

Kajian Awal Instrumentasi Pengamatan Antariksa untuk Observatorium Nasional Timau di Nusa Tenggara Timur

Timbul Manik* dan Clara Yono Yatini

*Pusat Sains Antariksa, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN),
Jl. Dr. Djundjutan No.133, Bandung 40173*

**Corresponding author. E-mail: timbul.manik@lapan.go.id
hp: +62-818205116, Fax: +62-22-6014998*

ABSTRAK

Undang-undang No. 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan mengamankan penguasaan sains antariksa yang meliputi tetapi tidak terbatas pada kegiatan penelitian cuaca antariksa, lingkungan antariksa, dan astrofisika. Sarana untuk penelitian antariksa yang dapat digunakan dan dikembangkan salah satunya adalah fasilitas observasi ruas bumi (*ground-based observation*). Pembangunan Observatorium Nasional di Gunung Timau Nusa Tenggara Timur adalah salah satu perwujudan amanat Undang-undang Keantariksaan tersebut. Pengamatan utama yang dikembangkan di Observatorium Nasional adalah pengamatan astronomi yang berbasis optik dan radio. Pengamatan lain yang dapat dikembangkan di lokasi ini adalah pengamatan cuaca antariksa. Pendekatan yang dilakukan adalah kajian awal terhadap beberapa instrumentasi pengamatan antariksa berbasis radio mengingat lokasi ini kelak adalah suatu lokasi yang harus tenang dari gangguan interferensi radio (*radio quiet zone*), yang harus bebas dan dijaga dari berbagai sumber interferensi radio. Pengukuran awal yang pernah dilakukan menunjukkan lokasi Gunung Timau masih terbebas dari interferensi radio sehingga sangat baik untuk pengamatan antariksa berbasis radio. Kajian kelayakan instrumentasi ini diharapkan dapat merekomendasikan beberapa instrumentasi pengamatan berbasis radio pasif yang dapat dioperasikan di Observatorium Nasional Timau sesuai persyaratan dan batasan yang ada untuk mendukung penelitian dan pengembangan cuaca antariksa di Indonesia.

Kata Kunci: Observatorium Nasional; Cuaca Antariksa; Interferensi Radio; Instrumentasi Pengamatan;

ABSTRACT

Space Law No. 21 year of 2013 mandates the mastery of space science including but not limited to space weather research activities, space environment, and astrophysics. One of the facilities for space research that can be used and developed is the ground-based observation facility. Establishment of the Timau National Observatory in East Nusa Tenggara is to realize the mandate of the Space Law. The main observation developed at the National Observatory is optical and radio-based astronomical observation. Observations that also need to be developed are observations of space weather. The approach method taken is a preliminary study of several passive radio-based space observation instrumentation that are appropriate considering that the location of the National Observation must be quiet from radio interferences (radio quiet zones). Measurement that have done shows Mt. Timau is far from radio interferences and suitable for radio-based space observation. Assessment of the reliability of the instrumentats hopefully result a recommendation of several radio-based passive receivers that that would be able to be operated the site according to the requirements and state limitations to support research and development of space weather in Indonesia.

Keywords: National Observatory; Space Weather; Radio Interferences; Observation Instrumentation;

1. Pendahuluan

Pembangunan Observatorium Nasional di Gunung Timau yang merupakan kerjasama antara LAPAN, ITB, Universitas Nusa Cendana, Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur dan Pemerintah Kabupaten Kupang merupakan perwujudan amanat Undang-undang Keantariksaan sebagai bagian dari penguasaan sains antariksa yang meliputi tetapi tidak terbatas pada kegiatan penelitian cuaca antariksa, lingkungan antariksa, dan astrofisika [1]. Pembangunan ini juga sekaligus menjawab kebutuhan pengamatan astronomi di Observatorium Bosscha Lembang yang tidak lagi ideal akibat polusi cahaya dari pertumbuhan penduduk. Fasilitas pengamatan ruas bumi yang akan dikembangkan terdiri dari fasilitas pengamatan optik dan radio, diharapkan dapat dimanfaatkan secara nasional bahkan internasional, sehingga keberadaan observatorium ini kelak akan memperkuat pengamatan astronomi dan antariksa di Indonesia dan dunia internasional di masa yang akan datang.

