

PENGARUH GEOMETRI SATELIT DAN IONOSFER DALAM KESALAHAN PENENTUAN POSISI GPS

Sri Ekawati

Peneliti Bidang Ionosfer dan Telekomunikasi, Pusfatsainsa, LAPAN
ekawa_srie@bdg.lapan.go.id, cie_demes@yahoo.com

RINGKASAN

Satu parameter yang penting untuk menunjukkan akurasi GPS (*Global Positioning System*) dalam penentuan posisi adalah UERE (*User Equivalent Range Error*). Parameter ini akan lebih memberikan akurasi presisi tinggi yang signifikan kepada pengguna GPS bila disertai dengan informasi geometri *visible satellite* yang lebih dikenal dengan DOP (*Dilution Of Precision*). Salah satu komponen dari UERE adalah galat yang disebabkan lapisan ionosfer. Dengan menggunakan data TEC Bandung dan model DOP Bandung, dapat dilakukan perhitungan total galat GPS untuk mengetahui UERE. Hasil perhitungan program *error budget* menunjukkan bahwa ionosfer memberikan kesalahan terbesar terhadap UERE.

Kata kunci: *DOP, UERE, GPS*

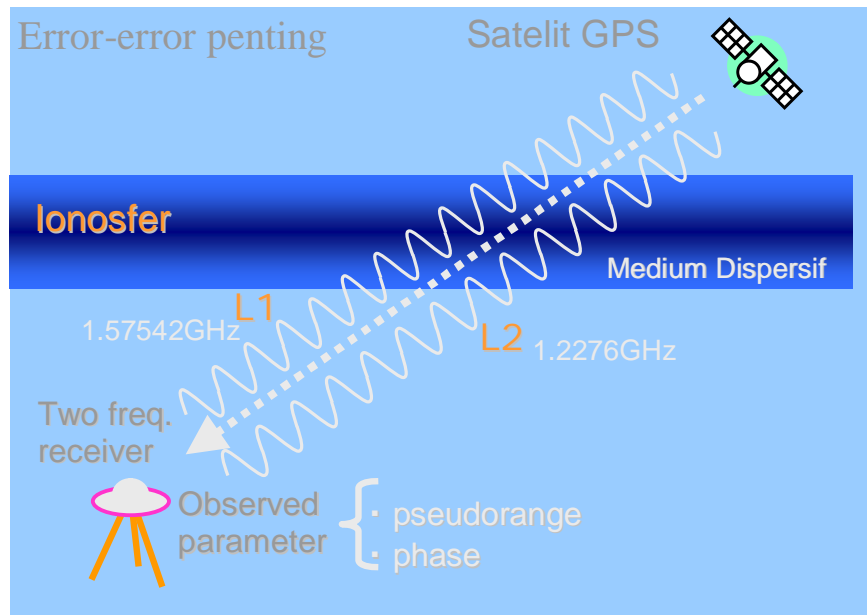
1 PENDAHULUAN

Sejak pemanfaatan NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) untuk kepentingan sipil diperbolehkan oleh Pemerintah Amerika Serikat pada tahun 1983, maka optimalisasi penggunaan GPS untuk berbagai aplikasi semakin luas. (Abidin, 2000). Penggunaannya bukan hanya untuk kepentingan militer, tetapi juga untuk penelitian dan bahkan saat ini telah digunakan oleh masyarakat umum untuk penentuan posisi, seperti pada saat berkendara, berlibur ataupun berlayar. (Sadeque, MZ, 2005).

Pada umumnya parameter yang menentukan ketelitian atau akurasi dari penentuan posisi dengan GPS adalah GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*) dan UERE (*User Equivalent Range User*). Hubungan kedua parameter ini dalam penentuan galat atau kesalahan dari posisi sebenarnya merupakan perkalian GDOP dan UERE dengan satuan meter. DOP terdiri dari *Horizontal DOP*, *Vertical DOP*, *Time DOP* dan *Position DOP*. UERE dapat diilustrasikan secara sederhana

seperti pada Gambar 1-1. UERE atau juga dinamakan *error budget* merupakan jumlah total dari galat dan bias seperti kesalahan jam satelit, kesalahan jam receiver, SA (*Selective Availability*), *multipath*, interferensi gelombang radio, *cycle slips*, troposfer dan terlebih lagi bias ionosfer yang menyebabkan waktu tunda dalam propagasi sinyal satelit GPS ke antena receiver di permukaan Bumi.

