

# LAPISAN E SPORADIS IONOSFER GLOBAL DARI TEKNIK GPS-RO

Sri Ekawati, Dyah. R. Martiningrum, N. Ristanti dan D. Marlia  
Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusfatsainsa, LAPAN  
e-mail: ekawa\_srie@bdg.lapan.go.id, cie\_demes@yahoo.com

## RINGKASAN

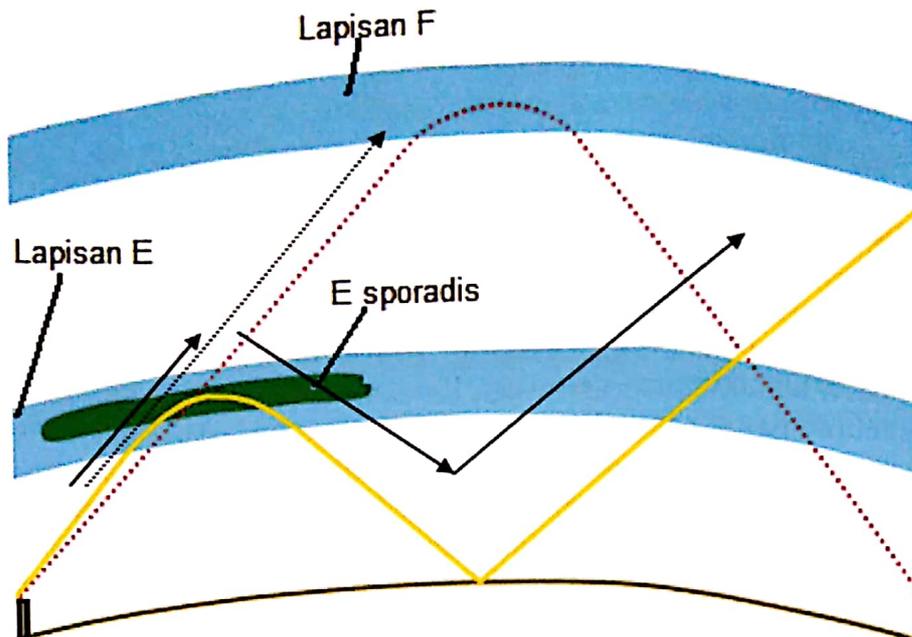
Lapisan E sporadis ( $E_s$ ) penting diteliti karena kemunculannya cukup berpengaruh pada komunikasi radio. Oleh karena itu berbagai teknik dilakukan untuk mengamati kemunculan lapisan  $E_s$ , dari penggunaan radar *High Frequency* (HF) seperti ionosonda sampai teknologi terbaru seperti teknik *Global Positioning System Radio Occultation* (GPS-RO). Kekurangan pengukuran dengan ionosonda adalah hanya satu titik pengamatan. Sedangkan kelebihan yang diperoleh dari teknik GPS-RO adalah pengamatannya yang bersifat global. Pada makalah ini dibahas lapisan  $E_s$  secara global yang diperoleh dari teknik GPS-RO dari satelit *Low Earth Orbit* (LEO) GPS/*Meteorology* (GPS/MET) dan satelit LEO CHAMP. Penelitian yang dilakukan Hocke et. al (2001) menunjukkan peta kemunculan  $E_s$  terhadap ketinggian yang diperoleh dari GPS/MET. Pada bulan Juni-Juli 1995, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di daerah  $20^\circ\text{LU}$ - $20^\circ\text{LS}$  dan sangat kuat di daerah  $30^\circ$ - $60^\circ\text{LU}$ . Pada bulan Oktober 1995, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di daerah  $30^\circ\text{LU}$ - $30^\circ\text{LS}$ . Sedangkan pada bulan Februari 1997, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di  $0^\circ$ - $10^\circ\text{LS}$  dan sangat kuat di daerah  $40^\circ$ - $90^\circ\text{LS}$ . Penelitian yang dilakukan Wu et. al (2005) menunjukkan peta kemunculan  $E_s$  pada ketinggian 105 kilometer yang diperoleh dari GPS/CHAMP. Pada bulan Juni – Agustus 2002, kemunculan  $E_s$  sangat kuat di daerah belahan bumi utara tepatnya di lintang geomagnet  $30^\circ$  –  $70^\circ\text{LU}$ . Sementara pada bulan Desember 2002 – Februari 2003, kemunculan  $E_s$  sangat kuat di daerah belahan bumi selatan tepatnya di lintang geomagnet  $20^\circ$  –  $60^\circ\text{LS}$ . Pada periode ini sebagian wilayah selatan Indonesia, yaitu di atas pulau Jawa dan NTT terlihat kemunculan  $E_s$  yang cukup kuat.

