

# Penggunaan Model Simulasi Atmosfer Sebagai Alat Pembelajaran Dalam Pendidikan

**Didi Satiadi & Dadang Subarna**  
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Jl. Dr. Junjuran 133, Bandung 40173  
e-mail [satiadi@bdg.lapan.go.id](mailto:satiadi@bdg.lapan.go.id)

## INTISARI

Pemanasan global dan perubahan iklim sudah merupakan realita yang tak mungkin dihindari oleh umat manusia. Untuk itu diperlukan alat pembelajaran untuk memahami kedua fenomena tersebut bagi para siswa, mahasiswa, pendidik ataupun para praktisi dan pemerhati lingkungan. Untuk mensimulasikan pemanasan global dan perubahan iklim dengan akurat harus dibangun sebuah model dengan sistem iklim yang lengkap meliputi daratan, lautan, biosfer, atmosfer dan kriosfer (lapisan es). Semua komponen sistem iklim ini saling berinteraksi dan menghasilkan umpan balik yang menentukan bagaimana kondisi iklim pada masa lalu, sekarang dan yang akan datang. Model iklim digunakan untuk membantu pembelajaran dalam memahami simulasi iklim yang tak mungkin dilakukan secara realita. Model juga dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian ekstrim. Kegunaan lain dari model iklim adalah untuk melihat kemungkinan perubahan-perubahan iklim di masa mendatang akibat kenaikan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub>.

Globa Circulation Model (GCM) CSIRO9 adalah model iklim global yang digunakan LAPAN dengan resolusi vertikal 9 level dan resolusi horizontal 56x64 grid dimana luas setiap grid 3.2x5.6. Untuk mengetahui dampak secara regional, LAPAN juga menggunakan model iklim area terbatas, yaitu DARLAM dimana model ini mampu menghitung perubahan iklim skala grid lebih kecil sekitar 25 km. Dalam makalah ini hasil simulasi model iklim global maupun area terbatas pada skenario kenaikan CO<sub>2</sub> dua kali lipat akan dibahas, terutama dalam membantu pemahaman siswa dalam dunia pendidikan. Dampak kenaikan CO<sub>2</sub> dua kali lipat pada temperatur global dan regional khususnya wilayah Indonesia akan dibahas secara lebih rinci.

**Kata Kunci:** Model atmosfer, pemanasan global, perubahan iklim, simulasi, prediksi.

## Pendahuluan

Sebuah model merupakan representasi (biasanya lebih sederhana) dari suatu obyek atau proses yang ada atau terjadi di alam yang sesungguhnya. Ada dua jenis model, yaitu model fisik dan model matematik/numerik. Sebuah model fisik merepresentasikan alam dalam suatu bentuk fisik yang lebih sederhana, lebih kecil, atau lebih besar. Contoh dari model-model fisik ini misalnya miniatur sebuah gedung yang akan dibangun, alat peraga dari sebuah molekul, model dari cara kerja sebuah mesin, dan sebagainya. Sedangkan sebuah model matematik/numerik merepresentasikan alam dalam suatu bentuk persamaan-persamaan matematika dengan penyederhanaan-penyederhanaan yang

menggambarkan perilaku dari alam yang sesungguhnya melalui variabel-variabel tertentu. Dengan demikian, sebuah model dapat berbentuk sebagai obyek fisik, gambar, grafik, persamaan matematika, ataupun perangkat lunak yang dijalankan dengan bantuan komputer.

Sebuah model dibangun dengan berbagai alasan, misalnya:

- Fenomena alam yang akan dikaji merupakan suatu sistem yang sangat kompleks sehingga sulit untuk dianalisa.
- Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan terhadap alam yang sesungguhnya menjadi terlalu mahal.
- Resiko dari melakukan percobaan terhadap alam yang sesungguhnya menjadi terlalu berbahaya.
- Melakukan percobaan terhadap alam yang sesungguhnya secara teknis tidak memungkinkan.

