Keterkaitan Variasi Sinar Kosmik dengan Tutupan Awan

Riza Adriat¹⁾

¹⁾Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
Email: rizaadriat@gmail.com

Abstrak

Sinar kosmik merupakan salah satu faktor dari luar angkasa yang mempengaruhi pemanasan global melalui pengaruhnya terhadap proses pembentukan tutupan awan. Sinar kosmik dapat mempengaruhi proses pembentukan tutupan awan melalui mekanisme ion-aerosol clear-air dan mekanisme ion-aerosol near-cloud. Sinar kosmik berperan sebagai sumber energi yang mengionisasi aerosol sehingga mempercepat pembentukan inti kondensasi awan. Sinar kosmik dikorelasikan dengan awan global menggunakan klasifikasi ISCCP yang membagi awan menjadi sembilan jenis dari tahun 1984 sampai 2008. Sinar kosmik memiliki korelasi positif dengan tutupan awan rendah (untuk jenis Stratocumulus dan Stratus) dan tutupan awan tinggi (untuk jenis Cirrus).

Kata kunci: pemanasan global, sinar kosmik, tutupan awan

1. Latar belakang

Perubahan iklim dipengaruhi oleh dua faktor utama, pengaruh antropogenik dan alami (IPCC, 2013). Faktor yang paling besar dalam perubahan iklim dipengaruhi oleh pemanasan global. Pemanasan global disebabkan oleh gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh peningkatan emisi CO₂, di mana aktivitas antropogenik menjadi penyebab utama peningkatan emisi CO₂ tersebut. Selain itu, faktor alami yang mempengaruhi perubahan iklim adalah aktivitas matahari yang dapat mempengaruhi tiga unsur, yaitu perubahan laju pemanasan atmosfer, aktivitas magnetik, dan sinar kosmik (Carslaw dkk., 2002). Berdasarkan hasil kajian sebelumnya oleh Svensmark dan Friss-Christensen (1997), menunjukkan bahwa terdapat potensi pengaruh radiasi sinar kosmik terhadap perubahan iklim.

Sinar kosmik adalah radiasi yang berasal dari ledakan bintang (supernova) dan biasa disebut *Galactic Cosmic Rays*. Perambatan sinar kosmik menuju bumi dipengaruhi oleh aktivitas matahari, jumlah bintang matahari, dan angin matahari (Dickinson, 1975). Peningkatan (penurunan) intensitas ketiga faktor tersebut akan menurunkan (meningkatkan) intensitas radiasi sinar kosmik yang menuju bumi. Radiasi sinar kosmik yang mencapai bumi dapat mempengaruhi pemanasan global melalui pembentukan tutupan awan (Svensmark dan Friss-Christensen, 1997).

Sinar kosmik mempengaruhi proses pertumbuhan awan berdasarkan mekanisme *ion-aerosol clear-air* (Yu, 2002) dan *ion-aerosol near-cloud* (Carslaw dkk., 2002) melalui ionisasi aerosol oleh sinar kosmik yang mengakibatkan percepatan pembentukan inti kondensasi awan. Hasil kajian Marsh dan Svensmark (2000) menyimpulkan bahwa sinar kosmik mempengaruhi proses pertumbuhan awan

rendah (1000 mb hingga 680 mb) yang ditunjukkan oleh korelasi positif antara sinar kosmik terhadap tutupan awan rendah (Gambar 1). Awan rendah sangat dipengaruhi oleh distribusi aerosol sehingga jika terjadi peningkatan sinar kosmik, pembentukan inti kondensasi awan rendah akan mengalami percepatan. Penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut mengenai keterkaitan radiasi sinar kosmik terhadap tutupan awan untuk periode waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (1984–2008).

