

menunjukkan bahwa hubungan antara angin timur dan EEJ menunjukkan R yang lebih lemah (0.2). Distribusi angin dan data EEJ tidak seragam satu sama lain, dan pengamatan simultan kedua parameter tersebut hanya berhasil mengumpulkan data dengan jumlah yang sangat terbatas. Korelasi yang lebih lemah menunjukkan bahwa kedua parameter ini dapat independen satu sama lain. EEJ tidak dapat mempengaruhi angin secara kuat dan begitu pula sebaliknya. EEJ adalah arus listrik yang kuat di lapisan E siang hari (pagi hingga senja), sedangkan angin yang diamati di sini adalah aliran termosfer netral di bagian bawah lapisan F ekuator. Perbedaan ketinggian antara EEJ dan angin netral menunjukkan bahwa keduanya adalah fenomena yang independen. Oleh karena itu, peran angin dan EEJ pun juga independen dalam mengendalikan besarnya PRE. Temuan menarik lainnya juga terlihat pada Gambar 1 (b); yaitu,

beberapa poin dengan EEJ negatif menunjukkan PRE positif. Artinya PRE normal tetap terjadi walaupun dengan arus EEJ negatif (ke arah barat). Dari Gambar 1(c), terlihat pula beberapa titik dengan EEJ negatif menunjukkan angin bertiup ke arah timur. Ini adalah petunjuk; yaitu, PRE normal masih dapat dihasilkan bahkan ketika EEJ negatif, asalkan angin termosfer malam masih bertiup ke arah timur. Penggerak mendasar dari mekanisme PRE adalah angin malam ke arah timur seperti yang disarankan oleh Rishbeth (1971) dan Eccles (1998). Dalam kasus EEJ negatif, mekanisme PRE yang diusulkan oleh Haerendel dan Eccles (1992) tidak dapat terjadi secara efektif. Singkatnya, kombinasi antara angin timur dan EEJ negatif dapat menghasilkan besaran PRE yang lebih lemah.

Ringkasan

Dari hasil pengamatan yang terlihat di Gambar 1, angin netral termosfer ke arah timur saat senja dan arus EEJ berpengaruh

pada amplitudo PRE. Amplitudo PRE berkorelasi positif dengan angin timuran dan EEJ. Angin dan EEJ tidak bergantung satu sama lain atau independen. Oleh karena itu, baik angin dan EEJ mempengaruhi besarnya PRE secara independen. Angin malam ke arah timur di lapisan F ekuator adalah pendorong mendasar untuk pembangkitan PRE. Angin dan EEJ memiliki peran yang sebanding dalam mempengaruhi amplitudo PRE. Baik angin netral timuran yang kuat maupun EEJ yang kuat dapat menghasilkan amplitudo PRE yang lebih besar. Angin netral termosfer yang bertiup ke arah timur namun arus EEJ yang mengalir ke arah barat dapat menghasilkan amplitudo PRE yang lebih kecil. Untuk mengetahui versi lengkap dan lebih komprehensif dari penelitian ini, pembaca dapat menemukannya dalam makalah Abadi dkk. (2021) di jurnal *Earth and Planetary Physics* (EPP). ■

INSTRUMENTASI SAINS ANTARIKSA

Studi Kelayakan Data Magnetometer Satelit LAPAN-A3 untuk Mendukung Kegiatan Otomatisasi FRF Geomagnet

Bagian I: Satelit LAPAN A3 sebagai Bagian dari Misi Saintifik Magnetometer Antariksa

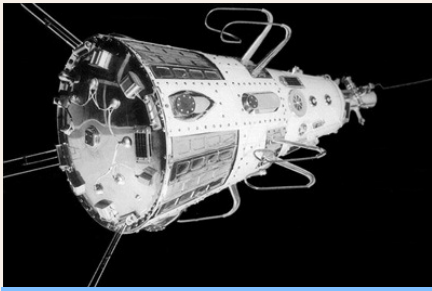
Oleh

H. Bangkit, L.M. Musafar, S. Utama | Pussainsa OR-PA BRIN

Bumi dapat ditinjau sebagai sebuah magnet besar yang dibangkitkan melalui gerak inti bagian dalam Bumi yang menghasilkan medan magnet dengan konfigurasi dipol pada daerah di luar Bumi padat. Selain itu, keberadaan gerak tidal

atmosferik mengakibatkan terjadinya transpor partikel atmosferik dari atmosfer bawah ke atas dan angin horizontal atmosferik mengakibatkan adanya gerak partikel bermuatan melewati medan geomagnet. Gerak partikel bermuatan ini menginduksi sebuah gaya gerak listrik dan medan listrik yang secara dominan teramati pada daerah atmosfer-atas. Medan geomagnet yang bersumber dari

kontribusi internal Bumi berubah sangat lambat, maka kontribusi transien medan magnet Bumi dapat ditinjau dihasilkan melalui radiasi Matahari, elektrifikasi atmosfer serta interaksi angin surya dengan medan geomagnet. Sehingga variasi transien dapat diperoleh dengan mengekstrak kontribusi sumber internal dari hasil pengukuran medan magnet menggunakan magnetometer *ground-based* dan *space-based*.