Dengan demikian, penggunaan sebuah model memberikan keuntungan-keuntungan karena merupakan pendekatan yang lebih murah, lebih aman, dan lebih mudah. Selain itu, dengan menggunakan sebuah model, kita dapat melakukan suatu simulasi dan diagnosa dimana beberapa komponen dari model dapat dihidupkan, dimatikan atau diubah untuk mengetahui dan memahami akibat-akibat yang ditimbulkan. Hal ini sangat berguna dalam mempelajari cara kerja atau mekanisme dari sebuah sistem yang kompleks. Selain itu, dengan menggunakan sebuah model, kita dapat melakukan prediksi ke depan mengenai kondisi sistem di masa mendatang. Hal ini tidak mungkin dilakukan hanya dengan mengandalkan kegiatan observasi yang hanya berlangsung hingga saat ini. Namun, sebelum dapat digunakan sebagai alat untuk simulasi maupun prediksi, sebuah model harus terlebih dahulu melalui proses uji verifikasi dan validasi. Verifikasi dan validasi merupakan proses untuk meyakinkan bahwa sebuah model merupakan representasi yang cukup baik dari alam yang sesungguhnya.

Sebuah model atmosfer merupakan kumpulan dari persamaan-persamaan matematika yang menggambarkan atmosfer yang sesungguhnya melalui variabel-variabel atmosfer. Ada dua jenis model atmosfer, yaitu model statistika dan model dinamika. Dalam model statistika, kondisi atmosfer pada suatu saat dihitung

berdasarkan perilaku dari data-data sebelumnya (sejarah). Dengan demikian, model-model statistika sangat bergantung dari ketersediaan data sejarah dan kurang dapat menggambarkan hubungan ruang-waktu antara variabel-variabel atmosfer. Dalam model dinamika, sejumlah persamaan fisika yang menggambarkan keadaan dan proses-proses dalam atmosfer diselesaikan dalam grid ruang dan waktu. Model-model seperti ini dapat menggambarkan dinamika atmosfer, tetapi bergantung pada penyederhanaan-penyederhanaan, kondisi awal dan asimilasi data untuk mengatasi sistem atmosfer yang bersifat chaotic.

Dalam penggunaannya, ada dua jenis model atmosfer, yaitu model cuaca dan model iklim. Model cuaca menghitung kondisi atmosfer yang digambarkan oleh variabel-variabel atmosfer pada suatu saat di suatu wilayah misalnya sebuah kota. Model cuaca sangat bergantung dari input kondisi awal, kondisi skala global, dan membutuhkan resolusi grid yang tinggi untuk menghitung kondisi cuaca secara akurat. Sedangkan model iklim menghitung kondisi rata-rata atmosfer dalam suatu wilayah yang lebih luas dan untuk jangka waktu yang lebih panjang.

Di dalam makalah ini, sebuah model sirkulasi umum (GCM) dan model area terbatas (LAM) akan digunakan sebagai alat simulasi pemanasan global dan perubahan iklim.

### **Latar Belakang Teori**

Atmosfer merupakan udara yang menyelimuti bumi dan memberi kehangatan melalui apa yang disebut sebagai efek rumah kaca. Efek ini sangat penting bagi seluruh kehidupan di muka bumi karena tanpa efek ini permukaan bumi akan terlalu dingin untuk dihuni. Komposisi atmosfer terdiri dari sekitar 70% nitrogen, 20% oksigen, 5% karbon dioksida dan gas-gas lain. Gas-gas ini terutama CO<sub>2</sub> bersifat menerima dan menyimpan radiasi gelombang pendek berupa panas dari permukaan bumi.

Atmosfer menerima energi terutama dari radiasi matahari. Karena atmosfer bersifat transparan terhadap radiasi gelombang pendek dari matahari, maka sebagian besar dari energi tersebut diserap langsung oleh permukaan bumi,

dan sebagian dipantulkan kembali ke ruang angkasa. Sebaliknya, karena atmosfer bersifat opaque terhadap radiasi gelombang pendek dari permukaan bumi, maka sebagian besar energi yang dipancarkan permukaan bumi diserap kembali oleh atmosfer dan menciptakan efek rumah kaca.