## 1 PENDAHULUAN

Perambatan gelombang radio dapat merambat di permukaan bumi (*ground-wave*), perambatan langsung (*line of sight*) dan perambatan antariksa (*skywave*). Cara perambatan dengan jarak jangkauan yang paling jauh adalah perambatan antariksa karena memanfaatkan ionosfer sebagai media pemantul. Ionosfer dapat memantulkan gelombang radio HF di frekuensi 3 – 30 MHz. Selain sebagai pemantul gelombang radio, ionosfer juga berperan dalam menentukan kualitas komunikasi dari pemancar ke penerima.

Salah satu ketidakteraturan di ionosfer yang dapat berpengaruh pada kualitas komunikasi radio adalah

munculnya lapisan  $E_s$ . Kemunculan lapisan  $E_s$  ini dapat berpengaruh pada propagasi gelombang HF akibat meningkatnya kerapatan elektron di lapisan E. Contoh ilustrasi pengaruh kemunculan  $E_s$  pada komunikasi radio ditunjukkan oleh Gambar 1-1. Gelombang dari pemancar ke penerima seharusnya dipantulkan oleh lapisan F ionosfer, namun karena kerapatan elektron di lapisan E sangat besar dengan munculnya lapisan  $E_s$ , maka gelombang radio dipantulkan oleh lapisan  $E_s$  sehingga jarak jangkauannya berubah dan gelombang radio tidak sampai kepada penerima.



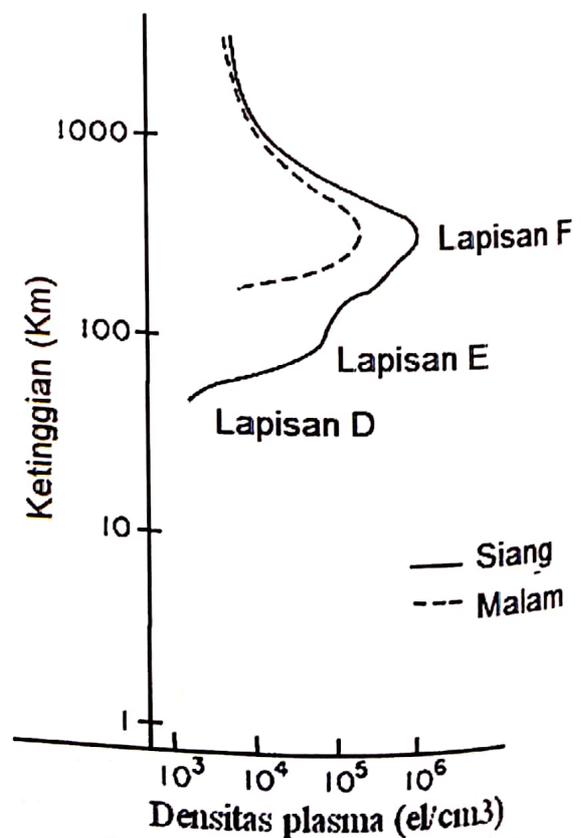
Gambar 1-1: Kemunculan E<sub>s</sub> berpengaruh pada keberhasilan komunikasi radio

Kemunculan lapisan E<sub>s</sub> dapat dengan jelas diamati oleh alat ionosonda dengan teknik vertikal *sounding*. Tapi setelah diluncurkannya satelit orbit rendah (LEO) dengan membawa muatan penerima GPS, pengamatan lapisan E<sub>s</sub> dapat juga diamati dengan teknik GPS-RO. Kelebihan dari teknologi ini adalah pengamatannya yang bersifat global. Sehingga, tujuan dari makalah ini adalah menjelaskan lapisan E sporadis dari pengamatan *ground base* ionosonda dan kemunculan lapisan E sporadis secara global dengan teknik GPS-RO dari GPS/MET dan GPS/CHAMP.

