

RISET IONOSFER REGIONAL INDONESIA DAN PENGARUHNYA TERHADAP SISTEM KOMUNIKASI DAN NAVIGASI MODERN

Jiyo

Peneliti Fisika Magnetosferik dan Ionosferik, Pusat Sains Antariksa, Lapan
e-mail: jiyolpnbdg@yahoo.com

RINGKASAN

Makalah ini membahas tentang konsep dasar riset ionosfer regional. Konsep penelitian dan pengembangan pengetahuan dinamika ionosfer regional dan pemanfaatannya telah disusun berdasarkan tugas dan fungsi Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi. Tiga tahapan dalam rangkaian penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan pengetahuan dinamika ionosfer adalah pembangunan bank data ionosfer regional, penelitian dan pengembangan dinamika ionosfer regional, dan pengembangan kemasan hasil riset untuk pemanfaatan. Pengembangan bank data ionosfer regional dimaksudkan sebagai dasar penopang yang kuat bagi kegiatan penelitian dan pengembangan. Kegiatan penelitian dan pengembangan diarahkan untuk memahami dinamika ionosfer regional dan pengaruhnya terhadap komunikasi dan navigasi. Pengemasan hasil riset dimaksudkan agar informasi yang diberikan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

1 PENDAHULUAN

Lapisan ionosfer adalah bagian dari atmosfer Bumi yang menempati ruang dari ketinggian sekitar 50 km hingga sekitar 1000 km. Lapisan ini terbentuk dari elektron, ion, partikel bermuatan lainnya. Kemudian, lapisan ionosfer regional dimaksudkan sebagai lapisan ionosfer yang menempati ruang di atas wilayah teritori Indonesia yaitu dari lintang $\sim 6^{\circ}\text{LU}$ hingga $\sim 11^{\circ}\text{LS}$ dan dari bujur $\sim 95^{\circ}\text{BT}$ hingga $\sim 141^{\circ}\text{BT}$.

Secara historis lapisan ionosfer ditemukan pertama kali pada awal abad 20 yang lalu oleh Marconi (Hunsucker dan Hargreaves, 2003) ketika berhasil melakukan percobaan komunikasi radio lintas Atlantik, yaitu dari Cornwall ke Newfoundland. Sejak saat itu, lapisan ionosfer telah memberikan manfaat kepada kehidupan manusia di Bumi sebagai prasarana komunikasi radio jarak jauh.

Saat ini kehidupan manusia di bumi semakin bergantung kepada teknologi ruang angkasa (*space base technology*). Seiring dengan perkembangan teknologi informasi yang luar biasa,

teknologi telekomunikasi juga berkembang dengan sangat cepat. Telekomunikasi sebagai sarana penyampai informasi dituntut mampu menyalurkan informasi dengan kapasitas besar, kecepatan tinggi, dan menjangkau wilayah yang luas (global). Satelit adalah jawaban atas kebutuhan akan hal tersebut.

Satelit yang ditempatkan di ruang angkasa, baik langsung maupun tidak langsung, akan dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan antariksa yang terjadi. Ketika terjadi badai matahari, kemungkinan fisik satelit akan terpengaruh oleh partikel bermuatan yang dilepaskan oleh matahari dan sampai di lingkungan orbit satelit. Selain itu, gelombang radio yang digunakan sebagai sarana pengalir informasi juga akan terkena dampak badai tersebut. Ketika terjadi badai matahari lapisan magnetosfer dan ionosfer akan mengalami anomali yang akan mengganggu penjalaran gelombang radio tersebut.

Pemahaman tentang dinamika dan perubahan lapisan ionosfer akan

sangat berguna untuk mengantisipasi dampak badai matahari terhadap sistem komunikasi, baik terestrial maupun komunikasi satelit. Selain itu, sistem navigasi dan penentuan posisi saat ini juga bertumpu pada teknologi ruang angkasa. Penentuan arah dan posisi di dunia penerbangan, palayaran, dan perjalanan jarak jauh lainnya, telah menggunakan teknologi navigasi modern. Pemahaman tentang lapisan ionosfer- termasuk ionosfer regional Indonesia- juga diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan sistem navigasi modern.

Meskipun telah dilakukan sejak tahun 1980-an, konsep dasar riset ionosfer di Indonesia belum dinyatakan dengan jelas sehingga arah penelitian masih kurang terintegrasi untuk satu tujuan yang jelas. Hal ini dikuatkan dari minimnya model ionosfer yang berhasil dibangun selama tiga dasa warsa terakhir. Saat ini baru satu model ionosfer regional yang dihasilkan (Muslim, 2008) dan satu metode penentuan indeks ionosfer regional (Suhartini, 2012) dalam proses pembuatan. Model yang sudah ada ini masih perlu diperbaiki ketelitian maupun fiturnya untuk menjadi suatu model yang memenuhi kebutuhan untuk pelayanan kepada pengguna. Oleh karenanya, makalah ini mengusulkan suatu konsep tentang arah riset ionosfer yang lebih jelas dan fokus. Tujuannya menyediakan dasar pijakan untuk kegiatan penelitian dan pengembangan pengetahuan ionosfer regional dan arahnya sesuai kebutuhan yang terus berkembang.

