

## Komputasi TEC Ionosfer Mendekati Real Time Dari Data GPS

**Buldan Muslim dan Septi Perwitasari**

*Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN*

*Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung*

*Email: [mbuldan@yahoo.co.id](mailto:mbuldan@yahoo.co.id)*

### Abstrak

Ionosfer adalah bagian atmosfer atas terdiri dari ion-ion dan elektron-elektron dalam jumlah yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio. Pengaruh ionosfer pada sinyal GPS berupa perlambatan kecepatannya saat menjalar melalui ionosfer sehingga waktu propagasi dari satelit sampai penerima GPS akan mendapat tambahan waktu yang tergantung pada *total electron content* (TEC) ionosfer dan frekuensi sinyal GPS yang digunakan. Pengukuran jarak satelit ke penerima GPS berdasarkan pengukuran waktu propagasi akan mengalami kesalahan sehingga penentuan posisi GPS menggunakan metode reseksi jarak akan mengalami kesalahan pengukuran karena adanya ionosfer. Untuk penentuan posisi presisi tinggi, TEC ionosfer perlu diestimasi sehingga dapat digunakan untuk koreksi kesalahan pengukuran jarak satelit GPS. Menggunakan GPS frekuensi ganda TEC ionosfer dapat diestimasi menggunakan kombinasi data kode dan fase GPS. Ionosfer bervariasi baik temporal maupun spasial karena pengaruh dari aktivitas matahari sebagai sumber energi ionisasi ionosfer. Oleh karena itu penentuan TEC ionosfer mendekati real time selain dapat digunakan untuk koreksi ionosfer juga dapat digunakan untuk monitoring cuaca antariksa. Makalah ini menjelaskan metode penentuan TEC ionosfer mendekati real time dari data GPS mendekati real time yang dapat diakses melalui FTP setiap jam secara otomatis.

*Kata kunci: GPS, gelombang radio, propagasi, ionosfer.*

### 1. Pendahuluan

Ionosfer adalah bagian dari atmosfer atas yang terdiri dari ion-ion dan elektron-elektron yang jumlahnya dapat mempengaruhi propagasi gelombang radio. Ionosfer terbentuk ketika energi radiasi matahari berupa *extreme UV* (EUV) diserap atom-atom netral di atmosfer atas sehingga menyebabkan atom-atom tersebut terionisasi dan membentuk ion-ion positif dan elektron bebas.

Elektron-elektron bebas di ionosfer ini akan berpengaruh pada sinyal GPS yang melaluinya. Pengaruh ini berupa perlambatan kecepatan sinyal kode GPS saat menjalar melalui ionosfer sehingga waktu propagasi dari satelit sampai penerima GPS akan mendapat tambahan waktu yang tergantung pada *total electron content* (TEC) ionosfer dan frekuensi sinyal GPS yang digunakan. TEC adalah jumlah elektron sepanjang lintasan antara dua titik (*point*) yang dinyatakan dalam satuan TECU (TEC Unit) di mana 1 TECU sebesar  $10^{16}$  elektron/m<sup>2</sup>. Dengan perlambatan (*delay*) di ionosfer ini menyebabkan pengukuran jarak satelit ke penerima GPS berdasarkan pengukuran waktu propagasi akan mengalami kesalahan sehingga penentuan posisi GPS menggunakan metode reseksi jarak akan mengalami kesalahan pengukuran. Untuk penentuan posisi presisi tinggi, TEC ionosfer perlu diestimasi sehingga dapat digunakan untuk koreksi kesalahan pengukuran jarak satelit GPS.

Perlambatan di ionosfer ini merupakan faktor kesalahan utama dalam penentuan posisi GPS maka diperlukan suatu koreksi ionosfer sehingga didapat penentuan posisi GPS yang lebih presisi. Untuk memperoleh koreksi ionosfer ini diperlukan data TEC yang real time dan metode untuk menentukan koreksi TEC tersebut. Metode-metode yang biasa digunakan antara lain model tomografi ionosfer dua dimensi *real time* dan teknik resolusi ambiguitas. Model tomografi ionosfer dua dimensi *real time* dapat memberikan presisi lebih baik dari 1 TECU (10 cm pada L1-L2) dalam perbedaan ganda (*double difference*) *Slant Total Electron Content* (STEC) (Hernandez-Pajares, 1999) sedangkan teknik resolusi ambiguitas telah memungkinkan peningkatan akurasi DGPS dari level meter ke desimeter (Gao dkk., 1997).