Gambar 1. Rata-rata global anomali tutupan awan bulanan untuk (a) tinggi (<440 hPa), (b) tengah (440-680 hPa), dan (c) rendah (>680 hPa) tutupan awan (biru) dan sinar kosmik (merah). (Marsh dan Svensmark, 2000)

2. Metodologi

i. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sinar kosmik dan tutupan awan.

a. Sinar Kosmik

Data sinar kosmik yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bulanan dalam periode tahun 1984-2008 dari stasiun Huancayo, Peru (12°LS, 75°BB) karena stasiun ini letaknya paling dekat dengan ekuator sehingga radiasi sinar kosmiknya tidak dipengaruhi gangguan lain, seperti medan magnet kutub bumi.

b. Tutupan Awan

Data tutupan awan yang diperoleh dari *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) tahun 1984-2008. Data ISCCP merupakan data tutupan sembilan jenis awan yang dibedakan berdasarkan ketinggian dan ketebalan optiknya. Awan rendah memiliki ketinggian antara 1000 mb hingga 680 mb, awan menengah memiliki ketinggian 680 mb hingga 440 mb, dan awan tinggi memiliki ketinggian antara 440 hingga 50 mb. Hal ini terlihat pada klasifikasi awan yang ditunjukkan Gambar 2.

Gambar 2. Klasifikasi awan ISCCP yang dibedakan berdasarkan ketinggian dan ketebalan optik awan (Rossow dan Schiffer, 1999).

ii. Metode

Metode yang digunakan adalah deskriptif analitis. Langkah-langkah penelitian yang dilakukan meliputi persiapan dan pengolahan data.

a. Perata-rataan Data

Proses perata-rataan data dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1)

$$S_j(x, y) = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{i+12} M_i(x, y) \quad (1)$$

$S_j(x, y)$ adalah variabel pada tahun ke- j ($j=1, \dots, 25$), dan $M_i(x, y)$ adalah variabel terpilih pada bulan ke- i ($i=1, \dots, 12$). Dengan demikian, didapatkan pengelompokan rata-rata tahunan dari tutupan awan dan sinar kosmik.

b. Anomali Data

Proses konversi data menjadi anomali dilakukan dengan mengurangi data dengan rata-rata data melalui Persamaan (2)

$$S'(x, y) = S(x, y) - \bar{S}(x, y) \quad (2)$$

$S'(x, y)$ adalah anomali data, $S(x, y)$ adalah data dan $\bar{S}(x, y)$ adalah rata-rata data.

c. Ekstraksi Pola Spasial dan Temporal Tutupan Awan

Korelasi spasial antara sinar kosmik dan tutupan awan diperoleh dengan cara mengorelasikan data tutupan awan di setiap *grid* dengan data sinar kosmik di stasiun yang diasumsikan seragam secara global, sedangkan korelasi temporalnya diperoleh dengan cara merata-ratakan secara global hasil dari korelasi spasial antara sinar kosmik dan tutupan awan.

3. Hasil dan Pembahasan

i. Korelasi Spasial dan Temporal Tutupan Awan Rendah dengan Sinar Kosmik

Pola spasial dan temporal antara sinar kosmik dan tutupan awan menunjukkan bahwa sinar kosmik berkorelasi positif dengan awan rendah untuk jenis *Stratocumulus* dan *Stratus* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Korelasi spasial (panel kiri) dan korelasi temporal (panel kanan) antara sinar kosmik dan tutupan awan rendah di mana korelasi temporal antara sinar kosmik dan (a) *Cumulus*, (b) *Stratocumulus*, (c) *Stratus* berturut-turut adalah $-0,229$; $0,309$; dan $0,232$.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa tutupan awan jenis *Stratocumulus* dan *Stratus* paling dipengaruhi oleh sinar kosmik karena korelasi spasialnya menunjukkan banyak daerah yang berkorelasi positif dan korelasi temporalnya di atas 0,2 (Gambar 3b dan Gambar 3c). Namun untuk tutupan awan jenis *Cumulus* banyak daerah yang berkorelasi negatif dan korelasi temporalnya juga bernilai negatif (Gambar 3a). Korelasi temporal antara sinar kosmik dan tutupan awan rendah untuk jenis *Cumulus*, *Stratocumulus*, dan *Stratus* berturut-turut adalah $-0,229$; $0,309$; dan $0,232$.