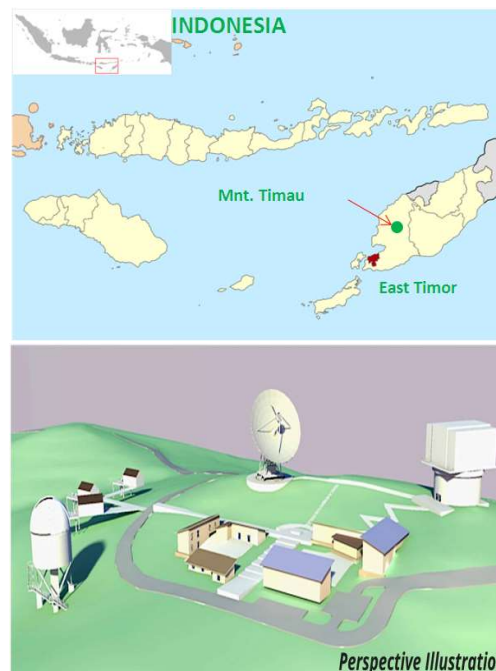
Cuaca antariksa sangat terkait dengan aktivitas matahari yang dapat mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem teknologi di antariksa maupun di bumi. [2]. Matahari memancarkan emisi yang berpengaruh terhadap bumi dan antariksa, yaitu emisi massa dalam bentuk CME dan partikel bermuatan; dan emisi elektromagnetik dalam bentuk *flare* dan radiasi matahari (Gopalswamy, 2009). *Flare* dan *Coronal Mass Ejection (CME)* dapat memicu terjadinya badai geomagnet yang selanjutnya akan mempengaruhi ionosfer, serta mengganggu komunikasi dan navigasi berbasis satelit. Semburan radio matahari terkait dengan gelombang kejut yang merambat dari matahari, dan pengaruhnya akan mencapai bumi dalam perioda jam hingga hari setelah terjadinya semburan radio matahari tersebut [3]. Oleh karena itu, pengembangan pengamatan antariksa di Observatorium Nasional ini akan memperluas cakupan pengamatan antariksa di Indonesia.

Pengamatan radio astronomi sangat peka terhadap gangguan radio, maka sebelum menentukan peralatan pengamatan antariksa yang akan dipasang, perlu untuk dilakukan kajian terhadap peralatan pengamatan antariksa yang sesuai dengan kondisi lokasi tersebut, sehingga pengamatan antariksa yang baik, yang tidak menimbulkan interferensi dengan

peralatan pengamatan dapat dilakukan. Lokasi Observatorium Nasional kelak adalah suatu lokasi yang harus tenang dari interferensi frekuensi radio (*radio quiet zone*), yang harus bebas dan dijaga dari berbagai sumber interferensi radio. Pemasangan peralatan harus memenuhi kondisi dan batasan-batasan yang ada. Metoda yang dilakukan adalah dengan melakukan kajian awal berbagai instrumentasi pengamatan antariksa yang tidak menimbulkan interferensi yang membahayakan satu dengan lainnya dengan peralatan pengamatan yang akan dioperasikan di Observatorium Nasional kelak.

2. Observatorium Nasional Timau

Lokasi Observatorium Nasional yang direncanakan terletak di Kawasan Hutan Lindung Gunung Timau, Kecamatan Amfoang Tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur (9.59°LS, 123.94°BT), dengan ketinggian 1.532 meter di atas permukaan laut. Lokasi berjarak kurang lebih 125 km dari Kota Kupang. Peta lokasi Observatorium Nasional Gunung Timau dan ilustrasi sederhana observatorium yang diinginkan di masa yang akan datang ditunjukkan pada Gambar 1.

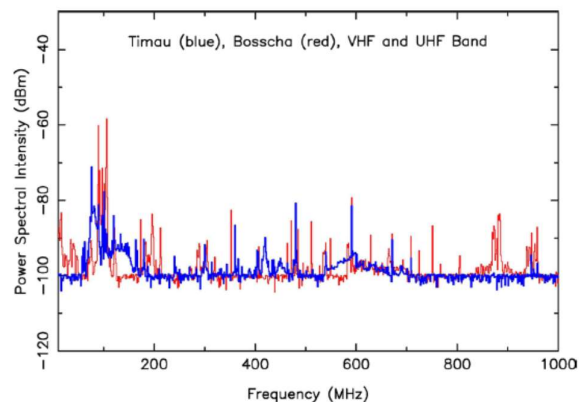


Gambar 1. Lokasi pembangunan Observatorium Nasional di Gn. Timau Kupang NTT (credit: Tim Obnas)

2.2. Radio Frequency Interference (RFI) Gn. Timau

Pengukuran pendahuluan kondisi interferensi frekuensi radio (*Radio Frequency Interferences* = RFI) atau penggunaan radio di Gunung Timau sebelumnya telah pernah dilakukan pada waktu survey lokasi beberapa waktu yang lalu. Hidayat et al., (2014) menyebutkan bahwa sumber interferensi radio di Gunung Timau bisa berasal dari pemancar radio dan televisi, komunikasi radio amatir, emisi dari kendaraan bermotor, GSM dan layanan telepon selular, navigasi radio penerbangan dan kelautan, radar penerbangan dan lain-lain [7].