Aplikasi GPS untuk navigasi darat, air dan udara ataupun kepentingan komunikasi, geodesi dan survei memerlukan tingkat akurasi yang tidak sama. Sebagian tidak memerlukan akurasi (posisi, waktu dan kecepatan) yang tinggi namun di bidang tertentu sangat memerlukan akurasi yang sangat tinggi. Akibatnya pemahaman tentang galat yang mempengaruhi akurasi sinyal GPS sangat penting untuk diketahui. Oleh karena itu makalah ini akan membahas tentang besarnya pengaruh DOP dan Ionosfer dalam perhitungan *error budget* GPS. Dengan pemahaman ini, maka dapat dilakukan peningkatan ketelitian menggunakan GPS.

Gambar 1-1: Ilustrasi *error budget* GPS

2 DOP DAN MODELNYA

Hubungan umum antara kesalahan dalam pengukuran *pseudorange* terhadap akurasi posisi dapat dijelaskan dalam DOP. DOP sering digunakan untuk mengukur akurasi posisi pengguna GPS (Abidin, 2001). Ada beberapa macam DOP yang merupakan fungsi dari geometri satelit yaitu GDOP (*Geometric DOP*), PDOP (*Position DOP*), HDOP (*Horizontal DOP*), VDOP (*Vertical DOP*), dan TDOP (*Time DOP*). Posisi satelit sangat menentukan besar kecilnya nilai DOP. Ilustrasi yang sederhana tentang DOP dapat dilihat pada Gambar 2-1. Gambar 2-1a menunjukkan geometri satelit yang baik, sedangkan Gambar 2-1b menunjukkan geometri satelit yang kurang baik. (USACE, 2003).

Semakin kecil nilai DOP maka semakin baik geometri satelit untuk melakukan perhitungan posisi. Dalam *selecting satellites* untuk memperoleh akurasi posisi yang paling akurat, maka nilai DOP harus sekecil mungkin. Nilai DOP tidak memiliki satuan. (Abidin, 2001).

Geometri satelit dapat diprediksi, sehingga nilai-nilai DOP dapat diperoleh

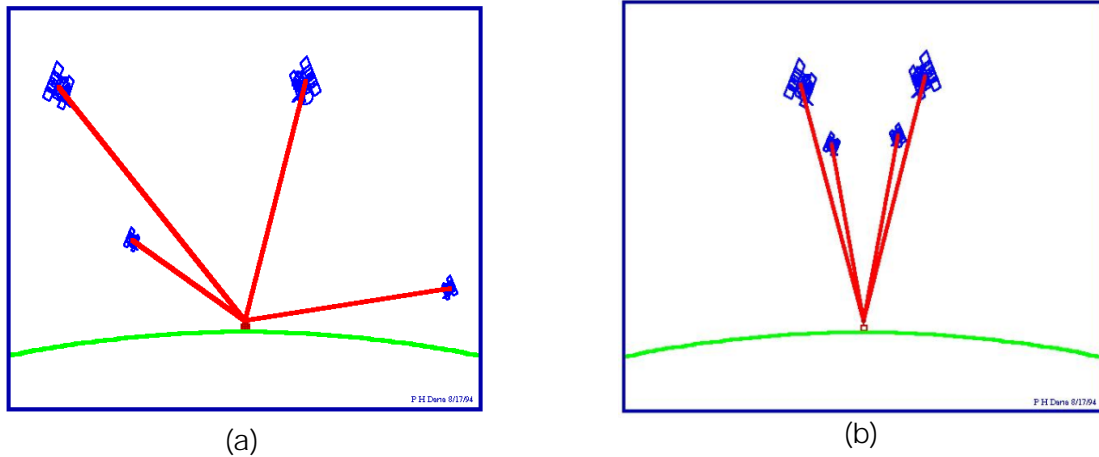
dengan model DOP, dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2.

