

ASTRONOMI

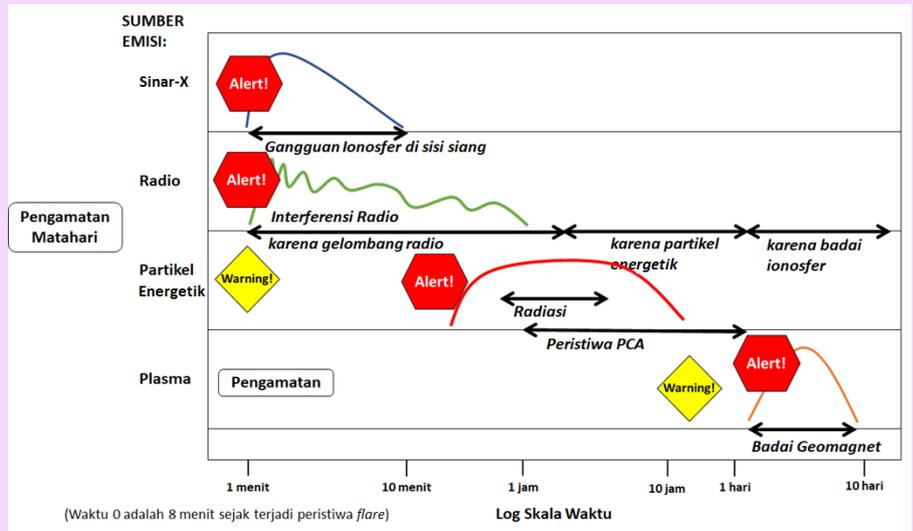
Cuaca Antariksa untuk Keselamatan Penerbangan

Oleh

T. Dani | Pussainsa OR-PA BRIN

Cuaca antariksa didefinisikan sebagai kondisi lingkungan antariksa di sekitar Bumi hingga ke Matahari. Aliran partikel energi tinggi dan radiasi elektromagnetik yang bersumber dari aktivitas Matahari ini kemudian akan berinteraksi dengan medan magnet dan lapisan atmosfer Bumi. Aktivitas Matahari akibat dinamika medan magnet Matahari berupa *flare*, lontaran massa korona, angin Matahari, dan partikel energi tinggi dapat memberikan gangguan cuaca antariksa di lingkungan sekitar Bumi yang menyebabkan badai geomagnet dan gangguan di lapisan ionosfer Bumi.

ICAO atau *International Civil Aviation Organization* merupakan salah satu organisasi di bawah PBB yang membantu dan menetapkan standar keselamatan bagi penerbangan sipil di dunia dengan Indonesia sebagai salah satu negara anggotanya. Pada tahun 2018, ICAO dalam *Amandement 78 Annex 3* tentang *Meteorological Service for International Air Navigation* mengamanatkan perlunya informasi dan prediksi gangguan cuaca antariksa yang mendukung keselamatan penerbangan sipil dan disebut sebagai *Space Weather Advisories (SWA)*. SWA memiliki struktur yang sama dengan pesan peringatan yang dikeluarkan saat terjadi badai siklon tropis atau awan abu vulkanik yang berbahaya bagi penerbangan. Terdapat tiga bagian SWA yang diamankan oleh ICAO, yaitu gangguan cuaca antariksa yang



Gambar 1. Dampak aktivitas Matahari dalam skala waktu. (Sumber: NOAA)

berdampak terhadap komunikasi HF dan komunikasi melalui satelit, navigasi berbasis GNSS, dan kemungkinan terjadinya peningkatan radiasi tinggi pada lintasan pesawat terbang.

ICAO telah membentuk tiga *Global Space Weather Center* dan beroperasi sejak November 2019, yaitu *Space Weather Prediction Center (SWPC)* Amerika Serikat, *PECASUS* yang merupakan konsorsium negara-negara Eropa, dan *ACFJ* yang merupakan konsorsium negara Australia, Kanada, Prancis, dan Jepang. Konsorsium Cina dan Rusia diperkirakan akan turut bergabung pada akhir tahun 2021.