Pelayanan koreksi TEC ionosfer real time sudah banyak dikembangkan oleh negara-negara maju antara lain oleh Kanada dan Jepang. Di Kanada pelayanan GPS C untuk Sistem Kontrol Aktif Kanada telah diimplementasikan sejak tahun 1996 dalam upaya memfasilitasi penentuan posisi dan navigasi GPS dengan presisi lebih baik dari 1 meter bagi wilayah Kanada dan sekitarnya. Orbit satelit, koreksi jam dan ionosfer disajikan berdasarkan jaringan pengamatan GPS menggunakan komunikasi terrestrial dan satelit. Pada awal implementasi sistem ini telah mampu memberikan penentuan posisi dengan kesalahan sekitar 0,5 meter arah horisontal dan 1 meter arah vertikal (Lahaye dkk., 1996). CDGPS (Canadian Differential GPS) telah dioperasikan dan telah memberikan peningkatan akurasi posisi dan navigasi di wilayah Kanada dan sekitarnya (Rho dan Langley, 2003).

Amerika sejak 2004 telah dapat diperoleh produk karakterisasi TEC ionosfer di atas CONUS (Continental US) secara *real time* dari SEC (NOAA *Space Environment Center*). Produk berupa peta TEC di atas CONUS diberikan secara *real time* setiap 15 menit menggunakan sekitar 100 GPS *real time* dari jaringan CORS. Peta TEC *real time* ini telah diaplikasikan untuk koreksi ionosfer pada penentuan posisi GPS frekuensi tunggal, NDGPS, resolusi ambiguitas *double differences* untuk penentuan posisi cepat dengan presisi sentimeter. Model yang digunakan untuk pemetaan TEC US ini adalah model asimilasi ionosfer dengan filter Kalman dan dengan data GPS *real time* (Kunches, 2007).

Di Indonesia sendiri berada pada lintang rendah dimana ionosfer yang membentang diatas wilayah kita memiliki keunikan karena ionosfer wilayah Indonesia terletak di puncak anomali ionisasi lintang rendah dan berada di atas kepulauan yang merupakan daerah konveksi paling aktif di dunia (Fukao, 2004). Oleh karena itu ionosfer di atas Indonesia lebih bervariasi baik secara spasial maupun temporal sehingga pemodelan klimatologi global tidak dapat mengkarakterisasikan ionosfer Indonesia dengan akurat. Maka koreksi ionosfer lebih akurat dengan menggunakan pengamatan GPS frekuensi ganda *real time*.

Tetapi data GPS *real time* di Indonesia masih sangat terbatas sehingga tidak dapat digunakan untuk pemodelan ionosfer yang mencakup wilayah Indonesia. Oleh karena itu diperlukan strategi bagaimana mengkombinasikan beberapa pengamatan GPS *real time* yang cakupan pengamatannya terbatas tetapi dapat digunakan untuk estimasi TEC yang akurat dengan model klimatologi ionosfer yang kurang akurat untuk prediksi ionosfer jangka pendek tetapi memiliki cakupan model yang lebih luas di atas Indonesia dan memiliki konsistensi dengan hukum-hukum fisika ionosfer lintang rendah. Untuk dapat mengkombinasikan data GPS dan model fisis ionosfer diperlukan estimasi TEC mendekati *real time* dari pengamatan GPS mendekati *real time*.

Makalah ini menjelaskan metode komputasi TEC ionosfer mendekati *real time* dari stasiun pengamatan GPS yang terletak di Singapura (NTUS) yang merupakan pengembangan metode komputasi TEC harian dari data GPS.

## **2. Data dan Metodologi**

### **2.1. Data yang digunakan**

Data yang digunakan dalam komputasi TEC mendekati *real time* ini adalah data pengamatan GPS mendekati *real time* resolusi tinggi (1Hz) dan data orbit satelit GPS dan data koordinat stasiun GPS.