Gambar 1. Sputnik-3 satelit Rusia diluncurkan pada 15 Mei 1958 membawa *payload* magnetometer untuk mengukur medan magnet Bumi.

Variasi transien tersebut selanjutnya disebut sebagai variasi medan geomagnet. [Maeda, 1968; Matsushita, 1967].

Kondisi dinamis akibat aktivitas Matahari mempengaruhi fisis ruang antar planet sampai lapisan magnetosfer, ionosfer, dan termosfer Bumi [Djamaluddin, 2006]. Gelombang kejut angin surya dapat menyebabkan badai magnet skala besar sehingga partikel bermuatan masuk ke lingkungan Bumi dan mengancam kehidupan manusia. Studi mengenai badai magnet dilakukan LAPAN sejak tahun 1992 dengan mengamati aktifitas badai magnet menggunakan instrumen magnetometer landas Bumi. Namun cuaca antariksa tidak hanya mengenai fenomena skala besar seperti badai magnet, tetapi juga melibatkan fenomena yang sifatnya transien di lingkungan magnetosfer - ionosfer. Untuk mengkonfirmasi

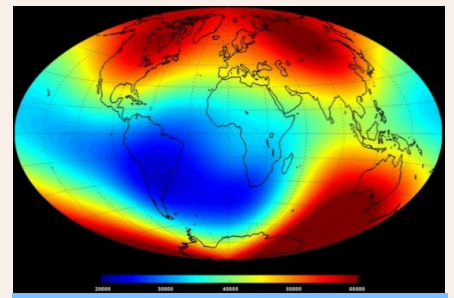


Gambar 2. Konstelasi SWARM terdiri dari tiga satelit memberikan studi komperhensif mengenai medan magnet Bumi.

pengamatan *ground-based* dan mempelajari fenomena yang bersifat transien tersebut diperlukan data pengamatan in-situ di lingkungan antariksa. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pengamatan medan magnet di orbit satelit.

Setelah sukses meluncurkan satelit LAPAN-A2 pada 28 September 2015 dan LAPAN-A3 pada 22 Juni 2016, LAPAN berencana meluncurkan satelit generasi berikutnya, yaitu LAPAN-A4 pada tahun 2020. Berbeda dengan satelit LAPAN-A2, pada satelit LAPAN-A3 dan A4 akan mengorbit dengan orbit polar pada ketinggian sekitar 600 km. Meskipun pada awalnya LAPAN-A3 tidak membawa misi saintifik namun satelit ini telah dilengkapi *payload* magnetometer resolusi tinggi sehingga data geomagnet LAPAN-A3 dapat digunakan sebagai pembelajaran dalam mendesain LAPAN-A4. Persiapan misi saintifik LAPAN-A4 dimulai dengan *implmentasi high sensitivity* magnetometer di LAPAN-A3.

Satelit LAPAN-A3 telah mengorbit sejak akhir tahun 2016 hingga saat ini. Rekaman data magnetometer LAPAN-A3 tersedia di Pusat Sains Antariksa mulai dari tahun 2016 hingga 2018. Pengukuran ini hampir meliputi seluruh permukaan Bumi. Meskipun demikian, terdapat permasalahan dengan hasil pengukuran tersebut, antara lain keterbatasan informasi mengenai sikap satelit secara detail serta tidak adanya medan magnet referensi seperti hasil pengukuran in-situ medan skalar, sehingga perlu dilakukan studi kelayakan data rekaman magnetometer satelit LAPAN-A3.