2 DASAR KEBIJAKAN

Secara nasional konsep dasar tentang riset cuaca antariksa tercermin dari visi dan misi Pusat Sains Antariksa yang termaktub dalam Peraturan Kepala (Perka) Lapan No. 2 tahun 2011. Visi

dan misi tersebut merupakan bagian dari visi dan misi Lapan secara keseluruhan. Visi Pusat Sains Antariksa adalah menjadi pusat keunggulan sains antariksa. Sedangkan misi yang diembannya adalah membangun kompetensi dan kapasitas dalam bidang-bidang: matahari dan antariksa, geomagnet dan magnet antariksa, ionosfer dan telekomunikasi, dan teknologi pengamatan antariksa.

Dalam rangka melaksanakan misi tersebut, maka Pusat Sains Antariksa melaksanakan tugas penelitian dan pengembangan sains antariksa dan pemanfaatannya (pasal 90 Perka Lapan No.2/2011). Adapun fungsi yang harus dijalankan adalah penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan (i) bidang matahari, orbit satelit, dan lingkungan antariksa, (ii) bidang geomagnet, seismo-elektromagnet, dan magnet antariksa, (iii) dinamika ionosfer dan telekomunikasi, (iv) instrumentasi pengamatan dan basis data, (v) pembinaan teknis, dan (vi) kerjasama teknis (pasal 91 Perka LAPAN No. 2/2011). Tugas (i) hingga (iv) dilaksanakan oleh empat Bidang dibawah struktur Pusat Sains Antariksa, sedangkan tugas (v) dan (vi) dilaksanakan oleh Pusat Sains Antariksa dengan penyiapan bahannya oleh bidang terkait (Tabel 2-1).

Mengacu kepada pembagian tugas dan fungsi untuk masing-masing bidang di Pusat Sains Antariksa, Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi mengemban fungsi penelitian dan pengembangan pengetahuan bidang ionosfer dan telekomunikasi, serta pemanfaatannya, dan penyiapan bahan pelaksanaan kerja sama teknis (Pasal 95, Perka Lapan No. 2, 2011). Fungsi inilah yang akan digunakan sebagai pijakan dalam menyusun konsep penelitian dan pengembangan tentang dinamika ionosfer regional dan pengaruhnya terhadap komunikasi dan navigasi.

Tabel 2-1: TUGAS DAN FUNGSI PUSAT SAINS ANTARIKSA DAN BIDANG PELAKSANYANYA (Yatini, dkk, 2013)

Tugas	Fungsi	Bidang Pelaksana
Melaksanakan penelitian dan pengembangan sains antariksa dan pemanfaatannya	a. Penelitian dan pengembangan, bidang matahari, orbit satelit, dan lingkungan antariksa, serta pemanfaatannya.	Bidang Matahari dan Antariksa.
	b. Penelitian dan pengembangan, bidang geomagnet, <i>seismo</i> -elektromagnet, magnet antariksa, serta pemanfaatannya.	Bidang Geomagnet dan Magnet Antariksa
	c. Penelitian dan pengembangan pengetahuan bidang ionosfer dan telekomunikasi, serta pemanfaatannya.	Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi
	d. Penelitian dan pengembangan instrumentasi pengamatan dan basis data antariksa, serta pemanfaatannya.	Bidang Teknologi Pengamatan
	e. Pembinaan teknis di bidang sains antariksa.	Pusat Sains Antariksa
	f. Pelaksanaan kerjasama teknis di bidang sains antariksa.	Pusat Sains Antariksa