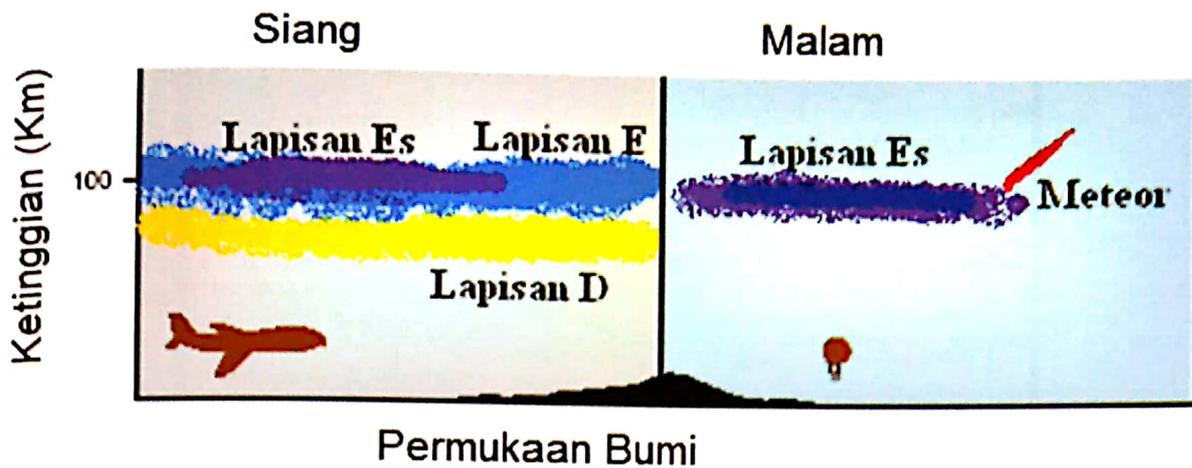
## 2 LAPISAN E<sub>s</sub> IONOSFER DARI IONOGRAM

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer yang berisi ion-ion, elektron-elektron dan partikel-partikel bermuatan lainnya. Berdasarkan kerapatan elektron terhadap ketinggian, ionosfer dibagi menjadi beberapa lapisan yaitu lapisan D, lapisan E dan lapisan F seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2-1. Lapisan E yang berada di sekitar 100 - 130 kilometer adalah lapisan ionosfer yang pertama ditemukan. Lapisan ini dinamakan

kan lapisan “E” karena mengambil huruf pertama dari kata “*Electromagnetic wave*”. Di lapisan E ini dapat muncul lapisan E<sub>s</sub> berupa meningkatnya kerapatan elektron yang muncul secara sporadis seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-2.



Gambar 2-1: Pembagian Ionosfer



Gambar 2-2: Kemunculan lapisan E sporadis

Kemunculan lapisan  $E_s$  muncul karena beberapa faktor. Salah satu teori menyebutkan bahwa mekanisme terjadinya ketidakaturan lapisan E ionosfer dengan munculnya  $E_s$  adalah peristiwa *wind shear* (Suhartini, 2007) dan meteor (Jiyo dkk., 2005). Lapisan  $E_s$  juga dapat dipengaruhi oleh gelombang gravitas yang terbentuk dari lapisan atmosfer bawah (Martiningrum, 2011).

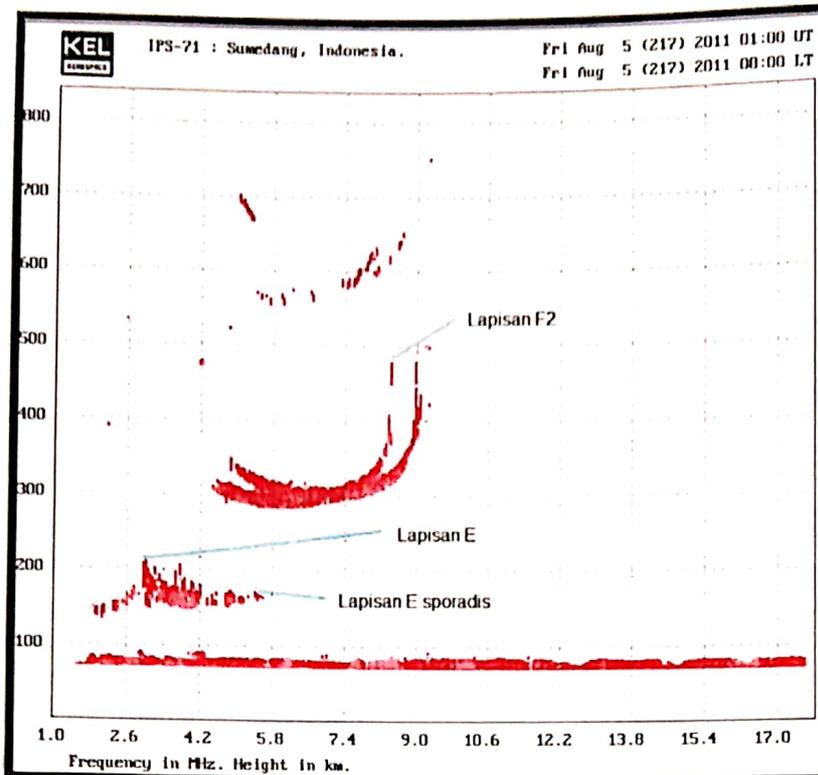
Lapisan  $E_s$  dapat diamati dengan ionosonda yang merekamnya dalam bentuk ionogram. Ionogram adalah rekaman kondisi ionosfer yang ditunjukkan oleh kurva hubungan antar frekuensi yang dipancarkan ke atas dengan ketinggian semu lapisan pemantulnya. Ionogram pada umumnya mempunyai daerah frekuensi 1 – 20 MHz dan ketinggian 0 – 1000 km. Ionosonda yang dioperasikan LAPAN diatur agar setiap 15 menit mengambil gambar ionogram dan dioperasikan secara otomatis setiap hari dan sepanjang hari.

