text{decade}$), diikuti oleh masa yang memanas kedua (periode pemanasan global ke dua) sekitar $+0.62^{\circ}\text{C}$ dari tahun 1975 - 2004 ($\sim +0.21^{\circ}\text{C}/\text{decade}$).



Gambar 3-1. a) Plot rata-rata tahunan temperatur global (garis-garis bar) dan rata-rata bergerak-5 tahun (kurva tebal). b) plot rata-rata tahunan indeks aktivitas geomagnetik aa (garis-garis bar) dan rata-rata bergerak-5 tahun dalam kurun waktu dari tahun 1880-2004.

Yang menarik adalah variasi TG pada tahun-tahun belakangan, bersesuaian dengan periode pemanasan global ke dua, yang terjadi dari tahun 1970 ke 2004. Pertambahan temperatur global lebih cepat dan lebih mulus dibandingkan dengan periode pemanasan global pertama yang terjadi dalam tahun (1880-1940). Tahun 2004 adalah tahun temperatur terpanas ke empat dalam rekaman selama ini. Sementara tahun terpanas pertama terjadi dalam tahun 1998 ($+0.56^{\circ}\text{C}$), temperatur terpanas ke dua dan ke tiga masing-masing terjadi dalam tahun 2002 ($+0.54^{\circ}\text{C}$) dan 2003 ($+0.52^{\circ}\text{C}$). Oleh karena itu ada kecenderungan pemanasan kuat selama 40 tahun terakhir. Harus dicatat bahwa, temperatur global dalam tahun 1998 bersamaan dengan peristiwa *ElNino* terkuat dalam abad ini. Sebaliknya menurut Lassen and Friis-Christensen (1995), rata-rata tahunan temperatur terdingin adalah $\sim -0.44^{\circ}\text{C}$ dalam tahun 1877 dan bertambah menuju tertinggi pertama dalam tahun 1998.

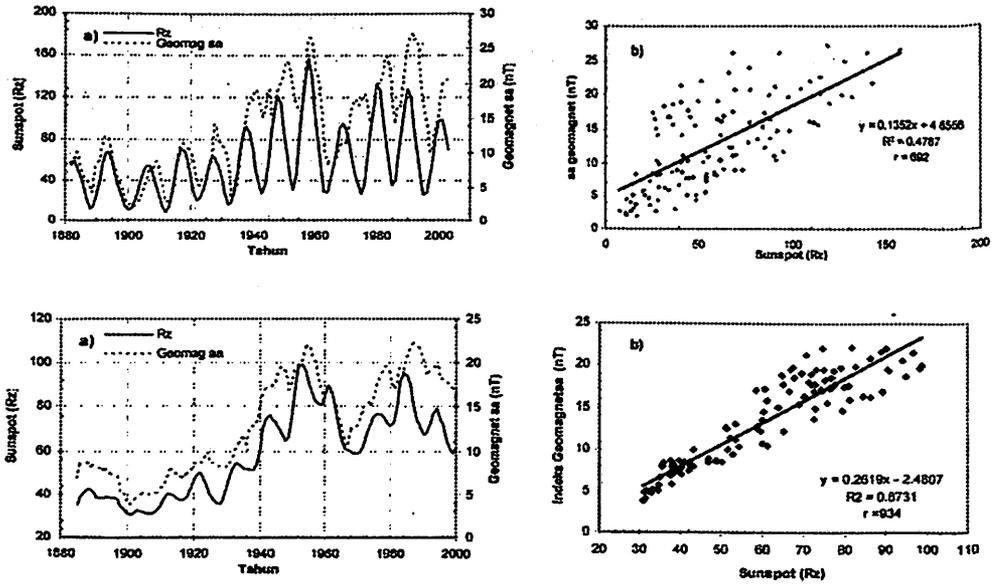
Plot rata-rata tahunan dan rata-rata bergerak-5 tahun aktivitas geomagnetik aa dalam Gambar 3-1b menunjukkan beberapa struktur yang periodik, antara garis-garis tebal

terdapat pusat untuk memisahkan data sekitar lima tahunan. Dari perbandingan antara ke dua plot dalam Gambar 3-1a dan 3-1b, diperoleh sebagai berikut:

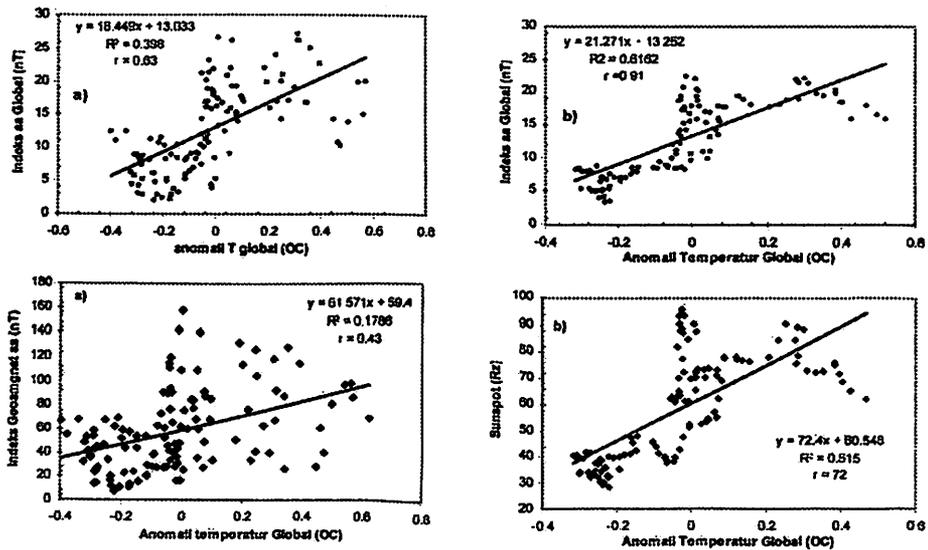
1. Selama kurun waktu tahun 1880-1940 (periode pemanasan global pertama), besarnya indeks geomagnetik adalah rendah atau sedang. Selain itu, hanya terdapat dua puncak signifikan yang terjadi dalam tahun 1892 dan 1930. Seiring dengan puncak-puncak ini, temperatur global (TG) menunjukkan pemanasan berkelanjutan sekitar $+0.19^{\circ}\text{C}$ (Gambar 3-1a), tepat setelah puncak pertama sampai tahun 1899 (Gambar 3-1b). Kemudian, temperatur bertambah kembali, puncak kedua pada tahun 1937, dan pertambahan ini terjadi setelah 6-7 tahun belakangan. Dua puncak lain terjadi masing-masing sebelum siklus matahari ke 13 (1889-1901) dan pada fase menurun siklus matahari ke 16 (1923-1933).
2. Selama kurun waktu tahun 1940-1970 (periode pendinginan global) (gambar 3-1a), rata-rata indeks geomagnetik menunjukkan fluktuasi yang besar (Gambar 3-1b). Fluktuasi indeks geomagnetik yang besar ini disebabkan oleh variasi aktivitas matahari yang besar yang terjadi pada waktu itu. Aktivitas matahari maksimum berkurang dari siklus matahari ke-11 ke siklus matahari ke-14 (1867-1913), setelah itu bertambah sampai ke siklus ke -19 (dari 1913-1964), berkurang tajam pada siklus ke-20 (1964-1976), kemudian bertambah ke tingkat moderat pada siklus-21, dan 22 (1976-1996), dan kemudian berkurang lagi dalam siklus ke-23 (1996-2004).
3. Selama kurun waktu tahun 1970-2004 (periode pemanasan global ke dua), besarnya aktivitas geomagnetik bertambah sangat besar dibandingkan dengan dua periode sebelumnya (Gambar 3-1b). Puncak tertinggi, dalam periode ini terjadi dalam tahun 1991 dan tahun terpanas terjadi dalam tahun 1998 (Gambar 3-1a), terpisah sejauh 7-tahun. Puncak tertinggi ke dua dan ke tiga masing-masing terjadi dalam tahun 1994, dan 2003. Untuk perbandingan, waktu-pemisahan (*separation-time*) diantara tahun terpanas kedua dalam tahun 2002 dan aktivitas geomagnetik terbesar ke tiga adalah terpisah sejauh 8 tahun.

