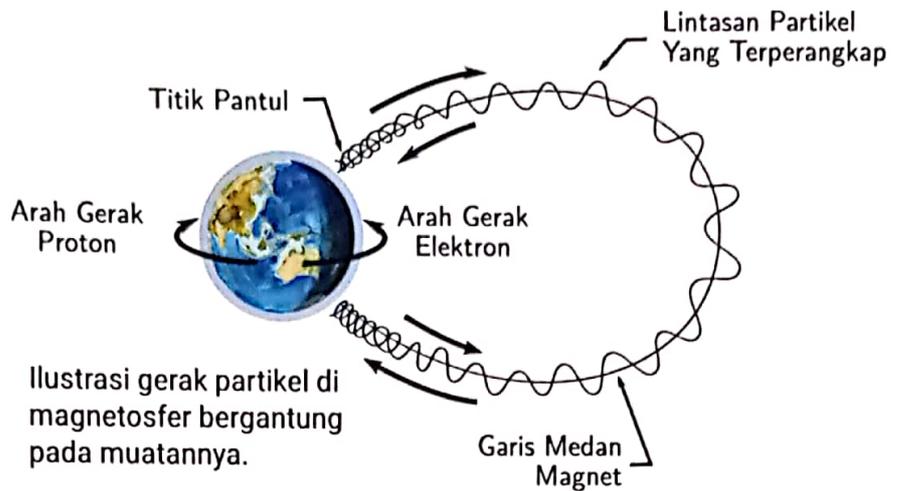


yang berbeda. Elektron bermassa lebih kecil dibandingkan dengan proton, yaitu sekitar 1/1836 massa proton. Akan tetapi elektron memiliki kecepatan lebih besar, hampir mendekati kecepatan cahaya. Dalam sebuah atom, elektron bergerak mengelilingi inti atom. Pergerakan elektron ini sangat kompleks dan menarik, sedangkan pergerakan proton lebih masif dibanding elektron.

Pergerakan partikel bermuatan akan berhubungan dengan kecepatan, dan kecepatan akan berkaitan dengan energi kinetik. Untuk memahami mengenai badai antariksa, energi kinetik merupakan salah satu komponen yang penting untuk dipelajari. Gerak partikel ini dipengaruhi oleh suatu gaya. Selain gaya gravitasi, dua gaya yang mempengaruhi gerakan partikel bermuatan dalam ruang hampa adalah gaya listrik dan gaya magnet. Gaya listrik mempercepat gerak muatan di sepanjang medan listrik, sedangkan gaya magnet mempercepat perpindahan partikel bermuatan dalam arah tegak lurus medan magnet.

Elektron yang bergerak dari ekuator menjauhi Bumi dan memasuki medan magnet Bumi yang berarah utara, maka elektron



belok ke kiri. Beberapa saat kemudian, elektron akan berbalik kembali ke arah Bumi. Keadaan tersebut akan berlangsung terus menerus. Elektron akan bergerak melingkar dikarenakan gaya magnet. Gaya yang dialami sebanding dengan kecepatan elektron dan tegak lurus dengan vektor medan magnet. Gaya magnet ini tidak akan merubah kecepatan atau energi kinetik elektron melainkan hanya mengubah arah gerakannya saja.

Gaya listrik bekerja pada partikel bermuatan, tak peduli partikel bergerak atau tidak, sedangkan gaya magnet bekerja pada partikel bermuatan yang bergerak. Medan listrik dapat mengubah kecepatan partikel bermuatan sementara medan magnet hanya mengubah arahnya saja.

Partikel-partikel dari Matahari yang terperangkap oleh medan magnet Bumi yang tidak homogen akan bergerak menyerupai spiral di sekitar garis-garis gaya medan dari kutub selatan menuju kutub utara. Partikel-partikel yang terperangkap inilah yang membentuk sabuk radiasi Van Allen dan arus cincin. Sabuk radiasi ini melingkari Bumi dan berbentuk seperti donat.

Partikel-partikel dari Matahari yang masuk ke dalam lingkungan Bumi di daerah kutub akan bertumbukan dengan atom-atom yang berada pada atmosfer Bumi. Tumbukan tersebut dapat memicu emisi cahaya tampak yang dikenal sebagai aurora, yakni *aurora borealis* di daerah kutub utara dan *aurora australis* di selatan.

NAVIGASI

## Akurasi, Integriti, Kontinuiti, dan Availabiliti

Ukuran keandalan sistem navigasi berbasis satelit

Oleh

S. Supriadi, D. U. Prabowo  
Pussainsa LAPAN

Modernisasi teknologi kian meluas hingga ke berbagai sendi kehidupan di Indonesia. Dewasa ini istilah *e-commerce*, *big data*, *IoT* dan istilah baru lainnya mulai merambah ke tanah

air kita. Tentu istilah baru ini makin familiar di telinga kita karena kebermanfaatannya yang kian terasa.