Gambar 4. Mekanisme *ion-aerosol clear-air*, hubungan antara sinar kosmik, CN, CCN, dan awan (Yu, 2002).

Hal ini terkait dengan mekanisme *ion aerosol-clear air* (Gambar 4) yang dikemukakan

oleh Yu (2002) bahwa awan rendah sangat sensitif terhadap distribusi aerosol. Jika terjadi peningkatan sinar kosmik, radiasi sinar kosmik akan menyebabkan meningkatnya laju ionisasi aerosol dalam pembentukan inti kondensasi awan rendah yang menyebabkan semakin banyak proses pembentukan awan rendah.

ii. Korelasi Spasial dan Temporal Tutupan Awan Menengah dengan Sinar Kosmik

Berbeda dengan jenis awan rendah, seluruh jenis awan menengah tidak memiliki korelasi dan berkorelasi negatif dengan sinar kosmik baik secara spasial maupun temporalnya. Gambar 5 menunjukkan korelasi spasial dan

temporal antara sinar kosmik dan tutupan awan menengah untuk jenis *Alto cumulus*, *Altostratus*, dan *Nimbostratus* di mana korelasi temporalnya berturut-turut adalah -0,519; -0,296; dan 0,047. Awan menengah jenis *Alto cumulus* memiliki korelasi negatif yang tinggi yaitu -0,519, yang berarti awan menengah jenis *Alto cumulus* pembentukannya lebih disebabkan proses konvektif dari efek termal radiasi matahari. Pengaruh ionisasi sinar kosmik terhadap tutupan awan menengah tidak dominan, karena pembentukan tutupan awan menengah lebih banyak disebabkan dinamika termal atmosfer seperti hantaran energi secara konduksi.

Gambar 5. Korelasi spasial (panel kiri) dan korelasi temporal (panel kanan) antara sinar kosmik dan tutupan awan menengah di mana korelasi temporal antara sinar kosmik dan (a) *Alto cumulus*, (b) *Altostratus*, (c) *Nimbostratus* berturut-turut adalah -0,519; -0,296; dan 0,047.

iii. Korelasi Spasial dan Temporal Tutupan Awan Tinggi dengan Sinar Kosmik

Hasil korelasi sinar kosmik dengan awan tinggi menunjukkan bahwa tutupan awan jenis *Cirrus* memiliki korelasi positif paling tinggi jika dibandingkan dengan jenis tutupan awan lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 6a. Nilai korelasi temporal antara sinar kosmik dan tutupan awan tinggi untuk jenis *Cirrus*, *Cirrostratus*, dan *Deep-Convection* berturut-turut adalah 0,354; -0,463; dan 0,167 (Gambar 6).

Korelasi positif antara sinar kosmik dan awan tinggi untuk jenis *Cirrus* kemungkinan juga disebabkan oleh mekanisme *ion aerosol-clear air* dan mekanisme tambahan yaitu mekanisme *ion aerosol-near cloud* (Gambar 7). Mekanisme ini diusulkan oleh Carslaw (2002) karena gangguan yang terjadi di atas awan.

Daerah di sekitar 200 meter di atas lapisan awan yang tipis menjadi lebih bermuatan positif daripada udara di sekitarnya karena ionisasi sinar kosmik. Kemudian partikel-partikel proton tersebut mengionisasi aerosol yang ada di atas lapisan awan dan mengalami *scavenging* ke dalam awan. Tinsley (2003) juga mengusulkan bahwa ionisasi dan *scavenging* menyebabkan meningkatnya keberhasilan aerosol sebagai inti pembentuk es. Sementara proses pembentukan untuk awan tinggi jenis *Cirrostratus* dan *Deep-Convection* lebih disebabkan karena dinamika atmosfer seperti proses konvektif dari radiasi matahari karena terlihat dari korelasi temporalnya untuk awan tinggi jenis *Cirrostratus* memiliki korelasi negatif yang tinggi yaitu -0,463.

