

SIMULASI PEMANASAN GLOBAL AKIBAT PENINGKATAN AKTIVITAS MATAHARI

Suaydhi

*Bidang Matahari dan Lingkungan Antariksa
Puslitbang Pengetahuan Atmosfer LAPAN*

Ringkasan

Salah satu cara yang paling mudah untuk mempelajari dampak perubahan iklim adalah melakukan simulasi perubahan iklim menggunakan model iklim global (GCM). Dalam paper ini dibahas dampak peningkatan aktivitas matahari, yang diwakili dengan meningkatkan harga konstanta matahari sebesar 1% dari harga sekarang, terhadap temperatur permukaan global. Akibat berbagai mekanisme umpan-balik, maka perubahan temperatur yang terjadipun sangat bervariasi.

Abstract

One of the easiest way to study the impact of climatic change is making a climatic change simulation using a global climatic model (GCM). This paper discuss the impact of solar activity, represented by 1% increase of solar constant against the global surface temperature. Due to various feed-back mechanisms the temperature changes obtained have many variations.

1. Pendahuluan

Penelitian tentang iklim global pada keadaan sebenarnya sangat sulit untuk dilakukan. Hal ini disebabkan perubahan iklim baru terlihat atau terasa dampaknya dalam jangka waktu yang lama (puluhan tahun ataupun lebih). Selain itu masalah iklim juga merupakan masalah yang sangat kompleks. Sistem iklim meliputi atmosfer, lautan, permukaan daratan, kriosfer, dan biosfer (Watterson, 1993). Semua proses dalam komponen-komponen iklim tersebut dan interaksinya menambah rumitnya permasalahan iklim.

Untuk mempermudah penelitian iklim global, maka para ilmuwan iklim membuat suatu model iklim global. Dengan model ini para ilmuwan mencoba memahami sistem iklim, sekaligus memperbaiki model iklim yang telah dibuatnya. Dengan model iklim para ilmuwan dapat dengan mudah dan dalam waktu yang sangat singkat melakukan simulasi keadaan iklim sekarang dan memprediksi perubahan iklim pada masa mendatang.

2. Model Iklim Global

Model iklim global atau model sirkulasi umum atmosfer melakukan perhitungan pada variabel-variabel iklim (temperatur, tekanan, curah hujan, kelembaban, angin, dan awan) berdasarkan pada pemahaman yang ada sekarang. Model-model iklim didasarkan atas proses-proses fisis dan persamaan-persamaan yang ada di dalamnya diberlakukan secara umum pada jangkauan variasi yang luas (Pittock, 1993). Tidak semua proses dalam sistem iklim diperhitungkan secara eksplisit dalam model ini. Beberapa proses diabaikan, karena tidak begitu penting atau terlalu sulit untuk dimasukkan ke dalam model.

Banyak model iklim global telah dibuat, namun tak satupun yang bisa dianggap terbaik. Pembuatan model iklim global dapat menggunakan teknik, skema, atau

parameterisasi yang berbeda-beda. Beberapa model bisa mensimulasikan iklim global dan regional dengan baik, sementara yang lainnya baik dalam mensimulasikan radiasi. Jadi tiap model mempunyai keunggulan dan kelemahan masing-masing.

Penggunaan resolusi baik vertikal maupun horizontal berbeda-beda untuk tiap model, dari resolusi rendah sampai ke resolusi sangat tinggi. Resolusi tinggi memang diharapkan, tetapi peningkatan resolusi dalam model memerlukan teori dan pemahaman fisis yang lebih baik dan perhitungan yang lebih terperinci, selain memerlukan perangkat komputer yang berkemampuan lebih tinggi. Oleh karena itu resolusi yang tinggi belum merupakan jaminan bahwa keluaran yang dihasilkan suatu model lebih baik dari model lain yang mempunyai resolusi yang lebih rendah. Seiring dengan perkembangan pengetahuan tentang atmosfer dan kemajuan teknologi komputer, maka model-model iklim global terus dikembangkan ke resolusi yang lebih tinggi.