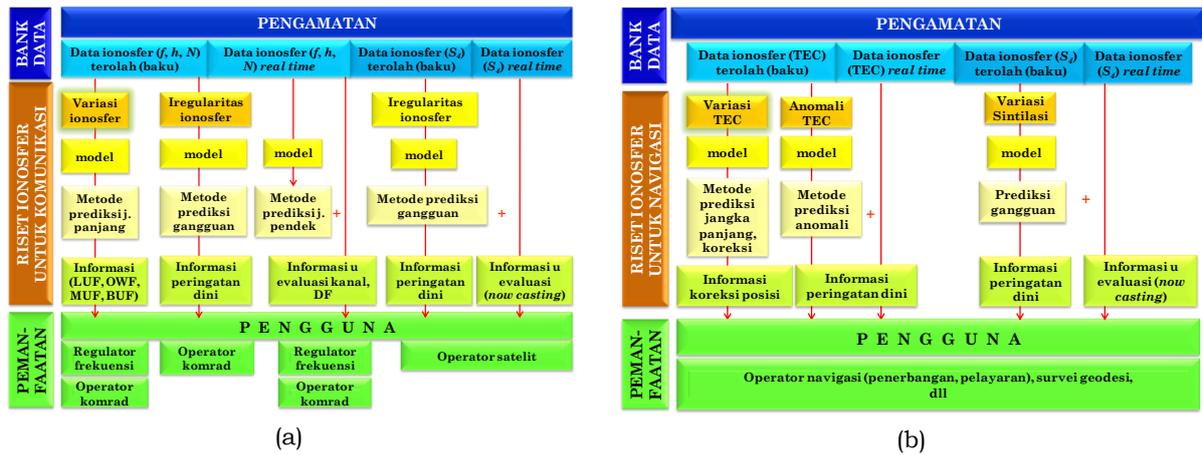
3 KONSEP RISET IONOSFER REGIONAL

Berdasarkan fungsi Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi yang telah diuraikan pada bab 2, maka terdapat tiga substansi penting yaitu penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan. Kegiatan penelitian akan menghasilkan pemahaman tentang dinamika lapisan ionosfer regional, baik dinamika reguler maupun tak-reguler atau anomali. Pemahaman yang dihasilkan kemudian dikembangkan menjadi model yang dapat menghasilkan informasi yang dapat dimanfaatkan oleh operator komunikasi dan navigasi untuk mengoptimalkan kinerjanya.

Kebutuhan dasar suatu kegiatan penelitian adalah data. Data menjadi bahan dalam melakukan analisis yang merupakan inti kegiatan penelitian. Ketersediaan data yang digunakan dalam penelitian menjadi hal mendasar

yang sangat penting. Data menjadi salah satu kunci keberhasilan suatu penelitian. Oleh karena itu, penyiapan, pengolahan, dan interpretasi data sehingga siap digunakan adalah hal penting yang harus ditangani secara khusus.

Dari analisis data akan dihasilkan kesimpulan yang menjadi pemahaman tentang dinamika ionosfer regional. Pemahaman yang diperoleh dapat dikembangkan dan dikemas dalam bentuk model. Agar kegiatan ini lebih fokus, maka kegiatan pengembangan perlu dibagi menjadi dua berdasarkan dampak dari dinamika ionosfer yaitu terhadap komunikasi dan navigasi. Riset ionosfer dan pengaruhnya terhadap komunikasi mempunyai sifat yang agak berbeda dengan riset ionosfer untuk navigasi. Gambar 3-1(a) menunjukkan konsep riset ionosfer untuk komunikasi dan Gambar 3-1(b) menunjukkan konsep riset ionosfer untuk navigasi.



Gambar 3-1: Konsep riset dinamika ionosfer regional dan pemanfaatan hasilnya untuk komunikasi (a) dan navigasi (b)

Gambar 3-1 menunjukkan alur proses pengamatan dan pengolahan data, kegiatan riset, hingga informasi yang sesuai dengan kebutuhan pengguna komunikasi dan navigasi. Bagan ini menunjukkan bahwa kebutuhan awal dari proses litbang dan pemanfaatan ini adalah data, baik yang sudah diolah (baku) maupun data *real time* dari perangkat pengamatan. Kemudian kegiatan penelitian tentang variasi dan iregularitas lapisan ionosfer yang hasilnya digunakan sebagai dasar pembuatan model ionosfer regional. Model yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai metode untuk membuat prediksi kondisi ionosfer, baik prediksi jangka pendek (harian) maupun jangka panjang (bulanan). Model yang diperoleh dari iregularitas ionosfer digunakan untuk memprakirakan gangguan yang akan terjadi. Informasi hasil prediksi perlu dikemas sesuai dengan kebutuhan pengguna dan disampaikan melalui beberapa media. Data *real time* digunakan untuk mengevaluasi kondisi ionosfer saat ini untuk mendukung komunikasi dan navigasi.

4 PEMBAHASAN

Konsep litbang dinamika ionosfer regional dan pemanfaatannya mencakup 3 kegiatan pokok yaitu pengembangan bank data ionosfer regional, penelitian

dan pengembangan dinamika ionosfer untuk komunikasi dan navigasi.

4.1 Pengembangan Bank Data Ionosfer Regional

Data merupakan kebutuhan dasar untuk kegiatan riset dan pengembangan. Tanpa data mustahil suatu kegiatan riset dapat dilakukan. Oleh karenanya ketersediaan data yang siap analisis merupakan pondasi untuk suatu kegiatan riset. Bank data akan menjadi penopang yang kuat bagi berlangsungnya kegiatan penelitian dan pengembangan.

