

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
ekawa_srie@bdg.lapan.go.id, cie_demes@yahoo.com

RINGKASAN

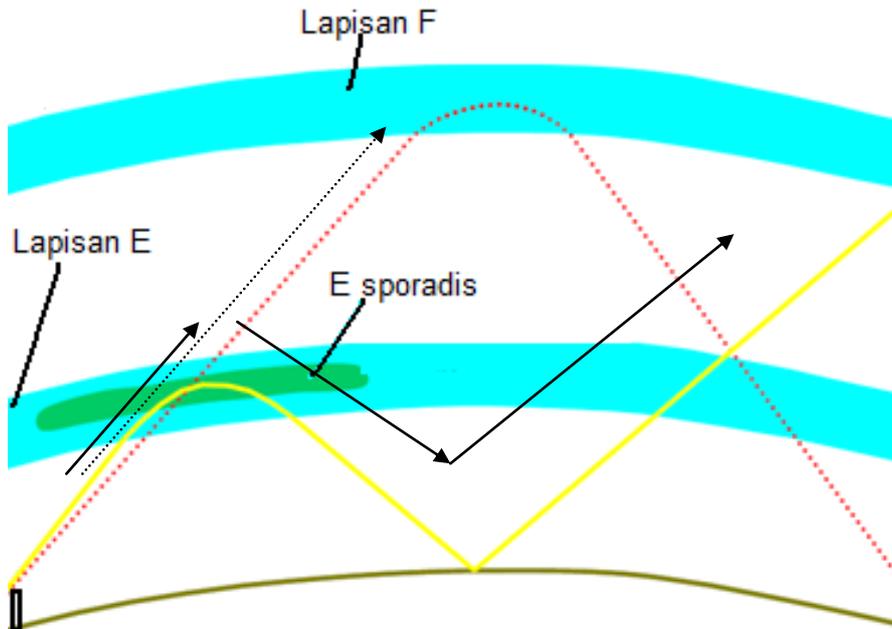
Lapisan E sporadis (E_s) penting diteliti karena kemunculannya cukup berpengaruh pada komunikasi radio. Oleh karena itu berbagai teknik dilakukan untuk mengamati kemunculan lapisan E_s , dari penggunaan radar *High Frequency* (HF) seperti ionosonda sampai teknologi terbaru seperti teknik *Global Positioning 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°LU - 20°LS dan sangat kuat di daerah 30° - 60°LU . Pada bulan Oktober 1995, peta kemunculan E_s menunjukkan kuat di daerah 30°LU - 30°LS . Dan pada bulan Februari 1997, peta kemunculan E_s menunjukkan kuat di 0° - 10°LS dan sangat kuat di daerah 40° - 90°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° – 70°LU . Sedangkan pada bulan Desember 2002 – Februari 2003, kemunculan E_s sangat kuat di daerah belahan bumi selatan tepatnya di lintang geomagnet 20° – 60°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 ketidakaturan 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.



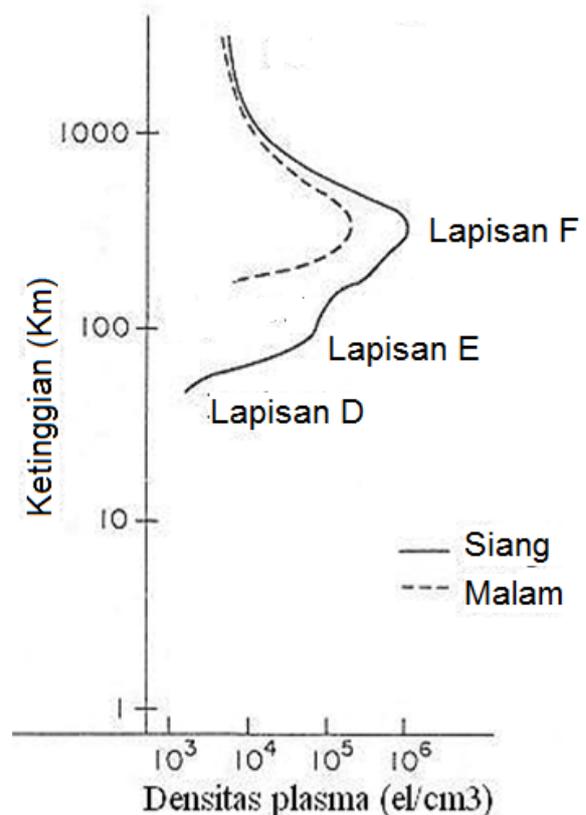
Gambar 1-1: Kemunculan E_s berpengaruh pada keberhasilan komunikasi radio

Kemunculan lapisan E_s 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_s 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.

