

Pada beberapa ketinggian jelajah pesawat, puncak kontribusi SEP terhadap paparan dosis radiasi ada pada rentang 20–24  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  di ketinggian 50.000 kaki (15.200 m), 11–13  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  di ketinggian 35.000 kaki (10.670 m), dan 10  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  di ketinggian 30.000 kaki (9.100 m) di atas permukaan laut. Sementara perhitungan untuk penerbangan lintas kutub, awak pesawat dan penumpang akan menerima paparan radiasi sebesar 90  $\mu\text{Sv}$  dalam penerbangan Helsinki–Osaka dengan durasi 9 jam 30 menit di ketinggian 40.000 kaki, dan sebesar 110  $\mu\text{Sv}$  dari Helsinki ke New York dengan durasi 8 jam 40 menit di ketinggian yang sama.

Saat terjadi GLE lemah seperti GLE 72 pada tanggal 10 September 2017, batas atas paparan radiasi dalam satu penerbangan adalah sekitar 100  $\mu\text{Sv}$  untuk penerbangan 10 jam di ketinggian 40.000 kaki, dengan kontribusi dari GCR sekitar 60–65  $\mu\text{Sv}$ . Nilai tersebut jauh di bawah rata-rata paparan radiasi tahunan Amerika yakni 1 millisievert. Tetapi hasil pengukuran ini tetap di atas radiasi latar belakang yang biasa dan dapat menimbulkan risiko kesehatan kumulatif bagi awak pesawat dan pilot, yang sudah menerima kira-kira tiga kali lipat dosis radiasi rata-rata tahunan.

Penelitian mengenai pengaruh

SEP dalam dosis radiasi penerbangan juga dilakukan oleh *National Institute of Information and Communications Technology* (NICT), Jepang sebagai satu-satunya lembaga negara di Asia bagi pusat cuaca antariksa pada organisasi penerbangan sipil internasional atau *International Civil Aviation Organization* (ICAO) dan telah memberi layanan sejak 7 November 2019. Sistem yang dikembangkan oleh NICT bersama dengan the *Japan Atomic Energy Agency* (JAEA), dan the *National Institute of Polar Research* (NIPR) adalah *WARning System for AViation Exposure to Solar energetic particles* (WASAVIES). Sistem tersebut dapat memperkirakan dosis radiasi yang diakibatkan oleh partikel energetik dari flare Matahari secara *real time*. Sistem ini juga dapat menghitung dosis radiasi hingga 100 km di atas permukaan tanah pada posisi di mana pun di Bumi dan memonitor dosis radiasi kru penerbang secara *real time*.

(<https://www.nict.go.jp/en/press/2019/11/07-1.html>, Sato *et al.*, 2018).

#### Pustaka

- [1] W. Kent Tobiska D. Bouwer D. Smart M. Shea J. Bailey L. Didkovsky K. Judge H. Garrett W. Atwell B. Gersey R. Wilkins D. Rice R. Schunk

D. Bell C. Mertens X. Xu M. Wiltberger S. Wiley E. Teets B. Jones S. Hong K. Yoon, 2016, Global real-time dose measurements using the Automated Radiation Measurements for Aerospace Safety (ARMAS) system, Volume14, Issue11, Pages 1053-1080. <https://doi.org/10.1002/2016SW001419>.

- [2] Tatsuhiko Sato, Ryuho Kataoka, Daikou Shiota, Yūki Kubo, Mamoru Ishii, Hiroshi Yasuda, Shoko Miyake, In Chun Park, and Yoshizumi Miyoshi, 2018, Real Time and Automatic Analysis Program for WASAVIES: Warning System for Aviation Exposure to Solar Energetic Particle, Volume16, Issue7, July 2018, Pages 924-936, <https://doi.org/10.1029/2018SW001873>.

- [3] Mishev A. L. , I. G. Usoskin, 2018, "Assessment of the Radiation Environment at Commercial Jet-Flight Altitudes During GLE 72 on 10 September 2017 Using Neutron Monitor Data." *Space Weather*, 16, 1921–1929. <https://doi.org/10.1029/2018SW001946>.

