

akan sangat berguna untuk mendapatkan model yang lebih baik.

Medan magnet yang merupakan sumber energi *flare* berasal dari bawah fotosfer. Sebelum menampakkan diri di permukaan, medan magnet melewati zona konveksi yang merupakan plasma bertekanan tinggi yang bergerak secara konvektif. Oleh karena itu, medan magnet mungkin saja berbentuk tabung fluks yang memuntir. Saat tabung fluks tersebut muncul ke permukaan Matahari, tekanan gas yang menahannya menurun secara drastis, sehingga medan magnet menyebar secara cepat. Medan magnet yang muncul ke permukaan ini secara perlahan mengisi ruang yang besar di atmosfer Matahari lalu membentuk struktur magnetik. Medan magnet mengalami disipasi energi magnetik karena proses ini. Tidak semua energi mengalami disipasi. Sisanya tetap menjadi energi magnetik yang tersimpan dalam struktur magnetik sebagai medan yang sejajar dengan arus listrik dan tidak menghasilkan gaya Lorentz.

Energi tersebut dinamakan energi bebas. Selain itu, muncul juga distorsi pada struktur magnetik yang terlihat sebagai tabung fluks yang terpuntir dan/atau busur medan magnet yang tergeser. Pembentukan struktur magnetik yang terdistorsi penting untuk dipelajari karena terkait dengan waktu mulai peristiwa *flare*.

Sebelum terjadi *flare*, ada tanda-tanda atau prekursor yang dapat dipelajari. Salah satu prekursor yang penting adalah munculnya daerah magnetik baru dengan konfigurasi bipolar di sekitar bintik. Medan magnet dari daerah baru tersebut dapat berinteraksi dengan medan magnet eksis di korona untuk menghasilkan *flare*. Prekursor lainnya yang sering dipertimbangkan para peneliti adalah proses aktivasi atau erupsi filamen. Filamen terbentuk dari plasma yang relatif lebih dingin ( $T \sim 10^4$  K) lalu mengapung di korona yang berisi plasma yang lebih panas ( $T > 10^6$  K). Di dalam filamen, tekanan magnetik lebih mendominasi daripada tekanan gas karena filamen berada di korona yang merupakan plasma

dengan nilai beta-plasma (rasio tekanan gas terhadap tekanan magnetik) yang rendah. Saat terjadi ketidakseimbangan antara gradien tekanan magnetik, gaya magnetik, dan gaya gravitasi, kondisi di dalam filamen menjadi tidak stabil. Ketidakstabilan ini yang menjadi pemicu erupsi filamen, dan erupsi filamen dapat memicu terjadinya *flare*. Jika kita dapat mempelajari penyebab ketidakseimbangan ketiga gaya tersebut sehingga terjadi erupsi, maka kita dapat memperkirakan kapan terjadinya *flare*.

*Flare* sering dikaitkan dengan fenomena dinamis lainnya di Matahari, seperti erupsi filamen dan pelepasan massa korona atau *coronal mass ejection* (CME). CME merupakan peristiwa erupsi skala besar yang membawa banyak sekali plasma (hingga  $10^{16}$  g) menuju ruang antarplanet. Pada CME tertentu, *loop* magnetik seukuran radius Matahari terlepas dari Matahari dengan kecepatan 30–2500 km/detik, membentuk gelombang kejut pada bagian depan *loop*.

## LINGKUNGAN ANTARIKSA

# Berbagai Kerusakan Akibat Sampah Antariksa, Lalu Apa yang Bisa Dilakukan?

Oleh

A.D. Pangestu | Pussainsa LAPAN

Sampah antariksa atau *space debris* adalah sisa-sisa dari objek buatan manusia yang diluncurkan keluar angkasa (dalam orbit Bumi) yang sudah tidak berfungsi lagi, sehingga menjadi sampah yang perlu ditangani agar tidak mengganggu lingkungan dekat Bumi. Sampah antariksa biasanya berupa sisa wahana antariksa, sisa roket yang

dipakai untuk meluncurkan wahana antariksa, sampah yang berkaitan dengan misi antariksa (peralatan yang dilepaskan ketika proses peluncuran satelit), dan objek yang meledak di luar angkasa. Objek yang mengalami ledakan ini menjadi faktor dominan meningkatnya sampah antariksa di lingkungan dekat Bumi.

