

# **ANALISIS KEMAMPUAN SISTEM PINTAR ESIR-CADI UNTUK MENDUKUNG RISET DAN LAYANAN INFORMASI IONOSFER (ANALYSIS OF THE ESIR-CADI SMART SYSTEM TO SUPPORT THE IONOSPHERIC RESEARCH AND INFORMATION SERVICE)**

**Jiyo**

**Pusat Sains Antariksa**

**Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional**

**Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia**

**e-mail: jiyo@lapan.go.id**

## **ABSTRACT**

The ESIR-CADI is a smart system that integrated with CADI ionosonde to process data quickly. Its ability has not been used by ionospheric researchers in the Space Science Center such that need to be investigated. The research on this subject shows that ESIR-CADI able to provide immediately the electron density profile and the true height of ionosphere, standard parameters, and statistic of observations. Electron density profiles can be reduced to provide the maximum electron density height which is very important to study the interaction of ionosphere and magnetosphere. The parameters obtained can be used as substance of rapid evaluation for the SWIFtS. In addition to evaluate the operation of CADI ionosonde, observational statistic can also be used to study the ionospheric irregularity such as ESF occurrence, Sporadic-E layer, and blanketing phenomena. Data in the SAO format can be used for data exchange.

**Keywords:** *ESIR-CADI, SWIFtS, ESF, E-Sporadis, Blanketing, SAO*

## **ABSTRAK**

ESIR-CADI adalah sistem pintar yang terintegrasi dengan ionosonda CADI yang digunakan untuk memproses data secara cepat. Kemampuannya belum dimanfaatkan oleh peneliti ionosfer di lingkungan Pusat Sains Antariksa sehingga perlu diteliti. Hasil penelitian tentang hal itu menunjukkan bahwa ESIR-CADI mampu menyediakan informasi secara cepat tentang profil kerapatan elektron dan ketinggian sebenarnya, parameter baku, dan statistik pengamatan. Dengan profil kerapatan elektron dapat diturunkan ketinggian kerapatan elektron maksimum yang sangat penting untuk penelitian dinamika ionosfer dan interaksinya dengan magnetosfer. Parameter baku lapisan ionosfer dapat digunakan sebagai bahan evaluasi cepat untuk layanan informasi ionosfer dalam SWIFtS. Selain untuk mengevaluasi kinerja ionosonda, statistik pengamatan dapat pula digunakan untuk penelitian kejadian iregular lapisan ionosfer seperti kejadian ESF, kemunculan lapisan E-Sporadis, dan *blanketing*. Data dalam format SAO dapat digunakan untuk pertukaran data.

**Kata kunci:** *ESIR-CADI, SWIFtS, ESF, E-Sporadis, Blanketing, SAO*

## **1 PENDAHULUAN**

*The Expert System for Ionogram Reduction (ESIR) (Space Environment Corporation, 2014)* adalah piranti komputasi untuk menganalisis ionogram yang yang dihasilkan oleh semua jenis ionosonda digital termasuk *Canadian Advance Digital Ionosonde (CADI)*, yang telah dioperasikan di stasiun kerja sama Manado-Tomohon (1,33°LU, 124,82°BT)

dan Kupang-UNDANA (10,16°LS, 123,67°BT) sejak awal 2013 (Jiyo, 2014; Suhartini dan Nurmali, 2014). *Software ESIR-CADI* memiliki kemampuan interpretasi (*scaling*) data (Scotto dan MacDougall, 2012) dan melakukan evaluasi pengamatan secara otomatis menggunakan paradigma *fuzzy* dalam mengidentifikasi *trace* ionogram (Pillat *et al.*, 2013). Selain itu, di dalam *software*

ESIR-CADI juga telah ditambahkan aplikasi untuk menentukan profil ketinggian sebenarnya (*true heigh*) menggunakan metode *Polynomial Analysis* (POLAN).

*Scaling* otomatis dalam ESIR-CADI menggunakan metode *Automatic Real-Time Ionogram Scaler with the True height* (ARTIST) yang telah dikembangkan sejak 90-an dan hingga kini sudah digunakan oleh banyak peneliti (misalnya: McNamara *et al.*, 1987; Scotto dan MacDougall, 2012; Yun *et al.*, 2013). Metode POLAN (Titheridge, 1985) juga sudah digunakan untuk menentukan profil kerapatan elektron atau frekuensi plasma dengan ketinggian sebenarnya untuk berbagai penelitian ionosfer (misalnya Scotto *et al.*, 2012).

Hingga saat makalah ini ditulis, *software* ESIR belum dibahas secara rinci di Pusat Sains Antariksa, sehingga kemampuan dan kemudahan yang diberikannya belum dimanfaatkan oleh para peneliti. Kemampuan *software* ESIR dapat dimanfaatkan untuk mempercepat proses pengolahan data dan memperoleh informasi terkait beberapa parameter ionosfer yang dapat digunakan dalam penelitian dan pemanfaatannya. Oleh karena itu, penelitian tentang

kemampuan ESIR dan kemungkinan topik riset yang dapat dilakukan perlu dilakukan.

Penelitian ini dilakukan untuk memahami kemampuan *software* ESIR dan parameter ionosfer yang dihasilkan, untuk mendukung penelitian ionosfer regional Indonesia. Dengan pemahaman yang diperoleh melalui penelitian ini maka beberapa topik penelitian lanjut lainnya dapat dilakukan.