Sejak revolusi industri di tahun 1900, terjadi peningkatan CO<sub>2</sub> di dalam atmosfer yang merupakan gas rumah kaca. Hal ini menimbulkan kenaikan suhu rata-rata atmosfer bumi yang dikenal dengan istilah global warming. Global warming dapat menyebabkan perubahan iklim akibat dari mencairnya es di kutub, kenaikan tinggi permukaan laut, berpindahnya air dari permukaan ke atmosfer, menyebabkan iklim ekstrim dan sebagainya.

### **Data dan Metoda**

Model sirkulasi global yang digunakan dalam penelitian ini dikembangkan oleh badan pemerintah Australia, dan diberi nama GCM CSIRO9 Mark 2 (Global Circulation Model – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – Versi 2), yang terdiri dari 9 tingkat dalam arah vertikal.

Model GCM CSIRO9 menjalankan integrasi ke depan dalam waktu dari persamaan-persamaan primitif yang menggambarkan gerakan dari atmosfer global. Persamaan-persamaan tersebut menggambarkan gerakan, sumber-sumber (source) dan tempat-tempat lenyapnya (sink) berbagai besaran fisis, termasuk panas, uap air dan gas-gas telusur (trace gases). Model ini mensimulasikan sejumlah proses-proses fisika termasuk radiasi dan presipitasi yang menjadi penggerak dari persamaan-persamaan dinamika. Model ini ditujukan untuk simulasi iklim secara umum sehingga menggambarkan siklus tahunan dan harian. Kondisi batas bawah atmosfer ditentukan oleh skema interaktif permukaan daratan, tetapi suhu permukaan laut ditentukan di dalam model versi ini. Semua variabel utama yang lain seperti jumlah awan, salju, laut-es dihitung sendiri.

Model ini menggunakan bentuk “flux” dari persamaan-persamaan dinamika daripada bentuk “advectif”. Formulasi fluks meyakinkan bahwa konservasi massa dan energi dapat dicapai dengan cepat. Konservasi ini sangat

penting dalam AGCM yang digunakan untuk integrasi banyak-tahun yang dibutuhkan dalam penelitian-penelitian iklim.

Model ini telah digunakan untuk menghitung transport panas di laut yang diperlukan untuk dapat menghitung suhu laut dengan model slab laut daripada menggunakan suhu yang tetap. Penggunaan “lapisan-campuran” laut yang sederhana ini mengizinkan kondisi batas yang meliputi permukaan daratan, permukaan es kutub, dan sekarang laut untuk dapat ditentukan sendiri. Dalam model slab ini arus laut belum diperhitungkan, sehingga perlu ada koreksi yang disebut sebagai Q-flux correction.

Model ini menggunakan koordinat sigma pada arah vertikal. Interval antara tingkat ketinggian tidak harus seragam. Variabel-variabel prognostik ditulis dalam bentuk spektral (kompleks atau split riil/imajiner) kecuali untuk kelembaban yang ditulis dalam bentuk variabel grid. Variabel prognostik utama ditulis dalam tingkat penuh, sedangkan kecepatan vertikal diagnostik dan tinggi geopotensial ditulis dalam tingkat setengah; tingkat penuh berada di tengah-tengah antara tingkat setengah.

Model ini telah ditulis dalam variabel spektral resolusi horisontal. Model ini dijalankan pada resolusi spektral R21 (rhomboidal truncation pada 21 gelombang) yang menggunakan 64 grid timur-barat dengan interval yang sama dan menggunakan 28 grid kutub-katulistiwa dengan interval yang tidak sama. Skema waktu semi-implisit leap-frog digunakan (waktu kini dan sebelumnya disimpan) dengan filter waktu. Interval waktu model adalah 30 menit.