3-2: Peran Aktivitas Matahari pada Temperatur Global

Aktivitas matahari mempengaruhi aktivitas geomagnetik, yang pada gilirannya mempengaruhi temperatur global (TG). Gambar 3-2 menunjukkan plot (a) dan korelasi (b) antara rata-rata bergerak-5 tahun (panel atas) dan 11-tahun (panel bawah) aktivitas geomagnetik dan bilangan sunspot (R_z). Diperoleh keterkaitan yang kuat antara aktivitas geomagnetik dan bilangan sunspot jangka panjang, dengan koefisien korelasi yang tinggi berturut-turut, $r = 0,692$ untuk rata-rata bergerak 5 tahun (b, atas), dan $r = 0,934$ untuk rata-rata bergerak -11 tahun (b, bawah). Selanjutnya Gambar 3-3 menunjukkan plot hamburan rata-rata bergerak -5 tahun (a, panel atas) dan 11-tahun (b, panel atas) dari TG dengan aktivitas geomagnetik, dan dengan bilangan sunspot (panel bawah). Diperoleh korelasi yang kuat antara indeks geomagnetik dan TG, dengan koefisien korelasi, $r = +0,63$ untuk rata-rata bergerak -5 tahun (a, atas), dan $r = +0,91$ untuk rata-rata bergerak-11 tahun (b, atas). Dengan cara yang sama, diperoleh korelasi antara rata-rata bergerak-5 tahun dari TG dan bilangan sunspot dengan $r = +0,43$ (a, bawah) dan $r = +0,71$ untuk rata-rata bergerak -11 tahun (b, bawah).



Gambar 3-2. Panel atas, plot (a) dan korelasi (b) rata-rata bergerak-5 tahun. Panel bawah, plot (a) dan korelasi (b) rata-rata bergerak-11 tahun antara aktivitas geomagnet dan bilangan sunspot (Rz) dalam selang waktu tahun (1880-2004).



Gambar 3-3. Panel atas, plot antara hamburan rata-rata bergerak -5 tahun (a), dan rata-rata bergerak -11 tahun (b) aktivitas geomagnet aa dan anomali temperatur global. Panel bawah; plot antara hamburan rata-rata bergerak -5 tahun (a), dan rata-rata bergerak -11 tahun (b)

antara bilangan sunspot dengan anomali temperatur global dalam kurun waktu tahun (1880-2004).

Dari analisis korelasi tersebut, diperoleh bahwa keterkaitan antara aktivitas geomagnet dan temperatur global mempunyai korelasi yang lebih baik dengan aktivitas geomagnet aa jika dibandingkan dengan keterkaitannya pada aktivitas bilangan sunspot. Landscheidt (2000) melaporkan bahwa TG ketinggalan waktu (*lag time*) terhadap aktivitas geomagnet aa, dan juga mendapatkan bahwa korelasi mencapai maksimum ketika TG ketinggalan waktu sekitar 6 tahun. Sejak adanya keterkaitan linier antara TG dan aktivitas geomagnet aa dan dengan bilangan sunspot (R_z), dari tahun 1901, gangguan geomagnetik matahari telah bertambah sekitar dua kali lipat, bersamaan dengan pertambahan TG (Gambar 3-1). Pertambahan anomali TG sekitar 0.32°C kemungkinan besar menjadi penyebab hampir separuh perubahan iklim global dalam periode yang sama. Disamping itu, pertambahan bilangan sunspot sekitar 6.3/decade, sejak tahun 1900, mengakibatkan pertambahan anomali TG sekitar $+0.03^\circ\text{C}$. El-Borie (2003a;b) menunjukkan bahwa pertambahan aktivitas matahari mempunyai dampak meteorologi pada hari-hari setelah letusan matahari, yang membangkitkan aliran kecepatan tinggi angin surya (*high speed solar wind streams* /HSSWS).