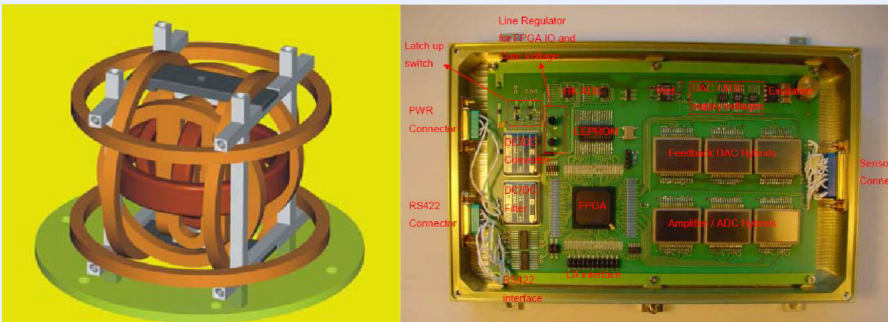
Gambar 3. Medan magnet Bumi pada Juni 2014 berdasarkan data SWARM. Merah mewakili area medan magnet lebih kuat, biru menunjukkan area lebih lemah.

Pengukuran medan magnet di antariksa dimulai sejak tahun 1958, pada misi Sputnik-3 yang menggunakan magnetometer *space-based* (Gambar 1). Magnetometer jenis ini didesain khusus untuk lingkungan antariksa, memiliki resolusi tinggi, ringan, dan konsumsi daya rendah. Selain digunakan untuk misi saintifik, magnetometer juga digunakan sebagai sensor *attitude* atau sikap satelit.

Magnetometer merupakan instrumen saintifik yang paling banyak digunakan pada satelit eksplorasi dan observasi. Instrumen ini berperan dalam penemuan sabuk radiasi Van Allen pada misi Explorer-1, dan menyelidiki secara rinci medan magnet Bumi, Bulan, Matahari, Mars, Venus dan planet-planet

Tabel 1. Spesifikasi Magnetometer Satelit LAPAN-A3.

| | |
|--|---------------------------|
| 3-component ringcore sensor self-supported sensor construction | |
| orientation: | orthogonal (X,Y,Z) |
| sensor dimensions: | H: 3.5cm; Ø5.0cm |
| sensor weight: | 40g |
| noise level: | <10pT/SQRT Hz at 1Hz |
| long term stability: | <10nT/Year |
| Ranges | variable up to +/-64000nT |
| Scale value | 24ppm/°C |
| Offset | <5nT -60°C and +80°C |
| Sampling rate | 128 samples/second |
| Electronics | |
| Weight | 100g |
| Board dimension | 100 x 120mm |
| Power consumption | 0.6W |



Gambar 4. Desain sensor Magnetometer HFGM pada satelit LAPAN-A3 (kiri) dan elektronik digitizer (kanan). Magnetometer ini telah digunakan pada misi Equator-S, Rosetta Lander, Mercury Planetary Orbiter (MPO), dan Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO).

Secara garis besar magnetometer ini terdiri dari sensor dan digitizer. Sensor terdiri atas dua bagian *ringcore* yang masing-masing dari *ringcore* tersebut terdiri atas 3 komponen lilitan koil komponen X,Y,Z. Digitizer terdiri modul ADC 18 bit dengan sampling-rate 1 Mbps dan dua DAC dengan resolusi 16 Bit.

Sebelum memasuki tahap persiapan peluncuran, dilakukan karakterisasi *noise* magnetis LAPAN-A3 di laboratorium integrasi Pusat Teknologi Satelit, Rancabungur Bogor (Gambar 5). Tujuan dari kegiatan ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh magnetis yang dihasilkan oleh komponen satelit LAPAN-A3.

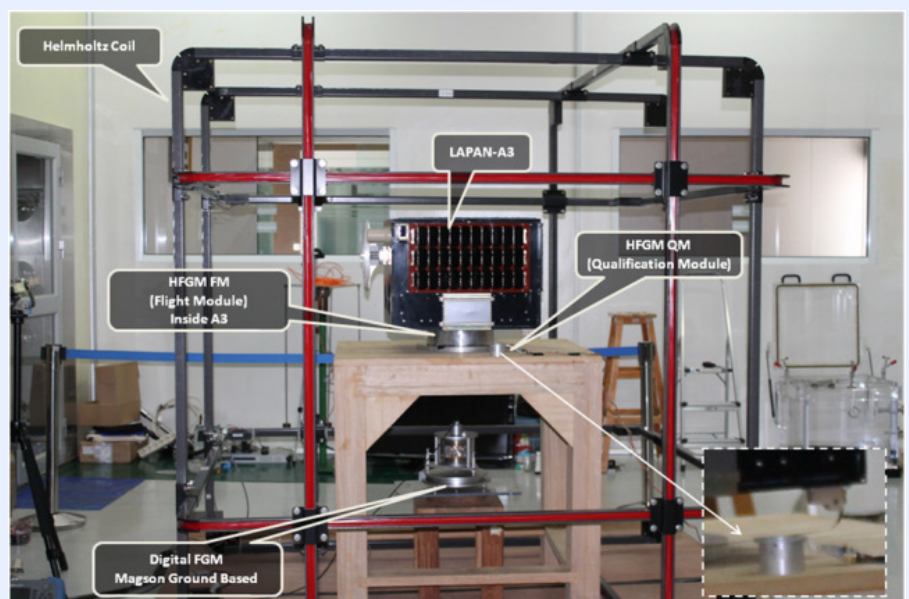
Satelit LAPAN-A3 terdiri dari berbagai komponen dan *payload*, diantaranya: PDHS, *transceiver* VHF, S-band, dan X-band, AIS / beacon, *reaction wheel*, *coil magnetic torquer*, stars sensor, FHGM, GPS, dan sebagainya. Dalam pengujian tersebut dilakukan kombinasi pengoperasian yang disebut dengan mode operasi. Gambar 6