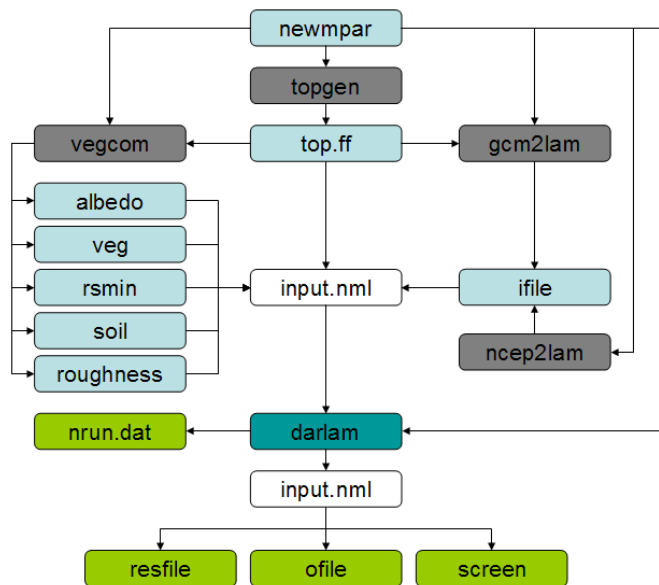
Seluruh model ditulis dalam fortran<sup>77</sup> dan terbagi atas subrutin-subrutin. masing-masing subrutin menghitung suatu proses atau subproses. Selain itu ada satu file yang digunakan untuk mengkompilasi model menurut mesin yang digunakan dan resolusi yang diinginkan, sebuah file yang digunakan sebagai pengontrol dalam menjalankan model, dan file-file yang diperlukan untuk menjalankan suatu eksperimen.

Model GCM dirancang dalam bentuk umum, sehingga dapat digunakan dalam berbagai mesin (super komputer) seperti Cray, Fujitsu, atau Silicon

Graphics. Model ini juga dapat digunakan dalam tiga cara, yaitu: atmosfer, kopel antara atmosfer dan lautan, atau lautan saja.

Model area terbatas atau Limited Area Model (LAM) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan turunan dari model sirkulasi global (GCM) CSIRO9 yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, yang digunakan untuk simulasi atmosfer pada wilayah yang terbatas.

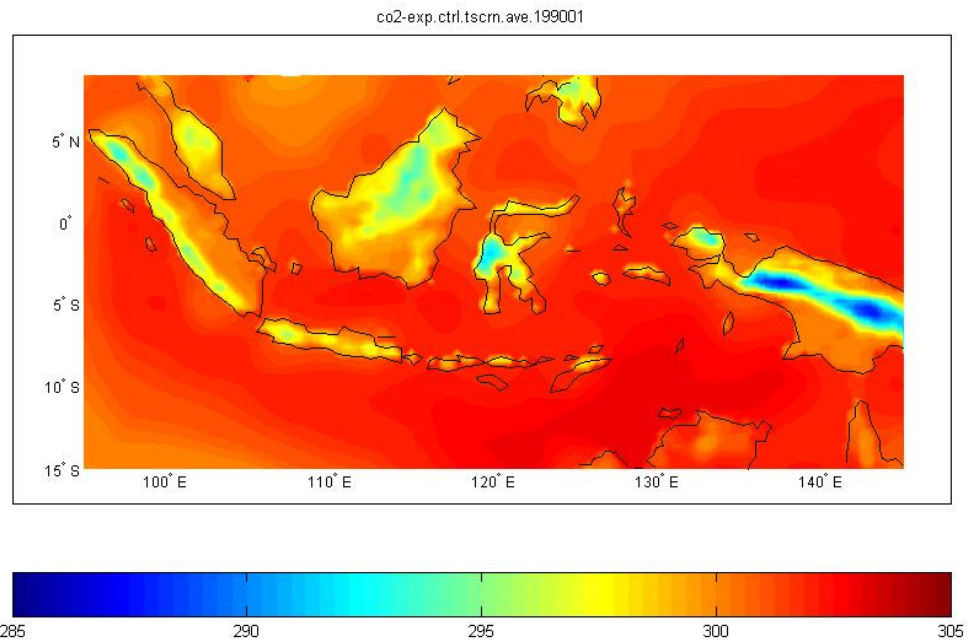
Gambar di bawah ini menunjukkan ilustrasi alur program LAM.