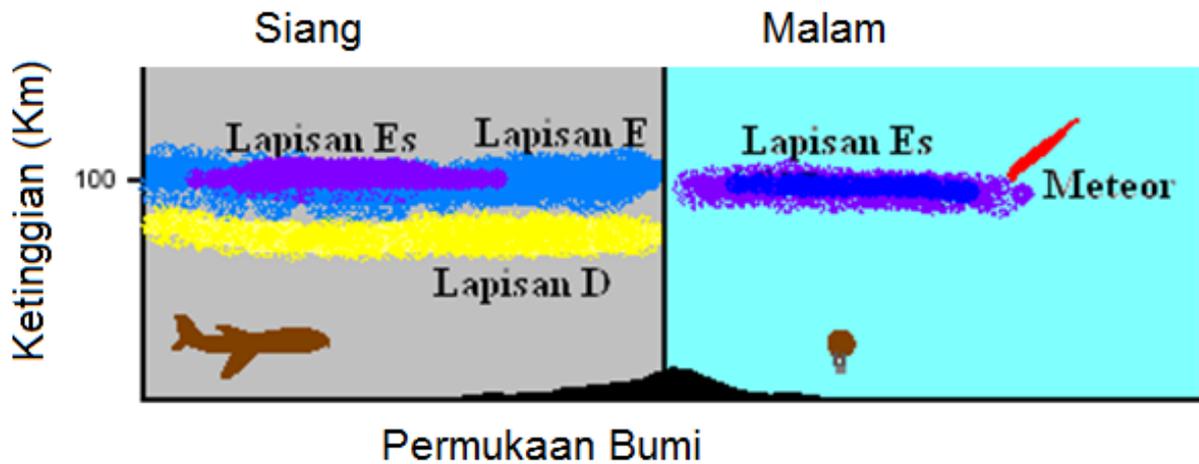
2 LAPISAN E_s IONOSFER DARI IONOGRAM

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

lapisan “E” karena mengambil huruf pertama dari kata “*Electromagnetic wave*”. Di lapisan E ini dapat muncul lapisan E_s 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).

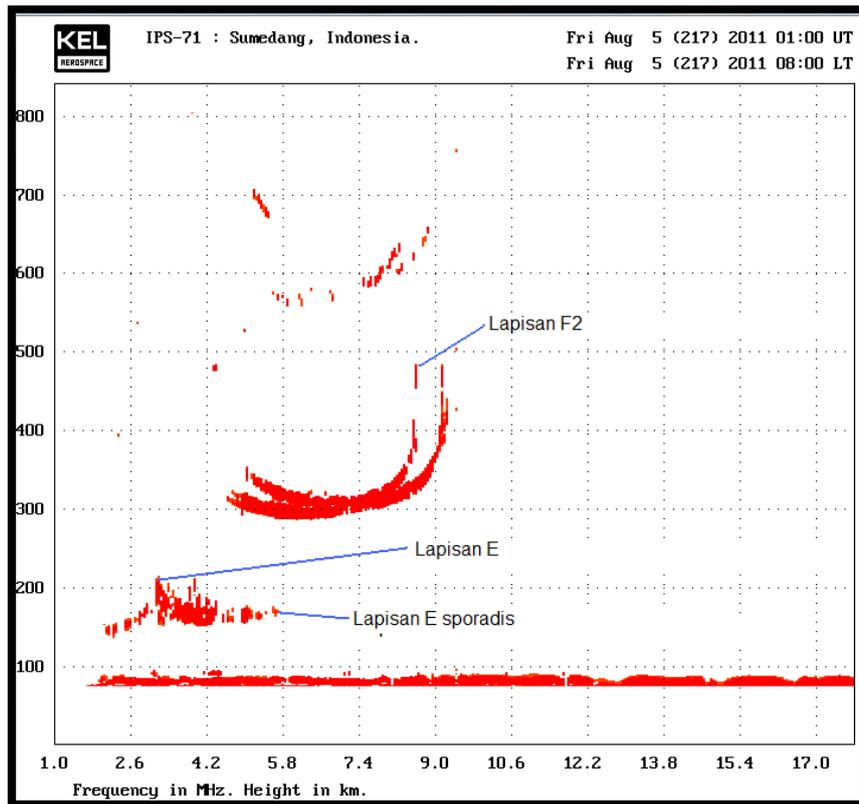
Lapisan E_s dapat diamati dengan ionosonda yang merekamnya dalam bentuk ionogram. Ionogram adalah rekaman kondisi ionosfer yang ditunjukkan oleh kurva hubungan antar frekuensi yang dipancarkan ke atas dengan ketinggian semu lapisan pemantulnya. Ionogram pada umumnya mempunyai daerah frekuensi 1 – 20 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 Tanjung Sari yang menunjukkan kemunculan lapisan E_s . Posisi ionosonda Tanjung Sari 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_s