Pengukuran interferensi radio dilakukan pada bulan Mei 2013, menggunakan peralatan penganalisa spektrum sederhana (*handheld spectrum analyzer*) dengan antena *omni directional*. Peralatan sederhana ini digunakan karena saat itu belum memungkinkan untuk membawa peralatan yang membutuhkan catu daya listrik mengingat lokasi yang terpencil dan belum ada pasokan listrik. Lokasi Gunung Timau yang direncanakan untuk lokasi Observatorium Nasional berada pada ketinggian 1.532 m dari permukaan laut, dengan jarak lurus sekitar 80 km dari Kota Kupang, yang berada di arah Barat Daya Gunung Timau. Pengukuran interferensi radio dilakukan dari frekuensi 10 MHz hingga 2000 MHz, dari VHF, UHF hingga L-band, namun dalam kajian ini ditampilkan hanya pada VHF dan UHF, sampai dengan frekuensi 1.000 MHz sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Sumbu tegak adalah intensitas spektrum radio dalam dBm, dan sumbu mendatar adalah frekuensi dalam MHz. Grafik warna biru adalah pengukuran di Gunung Timau, dan warna merah adalah pengukuran di lokasi Observatorium Bosscha Lembang yang dilakukan pada waktu terpisah.



Gambar 3. Pengukuran RFI di lokasi Observatorium Nasional Gunung Timau, dibandingkan dengan pengukuran di Bosscha Lembang. [8]

Pada pengukuran tersebut, interferensi radio yang diterima umumnya berada pada pita VHF dan UHF. Emisi yang cukup besar mencapai 30 dB di atas nilai referensi atau *noise floor* diterima pada pita frekuensi FM antara 80-110 MHz. Walaupun demikian, nilai emisi pada frekuensi ini masih lebih rendah dari pengukuran interferensi di Observatorium Bosscha Lembang yang mencapai >40 dB. Pada frekuensi sekitar 150 MHz, terdapat aktivitas komunikasi radio yang dengan intensitas <10 dB. Alokasi frekuensi ini di wilayah Indonesia adalah untuk komunikasi radio tetap dan bergerak.

Kemudian pada frekuensi antara 200-250 MHz, terdapat sinyal *downlink* data satelit dengan intensitas <10 dB. Sinyal satelit komunikasi terlihat pada frekuensi sekitar 600 MHz, sedangkan antara 350-500 MHz terdapat sinyal *broadcasting* televisi. Sinyal telepon seluler terlihat lemah pada frekuensi sekitar 800-900 MHz. Dibandingkan dengan lokasi Observatorium Bosscha yang terlihat sangat padat dengan interferensi dari sumber telepon seluler.

Secara umum, penggunaan radio di lokasi Gunung Timau masih sangat rendah dan interferensi yang diterima masih jauh lebih rendah dari lokasi Observatorium Bosscha di Lembang. [8]. Hal ini menunjukkan lokasi Gunung Timau merupakan lokasi penggunaan radio yang tenang, merupakan lokasi yang sangat ideal untuk pengamatan antariksa berbasis frekuensi radio, khususnya

pengamatan radio matahari yang kelak akan dilakukan di lokasi tersebut. Lokasi yang jauh dari pemukiman dan aktivitas manusia, juga belum adanya peralatan radio lain yang dioperasikan di sekitar lokasi sangat mendukung penentuan lokasi ini sebagai lokasi untuk Observatorium Nasional sebagaimana saat ini yang sedang dalam proses pembangunan.

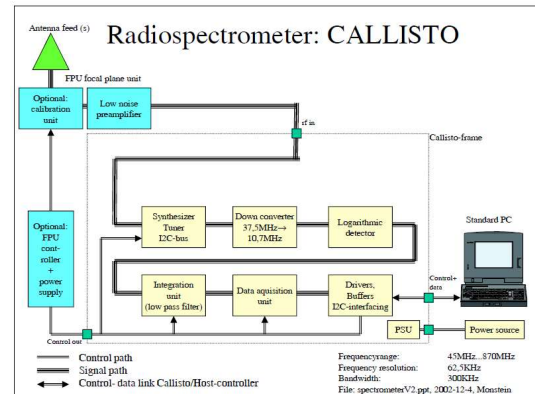
3. Kajian Peralatan Pengamatan Antariksa