Fluks atau jumlah dari sampah antariksa bisa dilihat berdasarkan

ketinggiannya. Di orbit LEO (*Low Earth Orbit*) yakni orbit pada ketinggian 160 km hingga 1000 km di atas Bumi, satelit aktif dan sampah antariksa sangat padat. Sedangkan di ketinggian GEO (*Geostationary Orbit*) dengan ketinggian sekitar 36000 km di atas Bumi, fluks sampah antariksa lebih renggang. Ukurannya juga bervariasi, namun semakin kecil ukurannya, jumlahnya semakin banyak. Sampah antariksa yang

Gambar 1. Satelit Tiangong-1 yang sudah tidak aktif sehingga menjadi sampah antariksa (Sumber: [cnet.com/news](http://cnet.com/news))



berukuran kecil ini sangat susah untuk dikendalikan. Selain itu, kalahidupnya yang bisa bertahan selama puluhan, ratusan, bahkan ribuan tahun di orbit, tentu sangat mengganggu lingkungan dekat Bumi jika tidak ditangani dengan baik.

Menilik pada sejarah awalnya, lingkungan antariksa dekat Bumi sangat bersih karena belum ada satupun satelit yang diluncurkan ke angkasa. Dimulai dengan peluncuran Sputnik 1 pada tahun 1957, peluncuran satelit semakin masif dan mendorong banyaknya sampah antariksa hingga sekarang ini. Pertumbuhan sampah antariksa ini meningkat dengan sangat pesat seiring dengan masifnya peluncuran satelit dari berbagai negara dengan berbagai kepentingan.

Hal ini menyebabkan resiko yang sangat besar karena sampah antariksa bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi. Di orbit LEO, sampah antariksa bergerak dengan kecepatan rata-rata 8 km/s. Dengan kecepatan setinggi ini, sampah antariksa tidak hanya berpotensi mengganggu satelit aktif saja, tetapi juga bisa mengganggu wahana antariksa lainnya, termasuk para astronot yang bekerja di sana.

Kerusakan yang diakibatkan oleh sampah antariksa bergantung

pada areanya atau ketinggiannya. Di orbit LEO, sampah antariksa yang kecil sudah bisa menyebabkan kerusakan yang berat pada satelit karena kecepatan sampah antariksa di orbit LEO sangat tinggi. Sementara di orbit GEO, kebanyakan kerusakan disebabkan oleh sampah antariksa yang berukuran besar, tetapi dengan kecepatan yang lebih rendah daripada di orbit LEO.

Tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh sampah antariksa juga dipengaruhi oleh jenis operasional satelit. Jika satelit membawa komponen yang rawan mengalami kerusakan seperti sensor optik dan teleskop, maka kerusakannya akan berbeda dengan satelit lain yang jenis operasionalnya hanya menggunakan antena dan tidak menggunakan sensor jenis apapun. Selain hal itu, probabilitas tumbukan juga dipengaruhi oleh ukuran satelit, kecepatan, sudut tumbukan, dan waktu operasional dari satelit. Semakin besar ukuran, kecepatan, dan semakin lama operasionalnya, maka kemungkinan wahana aktif tersebut diganggu oleh sampah antariksa juga semakin besar.

Sampah antariksa bisa membahayakan bagi satelit aktif, membahayakan *space shuttle*

dan *crew*, stasiun luar angkasa, dan juga membahayakan Bumi. Jenis kerusakannya pun beragam, mulai dari terbentuk lubang pada wahana yang tertabrak, ada bagian wahana yang terlepas, mengalami keretakan, hingga menyebabkan ledakan. Sedangkan dampak dari kerusakan-kerusakan tersebut menyebabkan:

1. *On-board components failure*  
Komponen wahana menjadi tidak bisa bekerja sebagaimana mestinya.
2. *Surface degradation*  
Komponen mengalami penurunan kualitas pada permukaannya sehingga tidak dapat melindungi bagian dalamnya dengan baik.
3. *Optical surface degradation*  
Komponen optik mengalami penurunan kualitas dan efektivitasnya juga menjadi menurun. Hal ini memicu kerugian yang besar karena elemen optik biasanya menjadi elemen yang paling utama dalam suatu wahana antariksa.
4. *Thermal control degradation*  
Mengganggu sistem manajemen temperatur sehingga tidak lagi efektif untuk menjaga kesetimbangan temperatur di wahana antariksa. Hal ini jelas akan merugikan karena setiap elemen memiliki batas temperatur tertentu.
5. *Effects on solar panels (power system)*  
Kerusakan yang bisa menyebabkan efektivitas panel surya berkurang atau bahkan menjadi rusak sama