3. Simulasi Perubahan Iklim Global Akibat Variabilitas Matahari

Simulasi ini menggunakan model iklim global dari CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), Australia. Model yang digunakan ini mempunyai vertikal 9 lapisan, sehingga dikenal sebagai CSIRO9. Model CSIRO9 dirancang dalam bentuk umum yang dapat digunakan pada berbagai macam komputer, termasuk Cray, Fujitsu, atau Silicon Graphics, dan dapat dijalankan dalam 3 resolusi: R21, R42, dan T63.

3.1 Deskripsi Model

CSIRO9 merupakan model spektral. Resolusi Horizontal diset pada *rhomboidal wave truncation at 21*, atau singkatnya R21, yang menghasilkan grid efektif sebesar 3.2° U-S dan 5.6° T-B (McGregor et al., 1993). Persamaan-persamaan dinamika dan fisika diselesaikan di setiap titik grid untuk selang waktu (*time step*). Persamaan-persamaan tersebut menggambarkan gerakan, sumber (*source*), dan sungap atau tempat-tempat lenyapnya (*sink*) berbagai besaran fisis, termasuk panas, uap air, dan gas-gas telusur (*trace gases*).

Dalam model CSIRO9 digunakan model *mixed layer ocean* (MLO) sebagai buffer antara titik grid lautan dengan titik grid es. Titik grid lautan mengambil temperatur dari data SST, sedangkan titik grid es mengambil temperatur air laut di bawah laut es, yaitu pada titik beku air laut. Karena yang diperhitungkan hanya sampai kedalaman beberapa puluh meter di bawah permukaan air laut, maka model MLO ini juga dikenal sebagai *model slab ocean*. Model slab ocean atau MLO ini pertama diperhitungkan untuk kedalaman 50 m, namun kini telah dikembangkan sampai kedalaman 150 m.

Parameterisasi radiasi yang digunakan diadopsi dari kode radiasi yang dikembangkan GFDL untuk versi vektor. Pada setiap titik grid dihitung pemanasan radiasi netto untuk setiap lapisan atmosfer, energi radiasi yang diserap oleh permukaan bumi dan berbagai diagnostik fluks gelombang pendek dan gelombang panjang, termasuk yang menentukan forcing radiasi awan. Kuantitas ini bergantung pada masukan fluks matahari pada permukaan atas atmosfer, temperatur atmosfer, dan temperatur permukaan, albedo permukaan, kerapatan dan sifat radiasi lapisan awan, serta konsentrasi uap air, ozon dan karbon dioksida. Konstanta matahari yang

digunakan adalah 1367 Wm^{-2} . Konsentrasi ozon dibagi sebagai fungsi lintang, tekanan dan musim. Konsentrasi karbondioksida diasumsikan konstan pada harga 330 ppmv. Penjelasan lebih lanjut tentang model CSIRO9 dapat dilihat pada McGregor et al. (1993).

3.2 Prosedur Simulasi

Waktu menjalankan model untuk pertama kalinya, model diberi input data temperatur permukaan laut (SST) klimatologi satu tahun yang merupakan data rata-rata selama 30 tahun. Model dipaksa menggunakan data SST yang sama selama beberapa tahun, sehingga model yang akan digunakan untuk simulasi sudah menyesuaikan dengan keadaan iklim rata-rata. Penjalanan (*running*) model seperti ini disebut *climatological run*.

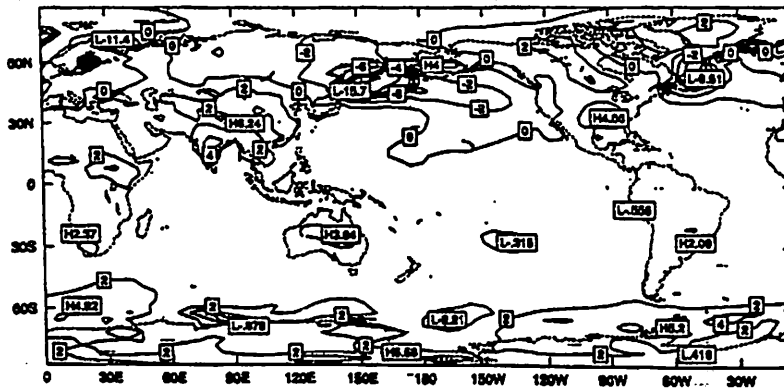
Setelah climatological run selesai, model dijalankan lagi beberapa tahun dengan SST yang dihasilkan dari perhitungan yang ada dalam model itu sendiri. Selama beberapa tahun keluaran model akan berfluktuasi, sebelum akhirnya mencapai keadaan stabil dan mempunyai variasi yang relatif kecil. Perjalanan model ini disebut *control run*, karena model mengikuti inputnya sendiri. Keluaran model dari control run ini yang digunakan sebagai faktor pembanding untuk berbagai simulasi perubahan iklim, karena variasi keluaran yang dihasilkan dianggap menyerupai variasi iklim dari waktu ke waktu.