Beberapa parameter antariksa untuk kepentingan penelitian antariksa yang diharapkan dapat diamati di lokasi Observatorium Nasional ini adalah sesuai dengan kegiatan-kegiatan penelitian yang dilakukan di Pusat Sains Antariksa. Penelitian di bidang Matahari dan Antariksa membutuhkan informasi tentang aktivitas matahari, antara lain *Flare*, *CME*, prominensa, semburan radio matahari, dan *sunspot*. Penelitian Geomagnet dan Magnet Antariksa membutuhkan informasi tentang aktivitas geomagnet, yaitu antara lain Variasi medan magnet dan Indeks gangguan medan magnet, sedangkan Penelitian Ionosfer dan Telekomunikasi membutuhkan informasi tentang Kondisi ionosfer, antara lain *TEC*, *S4*, *Radio black out*, dan Navigasi. Berikut ini dilakukan kajian awal terhadap beberapa instrumentasi pengamatan sains antariksa berikut ini, yang dipertimbangkan untuk dapat dioperasikan di lokasi Observatorium Nasional mengingat sifat pengamatannya yang merupakan penerima radio pasif yang tidak menimbulkan interferensi radio, baik dengan pengamatan utama yang direncanakan di lokasi tersebut, maupun sesama pengamatan sains antariksa lainnya.

3.1. CALLISTO Spectrometer

Callisto (*Compound Astronomical Low-cost Low-frequency Instrument for Spectroscopy in Transportable Observatories*) adalah spektrometer pintar yang dapat dipindah-pindahkan dan digunakan untuk berbagai jenis pengamatan. Spektrometer Callisto merupakan penerima radio *heterodyne* yang bisa di program. Penggunaan utamanya adalah untuk pengamatan *burst* (semburan) radio matahari dan pengamatan radio frequency interference (RFI) untuk sains dan pendidikan astronomi. Frekuensi kerja Callisto antara 45 – 870 MHz, dengan menggunakan *tuner* TV kabel CD 1316

pita-lebar yang bisa diperoleh secara komersial dipasaran dengan resolusi frekuensi 62.5 KHz. Disain dasar spektrometer radio Callisto untuk pengamatan semburan radio matahari adalah seperti pada Gambar 4.



Gambar. 4. Disain dasar Callisto untuk pengamatan semburan radio matahari

Callisto adalah peralatan penerima pasif yang cerdas dan kompak serta harganya tidak mahal, telah berhasil dibangun oleh ETH Zurich dan telah membentuk jaringan pengamatan global di lebih dari 35 negara [9]. Callisto dimaksudkan untuk mengamati *burst* (ledakan) pada matahari sepanjang hari berbasis pengamatan radio pada rentang frekuensi 45 – 870 MHz, dengan rentang panjang gelombang yang diamati adalah $34 \text{ cm} < \lambda < 6,7 \text{ m}$. Ukuran perangkat yang kecil dan kompak membuat perangkat ini dengan mudah dapat dipindah-pindahkan [10]. Callisto telah berhasil dikembangkan dan dibangun di Sumedang untuk pengamatan aktivitas matahari. Telah dilakukan perancangan sistem pengukuran, pengujian sensitifitas Callisto, pengukuran interferensi radio, penentuan frekuensi penerimaan Callisto untuk meminimalkan interferensi, serta mengoperasikan Callisto di Stasiun Sumedang. Progress kegiatan tersebut serta hasil awal dari pengoperasian Callisto di Sumedang telah dilaporkan pada beberapa kesempatan [11-13]. Callisto Sumedang juga sudah dihubungkan dengan jaringan e-Callisto dan hasil awal yang diperoleh telah dilaporkan secara internasional [14]. Sistem bekerja secara otomatis hingga ke transfer datanya, dan pengolahan datanya dilakukan dengan Software SSW-IDL dan Python [13].

3.2 GNU-Radio Beacon Receiver (GRBR)

Penerima radio beacon atau GRBR adalah penerima digital berbasis perangkat open source untuk software-defined radio (SDR), GNU-Radio, dan perangkat open source Universal Software Radio Peripheral (USRP), digunakan untuk menerima sinyal radio beacon satelit dengan frekuensi 150 MHz dan 400 MHz. Sistem ini telah diterapkan pada jaringan penerima radio beacon untuk pengamatan ionosfer di Indonesia.

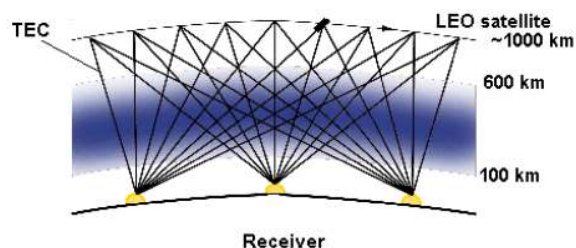
Metoda pengukuran ini mengkombinasikan perbedaan fasa dua frekuensi 150 MHz dan 400 MHz yang dipancarkan satelit-satelit LEO dan diterima di bumi. Gelombang radio dari satelit LEO merambat melalui lapisan ionosfer dan mengalami perubahan dan pembelokan arah akibat kerapatan plasma ionosfer. Pembelokan fasa yang terjadi berbbeda untuk masing-masing frekuensi. Dengan melakukan analisis perbedaan fasa antara kedua sinyal yang diterima, nilai TEC dan sintilasi ionosfer dapat diamati.