## ASTROFISIKA

# Space Physics in a Nutshell

Oleh

A. Faturahman | Pussainsa OR-PA BRIN

**A**pakah Fisika Antariksa Itu? Menurut definisi beberapa literatur, fisika antariksa (*space*

*physics*, dulu sering disebut sebagai *solar-terrestrial physics*) merupakan kajian yang mempelajari fenomena yang terjadi di lingkungan plasma alami tata surya. Lingkungan antariksa (*space environment*)

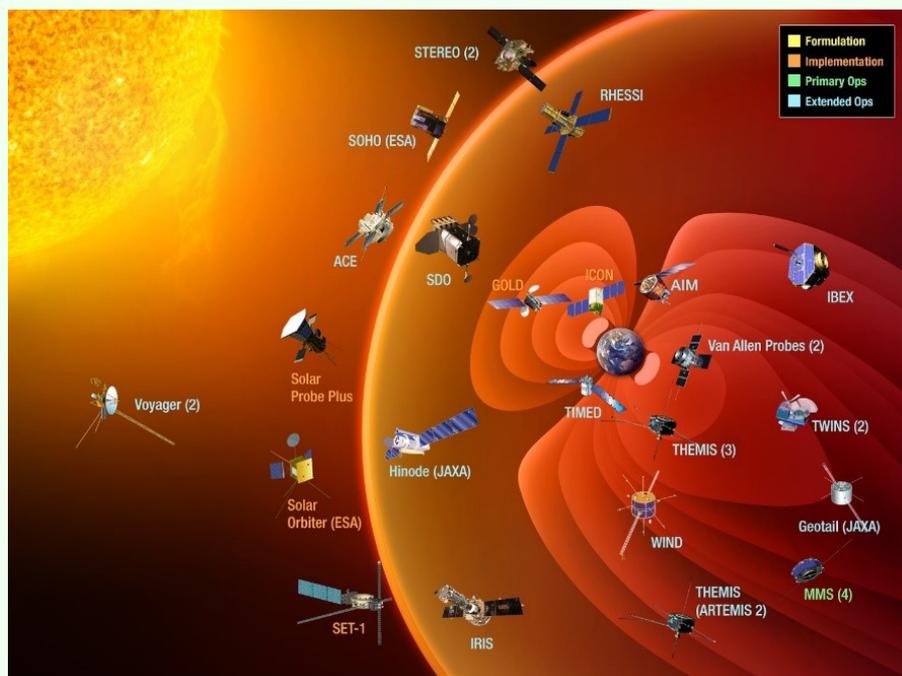
didefinisikan sebagai bagian dari lingkungan Bumi, mulai dari atmosfer atas, membentang beberapa puluh kali radius Bumi sampai dengan batas tepi tata surya. Lingkungan antariksa ini diisi oleh materi plasma, partikel

lainnya, maupun medan magnet. Plasma merupakan gas yang sebagian besar terdiri dari partikel bermuatan. Fisika, seperti istilah yang umum diketahui, merupakan ilmu yang mempelajari fenomena alam, baik secara matematis maupun empiris, serta hukum-hukum alam universal yang mendasarinya. Dengan demikian, dari definisi di atas, kita simpulkan bahwa fisika antariksa ini berfokus mempelajari lingkungan antariksa, terdiri dari berbagai macam objek materi, baik partikel maupun medan magnet, dari atmosfer bagian atas Bumi sampai dengan tepi tata surya.

Fisika antariksa berkembang relatif lebih baru dibandingkan cabang ilmu lain. Penyelidikan dan pengamatan ilmiahnya mulai berjalan dalam kurun waktu beberapa dekade terakhir. Hal ini karena teknologi pengamatan antariksa yang digunakan juga mulai mapan dan berkembang beberapa dekade terakhir. Secara umum, pengamatan lingkungan antariksa dilakukan dengan dua cara. Pertama, dengan pengukuran *in situ* melalui instrumen/sensor tertentu yang ditempatkan di satelit/pesawat antariksa. Kedua, dengan pengukuran *ex situ*, landas-Bumi (*ground-based*), seperti rekaman medan magnet, *radio sounding*, fotometri, dan pengukuran radar.

**Objek Kajian Fisika Antariksa**

Matahari merupakan salah satu objek yang dikaji dalam fisika antariksa. Matahari adalah sumber energi utama dalam tata surya, aktivitasnya sangat berpengaruh terhadap lingkungan antariksa dan Bumi. Cahaya dan radiasi yang dipancarkan Matahari merupakan komponen penting yang menopang kehidupan. Energi Matahari



**Gambar 1.** Wahana pengamatan antariksa *in situ*.

(Sumber: <https://muele.muni.ac.ug/pluginfile.php/11709/course/summary/space%20physics.jpg>)

secara dominan dipancarkan dalam bentuk radiasi elektromagnetik dengan rentang frekuensi yang sangat lebar. Namun, selain dalam bentuk radiasi, energi Matahari juga dipancarkan dalam bentuk materi, berupa angin surya (*solar wind*) dan partikel berenergi tinggi. Biasanya pancaran partikel energi tinggi ini dikaitkan dengan fenomena yang terjadi di Matahari, seperti *flare*.