Untuk menjalankan simulasi kenaikan konstanta matahari (yang dipakai sebagai indikator besarnya aktivitas matahari), ada satu subrutin tersendiri yang khusus menangani masalah ini. Harga konstanta matahari yang tercantum dalam subrutin tersebut tinggal diubah sesuai dengan simulasi yang akan dilakukan, dalam hal ini harga konstanta matahari dinaikkan 1% langsung (artinya tidak secara bertahap untuk jangka waktu tertentu). Subrutin ini beserta program utamanya kemudian dikompilasi ulang dan model langsung dijalankan selama jangka waktu yang telah ditetapkan (misalnya 12 tahun).

3.3 Hasil Simulasi

Simulasi ini hanya dilakukan untuk jangka 12 tahun karena terbatasnya waktu penggunaan komputer. Dalam simulasi ini yang digunakan adalah komputer Silicon Graphics tipe Challenge dengan 8 prosesor yang ada di CSIRO, Melbourne (Australia). Model ini dapat dijalankan secara paralel menggunakan semua 8 prosesor, karena telah dirancang sedemikian rupa sehingga beberapa subrutin dari model tersebut bisa dikerjakan pada prosesor-prosesor yang tersedia.

Gambar 1 menunjukkan hasil simulasi perubahan temperatur global untuk menaikkan konstanta matahari sebesar 1%. Beberapa wilayah seperti daerah Balkan dan di Samudra Pasifik bagian tengah sekitar kepulauan Hawaii tidak mengalami perubahan temperatur. Sedangkan beberapa wilayah lain mengalami penurunan dan kenaikan temperatur sangat besar. Secara umum temperatur di atas daratan mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan, sebab daratan lebih cepat menyesuaikan diri dengan perubahan radiasi yang diterimanya daripada lautan. Sebagian besar temperatur di atas lautan mengalami penurunan temperatur, kecuali wilayah di atas lautan sekitar Antartika dan di Laut Bering. Sedangkan secara global terjadi kenaikan temperatur rata-rata sebesar 0.6°C .



Gambar 1. Perubahan temperatur permukaan akibat kenaikan aktivitas matahari (yang diwakili oleh naiknya harga konstanta matahari sebesar 1%).

4. Pembahasan

Radiasi matahari merupakan faktor fundamental dalam hubungannya dengan iklim bumi. Beberapa pendapat telah menunjukkan adanya kemungkinan hubungan antara perubahan iklim yang teramati dengan perubahan aktivitas matahari. Eddy (1976) dalam telaahnya tentang variasi matahari jangka panjang menunjuk bahwa bersamaan dengan masa Maunder minimum dalam aktivitas matahari terjadi pula masa paling dingin pada milenium sekarang yang disebut dengan "Zaman Es Kecil". Demikian pula dengan meningkatnya aktivitas matahari pada abad pertengahan (*Medieval Maximum*) bersamaan waktunya dengan temperatur regional yang lebih tinggi pada *Medieval Climatic Optimum* abad ke-12 (Eddy, 1977).