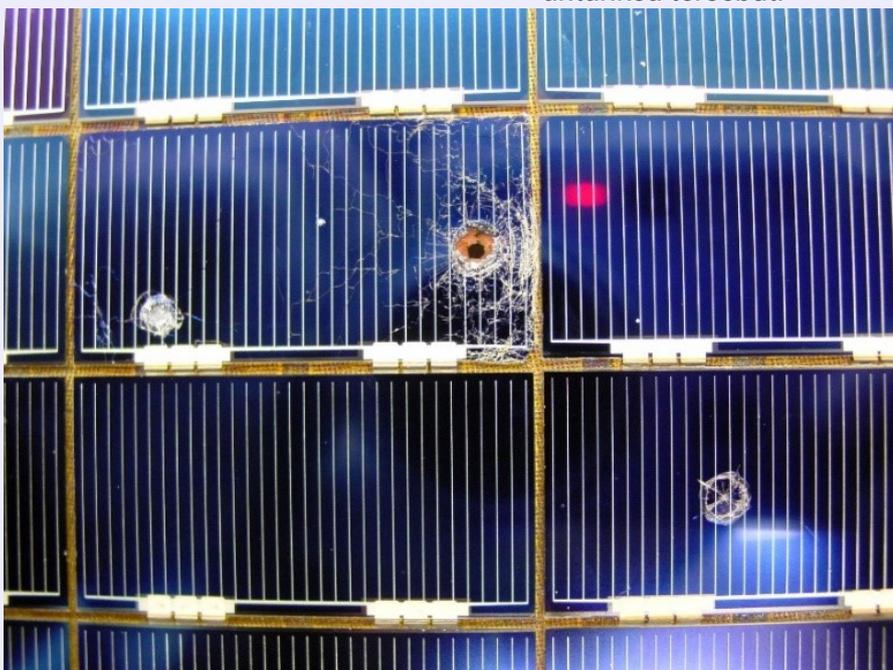
sekali sehingga tidak bisa membangkitkan energi.

6. Astronot yang sedang melakukan *spacewalk* berpotensi celaka.
7. Kru dalam suatu wahana yang sedang menjalankan misi bisa terluka.

Untuk menghindari kerusakan dan bahaya tersebut, terdapat aturan sebagai upaya untuk memproteksi wahana antariksa. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mempertimbangkan resiko yang dihadapi dengan biaya yang harus dikeluarkan. Jika resiko yang dihadapi dinilai tidak terlalu besar, maka pemilik wahana antariksa biasanya tidak mengambil langkah mitigasi apapun karena biayanya yang cukup besar.

Sementara itu, secara umum teknik penghindaran wahana aktif terhadap sampah antariksa terdapat beberapa jenis tergantung dari mekanismenya, antara lain:

1. Teknik Proteksi Pasif



**Gambar 3.** Kerusakan solar panel pada Hubble Space Telescope akibat dari sampah antariksa (Sumber: *esa.int*)



**Gambar 2.** Model yang menggambarkan lingkungan sekitar Bumi. Pada orbit LEO tampak sangat rapat dipenuhi objek buatan jika dibandingkan dengan orbit GEO yang lebih renggang (Sumber: *esa.int*)

- Menggunakan *housing cover (shielding)* pada permukaan satelit sehingga tidak terganggu akibat gesekan dan tumbukan ringan. Hal ini untuk menjaga bagian internal tetap aman.
2. Teknik Proteksi Aktif  
Upaya ini membutuhkan adanya deteksi dan *warning* jika ada sampah antariksa yang berada ratusan kilometer di depan wahana antariksa atau satelit aktif. Hal ini untuk memberikan sinyal kepada satelit untuk melakukan upaya manuver menghindari sampah antariksa tersebut.

Biasanya deteksi dan *warning* ini bisa simultan antara sensor *on-board* dengan operator di *ground base*.

3. Teknik Proteksi Operasional  
Dilakukan dengan melakukan *oversizing* (menambah kapasitas kerja suatu komponen sehingga jika mengalami degradasi, efektivitasnya tidak jauh berkurang) dan melakukan *redundancy* (membuat duplikat untuk komponen tertentu sehingga jika salah satunya mengalami kerusakan, maka yang lain bisa menggantikan).