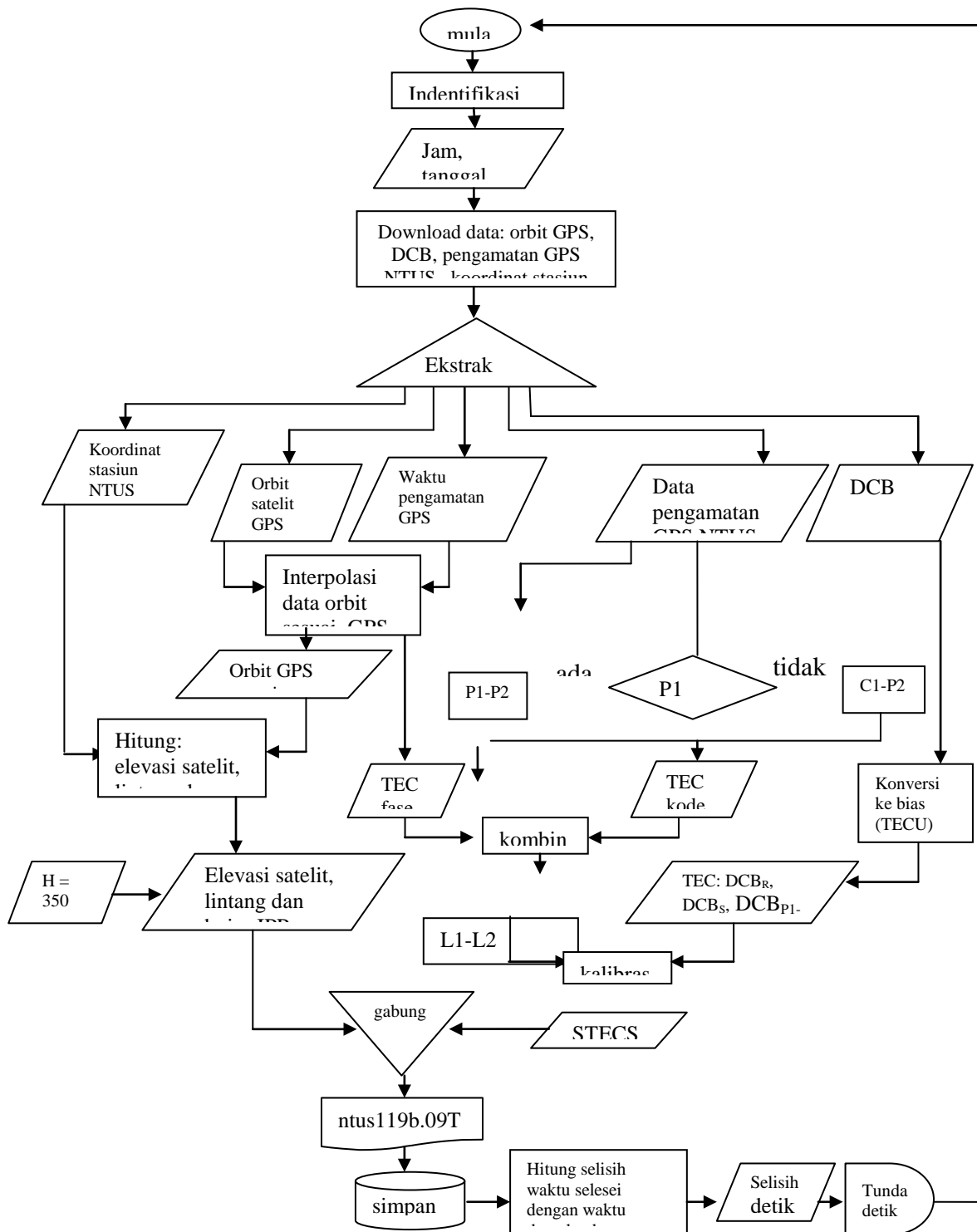
Data-data tersebut dapat didownload dari <ftp://cddis.nasa.gov/> (data GPS stasiun NTUS dan data orbit GPS), dari <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> (data DCB untuk kalibrasi hasil komputasi TEC) dan dari <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/igs.snx> (untuk data koordinat stasiun NTUS).