Studi pengamatan yang menghubungkan secara langsung variabilitas matahari dan bumi yang terukur perlu mencakup skala waktu dekadal (puluhan tahun). Akan tetapi, untuk perubahan dengan skala waktu ratusan tahun tipe dan ketelitian pengukuran fisis yang langsung akan terbatas. Dalam skala waktu ratusan tahun, Reid (1991) telah menunjukkan adanya korelasi antara temperatur permukaan laut (SST) dengan aktivitas matahari yang diwakili oleh sunspot. Sedangkan Friis-Christensen dan Lassen (1991) menggunakan variasi panjang siklus sunspot sebagai pengukur aktivitas matahari dan menunjukkan adanya kemiripan dengan variasi jangka panjang setelah temperatur udara di belahan bumi selatan dimasukkan, tetapi ada sedikit pergeseran fasa ketika temperatur permukaan juga dimasukkan (Friis-Christensen dan Lassen, 1993).

Meskipun aktivitas matahari sudah dikaitkan dengan perubahan iklim di bumi, namun besarnya variasi aktivitas matahari itu sendiri belum dapat dipastikan. Berbagai teori dan interpretasi dari pengamatan menghasilkan pendapat yang berbeda-beda. Variasi aktivitas matahari dari aktivitas fotosferik berkisar 0.1% (Foukal and Lean, 1989). Variasi luminositas matahari yang lebih besar dapat dihasilkan dari perubahan matahari secara global, tidak hanya yang terkait dengan

sunspot di fotosfer dan *faculae*. Berdasarkan pengamatan historis pada perubahan dalam diameter matahari, Nesme Ribes et al. (1993) mengisyaratkan bahwa iradiansi total berkurang rata-rata 0.4% (dan mungkin sebanyak 1%) selama berlangsungnya Maunder Minimum sebagai akibat perubahan sirkulasi meridional dalam zona konveksi matahari. Berdasarkan hasil perbandingannya dengan temperatur permukaan laut, Reid (1987, 1991) mengisyaratkan bahwa iradiansi matahari mungkin bervariasi sekitar 0.6% dari 1910 sampai 1960, sefasa dengan siklus 80-90 tahun (periode Gleisberg).

Masalah utama dalam penelitian hubungan matahari bumi adalah belum jelasnya mekanisme fisis untuk menerangkan hasil-hasil penemuan dari berbagai penelitian yang telah banyak dilakukan. Aktivitas matahari telah dibuktikan dari berbagai penyelidikan mengalami perubahan. Perubahan yang dialami oleh sumber utama energi bumi tentu akan mempengaruhi keadaan iklim bumi.

Hasil simulasi ini menunjukkan adanya perubahan temperatur permukaan yang sangat bervariasi. Di daerah kutub, kenaikan temperatur dapat disebabkan oleh kenaikan pemanasan yang menaikkan kandungan uap air atmosfer. Efek rumah kaca dari kenaikan ini secara tak langsung menaikkan temperatur permukaan. Akibatnya sebagian lapisan es akan mencair dan temperatur permukaannya akan mencapai titik kesetimbangan baru. Hal yang serupa juga akan terjadi di pegunungan Himalaya yang mengalami kenaikan temperatur secara tajam.

Memang sangat sulit untuk menjelaskan mengapa perubahan temperatur yang terjadi tidak berlangsung sistematis. Salah satu mekanisme yang dapat dipakai untuk menjelaskan hal tersebut adalah arus laut. Di sebelah utara Jepang, misalnya, terjadi penurunan temperatur yang sangat tajam. Fenomena ini mungkin terjadi karena adanya arus Oyashio yang merupakan arus dingin dari daerah kutub. Arus Kuroshio yang bersifat panas mungkin menyebabkan naiknya temperatur di Selat Bering, tetapi dalam lintasan arus Kurishio terdapat daerah yang mengalami penurunan temperatur. Hal ini bisa terjadi jika ada upwelling, air dari bawah naik ke permukaan untuk mengisi kekosongan karena berpindah ke selat Bering. Pantai Peru yang masih termasuk daerah tropis mengalami penurunan temperatur meskipun agak kecil. Arus Peru yang bersifat dingin mengalir dari daerah Antartika menuju pantai Peru, sehingga menyebabkan penurunan temperatur. Demikian juga daerah sebelah timur Labrador mengalami penurunan temperatur yang tajam, karena mendapat arus dingin dari kutub utara.