## 2 DATA DAN METODE

Sebagai tinjauan kasus, digunakan data hasil pengamatan ionosfer menggunakan ionosonda CADI di stasiun kerjasama Manado-Tomohon (1,34°LU, 124,82°BT) pada Januari 2014. Pemilihan Januari dilakukan semata berdasarkan ketersediaan data.

Jenis file yang dihasilkan oleh *software* ESIR adalah *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) dan *Portable Network Graphics* (PNG). *Software* ESIR menghasilkan sembilan file ASCII dan satu file PNG seperti dalam Tabel 2-1 (*Scientific Instrumentation Ltd.*, 2010). Masing-masing file memuat informasi parameter ionosfer yang berbeda-beda.

Tabel 2-1: NAMA DAN JENIS FILE KELUARAN ESIR-CADI, SERTA INFORMASINYA

| No. | Nama File                 | Jenis | Isi File   |
|-----|---------------------------|-------|--|
| 1.  | loc_yyyydddhhmmss.EDP     | ASCII | Data profil densitas elektron untuk 1 ionogram   |
| 2.  | loc_yyyydddhhmmss.SAO     | ASCII | Data dalam format SAO ( <i>Standard Archiving Output</i> ) untuk 1 ionogram                          |
| 3.  | loc_yyyyddd-foE.txt       | ASCII | Data <i>foE</i> selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ordiner</i> dari ionogram  |
| 4.  | loc_yyyyddd-foF1.txt      | ASCII | Data foF1 selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ordiner</i> dari ionogram        |
| 5.  | loc_yyyyddd-foF2.txt      | ASCII | Data foF2 selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ordiner</i> dari ionogram        |
| 6.  | loc_yyyyddd-fxE.txt       | ASCII | Data fxE selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ekstra-ordiner</i> dari ionogram  |
| 7.  | loc_yyyyddd-fxF1.txt      | ASCII | Data fxF1 selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ekstra-ordiner</i> dari ionogram |
| 8.  | loc_yyyyddd-foF2.txt      | ASCII | Data fxF2 selama 1 hari pengamatan, ditentukan berdasarkan <i>trace ekstra-ordiner</i> dari ionogram |
| 9.  | loc_yyyyddd-status.txt    | ASCII | Data foEs, h'Es, dan <i>resume</i> pengamatan selama sehari  |
| 10. | loc_yyyydddhhmmss_ESR.png | PNG   | Gambar ionogram dan profil/grafik ketinggian semu hasil perhitungan                                  |

Nama file EDP, SAO, PNG dinyatakan dalam 17 karakter/angka yang terdiri dari tiga karakter inisial stasiun (**loc**), empat angka (**yyyy**) yang menyatakan tahun, tiga angka (**ddd**) yang menyatakan hari (dalam Julian Day), dua angka (**hh**) menyatakan jam dalam UT (*Universal Time*), dua angka menyatakan menit (**mm**), dan dua angka (**ss**) menyatakan detik. Misalnya MDC\_2014032000400.EDP adalah file yang memuat data profil densitas elektron hasil pengamatan di stasiun Manado-Tomohon (MDC) pada 1 Februari 2014 (2014032) pukul 08:04 WITA (000400). Nama file TXT dinyatakan dalam karakter inisial stasiun (**loc**), empat angka menyatakan tahun (**yyyy**), tiga angka menyatakan hari (**ddd**), dan parameter tertentu (misalnya *foE*) dari lapisan ionosfer. Contohnya file MDC\_2014015-foE.txt adalah file yang memuat parameter *foE* hasil pengamatan 15 Januari (015) 2014.

Analisis dilakukan berdasarkan jenis informasi yang terdapat dalam masing-masing file dan beberapa topik riset yang dapat dilakukan menggunakan data tersebut. Dengan hasil analisis tersebut, maka pemanfaatan ionosonda CADI untuk riset ionosfer akan dapat dioptimalkan.

### 3 PEMBAHASAN

*Software* ESIR-CADI mempunyai kemampuan melakukan *scaling* secara otomatis menggunakan metode ARTIST dan menghitung parameter turunan menggunakan model *International Reference Ionosphere* (IRI). Semua parameter lapisan ionosfer yang dihasilkan dari penerapan metode dan model terhadap setiap ionogram, disimpan dalam file SAO (**loc\_yyyyddhhmss.SAO**). File *Standard Archiving Output* (SAO) merupakan file dengan format standar untuk pertukaran data ionosfer secara internasional.

Selain itu, *software* ini juga membuat rekapitulasi beberapa parameter secara terpisah. Misalnya, frekuensi

kritis lapisan F2 (*foF2*) yang dihasilkan dari pengamatan selama satu hari (10 Januari 2014) disimpan dalam file MDC\_2014015-foF2.txt. Demikian pula parameter frekuensi kritis lapisan E (*foE*), frekuensi kritis lapisan F1 (*foF1*), frekuensi maksimum lapisan E (*fxE*), frekuensi maksimum F1 (*fxF1*), dan frekuensi maksimum lapisan F2 (*fxF2*).