Tabel 2-1: foE_s DAN h'E_s DI BIAK

Parameter	foE _s (MHz)	h'E _s (Km)
Maksimum	9.17	158
Median	3.10	108
Rata-rata	3.44	114
Minimum	2.02	95

Tabel 2-2: foE_s DAN h'E_s DI BIAK

Parameter	foE _s (MHz)	h'E _s (Km)
Maksimum	8.73	145
Median	3.03	108
Rata-rata	3.33	116
Minimum	2.14	100

Tabel 2-3. foE_s dan h'E_s di Tanjungsari

Parameter	foE _s (MHz)	h'E _s (Km)
Maksimum	7.46	144
Median	3.83	102
Rata-rata	4.03	104
Minimum	1.93	82

Tabel 2-3 menunjukkan nilai foE_s dan h'E_s tanggal 13 - 15 Februari

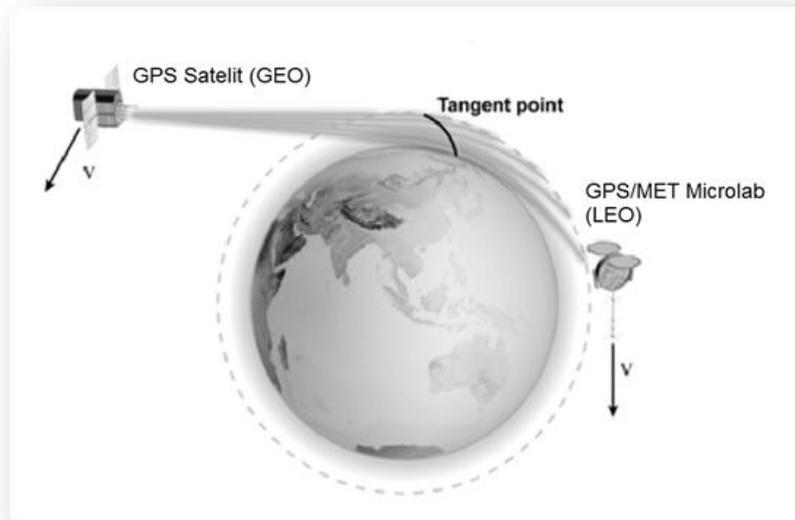
1997 di Tanjungsari tepatnya di 6 °LS. Nilai maksimal foE_s sebesar 7,46 MHz terjadi pada tanggal 14 Februari 1997 pukul 12:41. Sedangkan nilai minimum foE_s sebesar 1.93 MHz terjadi pada tanggal 15 Februari 1997 pukul 04:41. Sementara untuk h'E_s tertinggi sebesar 144 km terjadi pada tanggal 15 Februari 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 gravitas, 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

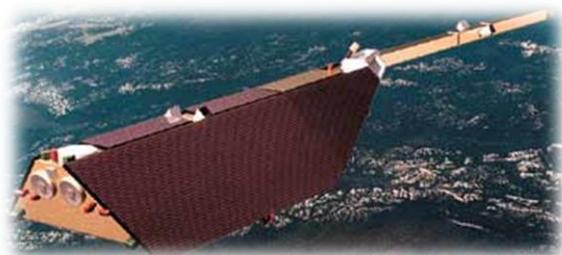
GPS/MET dapat memberikan informasi atmosfer baik itu troposfer maupun ionosfer (Gunter's, 2012).