Komunikasi HF

Komunikasi radio HF di pita 3–30 MHz sangat bergantung kepada lapisan ionosfer untuk mempropagasikan sinyal agar dapat melewati garis cakrawala. Aktivitas *flare* Matahari dan variasi angin Matahari yang relatif rendah akan memberikan dampak kecil terhadap ketinggian dan kepadatan lapisan ionosfer yang memantulkan sinyal HF

tersebut. Untuk mengakomodasi variabilitas ini, penyedia layanan komunikasi memilih frekuensi primer dan sekunder yang paling sesuai antara jarak penerima pesawat-ke-darat dan kondisi ionosfer yang diharapkan selama penerbangan.

Selama badai Matahari tingkat menengah atau lebih tinggi, komunikasi HF di bagian siang Bumi akan mengalami *radio blackout* atau kegagalan komunikasi berasosiasi dengan terjadinya peristiwa *SID (Sudden Ionospheric Disturbances)* akibat adanya peristiwa *flare* di Matahari. Di lintang yang lebih tinggi, komunikasi HF dapat mengalami gangguan akibat badai radiasi yang menyebabkan peristiwa *Polar Cap Absorption (PCA)*. Sementara itu, di lintang auroral (kutub), gangguan komunikasi HF dapat terjadi akibat efek sekunder yang berasosiasi dengan peristiwa badai geomagnet. Berbagai peristiwa ini dapat berlangsung selama beberapa menit hingga beberapa jam. Oleh karena itu, pesawat yang melintasi Atlantik

saat ini telah memiliki prosedur yang cukup baik untuk mengatasi kegagalan komunikasi HF sehingga memungkinkan pesawat untuk tetap dapat melanjutkan rencana penerbangan.

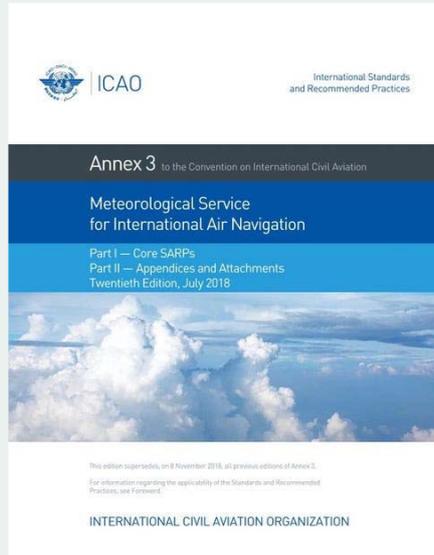
Navigasi Berbasis GNSS

Penggunaan GNSS di sektor penerbangan semakin meningkat, tidak hanya dalam jumlah pengguna tetapi juga dalam jumlah dan jenis operasi yang didukung. Meskipun GNSS sering digunakan sebagai sarana utama untuk navigasi, masih terdapat sistem navigasi lain atau prosedur lain agar penerbangan tetap beroperasi secara aman.

Cuaca antariksa secara global akan menyebabkan perubahan densitas elektron di lapisan ionosfer dan meningkatkan gradien secara spasial dan temporal. Pada lintang rendah dan tinggi, ketidakaturan skala kecil akan mengakibatkan variasi amplitudo dan fase sinyal yang dikenal sebagai sintilasi. Saat terjadi gangguan cuaca antariksa skala besar, sintilasi akan terjadi pada sebagian besar Bumi selama beberapa hari. Adanya gradien densitas elektron dan sintilasi akan meningkatkan kesalahan posisi dan navigasi berbasis GNSS. Sintilasi yang kuat dapat mengakibatkan GNSS kehilangan sinyal sehingga tidak dapat digunakan.