Sementara itu, beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi bahaya sampah antariksa di masa depan antara lain:

1. Meminimalkan komponen yang dibuang saat proses peluncuran maupun awal misi.
2. Menentukan berapa banyak potensial sumber energi yang tersisa dari satelit di akhir hidupnya. Hal ini untuk meminimalkan adanya potensi ledakan yang diakibatkan oleh sisa propelan atau bahan bakar.
3. Mengurangi tumbukan dengan melakukan

manuver seperti teknik deorbit, mengarahkan satelit yang akan mati ke *graveyard orbit*, atau melakukan teknik *active removal of debris* dari orbit.

4. Menghindari upaya penghancuran satelit menggunakan laser dari Bumi karena dapat memicu sampah antariksa baru

yang berukuran lebih kecil.

Secara internasional, sudah banyak forum-forum yang anggotanya saling bertukar informasi terkait dengan isu ini, karena masalahnya yang dapat dirasakan secara global. Pada forum tersebut, anggota akan saling berkoordinasi tentang sampah antariksa, mulai dari bertukar informasi, fasilitas

penelitian, upaya mitigasi, dan kerjasama lainnya. Diharapkan dengan forum tersebut, setiap negara termasuk Indonesia, bisa mempertimbangkan dengan baik upaya untuk mengurangi sampah antariksa ini dan lebih paham dengan situasi di lingkungan dekat Bumi.

ASTRONOMI

## Kecerlangan Langit dan Polusi Cahaya

Oleh

S. Maryam | Pussainsa LAPAN

Langit malam menjanjikan pemandangan yang indah, seperti bintang-bintang, planet, dan berbagai obyek langit. Dahulu, semua orang bisa melihat langit malam bertabur bintang, tetapi saat ini jutaan orang di seluruh dunia mengalami kesulitan dalam mengamati Bima Sakti tempat mereka tinggal. Pemandangan ini makin sulit diamati akibat adanya polusi cahaya yang makin parah. Penggunaan cahaya buatan yang meningkat dan meluas di malam hari tidak hanya mengganggu pandangan kita tentang alam semesta, tetapi juga memengaruhi lingkungan, keamanan, konsumsi energi, dan



Gambar 2. Sebelum dan selama cahaya lampu dimatikan (Kredit: Todd Carlson. Sumber: [www.darksky.org/light-pollution/](http://www.darksky.org/light-pollution/))

kehatan kita. Penggunaan cahaya buatan yang tidak tepat atau berlebihan dapat menimbulkan konsekuensi lingkungan yang serius bagi manusia, satwa liar, dan iklim.

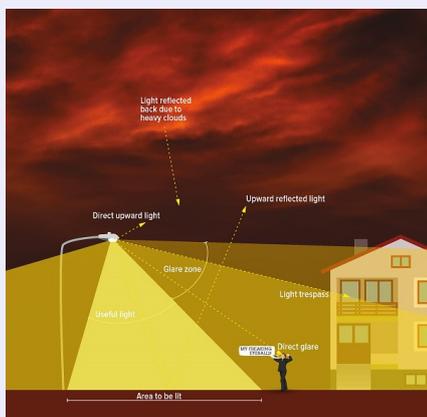
### Polusi Cahaya

Sebagai fakta pada malam hari banyak pencahayaan di luar yang digunakan secara tidak efisien, terlalu terang, tidak terjangkau, tidak terlindung dengan benar, dan dalam banyak kasus, cahaya sama sekali tidak diperlukan. Cahaya buatan yang digunakan terbuang tumpah ke langit dan tidak menerangi area yang dituju.

Cahaya merupakan salah satu

jenis polusi. Polusi cahaya adalah cahaya dengan intensitas yang terlalu besar dan dapat berdampak buruk. Beberapa spesies, termasuk tumbuhan dan manusia, mengalami dampak akibat polusi cahaya. Sebagian besar masyarakat umum tidak pernah mendengar istilah polusi cahaya. Adapun yang mengetahui tentang polusi cahaya biasanya tidak peduli, bahkan tidak melakukan apa-apa untuk menanggulangnya. Sebagai contoh, polusi cahaya ini telah merugikan Amerika Serikat sebanyak satu miliar dolar setiap tahun.

Polusi cahaya adalah efek



Gambar 1. Komponen polusi cahaya (Kredit: Anezka Gocova. Sumber: [www.darksky.org/light-pollution/](http://www.darksky.org/light-pollution/))