GNU (*GNU's not Unix*) Radio adalah perangkat lunak yang dirancang untuk digunakan pada sistem *Software-Defined Radio* (SDR). Program yang dibuat mengikuti rancangan perangkat keras radio, yaitu menentukan fungsi-fungsi sistem, mengorganisasikannya dalam diagram blok, kemudian mengim-plementasikan terhadap gelombang radio. GNU Radio merupakan perangkat lunak yang sangat sesuai dengan perangkat keras untuk akuisisi data yang digunakan pada sistem ini, yaitu *Universal Software Radio Peripheral* (USRP).

USRP terdiri dari *mainboard* yang dihubungkan dengan komputer induk melalui *interface* USB 2.0, dan dapat dioperasikan sebagai penerima dua kanal dan pemancar dua kanal secara bersamaan. Pada mode penerima, *mainboard* USRP memiliki 4 buah konverter analog ke digital (ADC) yang mampu mendeteksi sinyal hingga 200 MHz. Seluruh sinyal analog diumpangkan melalui *daughter boards* yang dapat ditambahkan ke *mainboard*, dan beberapa *daughter board* dapat menurunkan sinyal frekuensi melalui rangkaian analog. Dengan memilih *daughter board* yang sesuai, USRP dapat digunakan pada berbagai sistem radio dengan rentang frekuensi mulai dari DC hingga beberapa GHz.

Penerima radio beacon menerima sinyal radio beacon satelit-satelit LEO pada frekuensi

150 dan 400 MHz. Pada Gambar 5 ditunjukkan lintasan sinyal antara sistem penerima radio beacon dan satelit. Dengan mengoperasikan beberapa penerima radio beacon di beberapa lokasi berbeda, maka saat satelit melintas sistem penerima beacon akan menerima sinyal radio dari frekuensi yang berbeda. Dari analisis perbedaan fasa antara kedua sinyal tersebut dapat dihitung TEC ionosfer antara satelit dengan penerima di bumi, dan menentukan indeks sintilasi ionosfer [15-16].



Gambar 5. Geometri untuk pengukuran ionosfer, yang menunjukkan jalur sinyal radio antara satelit dan sistem penerima beacon

3.3. VLF (Very Low Frequency) receiver

Petir melepaskan energinya dalam bentuk radiasi elektromagnetik dalam berbagai spektrum frekuensi. Radiasi energi maksimum terkandung pada spektrum VLF/ELF. Pengamatan gelombang VLF/ELF yang kontinu merupakan sarana pengamatan yang unggul dan diperlukan untuk memahami proses-proses di lapisan ionosfer dan magnetosfer. Salah satu wujud gelombang VLF yang diamati adalah *radio atmospherics (sferics)*, yang mengalami dispersi saat mencapai frekuensi *cut-off* pada waveguide (*earth-ionospheric waveguide*), dikenal sebagai *tweek* atmosferik.

VLF receiver adalah peralatan untuk memantau gelombang VLF (*very low frequency*, spektrum 3-30 kHz) yang berasal dari alam (petir) maupun dari pemancar VLF tetap (*fixed frequency transmitter*). Rentang frekuensi yang lebih rendah (<10 kHz) untuk pengamatan gelombang VLF bersumber dari petir, sedang rentang frekuensi yang lebih tinggi (>10 kHz) untuk yang bersumber dari pemancar VLF. Manfaat pemantauan spektrum

VLF ini untuk penelitian tergantung dari sumber dan rentang frekuensi VLF yang dipantau, meliputi pemantauan *Sudden Ionospheric Disturbances (SID)* yang dapat digunakan sebagai indikasi terjadinya aktivitas matahari seperti flare, pemantauan lapisan bawah ionosfer dan radio atmosferik untuk mengamati lapisan-D ionosfer, pemantauan magnetosfer dan *whisler* pada saat kondisi geomagnet tenang maupun saat terganggu, deteksi dan penentuan lokasi sambaran petir dll.

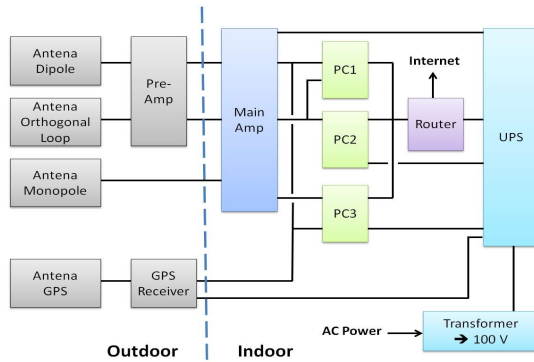
VLF receiver terdiri dari empat bagian besar yaitu antena dan kabel, *pre-amplifier* yang dipasang dekat antena, *main amplifier*, serta PC dan software.

