

KALIBRASI MAGNETOMETER TIPE 1540 MENGUNAKAN KALIBRATOR MAGNETOMETER

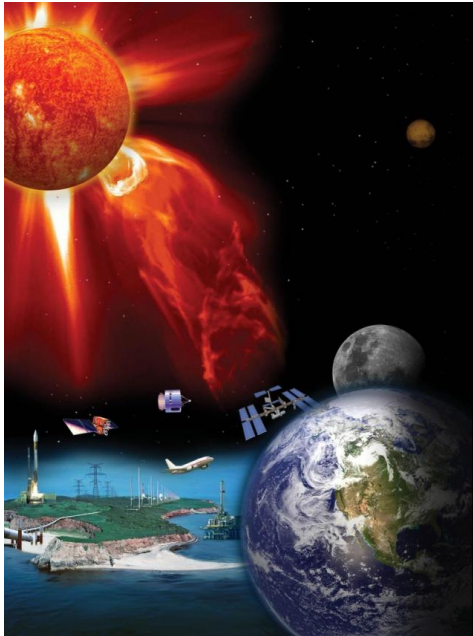
Harry Bangkit, Mamat Ruhimat
Pusat Sain Antariksa
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Dr. Djundjunaan 133, Bandung 40173 Indonesia
e-mail: harry.bangkit@lapan.go.id

RINGKASAN

Keberadaan kalibrator magnetometer di laboratorium Pusat Sains Antariksa merupakan sarana untuk menguji ketelitian magnetometer. Pusat Sains Antariksa telah membangun sebuah sistem observasi geomagnet landas bumi menggunakan sensor tipe 1540. Kalibrasi dilakukan terhadap sensor tersebut sebelum ditempatkan di stasiun pengamat geomagnet.

1 PENDAHULUAN

Badai magnet merupakan gangguan temporal pada magnetosfer akibat interaksi angin surya dengan medan magnet bumi. Pada kondisi tertentu partikel bermuatan dapat masuk ke lingkungan bumi akibat gelombang kejut dari angin surya. Gangguan ini dapat disebabkan oleh lontaran massa korona matahari.



Gambar 1-1: Kondisi dinamis akibat aktifitas matahari yang mempengaruhi fisis ruang antar planet sampai lapisan magnetosfer, ionosfer, dan termosfer bumi. Gelombang kejut angin surya dapat menyebabkan badai magnet skala besar sehingga partikel bermuatan masuk ke lingkungan bumi dan mengancam kehidupan manusia. (Sumber: wikipedia)

Badai magnet dapat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup dan mengganggu perangkat teknologi yang ada di orbit maupun permukaan bumi, seperti komunikasi radio, navigasi, kerusakan satelit, jaringan listrik dan eksplorasi geologi, sehingga pengamatan dan peringatan dini adanya badai magnet penting dilakukan.

LAPAN melakukan pengamatan dan studi terkait aktifitas badai magnet sejak tahun 1992. Saat ini 11 lokasi tersebar di Indonesia mengamati variasi harian geomagnet secara kontinu menggunakan magnetometer. Beberapa magnetometer telah beroperasi lebih dari 10 tahun, sehingga kalibrasi perlu dilakukan guna menjamin kualitas data pengamatan.





Gambar 1-2: Beberapa magnetometer yang digunakan untuk mengamati variasi harian geomagnet. Magnetometer MB162C, Magson, dan Magdas merupakan magnetometer tipe *fluxgate*, Lemi 030 merupakan tipe *induction*, dan G856 merupakan tipe *proton* (Sumber: LAPAN)

2 MAGNETOMETER TIPE 1540

Magnetometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan juga arah medan magnet. Instrumen ini pertama kali diperkenalkan oleh Carl Friedrich Gauss pada tahun 1833 untuk pengukuran medan magnet bumi. Satuan internasional medan magnet adalah Tesla. Untuk pengukuran geomagnet digunakan satuan nanotesla (nT). Satuan lain yang digunakan adalah Gauss, dimana 1 Gauss = 100.000 nT atau 1 Gauss = 100.000 gamma.

Magnetometer dibagi menjadi dua tipe. Tipe pertama adalah magnetometer skalar, yaitu magnetometer yang hanya mengukur total kekuatan medan magnet. Tipe kedua adalah magnetometer vektor, yaitu magnetometer yang mengukur besar dan arah medan magnet dalam 3 koordinat, yaitu komponen XYZ atau HDZ (Buletin Komrad).