Gambar 2-3 adalah satu contoh ionogram di Tanjungsari yang menunjukkan kemunculan lapisan  $E_s$ . Posisi ionosonda Tanjungsari berada pada koordinat geografi : 6.9 °LS; 107.84 °BT dan koordinat geomagnet : 17.17 °LS;

179.61 °BT). Data  $E_s$  yang dapat diperoleh pada ionogram tersebut adalah data  $foE_s$  dan  $h'E_s$ .  $foE_s$  adalah frekuensi maksimum yang dapat dipantulkan oleh lapisan  $E_s$ , sedangkan  $h'E_s$  adalah ketinggian semu dari lapisan  $E_s$ . Ionogram pada Gambar 2-3 menunjukkan nilai  $foE_s$  sebesar 5,7 MHz dan  $h'E_s$  sebesar 170 km pada tanggal 5 Agustus 2011.

Tabel 2-1 menunjukkan nilai  $foE_s$  dan  $h'E_s$  tanggal 19 Juni – 10 Juli 1995 di Biak tepatnya pada 1 °LS. Nilai maksimal  $foE_s$  sebesar 9.17 MHz terjadi pada tanggal 21 Juni 1995 pukul 18:45. Sedangkan nilai minimum  $foE_s$  sebesar 2.02 MHz terjadi pada tanggal 4 Juli 1995 pukul 22:00. Sementara untuk  $h'E_s$  tertinggi sebesar 158 km terjadi pada tanggal 8 Juli 1995 pukul 03:00.

Tabel 2-2 menunjukkan nilai  $foE_s$  dan  $h'E_s$  tanggal 10 – 25 Oktober 1995 di Biak. Nilai maksimal  $foE_s$  sebesar 8,73 MHz terjadi pada tanggal 19 Oktober 1995 pukul 18:45. Sedangkan nilai minimum  $foE_s$  sebesar 2.14 MHz terjadi pada tanggal 12 Oktober 1995 pukul 21:30. Sementara untuk  $h'E_s$  tertinggi sebesar 158 km terjadi pada tanggal 16 Oktober 1995 pukul 04:45.



Gambar 2-3: Ionogram di atas Tanjungsari tanggal 5 Agustus 2011 pukul 08:00 WIB yang menunjukkan lapisan E<sub>s</sub>

Tabel 2-1: foE<sub>s</sub> DAN h'E<sub>s</sub> DI BIAK

Parameter	foE <sub>s</sub> (MHz)	h'E <sub>s</sub> (Km)
<b>Maksimum</b>	9.17	158
<b>Median</b>	3.10	108
<b>Rata-rata</b>	3.44	114
<b>Minimum</b>	2.02	95

Tabel 2-2: foE<sub>s</sub> DAN h'E<sub>s</sub> DI BIAK

Parameter	foE <sub>s</sub> (MHz)	h'E <sub>s</sub> (Km)
<b>Maksimum</b>	8.73	145
<b>Median</b>	3.03	108
<b>Rata-rata</b>	3.33	116
<b>Minimum</b>	2.14	100

Tabel 2-3. foE<sub>s</sub> dan h'E<sub>s</sub> di Tanjungsari

Parameter	foE <sub>s</sub> (MHz)	h'E <sub>s</sub> (Km)
<b>Maksimum</b>	7.46	144
<b>Median</b>	3.83	102
<b>Rata-rata</b>	4.03	104
<b>Minimum</b>	1.93	82

