

CUACA ANTARIKSA

Clara Y. Yatini

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN
email: clara@bdg.lapan.go.id

RINGKASAN

Cuaca antariksa meliputi kopling antara berbagai daerah yang terletak antara matahari dan bumi. Penelitian yang terkait dengan cuaca antariksa meliputi usaha yang intensif dalam memahami proses-proses fisis dasar yang mempengaruhi kondisi matahari, angin surya, magnetosfer, ionosfer, dan atmosfer, terutama yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan untuk memprakirakan cuaca antariksa. Studi tentang kopling antar daerah-daerah yang terkait harus terus dilakukan, ditambah dengan penelitian secara teoritis yang akan memperkuat model-model yang operasional.

1. PENDAHULUAN

Cuaca antariksa menunjukkan kondisi di matahari dan di angin matahari, magnetosfer, ionosfer, dan termosfer yang dapat mempengaruhi kondisi dan kemampuan sistem teknologi, baik yang landas bumi maupun ruang angkasa, dan membahayakan kehidupan dan kesehatan manusia (*National Space Weather Program*, 2000). Kondisi yang merugikan di lingkungan antariksa ini dapat menyebabkan gangguan pada operasional satelit, komunikasi, navigasi, dan distribusi tenaga listrik, serta dapat menyebabkan kerugian secara sosial maupun ekonomi.

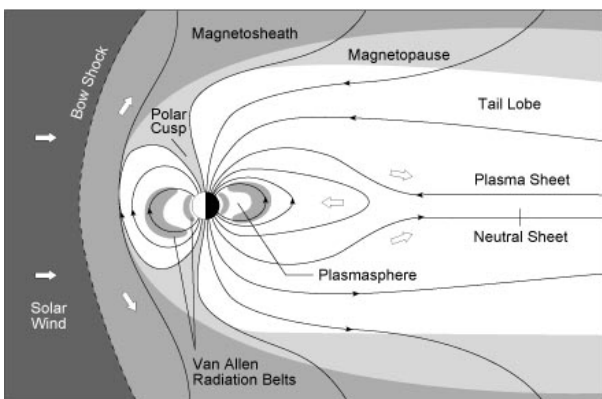
Cuaca antariksa bermula dari permukaan matahari, yang merupakan sumber dari energi radiasi dan partikel yang mencapai bumi. Aktivitas matahari membuat radiasi dan partikel yang keluar dari matahari bervariasi, yang mengakibatkan perubahan yang bervariasi pada lingkungan antariksa dekat bumi, dan juga permukaan bumi. Peristiwa flare dan lontaran massa korona (*coronal mass ejection/CME*) di matahari merupakan faktor cuaca antariksa yang menjadi perhatian utama, terlebih CME, karena CME dapat mengakibatkan naiknya kecepatan dan kerapatan angin surya secara tiba-tiba. Meskipun demikian variasi jangka panjang pada emisi matahari, meskipun tidak menimbulkan efek cuaca antariksa yang seketika, juga sangat membantu dalam memahami proses-proses yang terjadi di balik variasi jangka pendeknya.

Perubahan radiasi matahari juga mempengaruhi kondisi atmosfer atas dan ionosfer melalui eksitasi dan ionisasi atom dan molekul. Emisi partikel dari matahari meliputi partikel energetik dan plasma energi rendah yang membentuk angin matahari. Pada saat partikel dan medan elektromagnet keluar dari matahari, keduanya akan berevolusi terutama pada saat berinteraksi dengan medan magnet antar planet.

Angin surya keluar dari matahari dan akhirnya akan mencapai bumi. Plasma dan medan magnetnya akan berinteraksi dengan atmosfer dan kemudian medan magnet bumi membentuk magnetosfer. Permukaan daerah ini disebut sebagai magnetopause. Magnetopause ini menahan energi yang dibawa oleh angin matahari supaya tidak memasuki magnetosfer (Gambar 1-1). Dalam kondisi normal energi yang menembus magnetopause disimpan dalam bentuk partikel dan medan magnet magnetosfer. Akan tetapi, dalam kondisi tertentu energi ini akan dilepaskan secara impulsif ke atmosfer bumi. Pelepasan energi secara impulsif ini disebut sebagai *magnetospheric substorm*, yang terlihat dengan munculnya aurora dan penambahan aliran partikel di ionosfer yang kuat. Selama *substorm* ini medan magnet di magnetosfer akan segera membentuk konfigurasi baru, dan akan kembali ke kondisi semula dalam waktu yang lebih lama.