Kehadiran teknologi GPS (*Global Positioning System*) juga kian menghiasi ranah modernisasi berbagai jenis kebutuhan masyarakat. Peggunaanya mulai

marak pada *smartphone*, *smartband*, *smartwatch*, *tracking kendaraan*, *drone* dan lain-lain. Selain itu berbagai moda transportasi juga mulai beralih sistem navigasinya menuju penggunaan teknologi GPS karena biaya yang lebih murah. GPS sendiri merupakan sistem

**Tabel 1: Persyaratan akurasi, integriti, kontinuiti dan availabiliti pada GBAS bagi pendaratan pesawat.**

| Operasi  | Akurasi |       | Integriti              | Waktu      | Kontinuiti             | Availabiliti |
|--|---------|-------|------------------------|------------|------------------------|--------------|
|  | Hor.    | Vert. |                        | Peringatan |                        |              |
|  | [meter] |       | [jam <sup>-1</sup> ]   | [detik]    | [jam <sup>-1</sup> ]   | [%]          |
| En-route   | 3700    | -     | $1 - 1 \times 10^{-7}$ | 300        | $1 - 1 \times 10^{-8}$ | 99 - 99,999  |
| En-route, Terminal   | 740     | -     | $1 - 1 \times 10^{-7}$ | 15         | $1 - 1 \times 10^{-8}$ | 99 - 99,999  |
| Initial Approach, Intermediate Approach, Non-Precision Approach, Departure | 220     | -     | $1 - 1 \times 10^{-7}$ | 10         | $1 - 1 \times 10^{-8}$ | 99 - 99,999  |
| Approach With Vertical Guidance (APV-I)                                    | 16      | 20    | $1 - 2 \times 10^{-7}$ | 10         | $1 - 3 \times 10^{-7}$ | 99 - 99,999  |
| APV-II   | 16      | 20    | $1 - 2 \times 10^{-7}$ | 6          | $1 - 3 \times 10^{-7}$ | 99 - 99,999  |
| Category I Precision Approach  | 16      | 6 - 4 | $1 - 2 \times 10^{-7}$ | 6          | $1 - 3 \times 10^{-7}$ | 99 - 99,999  |

penentu posisi berbasis satelit yang dibuat oleh Amerika. Teknologi ini dapat memberi informasi posisi dengan akurasi yang beragam, mulai dari orde meter, desimeter, sentimeter hingga milimeter. Semakin akurat maka semakin mahal harga yang harus dibayar. Akurasi berarti ukuran deviasi posisi dari nilai benar. Deviasi tersebut biasa digambarkan dengan lingkaran yang melingkupi sebagian besar eror. Akurasi 5 meter berarti 95% eror posisi ada pada lingkaran 5 meter yang berpusat pada perkiraan nilai sebenarnya.

Selain parameter akurasi, terdapat istilah lain yang mulai diperkenalkan dalam dunia transportasi, yakni integriti, kontinuiti dan availabiliti. Bila merujuk pada kamus, integritas artinya mutu, sifat, atau keadaan yang menunjukkan kesatuan yang utuh sehingga memiliki potensi dan kemampuan yang memancarkan kewibawaan; kejujuran. Secara singkat integriti merupakan salah satu ukuran integritas sistem GPS, baik setelah dikoreksi ataupun sebelumnya.

Integriti ditunjukkan dengan probabilitas kemunculan eror yang bisa menyebabkan kegagalan sistem navigasi yang tak terdeteksi atau memberikan informasi yang salah serta membahayakan kemampuan sistem. Parameter integriti lebih diperlukan bagi wahana yang bergerak karena informasi ini memberikan ukuran jaminan yang ditawarkan oleh sistem kepada pengguna, terutama saat kondisi kritis seperti pendaratan pesawat atau gerak kapal dekat pelabuhan. Semakin kecil kemungkinan munculnya eror maka semakin handal sistem tersebut.

Kontinuiti merupakan istilah navigasi yang menggambarkan kemungkinan dukungan suatu sistem pada suatu persyaratan tercapainya akurasi dan integriti tertentu dalam durasi operasi yang dijalankan. Kontinuiti diukur dengan resiko probabilitas munculnya interupsi sistem navigasi yang akan terdeteksi namun tidak diperkirakan setelah fasa navigasi tertentu dimulai.

Sedangkan availabilitas ialah ketersediaan atau kemampuan

suatu sistem untuk menghasilkan pengaruh positif yang berguna bagi kebutuhan manusia. Availabiliti merupakan istilah yang menunjukkan keberlangsungan sistem pada kinerja tipe layanan tertentu yang bisa memenuhi persyaratan akurasi, integriti dan kontinuiti pada wilayah cakupannya. Tabel 1 adalah contoh persyaratan pada GBAS (*Ground-Based Augmentation System*). GBAS merupakan sistem koreksi posisi bagi pendaratan pesawat. Setiap fasa penerbangan memiliki persyaratan yang berbeda-beda. Cakupan GBAS sangat sempit karena hanya untuk sekitaran bandara.

Contoh lain terlihat pada Tabel 2 adalah implementasi SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*) pada transportasi maritim. SBAS merupakan sistem koreksi GPS bagi berbagai moda transportasi dan posisi dengan akurasi yang lebih rendah daripada GBAS, tetapi memiliki cakupan yang sangat luas hingga dapat mengoreksi GPS dalam wilayah cakupan operasi satu benua.

**Tabel 2: Persyaratan akurasi, integriti, kontinuiti dan availabiliti pada SBAS bagi transportasi maritim.**

| Lingkungan                               | Akurasi    | Update  | Waktu      | Kontinuiti     | Availabiliti | Cakupan |
|--|------------|---------|------------|----------------|--------------|---------|
|  | Horizontal | Rate    | Peringatan |                |              |         |
|  | [m]        | [detik] | [detik]    | [per 15 menit] | [%]          |         |
| Perairan lepas                           | 100        | 2       | segera     | -              | 99.8         | cukup   |
| Masuk pelabuhan, menepi, perairan pantai | 10         | 2       | 10         | 99.97          | 99.8         | cukup   |