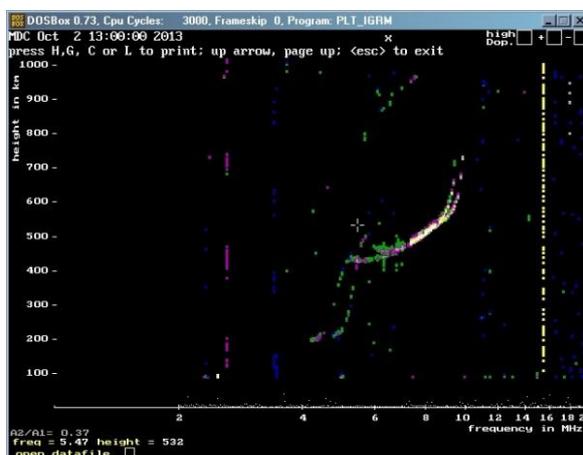
Secara umum, data ionosfer yang digunakan dalam penelitian untuk komunikasi agak berbeda dengan data ionosfer yang digunakan dalam penelitian untuk navigasi. Parameter ionosfer yang digunakan untuk litbang ionosfer untuk komunikasi adalah frekuensi minimum dan frekuensi kritis lapisan ionosfer, ketinggian lapisan, dan kejadian khusus yang menunjukkan anomali lapisan ini. Frekuensi minimum lapisan ionosfer menunjukkan frekuensi atau kerapatan elektron terendah lapisan ionosfer. Frekuensi kritis adalah frekuensi atau kerapatan elektron tertinggi dari masing-masing lapisan ionosfer (lapisan E, lapisan F1, dan lapisan F2). Teknik pengamatannya yang umum adalah menggunakan radar pada band HF yang disebut ionosonda.

Pengamatan lapisan ionosfer menggunakan ionosonda menghasilkan data mentah yang disebut ionogram (Gambar 4-1) yang menyatakan grafik ketinggian semu (sumbu tegak) sebagai fungsi dari frekuensi lapisan (sumbu mendatar). Ionogram ini harus dibaca dan diinterpretasikan menjadi angka-angka ketinggian dan frekuensi, menggunakan metode khusus yang disebut *scaling* (Pigott dan Rawer, 1978). Kegiatan *scaling* ini dilakukan oleh tim khusus yang terdiri dari teknisi yang perlu dilatih terlebih dahulu. Data hasil *scaling* perlu diverifikasi kebenarannya oleh tim khusus yang telah memahami teknik *scaling* yang benar. Dengan 2 tahapan ini, data parameter yang dihasilkan menjadi valid dan siap digunakan untuk penelitian.

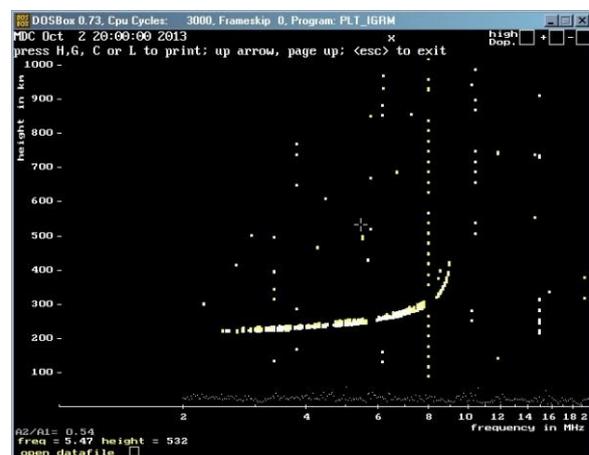
Selanjutnya, data yang digunakan dalam penelitian ionosfer untuk navigasi adalah *Total Electron Content* (TEC) dan sintilasi. Teknik pengamatannya menggunakan sinyal *Global Positioning System* (GPS) atau *Global Navigation Satellite System* (GNSS) yang diterima oleh peralatan khusus yaitu *GPS Ionospheric Scintillation and TEC Monitor* (GISTM) yang menghasilkan kedua jenis data tersebut dalam format *biner*. Agar

menjadi angka yang bisa diolah dan dianalisis, maka data biner tersebut harus dikonversi menjadi data dengan format teks atau *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) menggunakan *software* khusus. Kegiatan konversi ini dilakukan oleh teknisi yang juga memerlukan pelatihan khusus. Seperti halnya jenis pertama, data ini juga perlu diverifikasi dengan cara menyeleksi data berdasarkan visibilitas satelit GPS/GNSS. Data yang berasal dari sinyal satelit yang tidak visibel akan dipisahkan dan tidak akan digunakan untuk penelitian.

Karena alasan yang diuraikan di atas, maka perlu kegiatan tersendiri yang khusus melaksanakan interpretasi, konversi, dan verifikasi data ionosfer yang volumenya cukup besar. Kegiatan tersebut adalah pengembangan Bank Data Ionosfer Regional (BDIR). Kegiatan ini tidak hanya menyediakan data yang siap analisis, tetapi juga menyiapkan kemasan yang mempermudah bagi para peneliti untuk mendapatkan data. Bentuk kemasannya adalah Buletin Data Ionosfer Regional (Gambar 4-2(a)) dan sistem basis datanya (Gambar 4-2(b)) disertai *software* aplikasi untuk memudahkan aksesnya.