Untuk memperoleh korelasi yang lebih rinci, dilakukan analisis korelasi silang berjalan (*running cross-correlation*) antara aktivitas geomagnet aa dan anomali TG, dan dengan bilangan sunspot R_z . Hasil analisis korelasi silang berjalan ditunjukkan dalam Gambar 3-4. Panel kiri menunjukkan korelasi silang berjalan dengan rata-rata bergerak -3 tahun antara anomali TG dan bilangan sunspot, dan dengan indeks geomagnet aa dalam kurun waktu tahun (1868-1930), sementara dua plot berikutnya berturut-turut untuk kurun waktu (1930-1970) dan tahun (1970-2004). Keterkaitan antara TG dan bilangan sunspot R_z ditunjukkan dengan kurva garis putus-putus, sementara keterkaitan antara TG dan geomagnet aa ditunjukkan dengan kurva garis tebal. Dari analisis diperoleh bahwa.

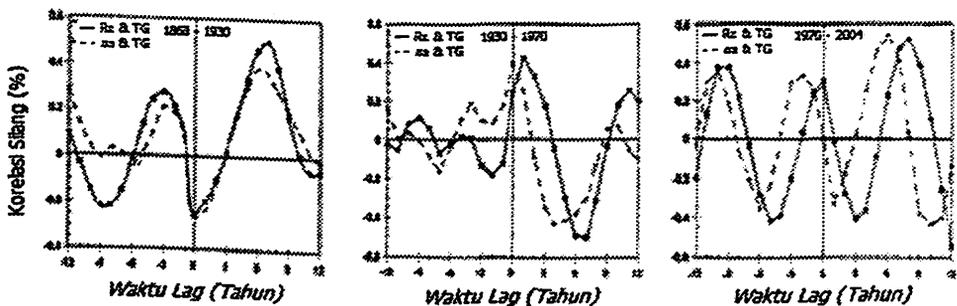
Dalam kurun waktu tahun 1868-1930, bersesuaian dengan periode pemanasan global pertama (panel kiri), puncak tertinggi terjadi pada waktu ketinggalan $\sim 6-7$ tahun dengan korelasi silang berjalan $\sim +0.5 \pm 0.05$ untuk hubungan antara aktivitas geomagnet aa dan anomali TG, dan $\sim +0.4 \pm 0.03$ antara bilangan sunspot dan anomali TG. Pada waktu ketinggalan = nol (*zero lag*), diperoleh korelasi negatif $\sim -0.25 \pm 0.03$. Keterkaitan antara TG dan aktivitas geomagnet aa dan dengan bilangan sunspot dalam kurun waktu ini berbeda dengan kekuatan tidak sama.

Dalam kurun waktu tahun 1930-1970 (panel tengah), tampak bahwa setiap korelasi mempunyai magnitudo signifikan, dan yang tertinggi terjadi pada waktu ketinggalan $\sim 0-1$ tahun. Sebaliknya, diperoleh korelasi negatif tertinggi sebesar $\sim -0.4 \pm 0.03$, bersamaan dengan waktu ketinggalan $\sim 4-7$ tahun. Kovariansi antara kedua kurva kemungkinan disebabkan oleh fakta bahwa aktivitas geomagnet aa dan bilangan sunspot terkait dengan aktivitas matahari, dan bahwa hubungan sebab-akibat (*causal*) dengan irradiansi matahari secara otomatis akan menyatakan tingkat korelasi tertentu dengan aktivitas geomagnetik.