#### 3.1 Profil Ketinggian Sebenarnya

Profil ketinggian sebenarnya (*true height*) adalah grafik dengan sumbu tegak menyatakan ketinggian dan sumbu mendatar merupakan kerapatan elektron. ESIR-CADI menghitung profil ketinggian sebenarnya dari setiap ionogram yang dihasilkan dari satu kali pengamatan (*sounding*). Data tersebut tersimpan dalam file dengan format SAO. Gambar 3-1 adalah contoh profil ketinggian sebenarnya hasil perhitungan ESIR-CADI berdasarkan data hasil pengamatan pada 1 Januari 2014 pukul 06:04 UT atau pukul 14:04 WITA.

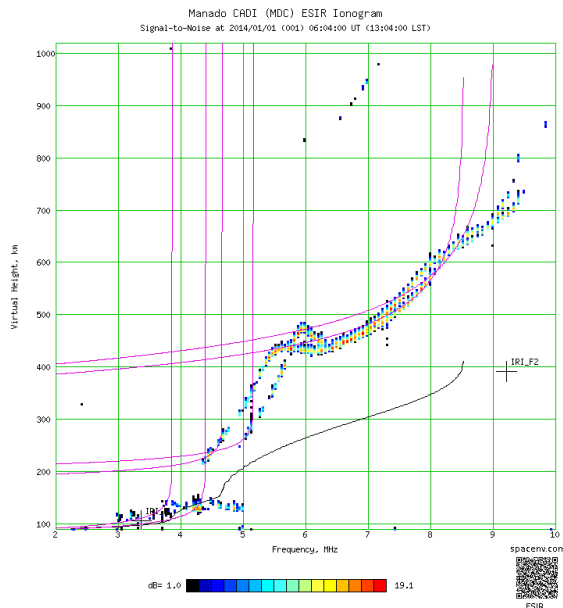
Gambar 3-1(a) adalah ionogram yang dihasilkan dari ESIR-CADI yang prosesnya mencakup *scaling* otomatis menggunakan metode ARTIST dan perhitungan kerapatan elektron dan ketinggian sebenarnya dengan menggunakan model IRI dan POLAN. Gambar ini tersimpan dalam file **loc\_yyyyddhhmss\_ESR.png**. Sumbu tegak dari grafik ini merupakan ketinggian semu (*virtual heigh*) dalam satuan kilometer dan sumbu mendatarnya menyatakan frekuensi dalam satuan Mega Hertz (MHz). Jejak (*trace*) ionogram baku (*raw*) masih terlihat pada gambar ini yaitu kumpulan titik-titik berwarna yang membentuk suatu kurva. Kemudian beberapa kurva garis merah adalah jejak perhitungan dari *scaling* otomatis dan kurva garis hitam di bawah jejak ionogram yang merupakan profil ketinggian sebenarnya terhadap frekuensi.

Gambar 3-1(b) menunjukkan profil ketinggian sebenarnya berdasarkan kerapatan elektron (N) lapisan ionosfer. Data tersimpan dalam file **loc\_yyyyddhhmss**

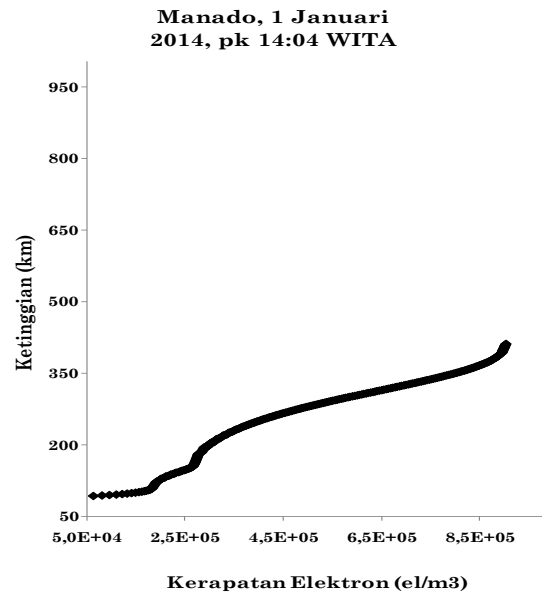
**hhmss.EDP.** Dari kurva ini dapat diturunkan kerapatan elektron maksimum ( $NmF2$ ) vertikal atau ketinggiannya ( $hmF2$ ) yang dapat digunakan untuk riset selanjutnya (misalnya, Hu *et al.*, 2014).

Ionogram ESIR pada Gambar 3-1(a) sesuai dengan ionogram baku hasil pengamatan menggunakan ionosonda CADI (Gambar 3-2). Hal ini menunjukkan

bahwa ionogram ESIR akan sama dengan ionogram baku (data mentah) yang digunakan dalam proses *scaling* secara manual. Dengan demikian terbuka peluang untuk membandingkan hasil *scaling* otomatis menggunakan ESIR-CADI ini dengan hasil *scaling* manual yang dilakukan secara rutin oleh tim khusus.