Tabel 2-3 menunjukkan nilai foE<sub>s</sub> dan h'E<sub>s</sub> tanggal 13 - 15 Februari

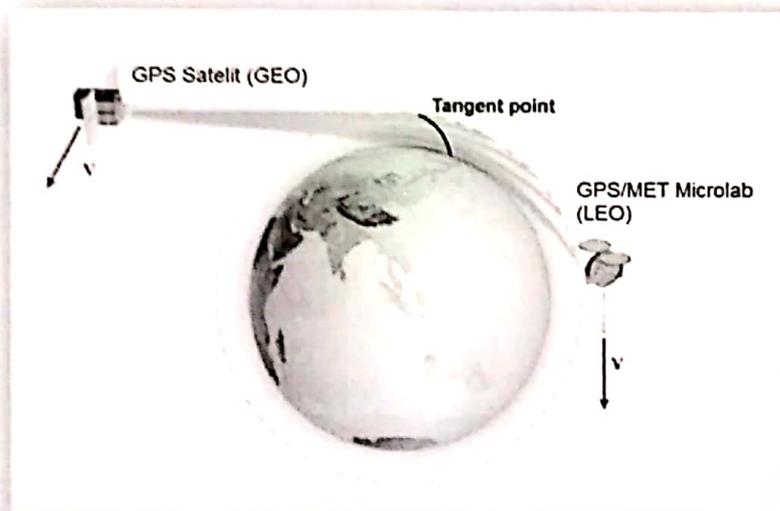
1997 di Tanjungsari tepatnya di 6 °LS. Nilai maksimal foE<sub>s</sub> sebesar 7,46 MHz terjadi pada tanggal 14 Februari 1997 pukul 12:41. Sedangkan nilai minimum foE<sub>s</sub> sebesar 1.93 MHz terjadi pada tanggal 15 Februari 1997 pukul 04:41. Sementara untuk h'E<sub>s</sub> tertinggi sebesar 144 km terjadi pada tanggal 15 Februari 1997 pukul 07:56.

### 3 TEKNIK GPS-RO

*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System* (NAVSTAR GPS) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi yang menggunakan satelit. GPS dapat digunakan setiap saat di seluruh permukaan bumi karena mempunyai konstelasi tertentu sehingga sinyal satelit dapat diterima di seluruh permukaan bumi (Abidin, 2001). Adapun parameter orbit satelit dan sinyal satelit ditunjukkan secara rinci pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1: PARAMETER ORBIT DAN SINYAL SATELIT DARI GPS (Abidin, 2001)

Parameter Nominal dari Orbit Satelit	
Bidang Orbit	6 buah, dengan spasi 60°
Jumlah satelit setiap orbit	4 buah, dengan spasi tidak sama
Inklinasi Orbit	55°
Radius Orbit	26.560 Km
Periode Orbit	½ hari bintang ≈ 11 jam 58 menit
Eksentrisitas Orbit	0 (lingkaran)
Parameter Nominal dari Sinyal Satelit	
Gelombang pembawa	L1 = 1575,42 MHz, L2 = 1227,6 MHz
Kode (Code)	Kode C/A pada L1, Kode P pada L1 dan L2
Refferensi	
Refferensi Waktu	UTC (USNO)



Gambar 3-1: Teknik GPS-RO (Liu, 2012)

Teknologi GPS-RO memanfaatkan sinyal satelit GPS yang merupakan orbit tinggi, kemudian sinyal tersebut diterima oleh satelit di orbit rendah. Dengan kata lain, GPS-RO adalah suatu teknik menempatkan penerima GPS di satelit LEO dan menerima sinyal dari satelit GPS.

Satelit LEO yang digunakan dalam teknologi GPS-RO cukup banyak diantaranya *Microlab-1/OrbView-1*, *COSMIC*, *CHAMP*. Sedangkan aplikasi dari teknologi GPS-RO ini sangat banyak diantaranya dapat memperoleh data temperatur di troposfer/mesosfer, tomografi ionosfer, gelombang gravitasi, data uap air (*water*

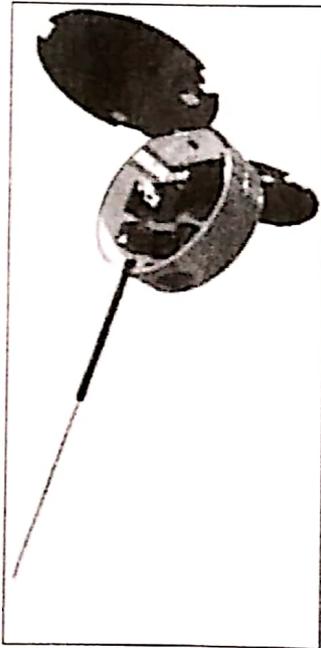
*vapour*) di troposfer. Pada makalah ini teknik GPS-RO dijelaskan untuk mendeteksi kemunculan  $E_s$ .