Dalam kurun waktu tahun 1970-2005 bersesuaian dengan periode pemanasan global ke dua (panel kanan), tampak bahwa puncak TG dengan waktu ketinggalan $\sim 5-7$ tahun terhadap bilangan sunspot dan aktivitas geomagnet aa. Selain itu, kedua kurva mempunyai perilaku yang mirip (baik secara kualitatif, maupun kuantitatif) dengan waktu ketinggalan

diantara mereka ~ 1-2 tahun, yang menyatakan bahwa kedua parameter aktivitas matahari tersebut mempunyai peranan yang sangat besar terhadap temperatur global TG.

Setiap variasi TG secara parsial (~ 50%) disebabkan oleh variasi aktivitas geomagnet aa yang serupa, tetapi dengan waktu ketinggalan. Pada waktu ketinggalan ~ zero, besarnya korelasi silang berjalan adalah ($\sim 0.3 \pm 0.02$), kemudian besarnya korelasi berkurang menuju harga terendah pada waktu ketinggalan ~ 1-3 tahun. Dari ketiga plot dalam Gambar 3-4 diperoleh bahwa, selama periode pendinginan global, TG berkorelasi baik dengan aktivitas geomagnet aa dan dengan bilangan sunspot dengan waktu ketinggalan ~ 0-1 tahun, sementara selama kedua periode pemanasan global, TG menunjukkan korelasi lebih kuat pada tahun-tahun berikutnya. Temperatur global (TG) menunjukkan korelasi kuat pada waktu ketinggalan ~ nol untuk kedua plot pada periode pemanasan global (dengan korelasi silang $\pm 0.25\%$). Pada umumnya, dari plot-plot mempertunjukkan bahwa peran bilangan sunspot terhadap TG mendahului peran aktivitas geomagnet aa sekitar 1-2 tahun.

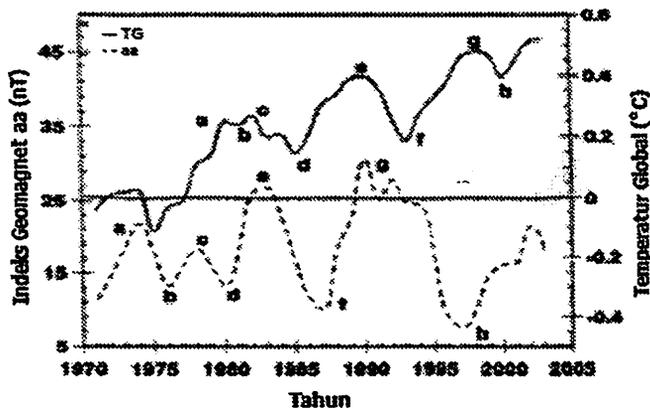


Gambar 3-4; Korelasi silang rata-rata bergerak-3 tahun antara anomali TG dan bilangan sunspot R_z dan dengan indeks geomagnet aa untuk tiga periode, yakni untuk tahun (1868-1930), (1930-1970), dan untuk tahun (1970-2004).