Grafik dari TDOP, VDOP, HDOP, PDOP dan GDOP, yang ditunjukkan Gambar 2-2, pada prinsipnya memiliki trend yang sama. Dengan kata lain bila TDOP turun maka GDOP pun akan turun, dengan perbedaan pada nilai saja. Namun bila dilihat dari nilainya maka TDOP mempunyai nilai yang paling kecil, kemudian HDOP, VDOP, PDOP dan GDOP. Hubungan antara GDOP dengan lima parameter tersebut adalah:

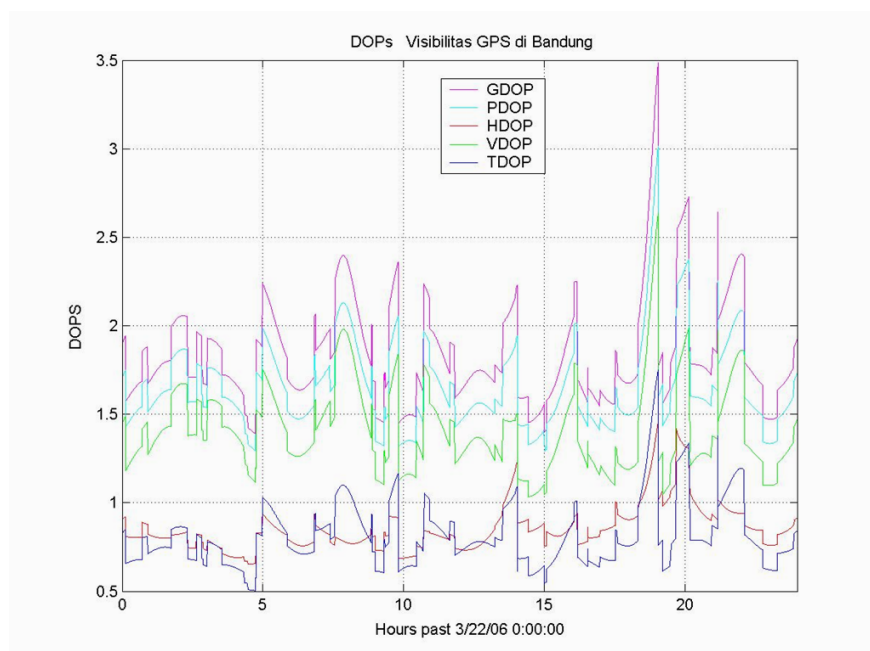
$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2 \quad (2-1)$$

$$GDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2 + TDOP^2 \quad (2-2)$$

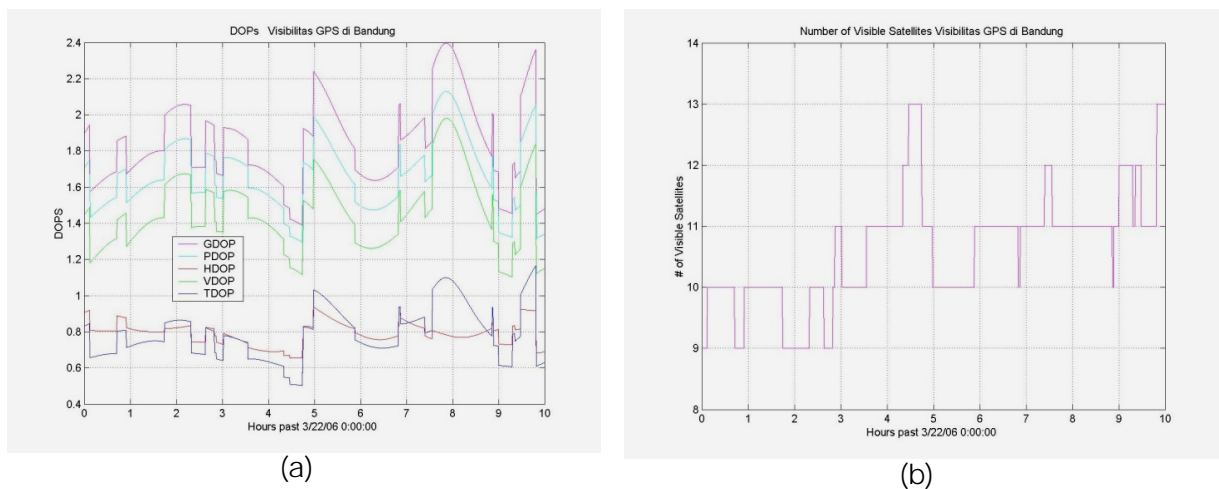
Sedangkan Gambar 2-3 menunjukkan perbandingan nilai DOP dengan jumlah sinyal satelit yang diterima di penerima GPS. Ada hubungan antara nilai DOP dengan jumlah satelit. Pada pukul 02:00 UTC (09:00 WIB) nilai GDOP sekitar 2 – 2,1 dan jumlah satelit 9 buah. Sedangkan pada pukul 04:30 UTC (11:30 WIB) nilai GDOP sekitar 1,5 dan jumlah satelit mencapai 13 buah. Sehingga semakin banyak sinyal satelit yang diterima dengan geometri satelit yang baik, maka semakin baik nilai DOP.