Selain substorm, akibat lain yang lebih besar adalah munculnya badai geomagnet.

Badai geomagnet merupakan respons terhadap aliran angin surya yang dipengaruhi oleh medan magnet antar planet yang mengarah ke selatan. Badai geomagnet menyebabkan energi yang cukup besar pada *ring current*, yaitu daerah terperangkapnya elektron, proton, dan ion, serta fluktuasi geomagnet di lintang rendah. Partikel magnetosfer bergerak ke kutub, memanaskan atmosfer (termosfer dan mesosfer) dan mengakibatkan gangguan ionosfer. Proses-proses yang terjadi di magnetosfer akan merubah kondisi ionosfer dan termosfer. Respons ionosfer terhadap gangguan geomagnet yang berasal dari CME atau lubang korona disebut sebagai badai ionosfer. Proses-proses ini akan menghasilkan aliran listrik, aurora, pemanasan (*heating*), ionisasi, dan sintilasi, yang merupakan cuaca antariksa yang terjadi di dekat bumi. Lingkungan antariksa dekat bumi juga dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di lintang lebih rendah, yaitu gelombang gravitasi, dan timbunan energi yang berasal dari radiasi matahari dan sinar kosmik. Efek cuaca antariksa juga mencakup perubahan di permukaan bumi yang terjadi akibat perubahan di ionosfer.



Gambar 1-1: Magnetopause dibentuk oleh medan magnet bumi, dan melindungi bumi dari serbuan partikel dari matahari (Sumber: NASA's Cosmos)

Mengingat pentingnya cuaca antariksa pada lingkungan bumi, dalam tulisan ini akan dikemukakan beberapa hal yang terpengaruh oleh cuaca antariksa dan penelitian-penelitian yang sekiranya perlu dilakukan untuk mengetahui

dan memprakirakan efek cuaca antariksa untuk meminimalisasi dampaknya pada manusia dan sistem teknologinya.

2 SISTEM YANG TERPENGARUH OLEH CUACA ANTARIKSA

Cuaca antariksa mengakibatkan munculnya sejumlah masalah yang terkait dengan infrastruktur teknologi, misalnya kegagalan satelit, kegagalan sistem navigasi dan komunikasi, serta putusnya aliran listrik. Berikut akan diperlihatkan beberapa aspek atau sistem yang dapat terpengaruh oleh cuaca antariksa.