Sebagai tambahan, hampir semua anomali TG, secara parsial (~ 50%) disebabkan oleh variasi aktivitas geomagnet aa yang sama, dan didahului sekitar beberapa tahun. Dalam kurun waktu tahun (1970-2004), puncak bilangan sunspot dan aktivitas geomagnet aa yang terjadi dalam tahun 1989 dan 1991 dapat menjelaskan waktu ketinggalan temperatur tinggi berturut-turut yang terjadi dalam tahun 1995 dan 1998. Lagipula, tepat setelah tahun 1959 data aktivitas geomagnet aa menunjukkan suatu penurunan tajam, bersamaan dengan itu, diikuti oleh TG berkurang yang terjadi dalam tahun 1964 – 1966 (Gambar 3-1a). Di sisi lain, aktivitas geomagnet aa telah naik dengan faktor 3.2 selama periode tahun 1988-1995 (Gambar 3-1b). Secara serentak, anomali TG telah meningkat dengan 0.31°C selama periode 1995-2002. Dengan demikian, keterkaitan antara TG dan aktivitas Geomagnet aa (TG-aa) dan antara TG dan bilangan sunspot R_z (TG- R_z) mempunyai kekuatan yang tidak sama untuk semua periode yang dipilih. Hal itu dibuktikan dari hasil korelasi silang yang diperoleh, lebih tinggi antara aktivitas geomagnetik aa dan TG dibandingkan dengan korelasi antara aktivitas bilangan sunspot dan TG jangka panjang. Jadi, kemungkinan ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi temperatur global (TG).

Gambar 3-5 menunjukkan rata-rata bergerak -3 tahun aktivitas geomagnetik aa (garis putus-putus, skala di kiri) dan anomali TG (garis tebal, skala di kanan) dalam kurun waktu (1970 -2004), bersesuaian dengan periode pemanasan global kedua, dimana anomali TG dengan waktu ketinggalan ~ 5-7 tahun terhadap aktivitas geomagnet aa.

Keterkaitan antara aktivitas geomagnet aa ekstrim yang mendahului dan anomali TG ekstrim diberi label-label dengan huruf a ke h. Dari grafik dalam Gambar 3-5, diperoleh bahwa pada sisi pertama, kenaikan anomali TG secara tajam terjadi setelah tahun 1975 (garis tebal) tampak berkorelasi baik dengan kenaikan aktivitas geomagnet aa yang tajam, dengan waktu ketinggalan bervariasi antara ~5-7 tahun. Kurva aktivitas geomagnet aa mendahului kurva anomali TG. Kedua kurva dari label d ke h menunjukkan bagaimana variasi anomali TG bergantung ke pada besarnya aktivitas geomagnet aa. variasi anomali TG (berkurang atau bertambah) sekitar ($\pm 0.25^{\circ}\text{C}$) diikuti oleh variasi aktivitas geomagnet aa dengan jelas. Pada kedua titik-titik d dan e, besarnya pertambahan anomali TG adalah ~ 0.2°C , sementara laju aktivitas geomagnet aa bertambah sekitar 86%. Selain itu, dua titik e dan f menunjukkan anomali TG berkurang disebabkan oleh aktivitas geomagnet aa yang berkurang dengan waktu ketinggalan ~ 6 tahun.



Gambar 3-5; Perbandingan antara anomali temperatur global (TG) (garis tebal) dan indeks geomagnet aa (garis putus-putus) dalam selang waktu tahun (1970-2005).

Sekitar tahun 1990, aktivitas geomagnet aa menunjukkan harga tertinggi (label g). Hubungan antara aktivitas geomagnet aa dan anomali TG menunjukkan bahwa temperatur global yang bersesuaian terjadi dalam tahun 1998, dengan waktu ketinggalan ~8 tahun. Tahun 1997, indeks geomagnet aa mencapai minimum (label h), setelah itu, indeks geomagnet aa meningkat secara perlahan-lahan menuju harga sedang sampai tahun 2003. Oleh karena itu, temperatur global (TG) yang akan datang dapat diramalkan berdasarkan tingkat variasi aktivitas geomagnetik aa saat ini, dengan waktu ketinggalan ~ 6-7 tahun. Jadi, sebagai akibat kelebihan energi dari aktivitas geomagnetik aa ini dapat menyebabkan kelebihan energi matahari yang tersimpan dan terkumpul untuk beberapa tahun berikutnya dalam sistem dekat Bumi (*near-Earth sistem*). Proses-proses ini berlangsung beberapa tahun (5-7 tahun) untuk mempengaruhi temperatur global.