Satelit LEO yang dibahas pada makalah ini adalah GPS/MET dari satelit microlab-1 dan GPS/CHAMP. Satelit microlab-1 adalah satelit milik Amerika Serikat (USA) yang diluncurkan pada tanggal 3 April 1995 seperti yang ditunjukkan Gambar 3-1. Satelit ini berada di orbit ketinggian 733 km dengan massa 86 kg. Satelit ini membawa muatan (*payload*) dua sensor yaitu *Optical Transient Detector (OTD)* dan GPS/MET. Sensor OTD dapat memberikan informasi peta kejadian petir sedangkan

GPS/MET dapat memberikan informasi atmosfer baik itu troposfer maupun ionosfer (Gunter's, 2012).

Sedangkan satelit CHAMP adalah satelit milik Jerman yang diluncurkan pada tanggal 15 Juli 2000 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-2. CHAMP singkatan dari *Challenging Mini-Satellite Payload*. Satelit ini memiliki muatan: *magnetometer, accelerometer, star sensor, penerima GPS, laser retro reflector* dan *ion drift meter*.

Tipe penerima GPS cukup bervariasi diantaranya adalah *GPS receiver* untuk penerbangan, *GPS receiver* untuk kelautan, dan *GPS receiver* berbentuk kartu yang dikenal dengan *GPS Card* atau *GPS onboard*. Penerima GPS yang ditempatkan di satelit LEO adalah tipe penerima *GPS onboard*.



Gambar 3-2: Satelit microlab-1/GPS/MET (Gunter's, 2012)

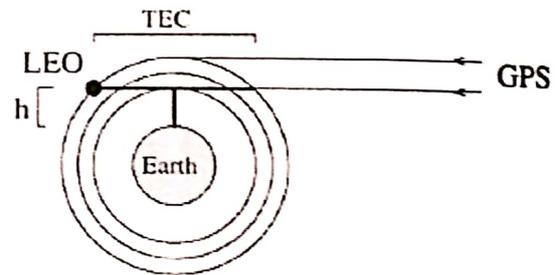


Gambar 3-2: Satelit CHAMP (Gunter's, 2012)

#### 4 PENENTUAN PARAMETER $E_s$

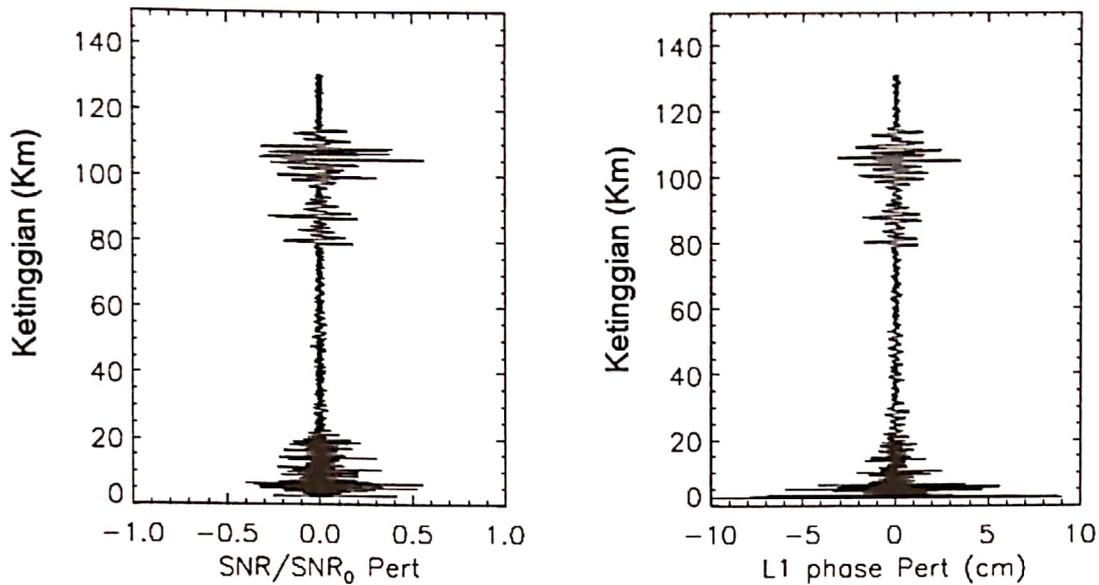
Parameter yang diidentifikasi oleh Hocke et. al (2001) sebagai ketidak-teraturan di lapisan E ionosfer adalah  $\Delta n_e$ , dengan perumusan perhitungan seperti ditunjukkan pada persamaan 4-1.  $\Delta n_e$  adalah fluktuasi kerapatan elektron atau rata-rata distribusi kemunculan  $E_s$ .  $\Delta r$  adalah rata-rata ketebalan lapisan adalah 0,6 km.  $r$  adalah jarak radial 6470 km dan *Total Electron Content* (TEC) adalah jumlah elektron sepanjang lintasan yang ditunjukkan oleh Gambar 4-1. Untuk nilai ketinggian  $h$  (tangen point) dibatasi di bawah 180 kilometer dari titik horizon.