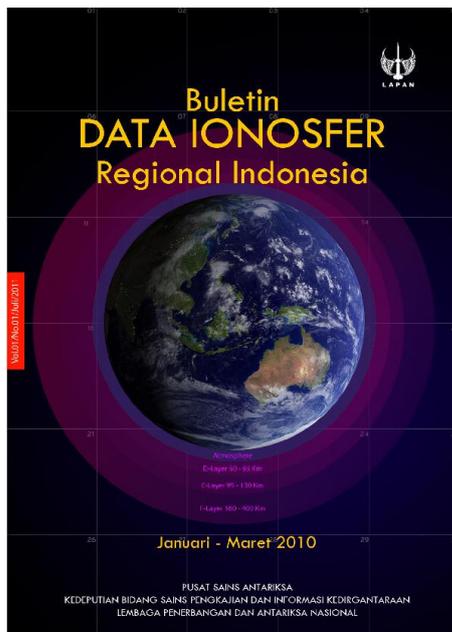


(a)



(b)

Gambar 4-1: Ionogram hasil pengamatan ionosonda CADI di Tomohon pada tanggal 2 Oktober 2013: (a) ionogram pukul 13:00 WITA dan (b) ionogram pukul 20:00 WITA (Jiyo, 2014)



(a)



(b)

Gambar 4-2: Buletin Data Ionosfer Regional (a) dan Bank Data Ionosfer Regional (b)

4.2 Penelitian Dinamika Ionosfer untuk Komunikasi

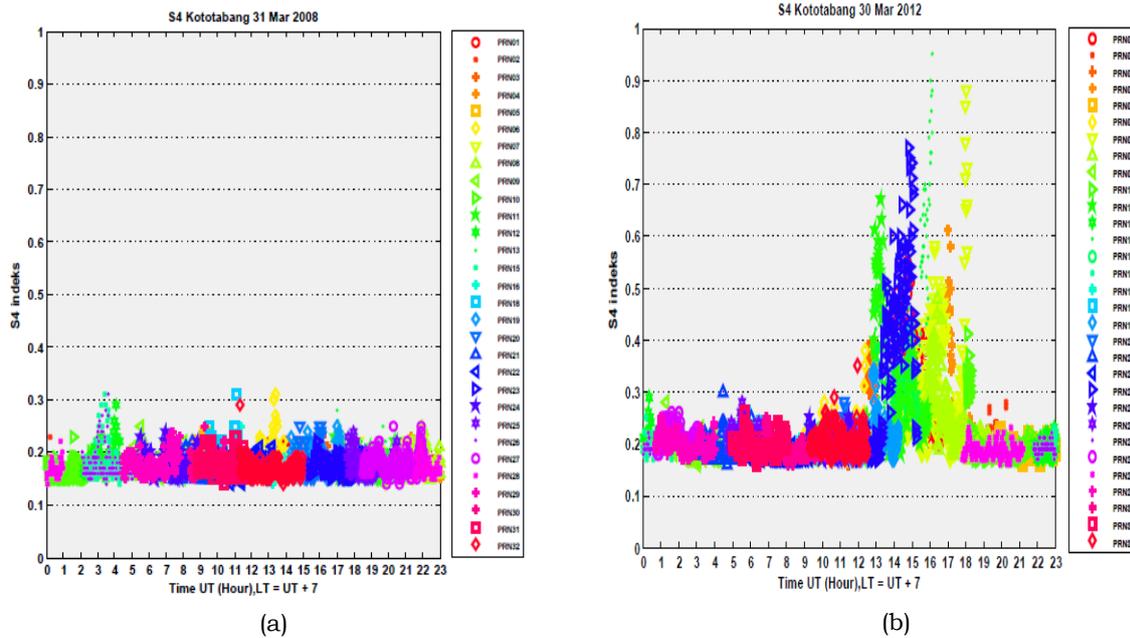
Seperti terlihat pada Gambar 3-1(a), rangkaian kegiatan riset ionosfer untuk komunikasi meliputi riset tentang variasi dan iregularitas lapisan ionosfer, pengembangan model ionosfer regional, pengembangan metode prediksi, dan pengembangan kemasan informasi yang akan diberikan kepada pengguna. *Output* dari masing-masing kegiatan saling terkait satu dengan yang lainnya, sehingga tidak bisa dilakukan secara terpisah.