Dosis Radiasi

Sinar kosmis energi tinggi dan partikel energi tinggi dari Matahari yang berasosiasi dengan badai radiasi akan menghasilkan banyak partikel energi tinggi lain melalui interaksi nuklir yang terjadi di atmosfer atas. Partikel-partikel energi tinggi ini kemudian menghasilkan partikel sekunder yang akan



Gambar 2. Dokumen ICAO Annex 3 tentang Layanan Meteorologi untuk Navigasi Penerbangan Internasional telah mencantumkan perlunya informasi dan prediksi cuaca antariksa untuk penerbangan

mencapai fluks maksimumnya pada ketinggian sekitar 18 km dan akan terus melemah saat melewati lapisan atmosfer dan pada akhirnya mencapai permukaan.

Saat terjadi peristiwa cuaca antariksa yang signifikan, terdapat kemungkinan penumpang dan awak pesawat yang sedang terbang akan mendapatkan dosis radiasi yang lebih tinggi. Pada umumnya, pesawat yang terbang di ketinggian jelajah (sekitar 10.000 hingga 12.000 meter) akan mengalami paparan radiasi kosmis sekitar 100 hingga 300 kali lebih tinggi dari yang terukur di permukaan laut. Penerbangan yang beroperasi lebih jauh ke utara atau selatan, dan penerbangan yang melewati kutub akan lebih banyak menerima paparan radiasi. Hal ini disebabkan medan magnet Bumi mengarahkan partikel energi tinggi dari Matahari ke arah kutub-kutub Bumi. Namun, saat terjadi peristiwa cuaca antariksa yang cukup besar dapat menyebabkan peningkatan

radiasi hingga mencapai lintang menengah Bumi. Artikel lengkap mengenai dosis radiasi untuk penerbangan dapat dilihat di *Buletin Cuaca Antariksa*, Vol. 8 No. 3 edisi Juli–September 2019.

Paparan radiasi ini juga dapat menyebabkan kerusakan sirkuit elektronik melalui interaksi *Single Event Effect (SEE)* dengan semikonduktor yang menyebabkan kegagalan peralatan atau malfungsi. Saat terjadi gangguan cuaca antariksa yang ekstrem, munculnya kerusakan di sistem *avionic* pesawat terbang sangat dimungkinkan. Hal ini akan menyebabkan peningkatan beban kerja pilot dan mengurangi derajat batas keselamatan dari pesawat terbang.

Gangguan Cuaca Antariksa yang Berdampak Terhadap Penerbangan

Pada Oktober 2003, menjelang fase aktivitas Matahari menurun, terjadi rentetan *flare* dan CME yang berasal dari bintik Matahari berukuran besar dan kompleks. Hal ini menyebabkan terjadinya badai geomagnet yang membuat kegagalan komunikasi menggunakan HF, dan dampak minor hingga signifikan terhadap satelit. Salah satu contoh adalah dua satelit Inmarsat yang dipergunakan oleh industri penerbangan ketika satu satelit harus dikoreksi orbitnya secara manual dan satu satelit lainnya mengalami kegagalan pada *Central Processor Unit (CPU)*. Ini hanya dua contoh dari 47 satelit yang dilaporkan mengalami gangguan yang berlangsung dalam periode jam hingga hari. Beberapa pengguna GPS juga melaporkan adanya malfungsi. *Wide Area Augmentation System (WAAS)*, atau sistem navigasi udara berbasis GNSS milik

Aktivitas Matahari	Flare Matahari				Lontaran Massa Korona (CME)		Angin Matahari	Sinar Kosmik Galaksi	
Efek Sekunder	Emisi X-Ray	Emisi UV	Semburan radio	Solar Energetic Proton (SEP)	Plasma	Solar Energetic Proton (SEP)	Peningkatan Sabuk Radiasi		
Efek di Bumi	Peningkatan Densitas Ionosfer	Gangguan Ionosfer			Badai Geomagnet		Aurora	Radiasi	Sintilasi
Sistem Terkait Penerbangan	Penumpang dan Awak Pesawat			X	X	X		X	
	Avionik			X	X	X		X	
	Komunikasi HF	X	X		X	X			X
	GPS/Glonass/Galileo/WAAS/EGNOS/MSAS	X	X	X	X	X	X		X
	Satelit (Navigasi/Komunikasi)	X	X	X	X	X	X	X	X
	Komunikasi LF	X		X		X			
	Sistem ATC		X			X			