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)

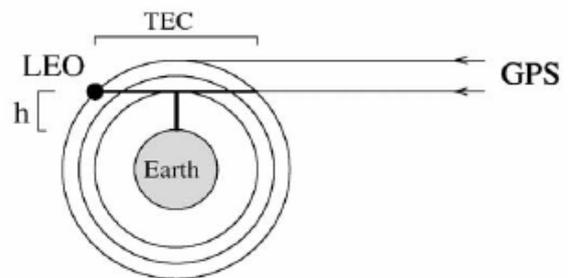


Gambar 3-2: Satelit CHAMP (Gunter's, 2012)

4 PENENTUAN PARAMETER E_s

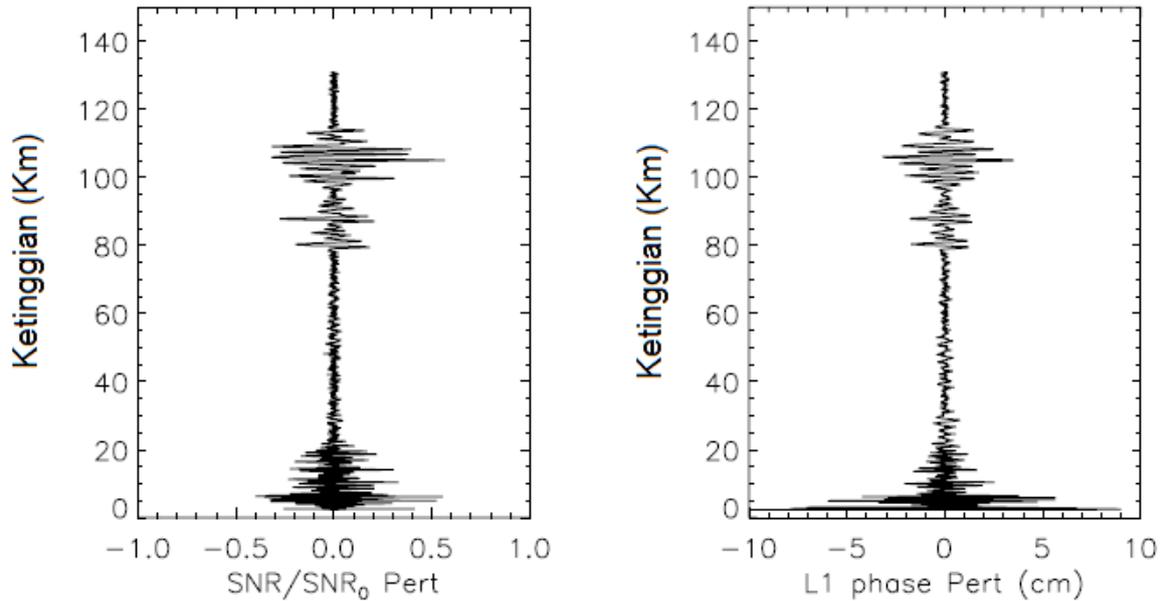
Parameter yang diidentifikasi oleh Hocke et. al (2001) sebagai ketidak-teraturan di lapisan E ionosfer adalah Δn_e , dengan perumusan perhitungan seperti ditunjukkan pada persamaan 4-1. Δn_e adalah fluktuasi kerapatan elektron atau rata-rata distribusi kemunculan E_s . Δr adalah rata-rata ketebalan lapisan 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.

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



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 SNR/SNR_0 *perturbation* dan $L1$ *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 geografi 50,5 °LS; 163,9 °BT. (Wu et. al, 2005)

5 PETA KEMUNCULAN Es

5.1 Peta Es Global Dari GPS/MET

Gambar 5-1 merupakan hasil perhitungan Δn_e dari data GPS/MET pada tanggal 19 Juni s.d 10 Juli 1995. Data ini merupakan rata-rata nilai Δn_e terhadap ketinggian h (*tangen point*) berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan Es menunjukkan kuat di daerah 20 °LU – 20 °LS dan sangat kuat di daerah 30 ° – 60 °LU.