Gambar 2-1: Gambaran Umum DOP (a) DOP yang baik (b) DOP yang kurang baik



Gambar 2-2: Grafik Geometri Satelit GPS yang melintas di Bandung tanggal 22 Maret 2006



Gambar 2-3: Perbandingan nilai DOP (a) dengan jumlah satelit (b) yang melintas di atas Bandung tanggal 22 Maret 2006

Nilai DOP besar (geometri satelit kurang baik) disebabkan jumlah satelit yang *visible* di Bandung relatif sedikit, jadi besar kecilnya nilai DOP tergantung juga terhadap jumlah sinyal satelit yang melintas di atas Bandung.

3 TABEL MODEL GALAT STANDARD

Sumber-sumber galat dan besarnya, dapat diringkas dalam sebuah tabel galat seperti Tabel 3-1. Masing-masing galat digambarkan sebagai bias dan efek random. Galat total pada masing-masing kategori ditentukan sebagai akar jumlah kuadrat dari dua

komponen tersebut. Masing-masing komponen galat diasumsikan secara statistik tidak berkorelasi dengan galat yang lain. Receiver ini diasumsikan memfilter pengukuran sehingga 16 sampel secara efektif dapat dihitung rata-rata pengurangan isi random dengan akar kuadrat 16. (Tsui Yen and James bao, 2000). Salah satu galat dari UERE bersumber dari ionosfer (galat ionosfer). Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 3-1 yang menunjukkan bahwa galat ionosfer memberikan kontribusi kesalahan sebesar 75,47 % terhadap UERE.

Tabel 3-1: MODEL GALAT STANDARD---- NO SA

| Sumber Galat | one-sigma galat, meter | | |
|---|------------------------|------------|------------|
| | Bias | Random | Total |
| Data Orbit | 2.1 | 0.0 | 2.1 |
| Jam Satelit | 2.0 | 0.7 | 2.1 |
| Ionosfer | 4.0 | 0.5 | 4.0 |
| Troposfer | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| Multipath | 1.0 | 1.0 | 1.4 |
| Pengukuran Reciever | 0.5 | 0.2 | 0.5 |
| UERE, rms | 5.1 | 1.4 | 5.3 |
| Filtered UERE, rms | 5.1 | 0.4 | 5.1 |
| Vertical one-sigma galats-VDOP = 2.5 | | | 12.8 |
| Horizontal one-sigma galats-HDOP = 2.0 | | | 10.2 |

4 GALAT IONOSFER DAN TEC (TOTAL ELECTRON CONTENT)

Ionosfer adalah bagian dari lapisan atmosfer yang menempati ruang pada ketinggian antara 60 km sampai 1000 km di atas permukaan bumi. Pada lapisan ini, radiasi ultraviolet dari matahari mengionisasi molekul-molekul gas yang kemudian menghasilkan elektron bebas. Elektron-elektron bebas ini mempengaruhi propagasi dari gelombang mikro yang melewatinya. Kecepatan, arah, dan polarisasi dari

sinyal tersebut akan terpengaruh oleh lapisan itu. Efek terbesar adalah pada kecepatan sinyal, dan akibatnya mempengaruhi pengukuran jarak. (USACE, 2003)