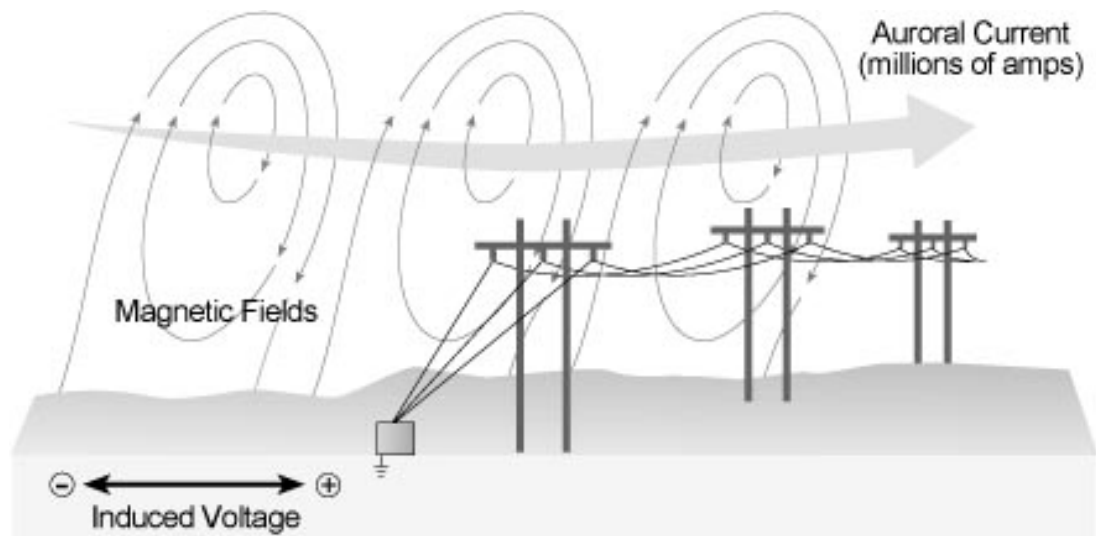
2.1 Sistem Satelit

Cuaca antariksa mempengaruhi misi satelit dalam berbagai aspek, tergantung pada orbit dan misi satelit tersebut. Partikel energetik dari matahari secara terus menerus akan mempengaruhi satelit. Partikel berenergi tinggi akan menembus komponen elektrik, dan merubah sinyal elektronik yang mengakibatkan informasi yang salah dari satelit, sedangkan partikel dengan energi lebih rendah akan menyebabkan pemuatan pada permukaan satelit. Selain itu, elektron energetik akan mengakibatkan menurunnya fungsi komponen satelit. Radiasi secara keseluruhan dapat mempengaruhi kala hidup satelit.

Radiasi ultra violet dari matahari yang bervariasi secara terus menerus mengubah kerapatan dan temperatur atmosfer dan mempengaruhi orbit dan kala hidup satelit, terutama satelit-satelit orbit rendah, dengan naiknya kerapatan atmosfer dan *atmospheric drag*.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik rentan terhadap aliran listrik yang dipengaruhi oleh perubahan yang kuat yang diakibatkan oleh aliran ionosfer di lintang tinggi yang terjadi selama badai geomagnet. Gangguan ini dapat mengakibatkan kegagalan jaringan listrik dan kerusakan permanen pada pembangkit listrik.



Gambar 2-1: Aliran elektron yang timbul akibat lontaran masa korona yang mengenai bumi akan menghasilkan induksi pada tegangan potensial di permukaan bumi (Sumber: NASA's Cosmos)

2.3 Sistem Navigasi

Tingkat ketelitian sistem navigasi yang menggunakan sinyal frekuensi rendah bergantung pada ketelitian menentukan ketinggian ionosfer. Perubahan yang cepat pada ketinggian ini selama flare dan badai geomagnet dapat mengakibatkan kesalahan beberapa kilometer dalam menentukan posisi.

Global Positioning System (GPS) bekerja dengan mentransmisikan gelombang radio dari satelit ke penerima di bumi, pesawat udara, dan satelit lain. Sinyal radio ini digunakan untuk menghitung posisi dengan sangat akurat. Kesalahan dalam menentukan posisi ini akan terjadi bila sinyal tersebut dipantulkan dan diperlambat oleh kondisi ionosfer yang terganggu (McDonald, 2007). Demikian juga penerima akan kehilangan sinyal GPS bila sinyal tersebut melalui gangguan ionosfer (sintilasi).

2.4 Komunikasi

Komunikasi radio dalam rentang frekuensi yang lebar dipengaruhi oleh cuaca antariksa. Komunikasi dengan panjang gelombang tinggi (*High Frequency/HF*) lebih mudah terpengaruh karena frekuensi ini bergantung pada pemantulan dari ionosfer untuk membawa sinyal ke jarak yang jauh. Iregularitas ionosfer yang merupakan akibat dari cuaca antariksa,

berkontribusi pada hilangnya sinyal (*fading*), dan mengakibatkan propagasi gelombang HF menjadi terganggu. Sifat-sifat sinyal dapat berubah karena kondisi ionosfer sehingga tidak dapat diterima dengan akurat di bumi.