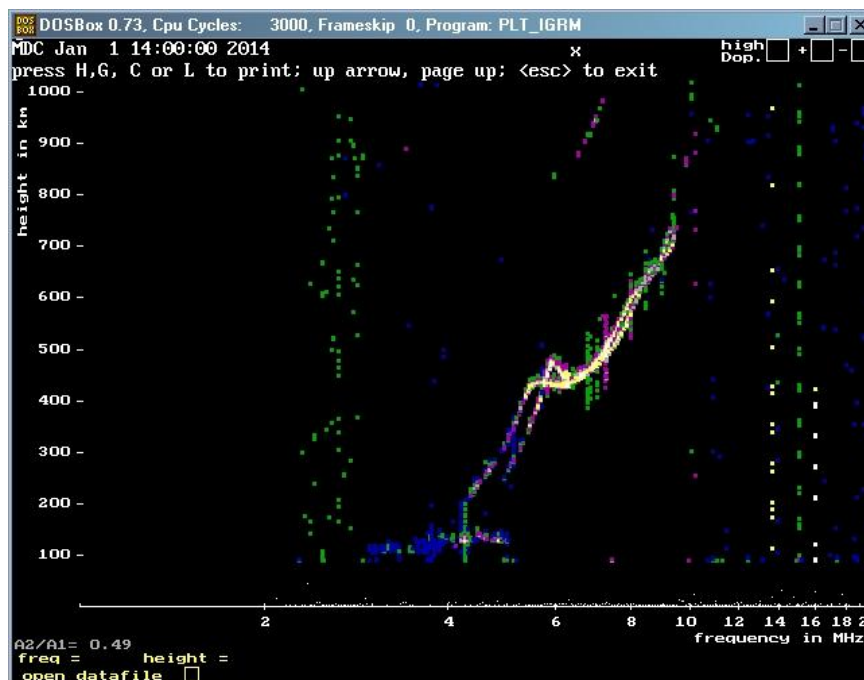


(a)



(b)

Gambar 3-1: Ionogram yang dihasilkan oleh ESIR-CADI (a) dan profil ketinggian sebenarnya hasil rekonstruksi (b)



Gambar 3-2: Ionogram baku (data mentah) hasil pengamatan menggunakan ionosonda CADI (file MD4)

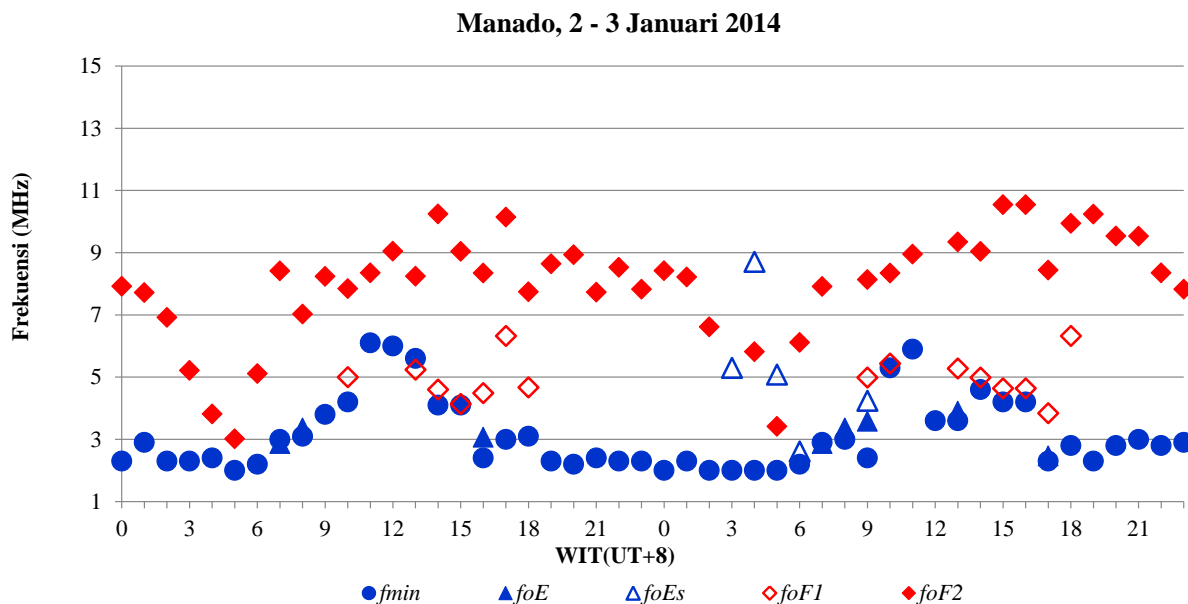
### 3.2 Parameter Lapisan Ionosfer

Parameter ionosfer yang banyak digunakan dalam riset adalah  $fmin$ ,  $foE$ ,  $foEs$ ,  $foF1$ , dan  $foF2$ . Lima parameter ini juga tersimpan dalam file SAO dengan format teks (ASCII) sehingga mudah untuk diproses selanjutnya menggunakan *software* yang tersedia. Contoh grafik dari parameter ionosfer yang dihasilkan dari perhitungan ESIR-CADI tampak pada Gambar 3-3.