$$\Delta n_e \sim \frac{(TEC - \overline{TEC})}{(2\sqrt{2r\Delta r})} \quad (4-1)$$



Gambar 4-1: Ilustrasi teknik GPS-RO untuk memperoleh nilai TEC (Hocke et. al.,2001)

Sedangkan parameter yang diidentifikasi oleh Wu et. al. (2005) sebagai ketidak-teraturan di lapisan E adalah  $L1 \text{ SNR}/\text{SNR}_0$  *Varian Phase*. SNR adalah *signal-to-noise ratio* yang merupakan besaran untuk mengukur kualitas komunikasi. SNR berkaitan dengan fluktuasi kerapatan elektron. Data  $\text{SNR}/\text{SNR}_0$  *perturbation* dan  $L1 \text{ phase perturbation}$  ditunjukkan pada Gambar 4-2. Pada gambar tersebut terlihat fluktuasi cukup besar terjadi pada lapisan E ionosfer yaitu sekitar 100 km.



Gambar 4-2: Data GPS-RO dari satelit CHAMP pada tanggal 11 Januari 2002 pada koordinat geografis  $50,5^{\circ}\text{LS}$ ;  $163,9^{\circ}\text{BT}$ . (Wu et. al, 2005)

## 5 PETA KEMUNCULAN Es

### 5.1 Peta $E_s$ Global Dari GPS/MET

Gambar 5-1 merupakan hasil perhitungan  $\Delta n_e$  dari data GPS/MET pada tanggal 19 Juni s.d 10 Juli 1995. Data ini merupakan rata-rata nilai  $\Delta n_e$  terhadap ketinggian  $h$  (*tangen point*) berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di daerah  $20^{\circ}\text{LU} - 20^{\circ}\text{LS}$  dan sangat kuat di daerah  $30^{\circ} - 60^{\circ}\text{LU}$ .

Gambar 5-2 merupakan hasil perhitungan  $\Delta n_e$  dari data GPS/MET pada tanggal 10 - 25 Oktober 1995. Data ini merupakan rata-rata nilai  $\Delta n_e$  terhadap ketinggian  $h$  (*tangen point*) berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di daerah  $30^{\circ}\text{LU} - 30^{\circ}\text{LS}$ .

Gambar 5-3 merupakan hasil perhitungan  $\Delta n_e$  dari data GPS/MET pada tanggal 2- 16 Februari 1997. Data ini merupakan rata-rata nilai  $\Delta n_e$  terhadap ketinggian  $h$  (*tangen point*)

berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan  $E_s$  menunjukkan kuat di  $0^{\circ} - 10^{\circ}\text{LS}$  dan sangat kuat di daerah  $40^{\circ}\text{LS} - 90^{\circ}\text{LS}$ .

Gambar 5-4 menunjukkan peta global varian SNR gelombang L1 (kiri) dan varian phase gelombang L1 (kanan) pada bulan Juni, Juli dan Agustus 2002. Data tersebut diolah pada ketinggian 105 kilometer. Ketidakteraturan  $E_s$  muncul sangat kuat pada belahan bumi utara yang mengalami musim panas, terutama di atas Cina, Amerika Barat, Atlantik Utara, Eropa Selatan tepatnya di lintang geomagnet  $30^{\circ} - 70^{\circ}\text{LU}$ .