Sinyal yang diterima oleh masing-masing antena diperkuat pada *pre-amplifier*, dan kemudian diteruskan ke *main amplifier* di

ruangan untuk selanjutnya disimpan pada PC untuk akuisisi data. GPS bertugas mensinkronkan waktu pengamatan. *VLF receiver* menggunakan tiga jenis antena yaitu antena *loop orthogonal* untuk deteksi medan magnet petir, antena *monopole* untuk deteksi dan penentuan lokasi petir, antena *dipole* untuk pemantauan pemancar VLF pada frekuensi yang lebih tinggi (LF). Disamping menerima sinyal VLF dari pemancar VLF buatan, *VLF receiver* juga digunakan untuk memantau gelombang VLF dari aktivitas petir. *VLF receiver* mengamati aktivitas petir untuk mendeteksi dan memperkirakan lokasi sambaran petir serta untuk pemantauan lapisan bawah ionosfer. Spesifikasi peralatan *VLF receiver* adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi sistem pengamatan VLF

	Antena Dipole	Antena Orthogonal Loop		Antena Monopole
Target observasi	Medan listrik E dari petir atmosfer	Medan magnet B dari petir atmosfer		Medan listrik E dari pemancar VLF
Dimensi antena	Panjang 2 m	Dimensi 1 m x 1 m		Panjang 2 m
Frekuensi observasi	1 - 40 kHz	100 Hz - 40 kHz	100 Hz - 10 kHz	40, 60 kHz etc.
Sistem perekam	PC1 (Desktop)		PC2 (Desktop)	PC3 (Desktop)
Sampling frekuensi	100 kHz, 16-bit resolution		20 kHz, 16-bit	200 kHz, 16-bit (10 Hz record)
Kapasitas data	~500 GB/tahun (4-5 MB/kali simpan)		200 GB/tahun	15 GB/tahun
Kebutuhan daya	Rata-rata: ~400 W (maksimum: 800 W)			



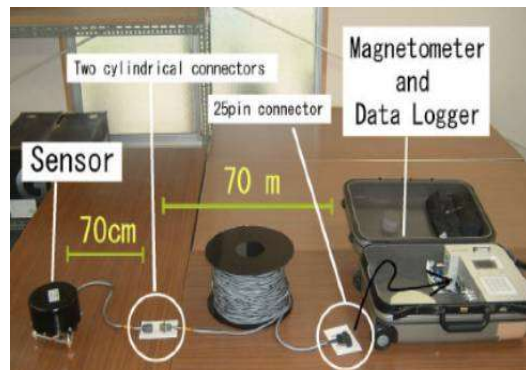
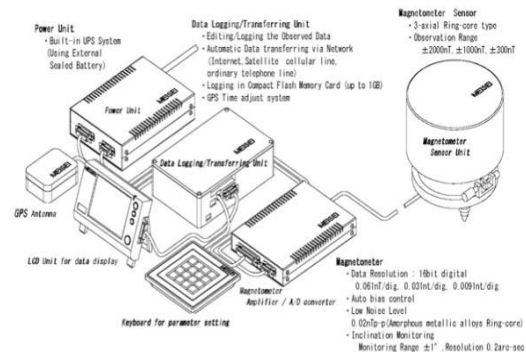
Gambar 6. Blok diagram VLF receiver

Blok diagram *VLF receiver* diperlihatkan pada Gambar 6. Antena yang digunakan pada *VLF receiver* memiliki dimensi panjang 2 m untuk antena *dipole* dan *monopole*, dan dimensi 1x1 m untuk antena *ortogonal loop*. Ketiga antena digunakan untuk menerima frekuensi pada rentang frekuensi 100 Hz – 10 kHz, frekuensi 1-40 kHz, frekuensi 100 Hz– 40 kHz, serta frekuensi >40 kHz. Antena *dipole* dan *monopole* digunakan untuk menerima medan listrik (E) dari sinyal gelombang VLF pada frekuensi 1-40 kHz yang dihasilkan oleh petir dan pada frekuensi >40 kHz yang dihasilkan pemancar VLF buatan. Antena *orthogonal loop* digunakan untuk menerima medan magnet (B) yang dihasilkan oleh petir. Sinyal gelombang VLF yang diterima, baik secara terpisah oleh salah satu antena tertentu maupun merupakan kombinasi oleh dua jenis antena kemudian digunakan untuk memantau petir maupun ionosfer. Sistem bekerja secara terus menerus sehingga kapasitas data yang harus disimpan juga menjadi besar mencapai hingga 1 TB/tahun. Sistem bekerja hanya menerima sinyal VLF sehingga kapasitas daya yang dibutuhkan sekitar 400 watt, yang sebagian besar digunakan untuk catu daya komputer. *VLF receiver* ini kelak akan dioperasikan simultan dengan peralatan sejenis dalam jaringan *Asia VLF Observation Network (AVON)* [17].