Magnetometer digital tipe 1540 merupakan magnetometer vektor jenis *fluxgate* yang mengukur medan magnet dalam arah XYZ. Magnetometer ini memiliki resolusi 0.01 nT, rentang pengukuran ± 65.000 nT, ADC 24 bit, dan komunikasi data melalui RS232.

Diameter magnetometer hanya 1 inci, dengan panjang 4,73 inci, dan bentuknya sangat ringkas seperti terlihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Magnetometer digital tipe 1540 berbentuk tabung dengan ukuran relatif kecil dan bentuk yang ringkas (Sumber: www.appliedphysics.com)

Untuk dapat digunakan mengamati variasi harian geomagnet di stasiun pengamat maka magnetometer harus ditempatkan pada *mounting* sensor yang dilengkapi *waterpass* untuk *leveling* dan knop pengaturan posisi titik nol komponen Y atau barat – timur medan geomagnet, seperti terlihat pada Gambar 2-2.



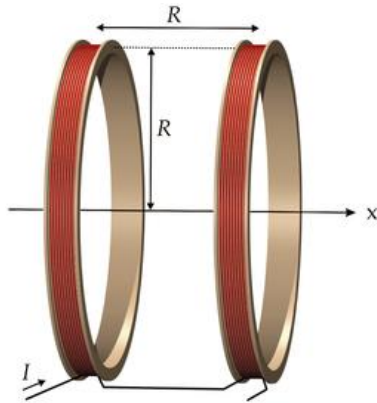
Gambar 2-2: Magnetometer digital tipe 1540 yang telah dilengkapi mounting sensor terbuat dari bahan non magnetik. Tampak samping (kiri) dan atas (kanan) (Sumber: LAPAN).

Sensor magnetometer dan *mounting* di atas merupakan bagian dari Sistem Observasi Geomagnet Terpadu yang dibangun pada tahun 2011. Dengan adanya kalibrator magnetometer di Pusat Sains Antariksa pada tahun 2014, kalibrasi secara laboratorium dapat dilakukan.

3 HELMHOLTZ COIL

Helmholtz coil adalah alat untuk membangkitkan medan magnet *uniform*

dalam ruang tertentu. Alat ini terdiri dari sepasang kumparan elektromagnet yang ditempatkan secara simetris pada sebuah vektor medan. Selain membangkitkan medan magnet, coil ini juga digunakan untuk menghilangkan efek medan magnet luar, seperti medan magnet bumi.



Gambar 3-1: Skematik kumparan helmholtz berupa dua solenoida pada satu vektor medan (Sumber: Wikipedia)

Kekuatan medan magnet di titik pusat antara kedua solenoida sebesar:

$$B = \left(\frac{8}{5\sqrt{5}} \right) \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (3-1)$$

Keterangan:

μ_0 = konstanta permeabilitas

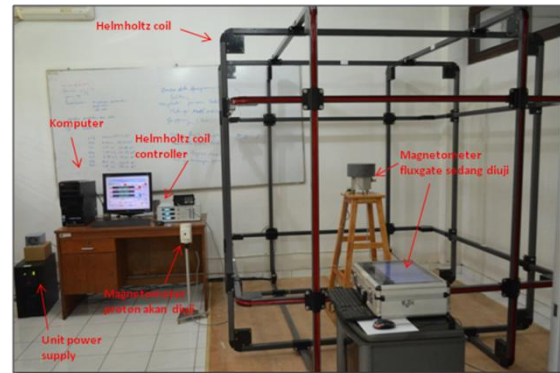
n = banyaknya lilitan coil tiap solenoida

I = arus yang mengalir pada coil

R = radius coil

4 KALIBRATOR MAGNETOMETER

Kalibrator magnetometer berbasis kumparan helmholtz melengkapi fasilitas di Pusat Sains Antariksa mulai tahun 2014. Pada mode *closed loop*, kalibrator ini bertindak sebagai simulator medan magnet yang besarnya dapat diatur antara -100.000 nT sampai dengan +100.000 nT pada tiap vektor medan (X, Y, Z) dan mampu mereduksi efek *noise* lokal sampai dengan 90 dB. Pada mode *open loop*, arus pada lilitan helmholtz ditiadakan sehingga kalibrator bertindak sebagai perekam variasi medan magnet bumi.