2.5 Pesawat Antariksa Berawak

Di samping mengancam sistem satelit, partikel energetik dapat mengancam astronot dalam misi ruang angkasanya. Manusia di bumi terlindung dari partikel ini karena adanya tameng geomagnet dan atmosfer. Medan magnet bumi melindungi atmosfer bumi dari partikel dengan energi tinggi, dan atmosfer menyerap sebagian besar partikel sinar kosmik. Selama misi ruang angkasa, astronot pada lintang tinggi relatif tidak terlindung. Fluks partikel energetik dapat meningkat beberapa ratus kali akibat adanya flare di matahari dan munculnya badai geomagnet yang kuat.

3 RUANG LINGKUP PENELITIAN CUACA ANTARIKSA

Setelah mengetahui aspek-aspek yang dipengaruhi oleh cuaca antariksa, maka perlu dilakukan tindakan untuk mencegah akibat buruknya, atau paling tidak meminimalisasi dampaknya. Usaha ini dilakukan antara lain dengan mengetahui penyebabnya dan memprakirakan terjadinya gangguan cuaca antariksa.

Untuk dapat memberikan prakiraan kondisi cuaca antariksa, diperlukan penelitian dasar yang meningkatkan pemahaman mengenai proses-proses fisis yang terlibat di dalamnya. Sistem prakiraan cuaca antariksa operasional memerlukan pemahaman yang lebih baik dalam beberapa bidang penelitian yang mencakup ruang antara matahari dan bumi.

3.1 Matahari dan Angin Surya

Dari matahari, penelitian dasar yang sangat penting adalah untuk memahami proses yang menyebabkan munculnya lontaran masa korona (CME), dan juga faktor-faktor yang mempengaruhi ukuran, massa, kecepatan, dan konfigurasi medan magnetnya. Sama pentingnya juga memahami aktivitas matahari secara keseluruhan. Pemahaman ini memerlukan studi mengenai dinamo matahari dan identifikasi prekursor aktivitas matahari, misalnya pembentukan daerah aktif dalam jangka pendek dan pembentukan polaritas medan magnet dalam jangka panjang. Studi ini meliputi juga studi tentang dinamika energi magnet di korona matahari dan peran medan magnet pada munculnya flare. Sehingga yang paling penting dalam penelitian matahari ini adalah bagaimana memprakirakan aktivitas matahari, terutama munculnya CME dan flare (Lang, 2006). Penting juga untuk memahami asal partikel energi tinggi dan bagaimana propagasi partikel tersebut di ruang antar planet, serta proses yang mengakibatkan perubahan fluks sinar kosmik yang berasal dari galaksi.

Radiasi matahari dalam panjang gelombang *ultra violet* (UV), *extreme ultra violet* (EUV) dan sinar X lunak (*Soft X-Ray/SXR*) mempunyai efek langsung pada bumi. Penelitian dalam bidang ini harus dilakukan untuk mengetahui variabilitas matahari pada panjang gelombang tersebut dan bagaimana variabilitas ini mempengaruhi kondisi ionosfer dan termosfer. Demikian juga penyebab gangguan radio, yang mempengaruhi sistem komunikasi, juga harus dipahami.

Angin surya juga mempunyai pengaruh langsung pada kondisi magnetosfer bumi, sehingga sangat penting untuk mengetahui proses-proses yang menyebabkan naiknya kerapatan dan kecepatan angin surya serta gangguan-gangguan dan gelombang kejut (*shock wave*) yang ditimbulkan oleh flare dan CME.

Secara ringkas, penelitian mengenai matahari dan angin surya yang terkait dengan cuaca antariksa yang harus dilakukan meliputi CME, flare, partikel energetik, UV/EUV/*Soft X-Ray*, semburan matahari dalam panjang gelombang radio (radio matahari), dan angin surya.