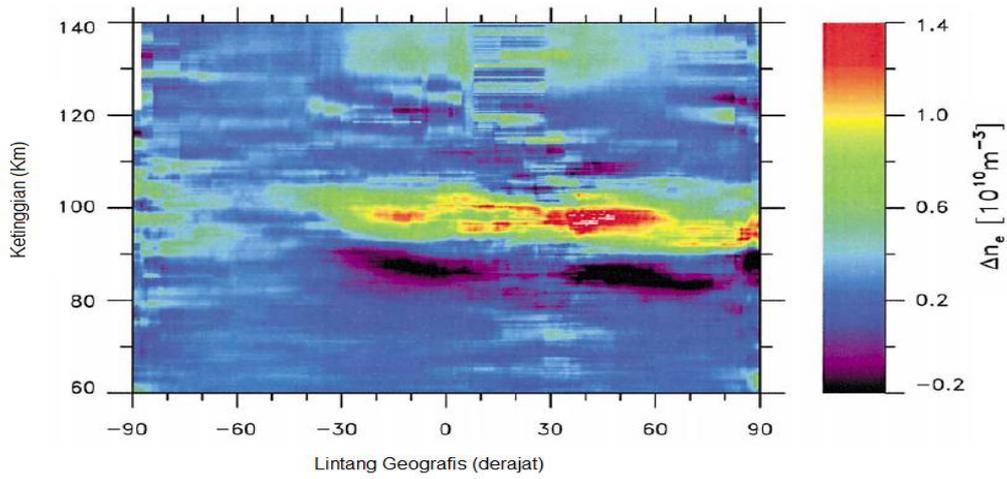
Gambar 5-2 merupakan hasil perhitungan Δn_e dari data GPS/MET pada tanggal 10 – 25 Oktober 1995. Data ini merupakan rata-rata nilai Δn_e terhadap ketinggian h (*tangen point*) berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan Es menunjukkan kuat di daerah 30 °LU – 30 °LS.

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

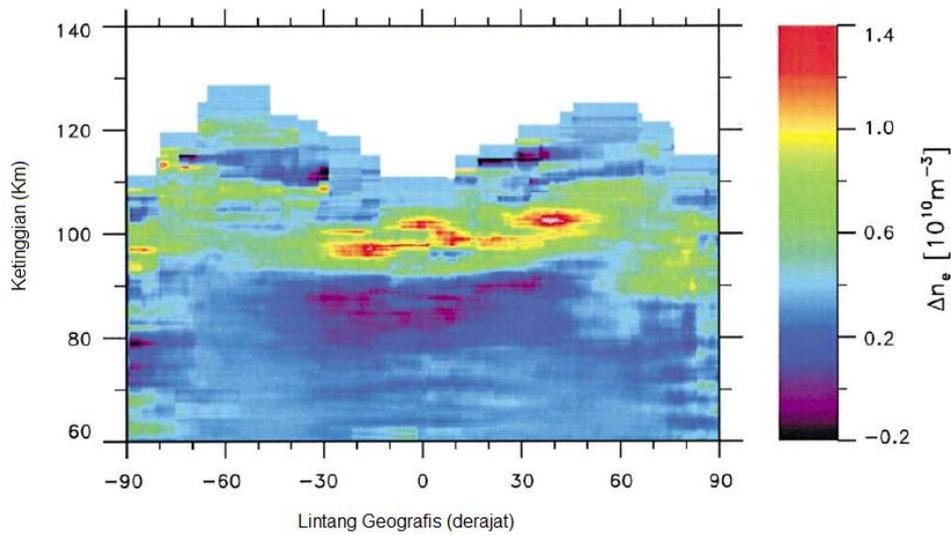
berdasarkan lintang geografis bumi. Pada periode ini, peta kemunculan Es menunjukkan kuat di 0 °– 10 °LS dan sangat kuat di daerah 40 °LS – 90 °LS.

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 Es 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 ° – 70 °LU.