Gambar 4-1: Sistem kalibrasi magnetometer berbasis *Helmholtz coil* telah beroperasi di Pusat Sains Antariksa – LAPAN mulai tahun 2014. Kalibrator ini telah digunakan untuk magnetometer MB162C, Magson, G856 dan 1540. Kalibrator ini juga akan mendukung studi muatan magnetometer pada satelit LAPAN. Selain itu penelitian lain terkait simulasi medan magnet juga dapat dilakukan (Sumber: LAPAN)

Kalibrator magnetometer berbasis *helmholtz coil* terdiri atas sepasang kumparan *helmholtz* tiga sumbu, yaitu kumparan $\pm X$, $\pm Y$, dan $\pm Z$, berbentuk kubus dengan dimensi 2 x 2 x 2 meter. Unit pengontrol *helmholtz coil* berfungsi mengatur besarnya arus yang mengalir pada tiap kumparan sehingga menghasilkan medan magnet sesuai keinginan (magnetometer, 2013). Berikut ini adalah spesifikasi kalibrator magnetometer yang ada di LAPAN:

Helmholtz coil

- *Helmholtz coil* tiga sumbu (X, Y, Z).
- Keselarasan sumbu ortogonal + 0.1 °.
- Konstanta magnetik 75,000 nT/ Ampere.
- Akurasi pengkalibrasian $\pm 0.01\%$ di titik pusat coil.
- Keseragaman medan magnet 0.025% pada jarak 20 cm dari pusat coil, dan 0.005% pada jarak 10 cm dari pusat coil.
- Geometri coil sangkar persegi dengan tiga pasang coil.
- Luas coil bagian dalam 200 cm².
- Berat seluruh coil 114 kg.

- ❑ Konstruksi *coil* terbuat dari material non magnetik dan terisolasi untuk mencegah *loops* arus eddy.

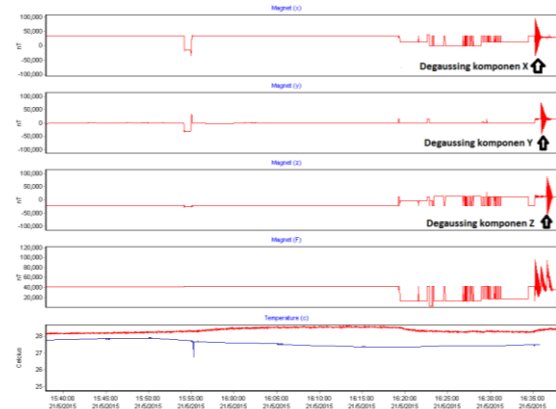
Unit pengontrol *helmholtz coil*

- ❑ Dua mode operasi yaitu *open loop* dan *closed loop*.
- ❑ Resolusi pengaturan medan magnet 20-bit (~ 3 nT) dengan cakupan ± 1 Gauss.
- ❑ Memiliki sensor magnetometer *fluxgate* tiga sumbu yang diletakan di titik pusat *coil*.
- ❑ Dilengkapi magnetometer satu kanal yang presisi sehingga dapat melakukan kalibrasi sistem secara otomatis.
- ❑ Memiliki 6 saluran analog dengan ADC beresolusi 24-bit untuk mendigitasi *output* analog dari magnetometer yang sedang dikalibrasi.
- ❑ Dilengkapi *remote control*.
- ❑ Dilengkapi *software* untuk mengontrol medan magnet di dalam *coil* (berputar, statik atau meningkat) secara otomatis melalui komputer.

5 KALIBRASI MAGNETOMETER

Magnetometer tipe 1540 yang telah dilengkapi mounting diuji menggunakan kalibrator magnetometer dengan *layout* seperti terlihat pada Gambar 5-1. Medan magnet di dalam *helmholtz coil* diubah-ubah untuk melihat respon magnetometer. Nilai pembacaan magnetometer tersebut dibandingkan dengan nilai medan magnet yang diberikan oleh *helmholtz coil*. *Plot* pembacaan magnetometer sepanjang kalibrasi terlihat pada Gambar 5-2. Nilai pembacaannya terlihat pada Gambar 5-3.