lainnya. Berikut ini adalah beberapa misi saintifik magnetometer *space-based*: *MAGnetic field SATellite* (MAGSAT) diluncurkan pada 30 Oktober 1979 membawa dua buah magnetometer tipe skalar dan *fluxgate* dengan misi pemetaan medan magnet Bumi. *CHALLENGING Minisatellite Payload* (CHAMP) merupakan satelit Jerman diluncurkan pada 15 Juli 2000 di bawah otoritas *Geo Forschungs Zentrum (GFZ) Potsdam*. Salah satu misinya adalah pemetaan medan magnet Bumi. SWARM merupakan misi bersama negara-negara eropa yang tergabung dalam *European Space Agency (ESA)* diluncurkan pada 22 November 2013. Konstelasi SWARM terdiri dari tiga satelit (Alpha, Bravo dan Charlie) ditempatkan di dua orbit kutub yang berbeda, pada ketinggian 450 km dan 530 km (Gambar 2).

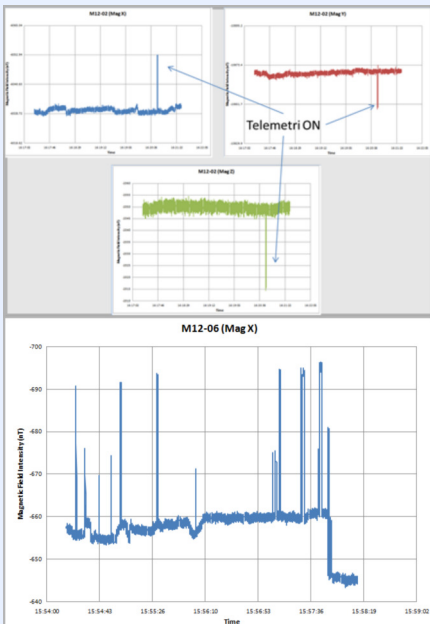
SWARM melakukan pengukuran medan magnet Bumi dengan kepresisian dan resolusi tinggi. Dilengkapi dengan navigasi GPS, akselerometer dan pengukuran medan listrik, menghasilkan data penting untuk pemodelan bidang geomagnet dan interaksinya dengan aspek fisis lain dari sistem Bumi. Contoh hasil pengolahan data oleh SWARM ditunjukkan pada Gambar 3.

MAGNETOMETER SATELIT LAPAN-A3

LAPAN-A3 mengorbit pada 22 Juni 2016 menggunakan roket peluncur VSLV C34 dari Pusat Antariksa Sriharikota, India. Salah satu misi LAPAN-A3 adalah pengukuran medan magnet Bumi untuk tujuan saintifik menggunakan magnetometer resolusi tinggi tipe *Hybrid Fluxgate Magnetometer (HFGM)* pada ketinggian 500 Km dengan orbit polar. Tabel 1 menampilkan spesifikasi *payload* magnetometer satelit LAPAN-A3, Gambar 4 menunjukkan desain sensor HFGM dan elektronik digitizer pada satelit LAPAN A-3.



Gambar 5. Karakterisasi noise magnetis LAPAN-A3 dilakukan dalam Helmholtz coil untuk mereduksi *noise* eksternal sebesar 90db@dc atau 40db@60hz. Tiga buah magnetometer membaca besar pengaruh magnetis yang dihasilkan komponen satelit.