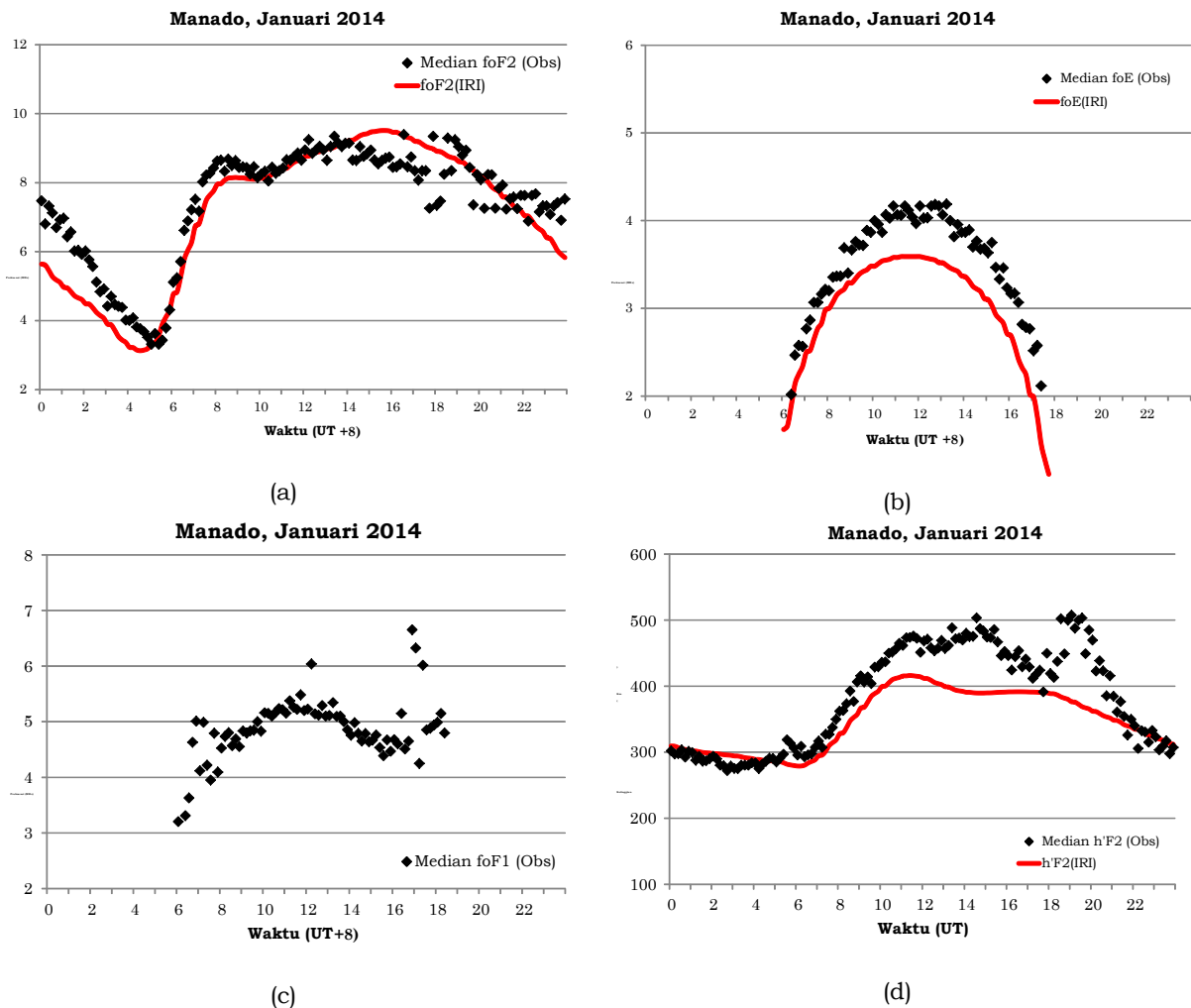
Selama rentang waktu 2–3 Januari 2014, variasi harian lima parameter ionosfer di atas Manado menunjukkan pola yang lazim. Frekuensi minimum ( $fmin$ ) pada siang hari lebih tinggi dibandingkan nilainya pada malam hari. Nilai  $fmin$  sekitar 2 MHz terjadi pada malam hari, kemudian mencapai nilai tertinggi sekitar 5 MHz pada tengah hari (02:00 - 04:00 UT). Frekuensi kritis lapisan E ( $foE$ ) mencapai nilai tertinggi pada siang hari, sedangkan pada malam hari tidak ada lapisan E sehingga tidak

diperoleh nilai  $foE$ . Selanjutnya, frekuensi kritis lapisan E-Sporadis ( $Es$ ) mencapai nilai tertinggi sekitar 9 MHz pada pukul 20:00 UT (04:00 WITA) 2 Januari 2015. Pada siang hari juga diperoleh nilai  $foF2$ . Hal ini menunjukkan bahwa lapisan  $Es$  muncul pada siang maupun malam hari.

Dengan menggunakan file-file ASCII pada Tabel 3-1 dapat dihitung nilai median  $foE$ ,  $foF1$ ,  $foF2$  seperti Gambar 3-4. Tiga parameter tersebut perlu divalidasi dengan cara membandingkannya dengan hasil *scaling* manual. Jika tingkat ketelitiannya sudah diketahui, maka median dari setiap parameter tersebut dapat digunakan untuk melihat gambaran awal tentang kondisi ionosfer di atas Manado selama sebulan, sebelum *scaling* manual selesai. Grafik-grafik tersebut juga bisa digunakan untuk memverifikasi model *International Reference Ionosphere* (IRI).