Penelitian variasi lapisan ionosfer akan menghasilkan pemahaman tentang sifat reguler dari lapisan tersebut. Pengetahuan tentang variasi temporal dan spasial akan menjadi dasar pengembangan model ionosfer regional. Sebagai informasi masukan (*input*) umumnya digunakan indeks aktivitas matahari seperti bilangan *sunspot* (R) atau fluks matahari pada panjang gelombang 10,7 cm (F10.7). Berdasarkan model ionosfer yang diperoleh, kemudian dapat dikembangkan metode prediksi jangka panjang (bulanan) parameter ionosfer dan informasi yang dapat dimanfaatkan langsung oleh pengguna. Informasi dimaksud berupa

frekuensi minimum (*Lowest Usable Frequency*, LUF), frekuensi kerja optimum (*Optimum Working Frequency*, OWF), dan frekuensi maksimum (*Maximum Usable Frequency*, MUF).

Iregularitas atau ketidakteraturan lapisan ionosfer adalah kondisi menyimpang terhadap sifat reguler atau variasinya. Pemahaman tentang hal ini juga dapat dirumuskan dalam bentuk model dengan masukan indeks aktivitas matahari dan/atau geomagnet. Dengan model iregularitas lapisan ionosfer kemudian dapat dibangun suatu metode prediksi yang menghasilkan informasi tentang kemungkinan gangguan terhadap sistem komunikasi. Bentuk kemasan informasinya berupa kemungkinan terputusnya komunikasi (*blackout*), menurunnya kualitas komunikasi radio akibat tingginya derau (*noise*), dan tidak stabilnya sinyal (*fading*). Informasi tersebut ditambah dengan data *real-time* dari stasiun pengamatan dapat digunakan sebagai informasi peringatan dini (*early warning*) untuk langkah adaptasi dan mengevaluasi kanal frekuensi komunikasi radio (Jiyo et al., 2011; Jiyo, 2012).

Iregularitas lapisan ionosfer juga dapat diamati melalui sinyal satelit



Gambar 4-3: Kejadian sintilasi kuat yang terjadi pada tanggal 31 Maret (a), dan sintilasi lemah yang terjadi pada tanggal 30 Maret 2012 di atas Kototabang (b) (Asnawi, 2013)

GPS/GNSS. Perubahan kerapatan lapisan ionosfer secara cepat dapat menyebabkan fluktuasi amplitudo dan fasa sinyal satelit juga secara cepat dan dikenal sebagai *sintilasi* ionosfer. Pada saat terjadi sintilasi, maka kemungkinan akan mengganggu komunikasi radio, baik terestrial maupun satelit. Fluktuasi amplitudo dan fasa sinyal radio akan menyebabkan hilangnya informasi yang dikirimkan melalui gelombang tersebut. Mengingat tingginya kecepatan akses dan kapasitas informasi (*bit*) pada sistem komunikasi saat ini, fluktuasi amplitudo yang hanya sesaat akan menyebabkan kesalahan serius terhadap informasi yang dikirimkan. Jadi, sistem komunikasi modern saat ini menjadi peka terhadap perubahan lapisan ionosfer.

Kejadian sintilasi dikenali melalui indeks S4 yang mempunyai nilai antara 0 hingga 1. Jika indeks $S4 > 0,5$, maka terjadi sintilasi terhadap sinyal gelombang radio yang digunakan satelit GPS (*L-band*). Gambar 4-3 menunjukkan contoh indeks S4 hasil pengamatan peralatan *Ionospheric Scintillation Monitor* (ISM) di stasiun Kototabang ($0,3^{\circ}LS, 100,35^{\circ}BT$). Gambar 4-3(a) menunjukkan kondisi lapisan ionosfer di atas Kototabang saat

tidak terjadi sintilasi dan Gambar 4-3(b) menunjukkan kondisi terjadi sintilasi.

Penelitian sintilasi ionosfer dilakukan untuk mengetahui klimatologinya yakni variasi harian, variasi musiman, variasi dekadal, dan variasi spasial dari kejadian sintilasi. Hasilnya akan digunakan untuk membangun model kejadian sintilasi ionosfer regional. Model yang dihasilkan kemudian dikemas dalam bentuk piranti lunak (*software*) yang dapat digunakan sebagai metode prediksi. Penerapan metode prediksi akan menghasilkan informasi kemungkinan kejadian sintilasi yang dijadikan informasi peringatan dini untuk komunikasi satelit.

4.3 Penelitian Dinamika Ionosfer untuk Navigasi

Navigasi modern saat ini saat ini sudah sangat bergantung kepada satelit. Amerika Serikat, Rusia, China, Uni Eropa, bahkan Jepang telah mengembangkan sistem navigasi mereka dengan mengorbitkan konstelasi satelit masing-masing. Amerika Serikat dengan konstelasi satelit GPS-nya telah memberikan layanan navigasi diseluruh dunia. Rusia dengan konstelasi satelit *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*

(GLONASS) juga telah memberikan layanan navigasi kepada penggunanya. China dengan jaringan satelit *BeiDou*-nya telah berusaha menyaingi Amerika Serikat dalam layanan navigasi. Uni Eropa mengoperasikan konstelasi satelit *Galileo* dan Jepang meluncurkan satelit *Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)* untuk keperluan yang sama. Semua itu menunjukkan bahwa sistem navigasi saat ini bertumpu pada teknologi ruang angkasa yaitu sistem satelit navigasi global (*Global Navigation Satellite System, GNSS*) yang terdiri dari beberapa konstelasi satelit yang telah disebutkan.