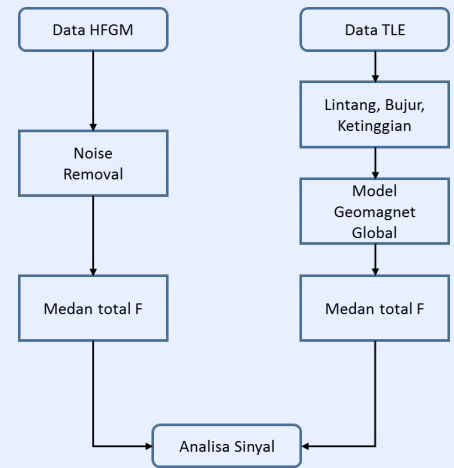


Gambar 6. Plot data magnetometer HFGM tiga komponen X, Y, Z menunjukkan *spike* saat satelit mengaktifkan radio telemetri (atas), dan *noise* akibat motor *stepper* kamera (bawah).

menampilkan contoh hasil karakterisasi *noise* magnetis satelit LAPAN-A3.

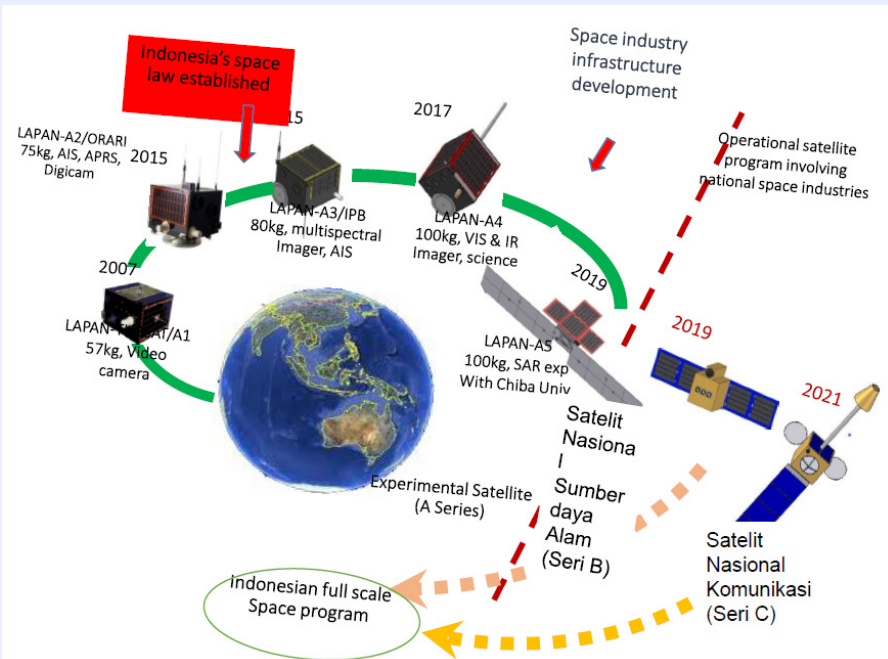
Dalam misi pengukuran medan magnet Bumi, satelit LAPAN-A3 membawa sensor jenis vektor, yaitu magnetometer *fluxgate* 3 komponen. Misi saintifik ini akan dilanjutkan pada program satelit LAPAN-A4 dan perlu dilengkapi *payload* lain yang menghasilkan rekaman data medan magnet vektor dan skalar, medan listrik, temperatur, partikel, posisi serta sikap satelit secara simultan sehingga pengukuran medan magnet Bumi dapat dilakukan dengan validasi tinggi.

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data magnetometer satelit LAPAN-A3 tahun 2016 –



Gambar 8. Diagram alir pengolahan data magnetometer satelit LAPAN-A3.

2018, dan model orbit TLE (*Two-Line Element Set*) satelit LAPAN-A3. Pengolahan data magnetometer LAPAN-A3 dengan memfilter data *outliers* akibat kesalahan atau korupt saat telemetri data dari satelit ke ground-station, kemudian dihitung medan magnet totalnya (F). Data TLE digunakan untuk mendapatkan posisi lintang bujur, dan ketinggian satelit LAPAN-A3. Informasi posisi tersebut digunakan untuk mendapatkan medan magnet total (F) berdasarkan model geomagnet global. Selanjutnya akan dibahas kecocokan medan total (F) LAPAN-A3 dengan model global.



Gambar 7. Road map program satelit LAPAN. Misi saintifik, yaitu pengukuran medan medan Bumi, akan dilanjutkan pada program satelit LAPAN-A4.

"Somewhere, something incredible is waiting to be known."

– Carl Sagan –