5. Kesimpulan

Peningkatan harga konstanta matahari sebesar 1% yang digunakan dalam simulasi perubahan iklim ini cukup realistis. Perubahan sebesar itu dalam aktivitas matahari bisa terjadi dalam siklus aktivitas matahari yang lebih panjang, meskipun berapa besarnya variasi aktivitas matahari sampai saat ini masih dalam perdebatan.

Kenaikan aktivitas matahari berdampak pada naiknya temperatur permukaan bumi. Temperatur di daratan rata-rata meningkat beberapa derajat, sedangkan di atas lautan rata-rata terjadi penurunan temperatur. Hal ini mungkin disebabkan tidak digunakan model lautan penuh yang berinteraksi dengan daratan dan atmosfer.

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melihat hasil simulasi ini. Perubahan harga yang dilakukan dengan tetap dalam simulasi ini mempunyai pengaruh yang cukup berarti, sebab lautan yang mempunyai inersia panas yang besar sangat berperan dalam perubahan iklim jangka panjang. Masalah ini terkait dengan

tidak digunakannya model sirkulasi umum lautan (model lautan penuh). Selain itu di dalam model tidak diperhitungkan umpan-balik yang terkait dengan modulasi lapisan ozon dan efek dinamika yang berhubungan dengan QBO.

Simulasi ini tidak dapat dilakukan untuk jangka panjang sehingga sistem iklim mencapai keadaan kesetimbangan, karena terbatasnya waktu. Namun demikian hasil singkat dari simulasi ini setidaknya dapat memberikan gambaran tentang apa yang bisa dilakukan dengan sebuah iklim global, misalnya pengkajian perubahan iklim global akibat perubahan aktivitas matahari.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada CSIRO yang telah mengizinkan penggunaan komputer Silicon Graphics, terutama kepada Dr. I.N. Smith yang telah membantu penulis sehingga dapat menggunakan seluruh 8 prosesor secara paralel yang ada pada komputer Silicon Graphics dalam simulasi ini.

Daftar Pustaka

- Eddy, J.A. 1976, "The Maunder Minimum", *Science* **192**, hal. 1189-1202
- Eddy, J.A. 1977, "Historical Evidence for the Existence of the Solar Cycle", dalam *The Solar Output and Its Variation*, O.R.White (ed.), Colorado Associated University Press, hal. 51-71
- Foukal, P., and J. Lean 1989, "An Empirical Model of Total Solar Irradiance Variation between 1874 and 1988", *Science* **247**, hal. 556-558.
- Fowler, A.M., and K.J Hennessy 1995, "Potential impacts of Global warming on the Frequency and Magnitude of heavy precipitation", *Natural Hazard* **11**, hal 283-303.
- Friis-Christensen, E., and K. Lassen 1991, "Length of the Solar Cycle : An Indicator of Solar Activity closely associated with climate", *Science* **254**, hal. 698-700.
- Friis-Cristensen, E., and K. Lassen 1993, "Two and a half centuries of Solar activity variations and a Possible Association with Global Temperature", Danish Meteorological Institute Scientific Report, 93-4.
- McGregor, J.L., H.B.Gordon, I.G.Watson, M.R.Dix, and L.D. Rotstayn 1993, "The CSIRO9-level Atmospheric General Circulation Model", CSIRO Division of Atmospheric Level Research Technical Paper No.26, Australia.
- Nesme-Ribes, E, E.N. Ferreira, R, Sadourny, H. Le Truet, and Z.X.Li., "Solar Dynamics and its impact on Solar Irradiance and Terrestrial climate", *J.Geophys.Res.* **98**, hal. 18.923 - 18.935.
- Pittock, A.B. 1993, "Climate Scenario Development" dalam *Modelling change in Environmental*, A.J. Jakeman, M.B.Beck, dan M.J. McAleer (eds), John Wiley & Sons Ltd., hal. 481-503.
- Reid, G.C. 1991, "Solar Total Irradiance Variations and the Global Sea Surface Temperature Record", *J.Geophys.Res.* **96** (D2), hal.2835-2844.
- Watson, I.G. 1993, "Global Climate Modelling" dalam *Modelling Change in Environmental*, A.J. Jakeman, M.B. Beck, dan M.J. McAleer (eds), John Wiley & Sons Ltd., hal 343-366.