3.4. Magnetometer

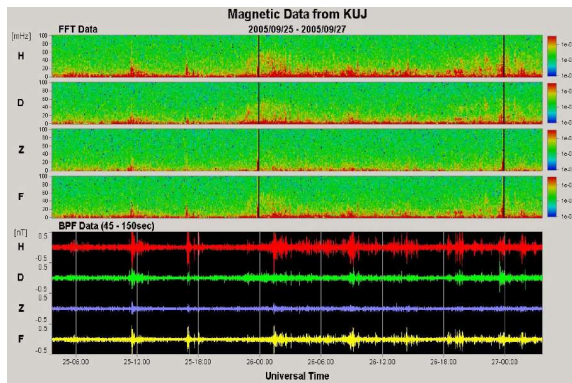
MAGDAS (*MAGnetic Data Acquisition System*) adalah sistem pengukuran menggunakan magnetometer stasioner yang terintegrasi dengan unit perekam dan transfer data mendekati real time, yang digunakan untuk

pengamatan medan magnet bumi serta interaksinya medan magnet antariksa. MAGDAS dibangun untuk mempelajari cuaca antariksa, antara lain untuk mempelajari perubahan plasma antariksa bumi selama berlangsungnya badai magnet dan substorm magnetosfer. Magnetometer yang dioperasikan di LAPAN ini termasuk dalam jaringan global magnetometer MAGDAS yang dikelola dalam bentuk kerjasama internasional antara LAPAN dengan Universitas Kyushu, Jepang.



Gambar 7. Komponen-komponen utama dan kelengkapan magnetometer

Lokasi magnetometer LAPAN saat ini tersebar di beberapa stasiun pengamat dirgantara LAPAN yaitu Biak, Kupang, Manado, Pare-Pare, Sumedang, Bukit Tinggi dan Jayapura, dan beberapa diantaranya termasuk dalam jaringan MAGDAS.



Gambar. 8. Contoh hasil pemantauan gelombang ULF dalam komponen H, D, dan Z.

MAGDAS merupakan magnetometer 3-sumbu dan merekam tiga komponen medan magnet bumi, yaitu komponen Horizontal (H), Diklinasi (D), dan Vertikal (Z) dengan resolusi 1 detik. Resolusi data MAGDAS adalah 0,061 nT/LSB dan 0,031 nT/LSB untuk tingkatan masing-masing 2000 nT dan 1000 nT. Tingkat *noise* magnetometer MAGDAS diperkirakan 0,02 nTp-p. Sinyal GPS diterima untuk menyesuaikan waktu standar di dalam unit perekam dan transfer data. Data MAGDAS direkam pada *memory card* kapasitas 1 GB. Berat keseluruhan sistem magnetometer MAGDAS ini kurang dari 15 kg (Yumoto and the MAGDAS Group, 2006; Musafar dkk., 2010). Komponen-komponen utama dan kelengkapan magnetometer ditunjukkan dalam Gambar 7. yang terdiri dari terdiri dari sensor *ring-core* 3 sumbu, jenis fluxgate magnetometer, unit perekam dan transfer data, dan catu daya.

Contoh hasil pemantauan gelombang ULF dalam komponen H, D, dan Z ditunjukkan pada Gambar 8. Data ini dapat digunakan untuk mempelajari variasi badai magnet dalam jangka panjang, *substorm auroral*, Sq, dll., sedangkan jenis induksi yang terjadi akan sangat penting untuk mempelajari gelombang-gelombang ULF, transien, dan fenomena-fenomena yang impulsif. Dengan data MAGDAS, dapat dilakukan pemantauan dan pemodelan real-time terhadap sistem arus 3 dimensi global, dan kerapatan plasma ambien untuk memahami

perubahan lingkungan elektromagnet dan plasma di antariksa bumi [18].

4. Simpulan

Kajian terhadap peralatan pengamatan antariksa untuk dioperasikan di lokasi Observatorium Nasional Timau telah dilakukan untuk mendapatkan instrumentasi yang tidak menimbulkan interferensi radio terhadap peralatan lainnya. Beberapa kandidat peralatan pengamatan antariksa untuk Observatorium Nasional Timau antara lain Callisto, GRBR, VLF-receiver, dan Magnetometer, serta beberapa instrumentasi lainnya yang harus dikaji lebih dalam lagi. Kajian penerapan *Radio Quiet Zone* (RQZ) untuk kawasan Observatorium Nasional multak perlu dilakukan untuk melindungi teleskop radio dan peralatan penerima pasif lainnya yang akan dibangun di lokasi tersebut dari interferensi frekuensi radio. Interferensi radio di Gunung Timau yang lebih rendah dibanding dengan di Observatorium Bosscha Lembang menunjukkan Gunung Timau merupakan lokasi dengan penggunaan radio yang tenang yang sangat ideal untuk pengamatan antariksa berbasis radio.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Panitia Sinafi 2018 yang telah memberi kesempatan mempresentasikan makalah ini, juga kepada Tim Observatorium Nasional dari Pussainsa LAPAN dan Astronomi ITB untuk kerjasama yang baik dalam melakukan upaya-upaya awal untuk persiapan pembangunan Observatorium Nasional di Gunung Timau Nusa Tenggara Timur.