Gambar 5-1 memperlihatkan fluktuasi grafik pembacaan magnetometer 1540 tiap komponen sebagai akibat perubahan medan magnet yang dikontrol oleh *helmholtz coil*. Fluktuasi nilai pembacaan magnetometer 1540 sesuai dengan fluktuasi medan magnet yang diberikan oleh kalibrator. Hal ini menunjukkan respon magnetometer digital tipe 1540 ini masih sangat baik.



Gambar 5-1: Plot pembacaan magnetometer 1450 terdiri atas komponen XYZ (merah), temperatur sensor (merah) dan temperatur ruangan (biru)

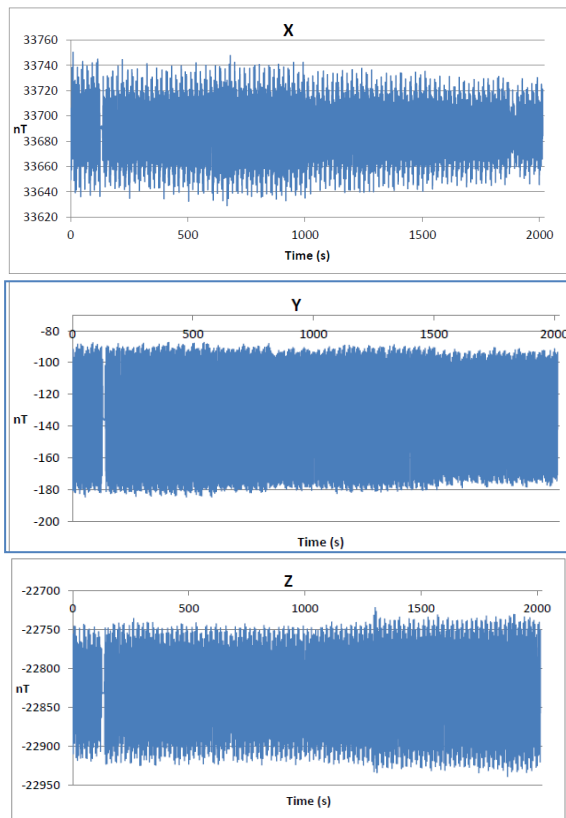
Waktu	Magnet X	Magnet Y	Magnet Z	Total	Temp
16.31:56	0.129396	0.003688	0.119589	0.000965	28.27
16.31:57	0.129503	0.003611	0.119568	0.000966	28.33
16.31:58	0.129339	0.003708	0.119543	0.000963	28.32
16.31:59	0.129470	0.003635	0.119578	0.000966	28.25
16.32:00	0.129268	0.003704	0.119503	0.000962	28.29
16.32:01	0.129403	0.003743	0.119586	0.000965	28.27
16.32:02	0.129515	0.003633	0.119548	0.000966	28.27
16.32:03	0.129337	0.003730	0.119550	0.000963	28.27
16.32:04	0.129253	0.003700	0.119465	0.000960	28.30
16.32:05	0.129295	0.003739	0.119550	0.000962	28.30
16.32:06	0.129233	0.003620	0.119394	0.000959	28.32
16.32:07	0.129268	0.003729	0.119494	0.000961	28.30
16.32:08	0.129411	0.003722	0.119567	0.000965	28.25
16.32:09	0.129548	0.003495	0.119478	0.000965	28.25
16.32:10	0.129323	0.003459	0.119384	0.000960	28.32
16.32:11	0.129275	0.003682	0.119432	0.000960	28.25
16.32:12	0.129342	0.003464	0.119383	0.000961	28.29
16.32:13	0.129245	0.003616	0.119421	0.000960	28.29
16.32:14	0.129369	0.003458	0.119350	0.000961	28.29
16.32:15	0.129269	0.003597	0.119393	0.000960	28.27
16.32:16	0.129443	0.003424	0.119361	0.000962	28.27
16.32:17	0.129267	0.003682	0.119472	0.000961	28.27
16.32:18	0.129457	0.003381	0.119370	0.000962	28.27
16.32:19	0.129327	0.003526	0.119401	0.000961	28.27
16.32:20	0.129259	0.003653	0.119421	0.000960	28.29
16.32:21	0.129354	0.003506	0.119383	0.000961	28.27
16.32:22	0.129258	0.003641	0.119433	0.000960	28.29
16.32:23	0.129395	0.003467	0.119382	0.000961	28.29
16.32:24	0.129270	0.003626	0.119420	0.000960	28.30
16.32:25	0.129368	0.003442	0.119388	0.000961	28.27
16.32:26	0.129264	0.003650	0.119424	0.000960	28.30
16.32:27	0.129340	0.003490	0.119370	0.000960	28.29
16.32:28	0.129288	0.003658	0.119467	0.000961	28.24
16.32:29	0.129321	0.003752	0.119503	0.000962	28.22