Gambar 5-5 menunjukkan peta global varian SNR gelombang L1 (kiri) dan varian phase gelombang L1 (kanan) pada bulan Desember 2002 sampai dengan Februari 2003. Ketidakteraturan  $E_s$  muncul sangat kuat pada belahan bumi selatan tepatnya di lintang geomagnet  $20^{\circ} - 60^{\circ}\text{LS}$ . Pada periode ini sebagian wilayah selatan Indonesia, yaitu di atas pulau Jawa dan NTT terlihat kemunculan  $E_s$  yang cukup kuat.

## 6 PENUTUP

Aplikasi teknik GPS-RO sangat banyak, salah satunya dapat digunakan untuk mengamati kemunculan lapisan  $E_s$  di ketinggian sekitar 100 km dari permukaan bumi. Kemunculan  $E_s$  ini bersifat tiba-tiba sehingga fenomena ini merupakan ketidakstabilan ionosfer di lapisan E. Data lokal menggunakan ionosonda menunjukkan hal yang serupa, ketinggian  $h' E_s$  menunjukkan rata-rata di ketinggian 100 kilometer dan  $f_o E_s$  di frekuensi sekitar 3 MHz.

Pengamatan menggunakan teknik GPS-RO dapat diperoleh data  $E_s$  secara global. Data yang diperoleh dari GPS/MET menunjukkan fluktuasi kerapatan elektron atau rata-rata distribusi kemunculan  $E_s$  ( $\Delta n_e$ ) dari ketinggian 60 - 140 kilometer. Hasil menunjukkan ketinggian rata-rata  $\Delta n_e$  berada disekitar 100 kilometer ditandai dengan warna merah yang menunjukkan fluktuasi yang sangat besar di daerah tersebut. Hasil pengamatan lainnya menunjukkan pada bulan Juni/Juli kemunculan  $E_s$  paling kuat terjadi pada daerah bumi bagian utara. Sedangkan pada bulan Februari kemunculan  $E_s$  paling kuat terjadi pada daerah bumi bagian selatan, dan pada bulan Oktober kemunculan  $E_s$  paling kuat pada daerah sekitar ekuator dan lintang rendah.

Data yang diperoleh dari GPS/CHAMP menunjukkan SNR yang paling signifikan adalah pada ketinggian 105 kilometer. Hasil pengamatan menunjukkan pada bulan Juni - Agustus, kemunculan  $E_s$  sangat kuat di belahan bumi utara tepatnya di lintang geomagnet  $30^\circ - 70^\circ \text{LU}$ . Sedangkan pada bulan Desember - Februari, kemunculan  $E_s$  sangat kuat di belahan bumi selatan tepatnya di lintang geomagnet  $20^\circ - 60^\circ \text{LS}$ . Pada periode ini sebagian wilayah selatan Indonesia, yaitu di atas pulau

Jawa dan NTT terlihat kemunculan  $E_s$  yang cukup kuat.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abidin, H.Z., 2001. *Geodesi Satelit*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, ISBN: 979-408-462-X.
- Gunter's Space Page, 2012. [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/orbview-1.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/orbview-1.htm). download Januari 2012.
- Hocke, K., K. Igarashi, M. Nakamura, P. Wilkinson, J. Wu, A. Pavelyev, J. Wickert, 2001. *Global Sounding of Sporadic E layers by the GPS/MET Radio Occultation Experiment*, Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics 63 (2001).
- Jiyo, A. G. Admiranto dan Gatot W., 2005. *Peningkatan Kerapatan Elektron Lapisan Esporadis di atas Tanjungsari dan Pameungpeuk pada saat terjadi badai meteor leonid Tahun 2001*, Warta LAPAN Vol. 7, No. 1, 2.
- Liu, Hui, 2012. *Tropical cyclone Forecasting*, [http://www.image.ucar.edu/DARes/DART/Research/GPS\\_Liu/](http://www.image.ucar.edu/DARes/DART/Research/GPS_Liu/), download Januari 2012.
- Martiningrum, D.R., 2011. *Variasi Angin dari Meteor Wind Radar untuk Identifikasi Ketidakstabilan Lapisan E Ionosfer*. Prosiding Seminar Radar Nasional 2011. ISSN: 1979-2921.
- Suhartini, S., 2007. *Komunikasi Jarak Jauh Menggunakan 2 Meteran*, Berita Dirgantara Vol. 8, No. 3.
- Wu, L. Dong, Chi O. Ao, George A. Hajj, Manuel de la Torre Juarez, and Anthony J. Mannucci. *Sporadic E Morphology from GPS-CHAMP Radio Occultation*. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, A01306, doi: 10.1029/2004JA010701, 2005.