GNSS menggunakan gelombang radio untuk mengalirkan informasi posisi, arah, dan waktu. Gelombang tersebut akan selalu melewati lapisan ionosfer, sehingga kondisi lapisan ionosfer akan mempengaruhi ketelitian pengukuran posisi, arah, dan waktu oleh sistem tersebut. Sinyal satelit GNSS akan dibiaskan/dibelokkan oleh lapisan ionosfer sehingga menimbulkan kesalahan posisi yang diukur dengan perangkat penerima. Kesalahan itu sebanding dengan kandungan elektron dari lapisan ionosfer. Oleh karena itu pemahaman tentang dinamika lapisan ionosfer regional perlu dikuasai.

Pemahaman tentang variasi harian, variasi musiman, variasi dekadal, dan variasi spasial dari kandungan elektron total (*Total Electron Content, TEC*) akan menjadi dasar pengembangan model ionosfer regional. Informasi tentang TEC dapat digunakan untuk mengoreksi kesalahan pengukuran oleh penerima GNSS. Model ionosfer yang diperoleh kemudian diintegrasikan dengan sistem penerima GNSS sehingga kesalahan akibat bias ionosfer dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan. Selain itu, dengan model ionosfer yang diperoleh dapat ditentukan koreksi pengukuran, khususnya untuk perangkat penerima GNSS dengan frekuensi tunggal.

Sintilasi merupakan perwujudan anomali ionosfer dan juga akan mempengaruhi kinerja dari perangkat

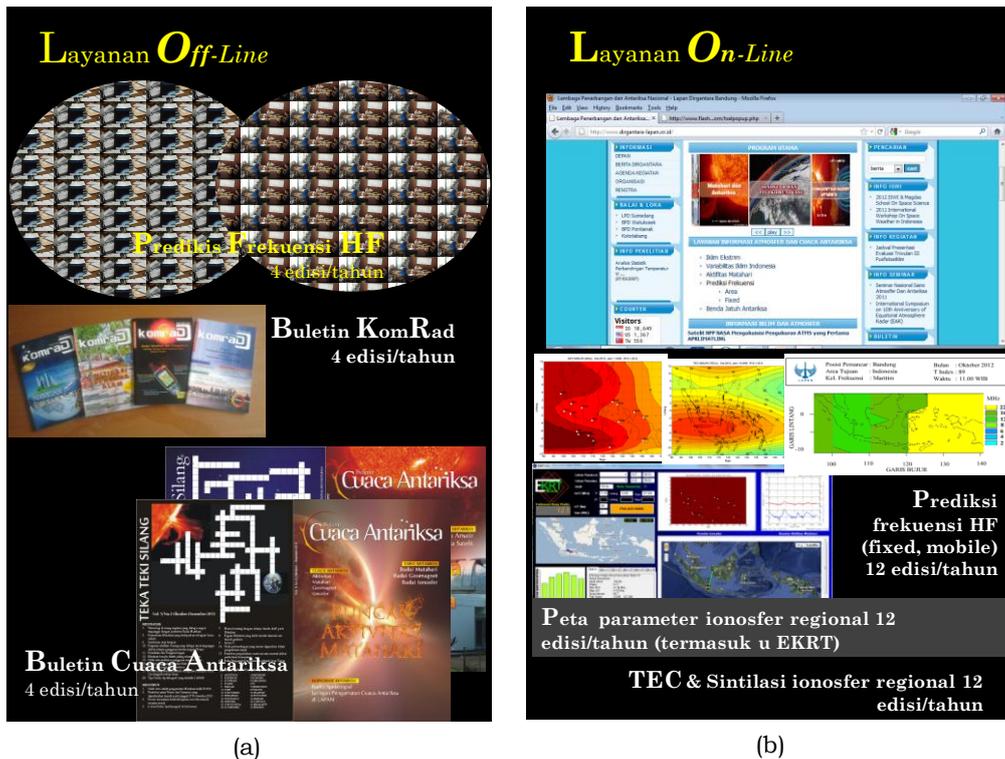
penerimaan GNSS. Fluktuasi amplitudo dan fasa sinyal gelombang radio dari GNSS akan menyebabkan kesalahan pengukuran perangkat penerima GNSS, bahkan menyebabkan pengukuran tidak dapat dilakukan. Oleh karenanya model kejadian sintilasi perlu dikembangkan untuk memprakirakan akan terjadinya gangguan terhadap sistem navigasi. Hasil prakiraan ini akan menjadi peringatan dini (*early warning*) untuk menghindari pengukuran pada rentang waktu terjadinya sintilasi.