Gambar 3-3: Grafik 5 parameter ionosfer di atas Manado selama 2 – 3 Januari 2014 hasil perhitungan ESIR-CADI



Gambar 3-4: Grafik median  $foE$ ,  $foF1$ ,  $foF2$ , dan  $h'F2$  di atas Manado selama Januari 2014 hasil perhitungan ESIR-CADI

### 3.3 Statistik Pengamatan

File `loc_yyyydd-status.txt` memuat informasi frekuensi kritis ( $foEs$ ) dan ketinggian semunya ( $h'Es$ ) yang diamati dalam sehari. Di dalam file ini juga disimpan informasi tentang indeks *Equatorial Spread F* (ESF) yang terjadi. Jika terjadi ESF yang termasuk kedalam kategori kuat, maka indeksnya  $> 0,5$ . Selain itu terkandung pula tanda-tanda (*flags*) untuk kemunculan E Sporadis, frekuensi kejadian ( $n$ ) pemantulan oleh lapisan E, kemunculan lapisan E, kemunculan lapisan F1, kemunculan lapisan F2, kejadian ESF, tidak ada jejak (*trace*) dalam ionogram, dan jejak dalam kondisi buruk. Untuk masing-masing kondisi diberikan tanda 1 jika terjadi dan 0 jika tidak terjadi. Misalnya, *flags* untuk jejak ionogram akan bernilai 1 jika dalam rekaman ionogram (Gambar 3-2)

tidak ada jejaknya dan akan bernilai 0 jika jejaknya normal.

Informasi yang terkandung dalam file `loc_yyyydd-status.txt` tersebut kemudian dapat diolah lebih lanjut untuk mendapatkan informasi penting yang dapat digunakan untuk meneliti lapisan ionosfer. Gambar 3-5 menunjukkan jumlah pengamatan yang menghasilkan lapisan E, Es, Es pada malam hari, dan *blanketing* oleh lapisan Es selama Januari 2014 yang diperoleh dari file tersebut. Data ini sangat bermanfaat untuk mengevaluasi kemunculan lapisan Es, khususnya pada malam hari, yang kemunculannya berkaitan dengan peristiwa *wind shear* dan hujan meteor (misalnya Yadav *et al.*, 2014).

Kemudian penelitian tentang penutupan (*blanketing*) lapisan F1 dan F2 oleh lapisan Es juga banyak dilakukan

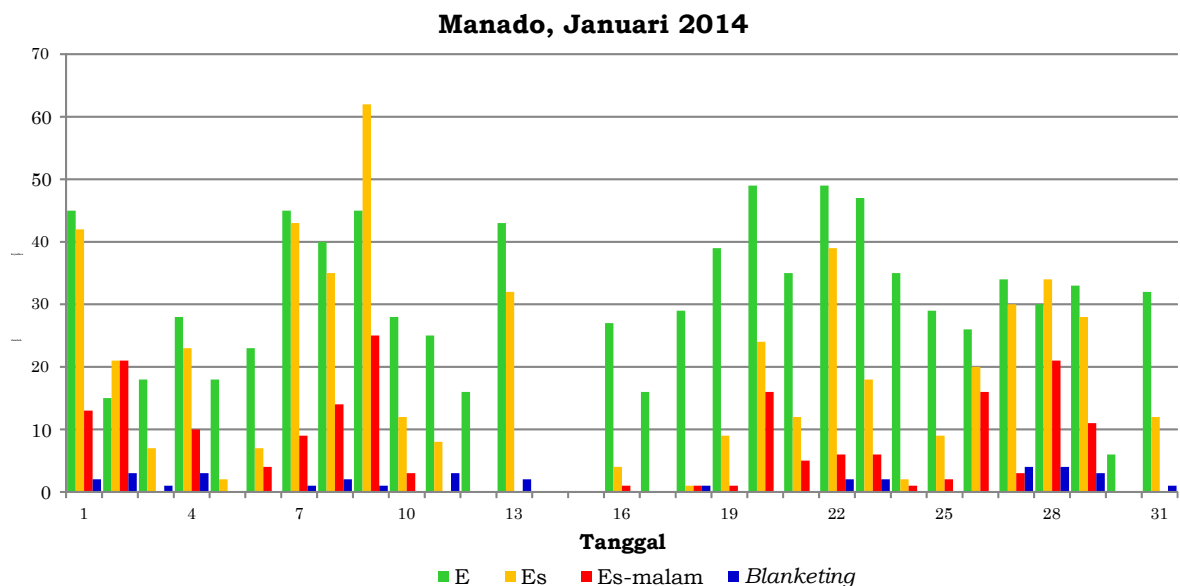
untuk memahami lapisan ionosfer (misalnya Ritchie dan Honary, 2009). Jumlah kejadian penutupan lapisan F1 dan F2 oleh lapisan Es (*blanketing*) menunjukkan sifat transparan lapisan Es. Semakin banyak *blanketing* dengan frekuensi *blanketing* (*fbEs*) lebih tinggi menunjukkan bahwa lapisan Es di lokasi pengamatan lebih kuat menghalangi (kurang transparan) gelombang radio yang akan melewatinya. Sebaliknya, jika *fbEs* lebih rendah, maka lapisan Es lebih transparan. *Software* ESIR-CADI mampu menyediakan data untuk penelitian tentang *blanketing* tersebut dengan lebih cepat.