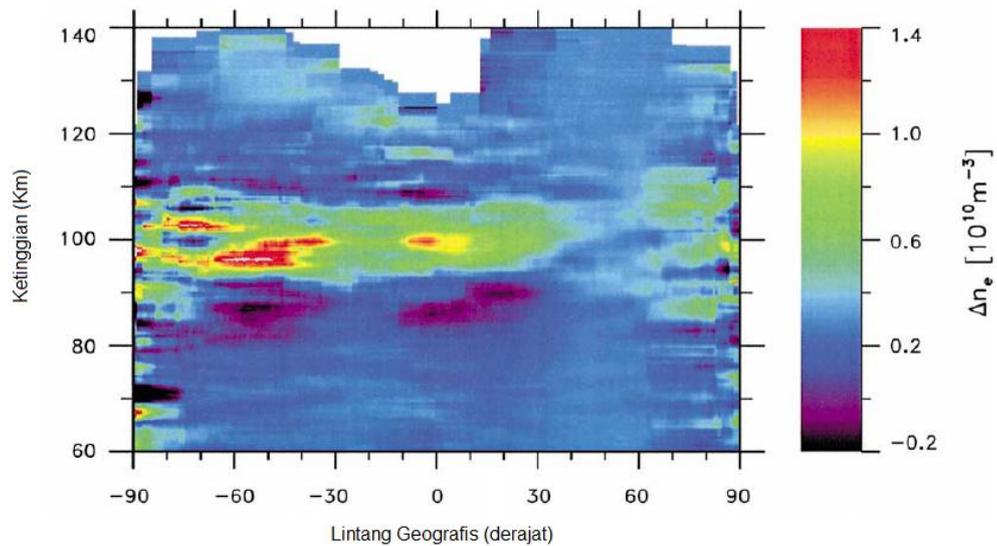
Gambar 5-5 menunjukkan peta global varian SNR gelombang L1 (kiri) dan varian phase gelombang L1 (kanan) pada bulan Desember 2002 sampai dengan Februari 2003. Ketidakteraturan Es muncul sangat kuat pada belahan bumi selatan tepatnya di lintang geomagnet 20 ° – 60 °LS. Pada periode ini sebagian wilayah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



Gambar 5-1: Data $E_s/\Delta n_e$ 19 Juni – 10 Juli 1995 (Hocke et. al.,2001)