Selain model ionosfer, baik model TEC maupun sintilasi, data pengamatan *real time* juga dapat menjadi informasi berguna bagi pengguna GNSS. Informasi TEC *real time* dapat digunakan untuk koreksi pengukuran GNSS secara langsung. Beberapa perangkat penerima GNSS telah dilengkapi dengan sistem koreksi secara otomatis menggunakan informasi rujukan. Kemudian data sintilasi *real time* bisa digunakan untuk evaluasi hasil pengukuran secara langsung.

4.4 Pemanfaatan Hasil Litbang Ionosfer Regional

Pemanfaatan adalah tujuan akhir dari rangkaian kegiatan penelitian dan pengembangan dinamika ionosfer regional. Secara garis besar bentuk pemanfaatan hasil riset ionosfer adalah layanan informasi dan layanan bimbingan teknis. Cara penyampaiannya terdiri dari layanan secara *off-line* dan *on-line* (Gambar 4-4). Layanan *off-line* dilakukan untuk memberikan informasi dalam bentuk prediksi frekuensi HF triwulanan, Buletin Komrad, dan Buletin Cuaca Antariksa, yang dikirimkan kepada pengguna melalui lembaga layanan jasa pengiriman. Layanan *on-line* memberikan informasi tentang prediksi frekuensi HF bulanan, peta ionosfer regional, peta TEC dan sintilasi.

Informasi yang bisa diberikan kepada pengguna adalah prediksi frekuensi untuk komunikasi radio HF, prediksi TEC untuk koreksi posisi, dan



Gambar 4-4: Bentuk layanan yang disampaikan secara *off-line* (kiri) dan *on-line* (kanan)

prediksi kejadian sintilasi untuk mengantisipasi gangguan komunikasi dan kesalahan navigasi. Informasi prediksi frekuensi dapat disampaikan secara *on-line* maupun *off-line*, sementara 2 informasi lainnya disampaikan secara *on-line*.

5 PENUTUP

Konsep penelitian dan pengembangan pengetahuan dinamika ionosfer regional dan pemanfaatannya telah disusun berdasarkan tugas dan fungsi Bidang Ionosfer. Tiga tahapan dalam rangkaian penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan pengetahuan dinamika ionosfer adalah pembangunan bank data ionosfer regional, penelitian dan pengembangan dinamika ionosfer regional, dan pengembangan kemas hasil riset untuk pemanfaatan. Pengembangan bank data ionosfer regional dimaksudkan sebagai dasar penopang yang kuat bagi kegiatan penelitian dan pengembangan. Kegiatan penelitian dan pengembangan diarahkan untuk memahami dinamika ionosfer regional dan pengaruhnya terhadap komunikasi dan navigasi. Pengemasan

hasil riset dimaksudkan agar informasi yang diberikan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

DAFTAR RUJUKAN

- Asnawi, 2013 *Analisis Statistik Kemunculan Sintilasi Ionosfer Daerah Lintang Rendah Indonesia Berdasarkan Data Pengamatan di Stasiun Kototabang*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 8, No. 2.
- Hunsucker, R. D., dan J. K. Hargreaves, 2013. *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press.
- Jiyo, S. Suhartini, V. Dear, 2011. *Manajemen Frekuensi HF Sebagai Langkah Adaptasi Terhadap Perubahan Kondisi Lapisan Ionosfer*, Berita Dirgantara Vol. 12 No. 3, halaman 110-117.
- Jiyo, 2012. *Dinamika Ionosfer Regional dan Mitigasi Dampaknya Terhadap Komunikasi Radio dan Navigasi Berbasis Satelit*, Prosiding Seminar The 6th EECCIS, Malang 30-31 Mei, halaman C13-1- C13-5.

- Jiyo, 2014. *Peluang Pemanfaatan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Di Stasiun Manado-Tomohon*, Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya, Manado, 8 Oktober 2013, halaman 14 – 23.
- Muslim, B., Asnawi, Martiningrum, D. R., Kurniawan, A., Syarifudin, 2008. *Model Sederhana Ionosfer Lintang Rendah Indonesia Untuk Parameter foF2 (MSILRI versi 2002)*, Publikasi Ilmiah LAPAN Tahun 2007, ISBN: 978-979-1458-05-4.
- Piggott, W. R., dan K. Rawer, 1978. *URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction*, Report UAG -23A.
- Suhartini, S., Martiningrum, D. R, Syamsudin, S., Syidik, I. F., Dear, V., 2012, *Penelitian Indeks Ionosfer Regional dan Pengembangan Metode Perhitungannya*, Laporan Penelitian.
- Yatini, C. Y., Jiyo, A. Santoso, Budiyanto, dan T. Harjana, 2013. *Riset Cuaca Antariksa Nasional, Capain Hasil dan Pemanfaatannya*, Media Dirgantara Edisi 50 Tahun LAPAN 1963-2013, halaman 92-97.