### **2.2. Pengembangan algoritma dan perangkat lunak komputasi TEC ionosfer mendekati *real time* dari data pengamatan GPS mendekati *real time***

Algoritma komputasi TEC yang sudah ada sekarang ini adalah komputasi TEC harian dari data GPS IGS yang dapat didownload melalui FTP yang diimplementasikan menggunakan matlab yang secara rinci dapat dilihat pada disertasi Buldan (2009). Metode tersebut perlu dikembangkan

sehingga dapat digunakan untuk komputasi TEC real time dari data GPS *real time* resolusi tinggi (1 Hz).

Modifikasi algoritma adalah dalam hal *download* data yang masuk FTP setiap jam, komputasi TEC setiap detik menggunakan metode pelevelan fase dan kalibrasi TEC setelah perhitungan TEC sampai 1 jam. Diagram alir komputasi TEC mendekati *real time* ditunjukkan pada Gambar 2.1.

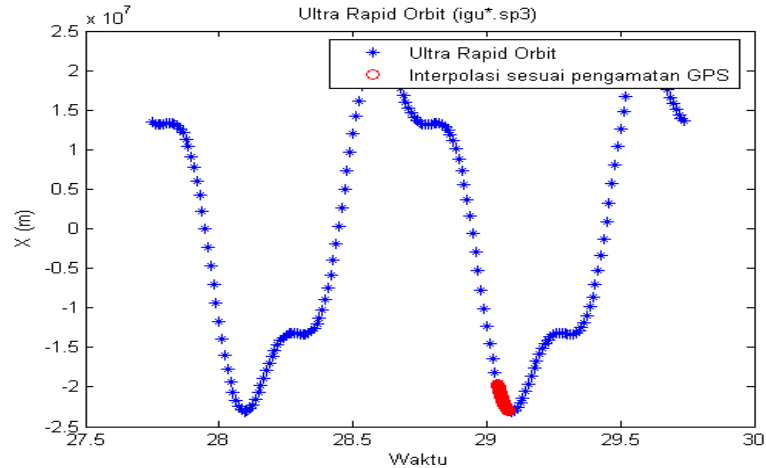


Gambar 2.1. Flowchart komputasi TEC mendekati *real*

### 3. Hasil

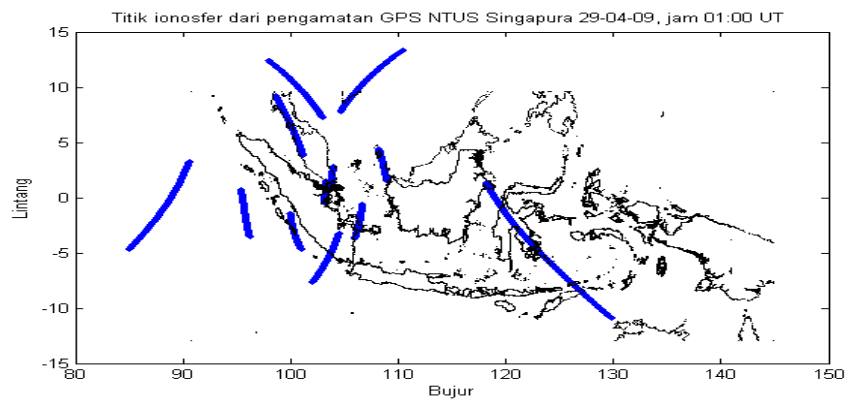
Telah dapat dikembangkan metode akses data GPS mendekati *real time* dan komputasi TEC serta kalibrasinya dari satu stasiun GPS IGS resolusi 1 Hz yang terletak di Singapura (NTUS). Sebagai contoh ditunjukkan hasil komputasi TEC ionosfer pada 29 April 2009.

Data orbit GPS awalnya beresolusi setiap 15 menit. Penulis kemudian menginterloplasinya sesuai dengan data pengamatan GPS setiap 1 detik. Hasil interpolasi ditunjukkan pada Gambar 3.1.