Selanjutnya Gambar 3-6 menunjukkan jumlah pengamatan yang menghasilkan lapisan jejak lapisan F2, F1, dan ESF kuat selama Januari 2014. Dengan gambar seperti ini dapat dievaluasi tingkat operasional ionosonda CADI dan perolehan data selama sebulan. Persentase perolehan data (relatif terhadap kondisi maksimal) selama satu bulan atau bahkan satu tahun dapat digunakan untuk mengetahui kontinuitas operasional ionosonda.

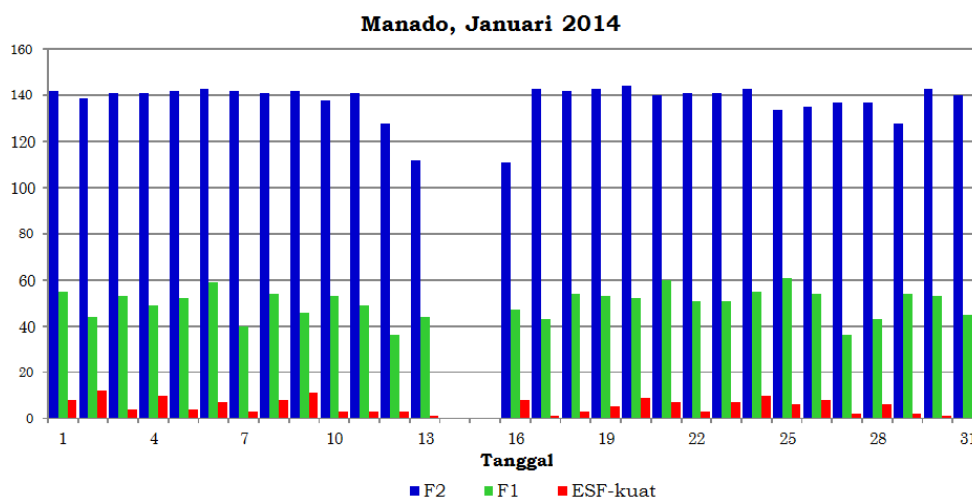
Dalam kondisi normal, ionosonda CADI di Stasiun Manado melakukan

pengamatan enam kali dalam satu jam, sehingga diperoleh 144 ionogram sehari atau 4176-4464 ionogram sebulan atau 51840-52560 ionogram dalam setahun. Evaluasi pengamatan selama Januari 2014 menunjukkan bahwa pengamatan yang dilakukan sebanyak 4098 sounding (92%) dan diperoleh perolehan (akuisisi) ionogram yang valid sebanyak 3994 ionogram (89%). Tingkat operasional yang tidak mencapai 100% ini karena pada 14 dan 15 Januari 2014 ionosonda tidak beroperasi karena pasokan listrik terhenti. Kemudian terdapat kegagalan pengamatan sebesar 3% (92%-89%).

Kemunculan ESF dengan kategori kuat (*Strong ESF*) merupakan informasi penting karena berkaitan dengan peristiwa sintilasi yang disebabkan oleh *plasma bubble* (Shiokawa et al., 2015). Peristiwa sintilasi dapat mengganggu komunikasi satelit dan sistem navigasi. Statistik kemunculan ESF kuat juga dapat diperoleh Gambar 3-6, sehingga informasi yang terkandung dalam file `loc_yyyddd-status.txt` dapat digunakan untuk penelitian dinamika ionosfer berdasarkan sintilasi dan *plasma bubble*.



Gambar 3-5: Diagram batang jumlah pengamatan yang menghasilkan lapisan *E*, *Es*, *Es* pada malam hari, dan *blanketing* oleh lapisan *Es* selama Januari 2014 hasil perhitungan ESIR-CADI



Gambar 3-6: Diagram batang jumlah pengamatan yang menghasilkan lapisan F2, F1, dan *Equatorial Spread F* (ESF) kuat selama Januari 2014 hasil perhitungan ESIR-CADI

Tabel 3-1: PEMANFAATAN DATA HASIL ESIR-CADI DAN *SCALING* MANUAL

| <b>Scaling Manual</b>                             | <b>ESIR-CADI</b>   |
|---|--|
| i) Data untuk riset ionosfer                      | i) Data untuk laporan cepat ( <i>prompt report</i> ) kondisi ionosfer.               |
| ii) Data untuk membuat dan menguji model ionosfer | ii) Data untuk evaluasi kondisi ionosfer bagi tim prediksi cuaca antariksa (SWIFtS). |
| iii) Data untuk penentuan indeks                  | iii) Data untuk mengevaluasi operasional ionosonda dan akuisisi data secara cepat.   |
| iv) Bahan untuk Buletin Data Ionosfer.            | iv) Bahan untuk pertukaran data ionosfer global (format SAO).                        |

Tabel 3-1 menunjukkan data dan informasi yang dapat diperoleh dari ESIR-CADI yang dapat melengkapi data hasil *scaling* manual. Data hasil *scaling* manual digunakan untuk riset ionosfer, sedangkan data hasil otomatis yang diperoleh dari *software* ESIR-CADI dapat digunakan untuk bahan pelaporan cepat (*prompt report*) kondisi ionosfer. Data hasil *scaling* digunakan untuk membangun model, menguji model, menentukan indeks ionosfer, dan bahan untuk buletin data ionosfer. Sementara itu, data hasil proses ESIR-CADI dapat digunakan untuk evaluasi kondisi ionosfer, mengevaluasi operasional dan akuisisi data secara cepat, dan sebagai bahan pertukaran data.