6. Referensi

- [1] Anonymus, (2013) *Undang-undang No. 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan*, Agustus 2013, Jakarta.
- [2] Williamson, Samuel P. (2010), *The National Space Weather Program, Document No. FCM-P30-2010*, Washington, DC, June 2010.
- [3] Monstein, Ch. and D. Baludansky (2013), *Solar radio observation and radio interference monitoring in Roztoky, Contribution Astronomy Observation Skalnaté Pleso 43*, 81-93.

- [4] SKA Australia (2015), Exploring the Universe with the world's largest radio telescope, *SKA brochures*, <http://ska.gov.au/Pages/default.aspx>, diakses Oktober 2015.
- [5] ITU-R (2012), Characteristics of Radio Quiet Zones, *Report ITU-R RA.2259, RA Series Radio Astronomy*, Geneva, September 2012.
- [6] NRAO (2015), NRAO Green Bank Site RFI Regulations for Visitors, *Interference Protection Group, National Radio Astronomy Observatory*, Virginia, USA.
- [7] Manik, Timbul (2012), Asia VLF Receiver Observation Network (AVON): Stasiun Pontianak, *Prosiding Seminar Sains Atmosfer dan Antariksa 2012*, Bandung 2013.
- [8] Hidayat, T., Munir, A., Dermawan, B., Jaelani, A. T., Leon, S., Nugroho, D. H., & et al. (2014), Radio Frequency Interference Measurements in Indonesia, A survey to establish a radio astronomy observatory, *Exp Astron* (2014) 37: 85-108 Springer.
- [9] Manik. T. and M. Lathif (2011), Radio Beacon Satellite Receiver Network for Ionospheric TEC and Scintillation Measurement in Equatorial Indonesia, *Proceeding of International Symposium on the 10th Anniversary of the EAR*, Jakarta.
- [10] Benz, Arnold O., C. Monstein, H. Meyer (2005), "Callisto, A New Concept for Solar Radio Spectrometers", *Solar Physics* (2005) 226: 143-151, Springer.
- [11] Manik, T., dan P. Sitompul (2015a), Pengamatan *Burst* Radio Matahari dengan Spektrometer Callisto di Indonesia: Hasil sukses pertama, *Prosiding of SNSAA 2014*.
- [12] Manik, T., and P. Sitompul (2015b), Radio Interference Measurement For Optimum Solar Radio Observation Using Callisto Spectrometer at Sumedang Indonesia. *The 4th International Symposium for Sustainable Humanosphere (ISSH) A Forum of Humanosphere Science School (HSS)* Bandung, 22-23 December 2014.
- [13] Manik, T., P. Sitompul, M. Batubara, T. Harjana, C. Y. Yatini, and C. Monstein (2016), Solar Radio Observation using Callisto Spectrometer at Sumedang West Java Indonesia: Current Status and Future Development Plan in Indonesia, Ground-based Solar Observations in the Space Instrumentation Era, *ASP Conference Series*, Vol. 504, pp. 331-337.
- [14] Monstein, Ch. (2014), *ISWI Newsletter - Vol.6 No.046*, 15 November 2014, pp. 8/14
- [15] Manik, Timbul (2013), Stasiun Penerima Radio Beacon di Kupang untuk Perluasan Cakupan Pengamatan Ionosfer di Indonesia, *Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya, LAPAN dan Universitas Nusa Cendana*, Kupang ISSN : 2355-388X 2013
- [16] Manik. T. and M. Lathif (2011), Radio Beacon Satellite Receiver Network for Ionospheric TEC and Scintillation Measurement in Equatorial Indonesia, *Proceeding of International Symposium on the 10th Anniversary of the EAR*, Jakarta.
- [17] Manik, Timbul (2012), Asia VLF Receiver Observation Network (AVON): Stasiun Pontianak, *Prosiding Seminar Sains Atmosfer dan Antariksa 2012*, Bandung 2013.
- [18] Yumoto, K., and the MAGDAS Group (2006), MAGDAS Project and Its Application for Space Weather, *ILWS Workshop 2006*, Goa, February 19-24, 2006.