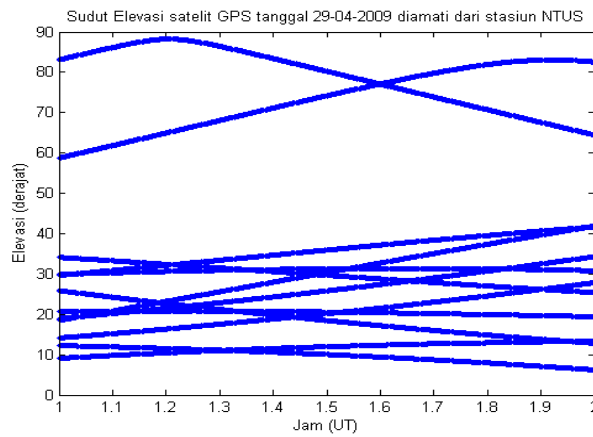
Gambar 3.1. Prediksi orbit satelit GPS PRN 1 dan hasil interpolasinya pada tanggal 29 jam 01:00.

Data orbit satelit GPS tersebut diperlukan untuk penentuan titik ionosfer yaitu titik potong lintasan sinyal GPS ke penerima di stasiun GPS Singapura (NTUS). Data titik ionosfer tersebut menunjukkan lokasi pengamatan ionosfer dari satelit GPS. Dalam satu jam diperoleh pengamatan 3600 titik ionosfer untuk setiap satelit GPS. Dalam satu jam pengamatan bisa didapatkan sekitar 4 – 10 pengamatan satelit GPS. Contoh hasil pengamatan titik ionosfer dari data GPS Singapura (NTUS) ditunjukkan pada gambar 3.2.



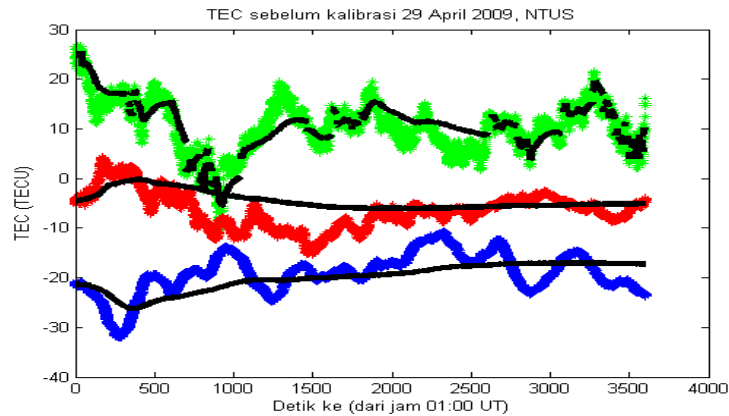
Gambar 3.2. Contoh hasil pengamatan titik ionosfer dari data GPS Singapura NTUS 29 April 2009 jam 01:00 UT

Dari koordinat stasiun NTUS dan orbit satelit GPS hasil interpolasi juga dapat ditentukan sudut elevasi setiap satelit GPS diamati dari stasiun GPS NTUS. Sudut elevasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.3



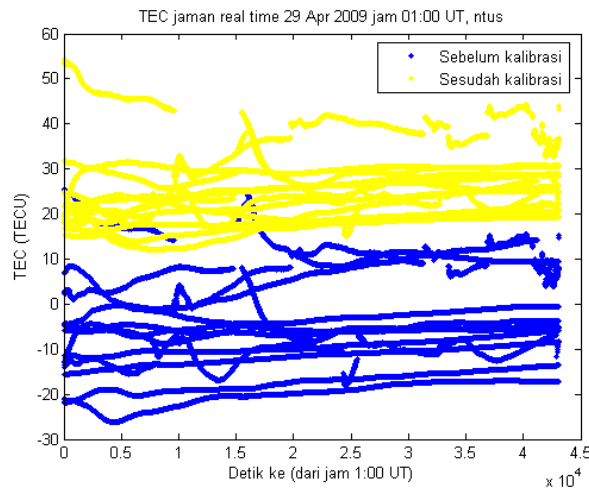
Gambar 3.3. Sudut elevasi hasil perhitungan dari koordinat stasiun NTUS dan orbit satelit sesuai pengamatan GPS