#### 4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan adalah bahwa *software*

ESIR-CADI mampu menyediakan informasi secara cepat tentang profil kerapatan elektron dan ketinggian sebenarnya, parameter ionosfer, dan statistik pengamatan. Dengan profil kerapatan elektron dapat diturunkan ketinggian kerapatan maksimum yang sangat penting untuk penelitian dinamika ionosfer dan interaksinya dengan magnetosfer. Parameter baku lapisan ionosfer dapat digunakan sebagai bahan evaluasi cepat untuk layanan informasi ionosfer dalam SWIFtS. Selain untuk mengevaluasi kinerja ionosonda, statistik pengamatan dapat pula digunakan untuk penelitian kejadian iregular lapisan ionosfer seperti kejadian ESF, kemunculan lapisan E Sporadis, dan *blanketing*. Data dalam format SAO dapat digunakan untuk pertukaran data internasional.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh anggota tim kerjasama pengamatan cuaca antariksa LAPAN-UNSRAT yang telah mengoperasikan ionosonde CADI secara rutin. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada tim pengolahan dan interpretasi data ionosfer yang telah membantu menyediakan data ESIR-CADI yang digunakan dalam penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Jiyo, 2014. *Peluang Pemanfaatan Data Ionosfer Hasil Pengamatan di Stasiun Manado-Tomohon*, Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya 2013, ISSN: 2355-388X, 14-23.
- Hu, L., B. Ning, L.Liu, B.Zhao, G.Li, B.Wu, Z.Huang, X.Hao, S.Chang, and Z. Wu, 2014. *Validation of COSMIC Ionospheric Peak Parameters by the Measurements of An Ionosonde Chain in China*, Ann. Geophys., 32,1311–1319, doi:10.5194/angeo-32-1311-2014.
- McNamara, L. F.; B. W. Reinisch, and J. S. Tang, 1987. *Values of hmF2 Deduced from Automatically Scaled Ionograms*, COSPAR, URSI, and IAGA, Plenary Meeting, 26th, Workshop on International Reference Ionosphere Status 1986/87, 11th, Toulouse, France, June 30-July 11, 1986 Advances in Space Research (ISSN 0273-1177), Vol. 7, No. 6, 53-56.
- Pillat, V. G., Guimaraes, F., Nogueira, L., Fagundes, P. R, and Simoes da Silva, J. D., 2013. *A Computational Tool for Ionosonde CADI's Ionogram Analysis*, Journal Computers & Geosciences, Volume 52, 372-378.
- Ritchie, S.E., and F. Honary, 2009. *Observations On the Variability and Screening Effect of Sporadic-E*, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics 71 (2009), halaman 1353–1364.
- Scientific Instrumentation Ltd., 2010. *ESIR-CADI Analysis*, <http://www.silsmw.ca/index.php/products/scientific/10-canadian-advanced-digital-ionosonde-cadi>, (diunduh tanggal 26 Juni 2015).
- Scotto, C., and J. MacDougall, 2012. *Application of Autoscala Software to the Canadian Advanced Digital Ionosonde*, International Journal of Remote Sensing, 33(17):5574-5582. DOI: 10.1080/01431161.2012.661097.
- Scotto, C., M. Pezzopane, and B. Zolesi, 2012. *Estimating The Vertical Electron Density Profile from an Ionogram: On The Passage from True to Virtual Heights via The Target Function Method*, Radio Science, Vol. 47, Issue 1.
- Shiokawa, K., Y. Otsuka, K. J. W. Lynn, P. Wilkinson, and T. Tsugawa, 2015. *Airglow-imaging Observation of Plasma Bubble Disappearance at Geomagnetically Conjugate Points*, Earth Planets and Space (2015) 67:43, DOI 10.1186/s40623-015-0202-6.
- Space Environment Corporation, 2014. *The Expert System for Ionogram Reduction (ESIR) CADI Analysis*, <http://www.spacenv.com/esir/> (diunduh 17 Juni 2015).
- Suhartini, S., dan D. Nurmali, 2014. *Hasil Awal Pengamatan Ionosfer di Manado Menggunakan CADI*, Prosiding Workshop Riset Cuaca Antariksa dan Peluang Pemanfaatannya 2013, ISSN: 2355-388X, 24-31.
- Titheridge, J. E., 1985. *Ionogram Analysis With The Generalised Program POLAN*, UAG-Report 93, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics.
- Yadav, V., B. Kakad, C. K. Nayak, G. Surve, and K. Emperumel, 2014. Occurrence of blanketing Es Layer (Esb) Over The Equatorial Region During The Peculiar Minimum of Solar Cycle 24, Ann. Geophys., 32, 553–562.
- Yun, J. Y., Y. H. Kim, E. J. Kim, Y. S. Kwak, and S. Hong, 2013. *Unusual Enhancements of NmF2 in Anyang Ionosonde Data*, J. Astron. Space Sci. 30(4), page 223-230 (<http://dx.doi.org/10.5140/JASS.2013.30.4.223>).