Tabel 1. Matriks efek cuaca antariksa terhadap penumpang dan awak pesawat, layanan, dan sistem penerbangan. (Sumber: George Washington University-Space policy Institute)

Peran LAPAN

Pusat Sains Antariksa LAPAN dengan layanan *Space Weather Information and Forecast Services (SWIFtS)* sebagai satu-satunya lembaga pemerintah yang bertugas memberikan layanan cuaca antariksa telah mempersiapkan layanan cuaca antariksa untuk penerbangan sejak tahun 2019 dan hingga saat ini masih terus dikembangkan (swifts.sains.lapan.go.id). Selain itu, SWIFtS sebagai salah satu *Regional Warning Center (RWC)* anggota negara-negara penyedia layanan cuaca antariksa dalam *International Space Environment Service (ISES)* juga sedang menjajaki kerja sama dengan salah satu konsorsium ICAO *Global Space Weather Center*, yaitu ACJF, terutama dengan *Space Weather Service (SWS)* Australia dan *Space Weather Forecast Center (SWFC)* Jepang. Kerja sama yang sedang dijajaki adalah penyediaan data, informasi, dan prediksi terkait komunikasi HF dan navigasi untuk penerbangan. Kontribusi LAPAN, baik di dalam ataupun di luar negeri, diharapkan dapat turut meningkatkan keamanan dan keselamatan bagi penerbangan sipil.

Amerika Serikat juga terpengaruh. Selama periode 15 jam pada tanggal 29 Oktober dan periode 11 jam pada 30 Oktober, WAAS tidak dapat digunakan untuk tahap *precision approaches* saat pesawat akan mendarat. Hal ini disebabkan lapisan ionosfer sangat terganggu akibat badai Matahari hingga *vertical error limit* dari sistem WAAS tersebut melebihi batas aman yang sudah ditentukan.

Pada tahun 2006, saat aktivitas Matahari rendah, terjadi semburan radio Matahari terbesar yang pernah tercatat. Hal ini menyebabkan gangguan penerimaan sinyal GPS. Di beberapa lokasi dilaporkan bahwa navigasi GPS tidak

tersedia selama 30 menit dan beberapa pesawat terbang melaporkan *loss of lock* atau penerima sinyal GPS tidak dapat lagi menjejak sinyal secara akurat. Contoh lain, suatu sore pada tanggal 4 November 2015, semburan radio Matahari menyebabkan gangguan yang cukup intensif di seluruh *Air Traffic Control (ATC)* atau pengatur lalu lintas udara, ketika radar di Belgia, Estonia, dan Swedia mendeteksi munculnya banyak pantulan (*echoes*). Di selatan Swedia, akibat banyaknya pantulan tersebut menyebabkan sistem ATC dimatikan selama beberapa jam sehingga mengganggu penerbangan di ruang udara Swedia.

ASTRONOMI

Dampak Gerhana Matahari Total pada Medan Magnet Bumi

Oleh
F. Nuraeni | Pussainsa OR-PA BRIN

Gerhana Matahari merupakan fenomena antariksa yang sangat menarik dan jarang terjadi. Kejadian gerhana Matahari dapat diamati hanya dalam orde menit di beberapa

bagian dunia saja. Hal itulah yang membuat para pemburu gerhana Matahari berkelana ke seluruh dunia untuk dapat menyaksikan fenomena tersebut. Secara umum, gerhana Matahari terjadi ketika Bulan bergerak di antara Bumi dan Matahari, sehingga sinar Matahari terhalang oleh Bulan dan menciptakan bayangan

di beberapa bagian permukaan Bumi. Hal ini terjadi jika Matahari, Bulan, dan Bumi sejajar berada pada satu garis lurus. Meskipun begitu, tetap saja hanya beberapa area permukaan Bumi yang akan tertutupi oleh bayangan Bulan pada saat gerhana Matahari, karena Bulan tidak cukup besar untuk menghalangi seluruh sinar