4. Kesimpulan

Diskusi masyarakat umum dan masyarakat ilmiah tentang pengaruh radiasi matahari pada pemanasan global masih berkelanjutan. Tingkat pengaruh buatan manusia terhadap perubahan iklim global merupakan suatu pembahasan ilmiah sangat kompleks. Jelas bahwa gas-gas buatan manusia (misalnya, konsentrasi gas karbon dioksida di atmosfer tidak pernah setinggi selama seribu tahun yang lalu seperti yang terjadi sekarang ini) adalah suatu faktor penting yang mempengaruhi temperatur permukaan Bumi, tetapi bukan satu-satunya. Pengaruh matahari, dengan variabilitas radiasi ultraviolet matahari mempengaruhi ozon di atmosfer bagian atas dan dengan demikian mendorong ke arah suatu perubahan temperatur, dan variabilitas matahari juga memodulasi sinar kosmik, yang pada gilirannya bisa mempengaruhi liputan awan dan dengan demikian mendorong ke arah suatu perubahan temperatur. Karena pola pemanasan global sekarang lebih sesuai dengan pola gas rumah kaca (GRK) dibandingkan dengan tanggapan keluaran matahari, kemungkinan bahwa salah satu faktor yang menyebabkan perubahan iklim global adalah penambahan dari konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

Variabilitas temperatur global menunjukkan suatu kecenderungan pemanasan kuat selama masa 40 tahun yang lalu. Pertambahan temperatur global (TG) untuk tahun-tahun dari 1970 ke 2004 lebih mulus dan lebih cepat dibandingkan dengan didaerah pada periode pemanasan global pertama (1868-1930). Temperatur terpanas terjadi di tahun 1998 (+ 0.56°C), sementara terpanas kedua dan terpanas ke tiga masing-masing terjadi pada tahun 2002 (+ 0.54°C) dan tahun 2003 (+ 0.52°C). Tahun 2004 adalah tahun terpanas ke empat yang pernah direkam. Sebaliknya, variasi indeks geomagnet aa terkuat terjadi 6-7 tahun lebih awal dari TG.

Rata-rata tahunan temperatur global menunjukkan pemanasan berkelanjutan sekitar + 0.09°C/decade untuk periode tahun 1890-1940. Kemudian, terjadi suatu masa yang mendingin (periode pendinginan global), ~ - 0.07°C/decade selama periode 1940-1970, diikuti oleh suatu masa yang memanaskan ke dua (pemanasan global kedua) dengan ~ + 0.21°C/decade dari 1975 ke 2004. Dalam kurun waktu tahun 1930-1970, temperatur global (TG) berkorelasi baik dengan indeks geomagnet aa dan dengan bilangan sunspot Rz pada waktu ketinggalan ~ 0-1 tahun, sedangkan selama dua periode pemanasan global (pemanasan global pertama tahun 1868-1930, dan pemanasan global ke dua dalam tahun 1970-2005), temperatur global menunjukkan korelasi yang kuat dengan indeks geomagnet aa dan dengan bilangan sunspot Rz pada tahun-tahun terakhir. Hampir semua variasi anomali TG tampak secara parsial (~ 50 %) disebabkan oleh variasi yang sama, dimana parameter aktivitas geomagnet aa mendahului beberapa tahun. Dalam kurun waktu 1970-2005, puncak-puncak bilangan sunspot dan aktivitas geomagnet aa pada tahun-tahun 1989 dan 1991 dapat menjelaskan temperatur global tinggi yang terjadi masing-masing dalam tahun 1995 dan 1998.

Aktivitas geomagnet aa ekstrim yang mendahului dan temperatur ekstrim yang mengikuti berkorelasi baik, dimana kurva aktivitas geomagnet aa mendahului temperatur global ~ 5-7 tahun. Ini menunjukkan variasi temperatur global bergantung kepada besarnya aktivitas geomagnet aa. Perubahan temperatur global masa mendatang bisa secara parsial

diramalkan dengan data indeks geomagnet masa kini. Kelebihan energi aktivitas geomagnet dapat menyebabkan kelebihan energi matahari yang tersimpan dan terkumpul untuk selama beberapa tahun dalam sistem dekat-Bumi, bisa menyebabkan variabilitas temperatur global.