Sebelumnya kita telah menyebutkan bahwa lingkungan antariksa terisi dengan plasma alami, Matahari berperan sebagai sumber plasma alami di seluruh tata surya. Matahari dalam aktivitasnya mempunyai variabilitas yang sangat tinggi, baik variasi jangka pendek maupun jangka panjang. Variabilitas aktivitas Matahari dikendalikan oleh fluks magnetik di permukannya. Aktivitas Matahari memiliki siklus yang disebut sebagai siklus 11 tahunan, terdiri dari fase minimum dan maksimum. Pada fase

maksimum energi yang dikeluarkan Matahari lebih tinggi, sebaliknya saat fase minimum energi yang dikeluarkan lebih rendah.

Objek lain yang dikaji fisika antariksa adalah angin surya dan magnetosfer. Angin surya merupakan aliran plasma yang bersumber dari atmosfer Matahari. Ketika angin surya melewati planet yang memiliki medan magnet, seperti Bumi, akan terbentuk struktur ‘gelembung’ magnetik yang merupakan hasil interaksi aliran angin surya tersebut dengan medan magnet planet. Struktur gelembung ini dikenal dengan istilah magnetosfer. Proses fisis yang terjadi di dalam magnetosfer sangat bergantung kepada sifat angin surya yang variabilitasnya sangat tinggi. Partikel penyusun plasma dalam magnetosfer utamanya terdiri dari elektron dan proton (hasil ionisasi atom hidrogen). Partikel penyusun ini bersumber dari angin surya maupun lapisan

ionosfer Bumi. Plasma di dalam magnetosfer tidak terdistribusi secara seragam, tetapi terbagi dalam beberapa wilayah tertentu dengan kerapatan dan temperatur yang berbeda. Bentuk dan wilayah magnetosfer akan mengalami perubahan yang signifikan sebagai respons terhadap kondisi angin surya.

Sinar ultraviolet dari Matahari tentu saja akan melewati atmosfer Bumi. Sinar ultraviolet ini akan mengionisasi sebagian kecil wilayah atmosfer. Pada ketinggian lebih dari 80 km, proses tumbukan antarion untuk rekombinasi sangat jarang terjadi. Hal ini mengakibatkan populasi partikel yang terionisasi di atmosfer bagian atas cukup permanen dan dominan. Atmosfer atas dengan jumlah populasi partikel ion dominan dikenal sebagai lapisan ionosfer. Proses ionisasi di dalam ionosfer utamanya dihasilkan oleh sinar-X dan sinar ultraviolet Matahari. Ionosfer merupakan sistem dinamik, yang diatur oleh banyak parameter, termasuk gerak akustik atmosfer, emisi gelombang elektromagnetik, dan variasi medan magnet Bumi.

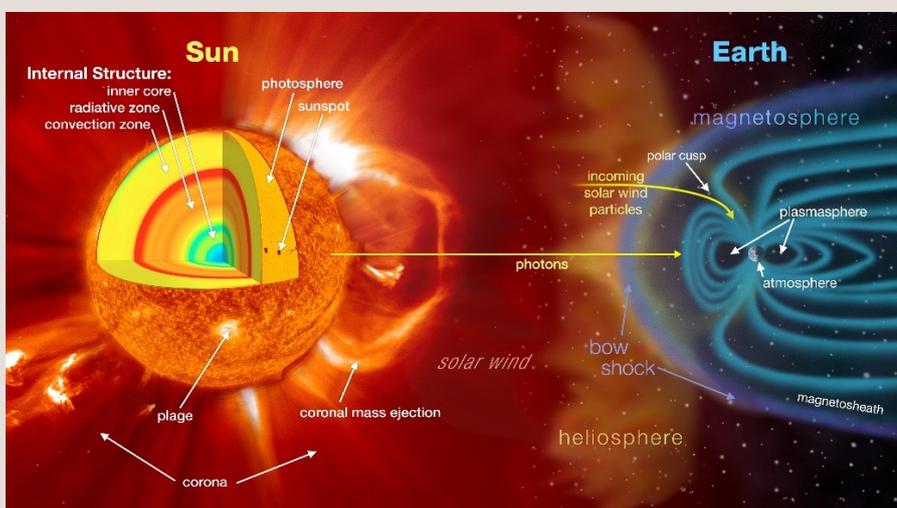
Dalam lingkup lingkungan antariksa terdapat daerah di luar