**Gambar 3.1.** Ilustrasi alur program Model area terbatas atau Limited Area Model (LAM).

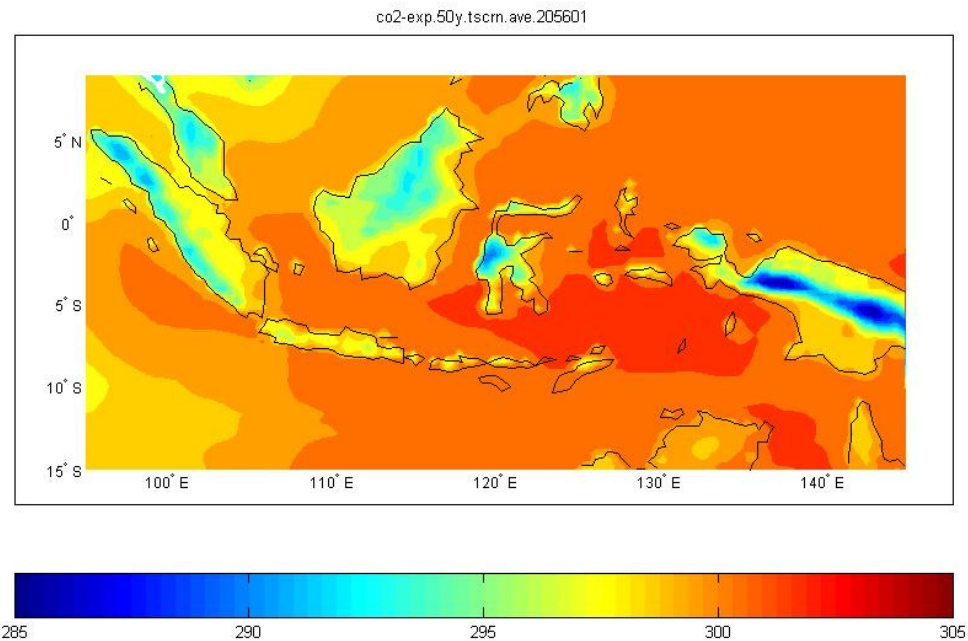
### Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 4.2, 4.3, 4.4 diperlihatkan hasil simulasi model iklim area terbatas (LAM) untuk variabel suhu tabir (screen temperature) di atas wilayah Indonesia untuk skenario kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> 2x mulai tahun 1990. Gambar 4.2 adalah suhu tabir pada bulan Januari tahun 1990 dalam satuan Kelvin.



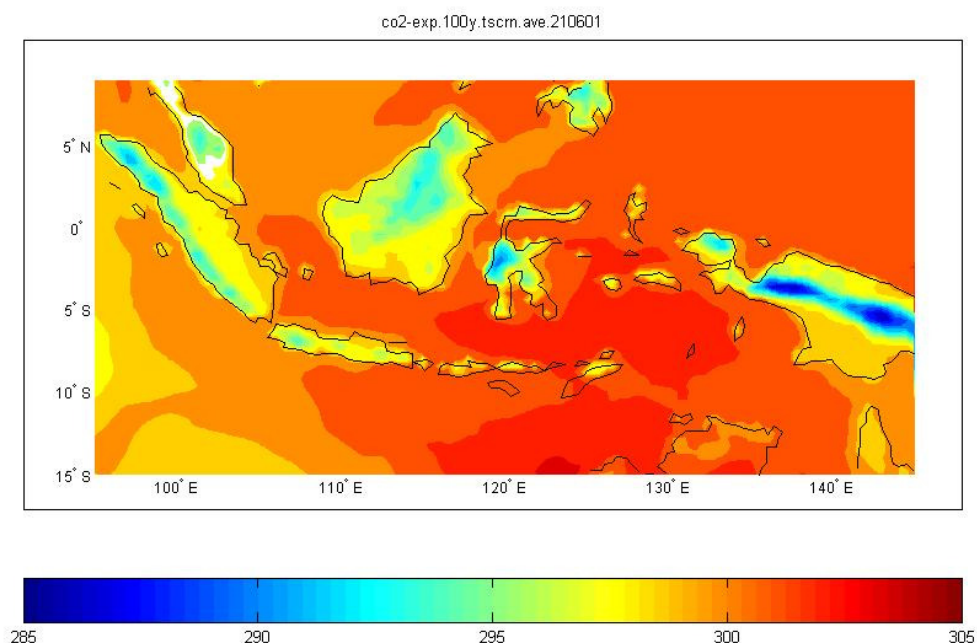
**Gambar 4. 2.** Hasil keluaran dari Model area terbatas atau Limited Area Model (LAM) Pada bulan rata-rata bulan Januari 1990 variabel 'screen temperature'