Daftar Pustaka

- Belov AV, Dorman LI, Guchchina RT, Obridko VN, Sheeting BD, Yanke VG, 2005, *Prediction of expected global climate change by forecasting of galactic cosmic ray intensity time variation in near future based on solar magnetic field data*. Adv. Space Res. 35: 491.
- El-Borie MA, 2001a, *North-South asymmetry of interplanetary plasma and solar parameters*, Il Nuovo Cimento, 24C: 843.
- El-Borie MA, 2001b, *Galactic cosmic ray modulations for four solar activity cycles*. Proc. 27 Inter. Cosmic Ray Confer. 9: 3780.
- El-Borie MA, 2003a, *Major-Energetic particle fluxes: I. Comparison with the associated ground level enhancements of cosmic rays*. Astropart. Phys. 19: 549.
- El-Borie MA, 2003b, *Major-Energetic particle fluxes: II. Comparison of the interplanetary Between the three largest high energy peak flux events 19-20/10/89, 14/7/00, and 9/11/00*. Astropart. Phys. 19: 667.
- Feynman J., 1982, *Geomagnetic and solar wind cycles 1900-1975*, J. Geophys. Res. 87: 6153.
- Kane RP., 1997, *Quasi-biennial and quasi-triennial oscillation in geomagnetic activity indices*, Ann. Geophys. 15: 1581.
- Kristjánsson JE, Staple A., 2002. *Kristiansen J: A new look at possible connections between solar activity, clouds and climate*. Geophys. Res. Lett. 29: 2107.
- Kristjánsson JE., 2000, *Kristiansen J: Is there a cosmic ray signal in recent variations in global cloudiness and cloud radiative forcing?* J. Geophys. Res. 105: 11851.
- Landscheidt T., 2000, *Solar wind near Earth: indicator of variations in global temperature*, Proceedings of the 1st Solar & Space Weather Euro conference, 'The solar Cycle and Terrestrial Climate', Tenerife, Spain: 463.
- Lassen K, Friis-Christensen E., 1995, *Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate*. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 57: 835.
- Lassen K, Friis-Christensen E., 2000, *Reply the article "Solar cycle lengths and climate: A reference revisited" by P Laut, J. Gudemann, J. Geophys. Res. 105: 7493*.
- Lockwood R, Stamper R, Wild MN., 1999, *A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the past 100 years*. Nature. 399: 437.
- Marsh ND, Svensmark H., 2000a, *Low cloud properties influenced by cosmic rays*, Phys. Rev. Lett. 85: 5004
- Marsh ND, Svensmark H., 2000b. *Cosmic rays, clouds, and climate*. Space Sci. Rev. 94: 215.

- Rohmstorf S, Archer D, Ebel DS, Eugster O, Jouzel J, Maraun D, Neu U, Schmidt GA, Severinghaus J, Weaver AJ, Zachos J., 2004, *Cosmic rays, carbon dioxide, and climate*, EOS. 85(4).
- Shaviv N, Veizer J., 2003, *Celestial driver of phanerozoic climate?* GSA Today, 13: 4.
- Svensmark H, Friis-Christensen E., 1997, *Variation of cosmic ray flux and cloud coverage: a missing link in solar-climate relationships*, J. Atmo. Solar-Terr. Phys. 59: 1225.
- Svensmark H., 1998, *Influence of cosmic rays on Earth's climate*, Phys. Rev. Lett., 22: 5027.
- Thejll P, Lassen K., 2000, *Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data*. J. Atmo. Solar-Terr. Phys. 62: 1207.