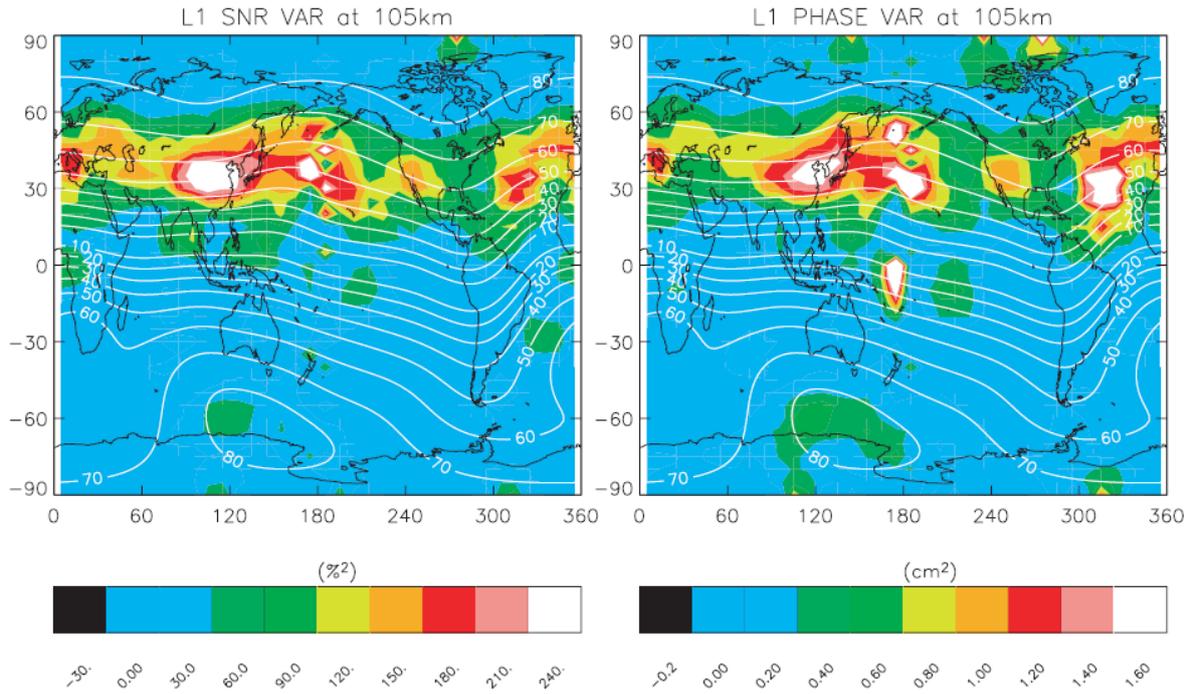


Gambar 5-2: Data $E_s/\Delta n_e$ 10 – 25 Oktober 1995 (Hocke et. al.,2001)

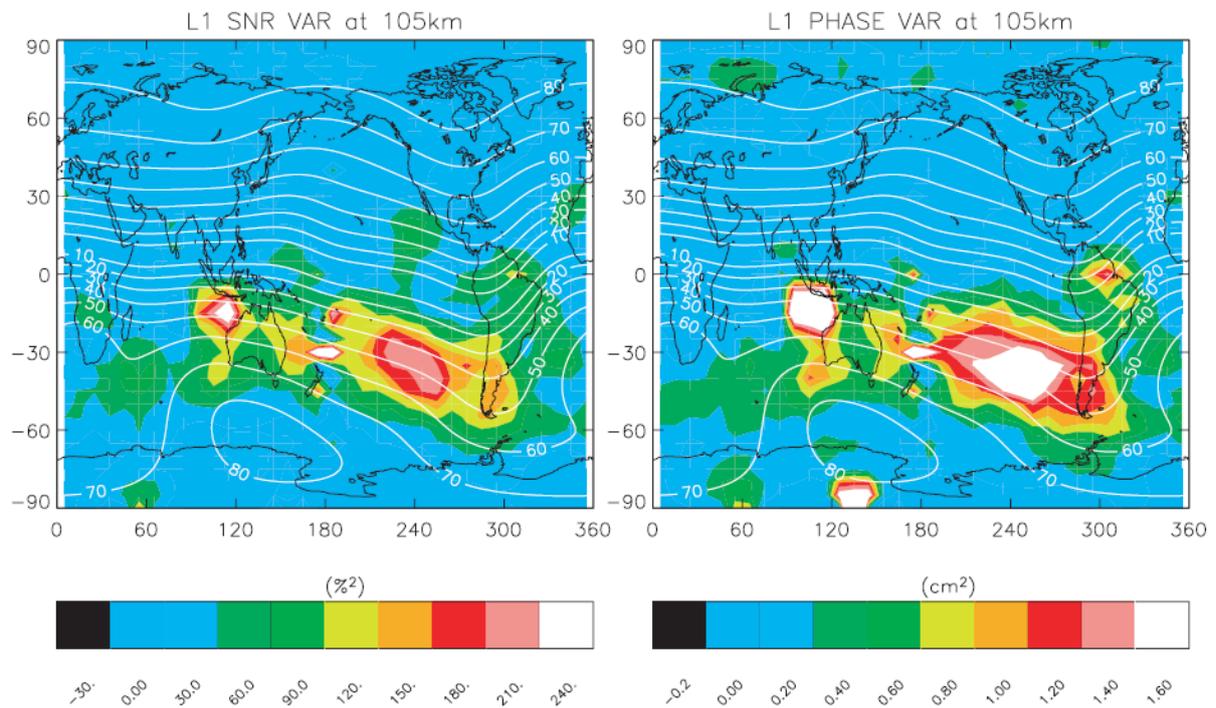


Gambar 5-3: Data E_s Februari 1997 (Hocke et. al.,2001)

5.2 Peta Es Global Dari GPS/CHAMP



Gambar 5-4: Peta L1 SNR/SNR0 dan L1 Varian Phase pada bulan Juni – Agustus 2002 (Wu et al, 2005)



Gambar 5-5: Peta L1 SNR/SNR0 dan L1 Varian Phase pada bulan Desember 2002 – Februari 2003 (Wu et. al, 2005)

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 (Δn_e) dari ketinggian 60 – 140 kilometer. Hasil menunjukkan ketinggian rata-rata Δn_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. 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/, 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.