3.2 Magnetosfer

Aplikasi cuaca antariksa memerlukan pengetahuan mengenai partikel dan medan elektromagnet yang melewati magnetosfer. Lingkungan dinamis ini dapat dipahami dengan studi tentang proses kopling antara angin matahari dan magnetosfer, transportasi dan energi plasma di magnetosfer, proses yang tercakup dalam badai magnet dan *substorm*, serta proses kopling antara magnetosfer dan ionosfer. Kopling antara magnetosfer dengan bumi menghasilkan gangguan geomagnet. Kemampuan untuk memprakirakan gangguan geomagnet tergantung pada pemahaman tentang peranan magnetosfer, ionosfer, dan atmosfer netral (termosfer dan mesosfer) dalam mempengaruhi ruang angkasa. Sabuk radiasi magnetosfer memberikan gangguan yang serius terhadap sistem ruang angkasa. Penelitian-penelitian harus dilakukan untuk memahami transportasi, produksi, dan proses-proses yang menentukan tingkat fluks partikel pada saat badai dan saat tenang. Secara umum penelitian yang mencakup partikel dan medan magnet magnetosfer, gangguan geomagnet, dan sabuk radiasi harus dilakukan untuk memperoleh pemahaman fisis yang menyeluruh dan memprakirakan akibat aktivitas matahari pada magnetosfer dan medan magnet bumi.

3.3 Ionosfer/Termosfer

Adapun penelitian mengenai ionosfer, yang akhir-akhir ini mendapat perhatian serius adalah penelitian dan pengamatan terhadap aurora, sifat-sifat ionosfer, medan listrik ionosfer, gangguan di ionosfer, sintilasi, dan juga atmosfer netral.

Sifat-sifat ionosfer, yaitu kerapatan elektron, temperatur dan komposisi elektron dan ion, ditentukan oleh radiasi matahari, partikel, dan pemanasan/*heating* (Kelley, 1989). Kemampuan memprakirakan kondisi ionosfer tergantung pada pemahaman mengenai mekanisme yang mempengaruhi struktur kerapatan elektron, produksi, transportasi, dan mekanisme pengurangan elektron yang terkait. Mekanisme ini berlangsung secara alami dan merupakan respon terhadap badai geomagnet dan *substorm*. Variabilitas harian ionosfer dan iregularitas kerapatan plasma harus dipahami untuk menentukan efeknya pada propagasi gelombang radio selama masa badai maupun masa tenang. Penting juga untuk melakukan studi mengenai relasi antara iregularitas ionosfer dan sintilasi gelombang radio. Untuk atmosfer netral, diperlukan penelitian dasar untuk memahami proses kimia, radiatif, dan proses dinamik yang terjadi untuk memodifikasi dan mendistribusikan energi melalui atmosfer atas.

4 KESIMPULAN

Informasi tentang cuaca antariksa, selain digunakan untuk membuat perlindungan sistem

teknologi yang dibuat untuk meminimalisasi efek buruk cuaca antariksa, juga digunakan untuk menentukan sumber gangguan dan membuat koreksi-koreksi yang diperlukan. Sistem-sistem yang terpengaruh oleh cuaca antariksa memicu berbagai penelitian yang berusaha menjelaskan kopling antara matahari-magnetosfer-ionosfer. Penelitian-penelitian tersebut berusaha meningkatkan pemahaman mengenai proses-proses yang terjadi antara matahari-bumi.

Pemahaman menyeluruh dan kemampuan untuk memprakirakan cuaca antariksa tidak bisa dilakukan hanya dengan penelitian teoritis saja, melainkan harus dilakukan secara sinergi antara pemahaman fisis, pembangunan model, dan juga observasi. Tantangan terbesar untuk kemajuan penelitian mengenai cuaca antariksa adalah bagaimana menjelaskan keterkaitan antara matahari, angin surya, magnetosfer, ionosfer atau termosfer, di dalam sistem matahari-bumi.

DAFTAR RUJUKAN

- Kelley, M.C., *The Earth's Ionosphere*, Academic Press, San Diego.
- Lang, K.R., 2006. *Sun, Earth and Sky*, Springer Science + Business Media, New York.
- McDonald, A., 2007. *Space Weather and Radio Communication*, <http://www.ips.gov.au/>.
- NASA's Cosmos, <http://www.ase.tutfs.edu/cosmos/>.
- National Space Weather Program, 2000, <http://www.ofcm.gov/>.