magnetosfer atau atmosfer atas yang tidak terpengaruh oleh medan magnet planet, wilayah ini disebut sebagai ruang antarplanet (*interplanetary space*). Ruang antarplanet banyak diisi oleh aliran partikel angin surya, yang keluar secara terus menerus dari Matahari. Selain itu, medan magnet antarplanet juga cukup berperan dalam mengisi ruang ini. Makin jauh dari Matahari, tekanan angin surya terus berkurang, dan pada akhirnya tekanan dari angin antarbintang (*interstellar wind*) membatasi ruang antarplanet pada suatu batas tertentu yang disebut sebagai *heliopause*. Batas tersebut bermakna sama dengan tepi tata surya yang disebutkan sebelumnya. Sampai saat ini kita belum mengetahui secara pasti seberapa luas heliosfer. Namun, heliosfer diperkirakan mempunyai diameter sekitar 200 sa, dengan 1 sa (satuan astronomi) didefinisikan sebagai jarak rerata antara Matahari dan Bumi sebesar 150 juta km.

Ranah dan objek kajian fisika antariksa, seperti yang telah kita definisikan di atas, menyiratkan bahwa fisika antariksa tidak membahas topik yang terkait

dengan objek padat di tata surya. Objek seperti planet, satelit alami (bulan), asteroid, komet, meteorit, debu antarplanet, dan lain sebagainya dibahas dalam kajian *planetology*. Hal ini serupa juga dengan topik yang membahas Matahari secara komprehensif, dipelajari dalam fisika Matahari (*solar physics*). Fisika antariksa juga membatasi kajiannya dalam domain atau daerah tertentu saja. Seperti yang telah didefinisikan, daerah kajian dimulai dari atmosfer bagian atas, khususnya lapisan ionosfer. Lapisan atmosfer bagian bawah, khususnya yang terkait dengan cuaca, secara spesifik dipelajari dalam kajian meteorologi. Oleh sebab itu juga, karena fisika antariksa hanya membahas objek di tata surya dan sekitarnya, bidang ini dapat dibedakan dengan astronomi yang objek kajiannya terletak jauh dari tata surya.

Memisahkan kajian fisika untuk atmosfer bawah dan atmosfer atas sepintas tampak aneh. Kajian tentang atmosfer bawah dipelajari secara mendalam di bidang meteorologi, sedangkan atmosfer atas, khususnya ionosfer, dipelajari dalam fisika antariksa. Atmosfer atas dimasukkan ke dalam kajian fisika antariksa karena secara struktur, atmosfer atas dan bawah, memiliki komposisi kimia yang berbeda dan didominasi proses transpor yang berbeda. Komposisi partikel bermuatan dan proses ionisasi di atmosfer atas juga lebih dominan sehingga atmosfer atas memiliki sifat plasma. Alasan lain dari pemisahan ini adalah dinamika atmosfer atas sangat kontras berbeda dengan atmosfer bawah. Dinamika atmosfer atas, khususnya ionosfer, sangat dipengaruhi oleh aktivitas



**Gambar 2.** Ilustrasi domain dan daerah penelitian fisika antariksa.

(Sumber: [https://allnewspipeline.com/images/EarthSunSystem\\_HW.jpg](https://allnewspipeline.com/images/EarthSunSystem_HW.jpg))

Matahari dan sifat-sifat medium antarplanet.

**Mengapa Kajian Fisika Antariksa Penting?**

Di luar perspektif ilmiah di atas, ada alasan tertentu mengapa fisika antariksa harus diakui menjadi cabang ilmu tersendiri yang penting. Pertama, fisika antariksa mencakup wilayah penelitian yang luas dan batasan definisi yang jelas seperti telah disebutkan sebelumnya. Kedua, ada cukup banyak peneliti/ilmuwan yang aktif bekerja dalam bidang ini. Selain itu, para peneliti fisika antariksa juga telah membentuk organisasi profesi mereka sendiri, baik dalam skala nasional maupun internasional, mengadakan

konferensi khusus, menerbitkan jurnal ilmiah yang turut mengembangkan cabang ilmu ini, dan pusat-pusat khusus penelitian fisika antariksa. Ketiga, dari perspektif nilai ekonomi, selama beberapa dekade terakhir sumber daya moneter telah banyak diinvestasikan dalam bidang fisika antariksa, baik untuk peluncuran roket, pembuatan satelit, pembuatan pesawat antariksa, dan sebagainya. Hal ini tentu juga menekankan bahwa fisika antariksa sangat prospektif sehingga investasi besar layak didapatkan bidang ilmu ini.