Pada gambar 4.3. adalah suhu tabir (screen temperature) bulan Januari 50 tahun yang akan datang.



**Gambar 4.3.** Hasil keluaran dari Model area terbatas atau Limited Area Model (LAM) Pada bulan rata-rata bulan Januari 2056 variabel 'screen temperature'.

Pada gambar 4.4. adalah suhu tabir (screen temperature) bulan Januari 100 tahun yang akan datang. Simulasi model menggunakan resolusi 10 kilometer dan 18 level atmosfer dalam satuan sigma ( $\sigma_{1-18}$ =0.995542, 0.978395, 0.945815, 0.899863, 0.842593, 0.776063, 0.702332, 0.623457, 0.541495, 0.45805, 0.376543, 0.297668, 0.223937, 0.157407, 0.100137, 0.051838, 0.0216049 dan 0.00445816), yang dibuat untuk wilayah Asia Tenggara dan nested dari GCM CSIRO-R21.



**Gambar 4.4.** Hasil keluaran dari Model area terbatas atau Limited Area Model (LAM) Pada bulan rata-rata bulan Januari 2106 variabel 'screen temperature'.

Sehingga model iklim dapat digunakan untuk membantu pembelajaran dalam memahami simulasi iklim yang tak mungkin dilakukan secara realita. Model juga dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian ekstrim. Kegunaan lain dari model iklim adalah untuk melihat kemungkinan perubahan-perubahan iklim di masa mendatang akibat kenaikan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> seperti yang terjadi pada suhu tabir di atas. Dari ketiga gambar di atas tampak bahwa terdapat daerah tertentu yang naik suhu tabirnya namun ada pula yang turun suhu tabirnya pada skenario CO<sub>2</sub> 2x untuk 50 dan 100 tahun yang akan datang.



### **Kesimpulan**

Diperlukan alat pembelajaran untuk memahami fenomena pemanasan global dan perubahan iklim bagi para siswa, mahasiswa, pendidik ataupun para praktisi dan pemerhati lingkungan. Untuk mensimulasikan pemanasan global dan perubahan iklim dengan akurat harus dibangun sebuah model dengan sistem iklim yang lengkap meliputi daratan, lautan, biosfer, atmosfer dan kreosfer (lapisan es).

Perubahan-perubahan iklim di masa mendatang akibat kenaikan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> seperti yang terjadi pada suhu tabir (green temperature). Dari ketiga gambar hasil simulasi tampak bahwa terdapat daerah tertentu yang naik suhu tabirnya namun ada pula yang turun suhu tabirnya pada skenario CO<sub>2</sub> 2x untuk 50 dan 100 tahun yang akan datang.

### **Referensi**

Ratag, Mezak A dkk, 2002. *Perubahan iklim, Basis Ilmiah dan dampaknya*, LAPAN 2002

Hennessy, K.J at all, 1995. *CSIRO Climate Change Research Program*, CSIRO Australia