Dari data GPS yang berupa kode dan fase menghasilkan nilai STEC yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Contoh hasil komputasi TEC mendekati real time sebelum kalibrasi, dari data kode (berwarna) dan dari kombinasi data kode dan fase (hitam)

Nilai STEC pada Gambar 3.4 masih ada yang bernilai negatif karena masih mengandung kesalahan dari bias DCB. Oleh karena itu perlu dilakukan kalibrasi dari bias DCB satelit, DCB P1-C1, DCB penerima P1-P2. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Hasil STEC sebelum kalibrasi (biru) dan sesudah kalibrasi (kuning).

#### 4. Kesimpulan

Untuk penentuan posisi presisi tinggi, TEC ionosfer perlu diestimasi sehingga dapat digunakan untuk koreksi kesalahan pengukuran jarak satelit GPS. Komputasi TEC ionosfer mendekati *real time* dan kalibrasinya telah berhasil dikembangkan dari satu stasiun GPS IGS resolusi 1 Hz yang terletak di Singapura (NTUS). Masukan yang digunakan dalam komputasi ini adalah data orbit, pengamatan GPS, DCB dan koordinat stasiun GPS NTUS.

Dari data orbit dan koordinat stasiun diperoleh keluaran berupa sudut elevasi antara satelit dan stasiun penerima serta lintang dan bujur titik ionosfer. Sedangkan menggunakan data GPS frekuensi ganda dengan mengkombinasikan data fase dan kode diperoleh nilai TEC yang kemudian dikalibrasikan dengan bias DCB sehingga diperoleh nilai TEC mendekati real time terkalibrasi. Sistem komputasi ini sudah dapat berjalan secara otomatis untuk menghitung nilai TEC tiap jamnya selama 24 jam dengan waktu tunda 1 jam dari data stasiun GPS NTUS di Singapura yang mengamati sinyal GPS setiap 1 detik.

#### Daftar Pustaka

- Buldan M., (2009) : *Pemodelan Ionosfer Lintang Rendah Geomagnet di Atas Wilayah Indonesia dari Data GPS*, Disertasi, ITB.
- Collins, P., Lahaye, F., Kouba, J., dan Heroux, P., (1996): *Real time WADGPS corrections from Undifferenced Carrier Phase*, [www.geod.nrcan.gc.ca/publications/papers/pdf/real.pdf](http://www.geod.nrcan.gc.ca/publications/papers/pdf/real.pdf), diakses tanggal 10 Februari 2009.
- Fukao, S., Ozawa, Y., Yokoyama, T., dan Yamamoto, M. (2004) : First observations of the spatial structure of F region 3-m-scale field-aligned irregularities with the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia, *J. Geophys. Res.*, Vol. **109**.
- Gao Y., Liu, Z, McLellan J.F., (1997): Carrier-phase based regional area differential GPS for decimeter-level positioning and navigation, *ION GPS'97*, Kansas City, USA.
- Hajj, G.A., Wilson, B.D., Wang, C., Pi, X., Rosen, I.G. (2004): Data Assimilation of Ground GPS Total Electron Content into a physics-based ionospheric model by use of the Kalman filter, *Radio Science*, 39.
- Hernandez-Pajares M., Juan J.M., Sanz J., (1999): *Precise ionospheric determination and its application to real time GPS ambiguity resolution*, [www.gage.es/WARTKpapers/ION-GPS1999\\_IRI+Canada\\_widelane.org.pdf](http://www.gage.es/WARTKpapers/ION-GPS1999_IRI+Canada_widelane.org.pdf)
- Kunches, J., (2007): *Surveying green light: Impact of Space Weather*, CORS user forum, Fort Worth, [www.navcen.uscg.gov/CGSIC/meetings/47thMeeting/](http://www.navcen.uscg.gov/CGSIC/meetings/47thMeeting/)) diakses 10 Februari 2009.