Gambar 6. Korelasi spasial (panel kiri) dan korelasi temporal (panel kanan) antara sinar kosmik dan tutupan awan tinggi di mana korelasi temporal antara sinar kosmik dan (a) *Cirrus*, (b) *Cirrostratus*, (c) *Deep-Convection* berturut-turut adalah 0,354; -0,463; dan 0,167.

Gambar 7. Mekanisme *ion-aerosol near-cloud* ketika partikel sinar kosmik berkumpul di atas lapisan awan yang tipis kemudian mengalami *scavenging* sehingga akan meningkatkan kesempatan aerosol-aerosol di dalam awan menjadi inti pembentuk es (Carslaw dkk., 2002).

Berdasarkan hasil korelasi temporal untuk seluruh jenis awan dengan sinar kosmik diperoleh awan jenis *Stratocumulus*, *Stratus*, dan *Cirrus* yang memiliki korelasi positif tertinggi. Ketiga jenis awan ini proses pembentukannya paling dipengaruhi oleh sinar kosmik. Secara temporal ketiga jenis awan di atas akan memiliki anti korelasi dengan siklus aktivitas bintik matahari. Sebaliknya awan jenis *Altostratus* dan *Cirrostratus* memiliki korelasi negatif tertinggi dengan sinar kosmik. Jenis awan ini pembentukannya lebih dominan dipengaruhi oleh dinamika atmosfer dan korelasi kedua jenis awan ini akan beriringan dengan fase siklus aktivitas bintik matahari. Untuk lebih jelasnya hasil korelasi temporal antara tutupan awan dan sinar kosmik ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi temporal tutupan awan dan sinar kosmik.

Jenis Awan	Korelasi Temporal
<i>Cumulus</i>	-0,229
<i>Stratocumulus</i>	0,309
<i>Stratus</i>	0,232
<i>Altostratus</i>	-0,519
<i>Nimbostratus</i>	0,047
<i>Cirrus</i>	0,354
<i>Cirrostratus</i>	-0,463
<i>Deep-Convection</i>	0,167

4. Kesimpulan

Secara global, variasi sinar kosmik mempunyai korelasi positif dengan fraksi tutupan awan rendah jenis *Stratocumulus* dan *Stratus*, serta awan tinggi jenis *Cirrus* dalam periode 1984 sampai tahun 2000. Hasil ini konsisten dengan temuan Marsh dan Svensmark (2000) yang menggunakan data dari tahun 1984 sampai 1995. Selengkapnya, kajian ini mengungkapkan bahwa nilai korelasi positif yang tinggi antara sinar kosmik dengan tutupan awan hanya berlaku di wilayah yang fraksi tutupan awannya secara rata-rata rendah (kurang dari 10%), di mana pengaruh dinamika atmosfer lokal dalam proses pembentukan awan dapat dianggap cukup lemah sehingga sinar kosmik dapat secara efektif mempercepat dan memperbanyak proses pembentukan inti kondensasi awan.

Daftar Pustaka

- Carslaw, K.S., Harrison, R.G., dan Kirkby, J. (2002) : Cosmic rays, clouds, and climate, *Science*, **298**, 1732-1737.
- Dickinson, R.E. (1975) : Solar variability and the lower atmosphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **56**, 1250-1248.
- IPCC. (2013) : Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, *IPCC WGI Fifth Assessment Report*, **Chapter 8**, 659-740.
- Marsh, N.D. dan Svensmark, H. (2000) : Low cloud properties influenced by cosmic rays, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 5004-5007.
- Rossow, W.B. dan Schiffer, R.A. (1999) : Advances in understanding clouds from ISCCP, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2261-2287.
- Svensmark, H. dan Friss-Christensen, E. (1997) : Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage-a missing link in solar-climate relationship, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys*, **59**, 1225-1232.
- Yu, F. (2002) : Altitude variations of cosmic ray induced production of aerosol: Implication for global cloudiness and climate, *Geophys. Res. Lett.*, **107**, 1-10.