Gambar 5-2: Nilai pembacaan magnetometer pada berbagai intensitas medan yang dibangkitkan oleh *helmholtz coil*

Meskipun respon magnetometer ini sangat baik, namun terdapat perbedaan *threshold* antara hasil pengukuran magnetometer 1540 dengan besar medan magnet yang dibangkitkan oleh kalibrator. Menurut pembacaan *Hybrid Fluxgate Magnetometer*, yaitu sebuah magnetometer dengan ketelitian yang sangat tinggi untuk aplikasi ruang angkasa (Magson, 2013), perbedaan (*jitter range*) pada komponen X dan Y sebesar 80 nT, dan pada komponen Z sebesar 120 nT, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5-3 dan 5-4. Hal ini dapat disebabkan perbedaan posisi penempatan sensor magnetometer yang akan diuji dengan sensor *fluxgate* kalibrator yang terletak 25 cm di bawah magnetometer uji.



Gambar 5-3: Pembacaan sensor *fluxgate* magnetometer kalibrator komponen X,Y,Z terhadap intensitas medan magnet lingkungan (mode *open loop*)



Gambar 5-4: Pembacaan magnetometer *Hybrid Fluxgate Magnetometer* (HFGM) komponen XYZ terhadap intensitas medan magnet lingkungan

6 PENUTUP

Kalibrasi peralatan magnetometer saat ini dapat dilakukan di Pusat Sains Antariksa dengan adanya kalibrator magnetometer berbasis *helmholtz coil*. *Mounting* sensor magnetometer 1540 dibuat dengan sangat baik sehingga tidak mempengaruhi pembacaan

magnetometer didalamnya. Perlu dipertimbangkan teknik penempatan sensor magnetometer yang akan diuji dalam *helmholtz coil* sedekat mungkin dengan magnetometer *fluxgate* kalibrator agar *jitter range* pembacaan kedua sensor tidak terlalu besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada rekan-rekan di Pusat Sains Antariksa, khususnya Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa, atas perannya dalam merawat peralatan sehingga kalibrasi ini dapat dilakukan. Ucapan terima kasih kami sampaikan juga kepada rekan-rekan di Pusat Teknologi Satelit yang telah melakukan pengujian *Hybrid Fluxgate Magnetometer* (HFGM) pada *Precision Magnetic Field Calibration System* di Pusat Sains Antariksa.

DAFTAR RUJUKAN

- Apex-CS Helmholtz Coil Controller, Precision Magnetic Field Calibration System, Billingsley Aerospace and Defense, www.magnetometer.com.
- Bangkit H., 2011. *Sistem Observasi Geomagnet Landas Bumi Terpadu LAPAN*, Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa LAPAN, 417 – 425.
- Bangkit H., 2012. *Magnetometer*, Buletin Komrad Vol.4 No. 2, 6 – 8.
- Bangkit H., 2015. *Sistem Kalibrasi Magnetometer Menggunakan Helmholtz Coil*, Buletin Cuaca Antariksa, Vol. 4 No.3, 7 – 8.
- Digital 3-Axis Fluxgate Magnetometer Model 1540, [http:// appliedphysics. com/ products/magnetometers/](http://appliedphysics.com/products/magnetometers/).
- Helmholtz Coil Assembly Manual, Precision Magnetic Field Calibration System, Billingsley Aerospace and Defense, www.magnetometer.com.
- Helmholtz coil, http://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil.
- Hybrid Fluxgate Magnetometer, Design Description User Manual, Magson GmbH, [http:// www.magson.de/ products/products4.html](http://www.magson.de/products/products4.html).

Magnetometer, Buletin Komrad Vol. 4/ No. 2/
April – Juni 2012. ISSN: 2086-1958.

Magnetometer, [http://en.wikipedia.org/wiki/
Magnetometer](http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetometer).

Space Weather, [https://en.wikipedia](https://en.wikipedia.org). Org.