Lingkungan antariksa merupakan lingkungan yang kompleks, terdiri dari plasma dan berbagai jenis radiasi, medan listrik/magnet,

partikel berenergi yang berinteraksi satu sama lain. Lingkungan antariksa tidak hanya penting karena manusia tertarik mempelajari fenomena dan hukum alam yang mendasarinya saja. Namun, karena lingkungan ini juga makin memengaruhi teknologi yang dibuat oleh manusia, khususnya teknologi terkait sistem satelit, sistem komunikasi, dan sistem navigasi.

**Pustaka**

[1] Prölss, Gerd. (2004). Physics of the Earth's Space Environment. 10.1007978-3-642-97123-5\_3.

**MAGNETOSFER**

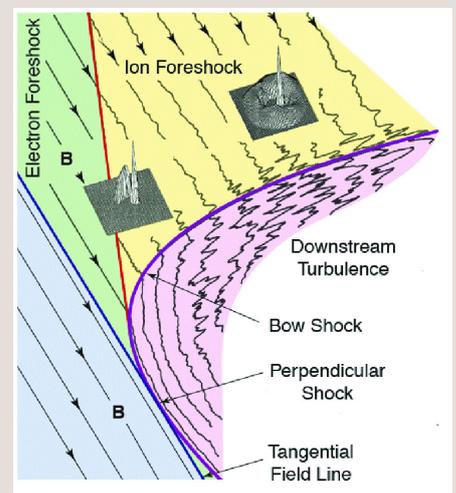
**Gelombang ULF dalam Plasma Antariksa (Pulsa Magnet)**

Oleh **S.C. Pranoto** | Pussainsa OR-PA BRIN

Pulsa magnet (*Geomagnetic Pulse*) atau lebih dikenal sebagai gelombang *Ultra Low Frequency* (ULF) geomagnet merupakan osilasi frekuensi rendah yang terjadi pada medan magnet Bumi. Gelombang ULF ini diakibatkan oleh berbagai proses pada plasma termagnetisasi. Berdasarkan klasifikasi IAGA pada 1963, gelombang ULF geomagnet dibagi berdasarkan

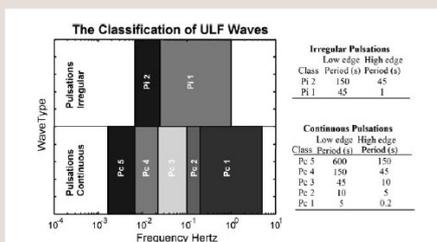
bentuk gelombang dan perioda gelombangnya. Osilasi dengan bentuk gelombang quasi-sinusoidal disebut sebagai *pulsations continues* (Pc), sedangkan bentuk gelombang yang tidak beraturan disebut sebagai *pulsation irregular* (Pi). Klasifikasi gelombang ULF berdasarkan rentang periodanya terbagi seperti pada Gambar 1.

Pulsa magnet dapat teramati melalui pengukuran langsung medan listrik dan medan magnet menggunakan satelit maupun menggunakan magnetometer landas Bumi. Pembangkitan pulsa magnet ini terkait erat dengan interaksi antara medan magnet Bumi dengan angin surya, medan magnet antarplanet maupun aktivitas geomagnet seperti badai magnet dan *substorm* magnetosferik. Proses yang terjadi di magnetosfer



**Gambar 2.** Skema foreshock, bowshock, dan magnetosheat Bumi. Pulsa atau riak di medan magnet merepresentasi gelombang ULF (Balogh & Treumann, 2013)

akibat dari fenomena-fenomena tersebut menyebabkan ketidakstabilan distribusi tekanan, energi, dan *pitch angle* pada partikel bermuatan (Mcpheeron, 2005).



**Gambar 1.** Klasifikasi gelombang ULF geomagnet berdasarkan rentang perioda (Jacobs et al., 1964)