Sinyal GPS, yang merupakan sinyal elektromagnetik, pada saat merambat melalui medium ionosfer (medium dispersif) akan dibiaskan (Gambar 4-1). Waktu tunda ionosfer ini disebabkan oleh lingkungan muatan listrik tinggi yang menyebabkan adanya medan listrik di ionosfer. Galat ini

menyebabkan kesalahan dalam pengukuran jarak antara satelit dan penerima GPS. (Ekawati, Sri, 2008).

Salah satu parameter yang memberikan informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah, adalah TEC (*Total Electron Content*). Penentuan nilai TEC (VTEC maupun STEC) dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan jarak ukuran (*pseudorange* maupun jarak fase) pada dua frekuensi yang berbeda. Karena besarnya bias jarak ionosfer bergantung pada frekuensi, maka dengan membandingkan kedua jarak ukuran tersebut, dengan menggunakan formulasi matematis tertentu, nilai VTEC maupun STEC dapat ditentukan. (Abidin, 2000).

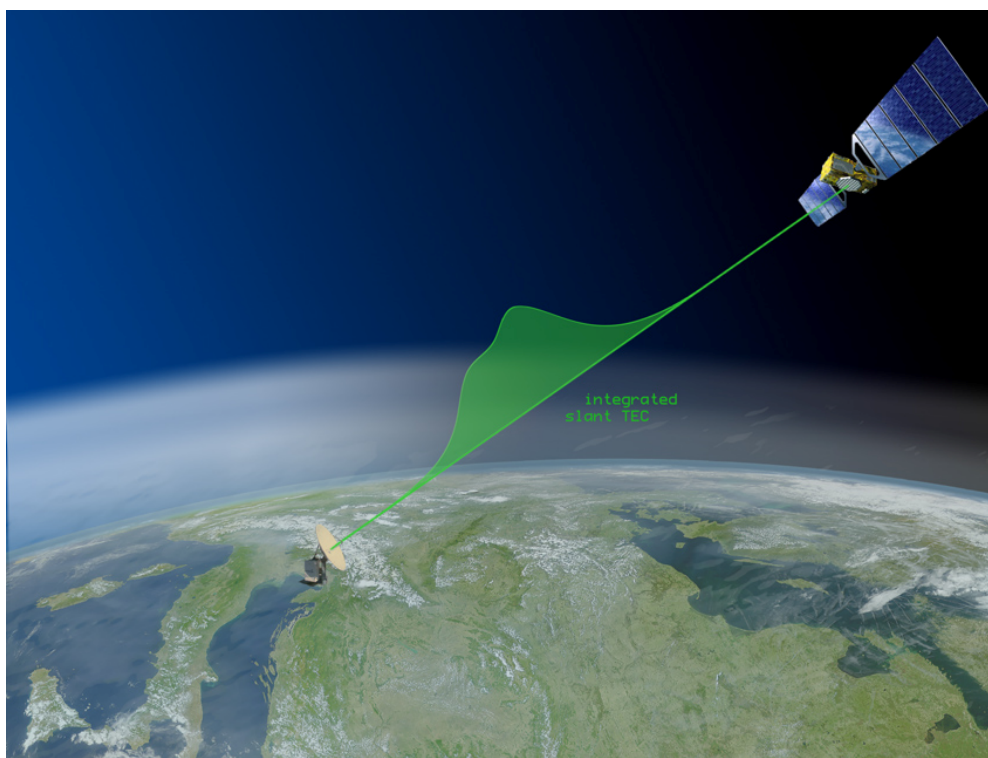
Ketinggian lapisan ionosfer yang dianggap representative menurut Wild et al (1989) adalah 350 Km. Hal itu karena kandungan total elektron bebas pada lapisan ionosfer terkonsentrasi secara homogen pada ketinggian tersebut.

Dari literatur (Parkinson and Spilker, 1996) diperoleh bahwa:

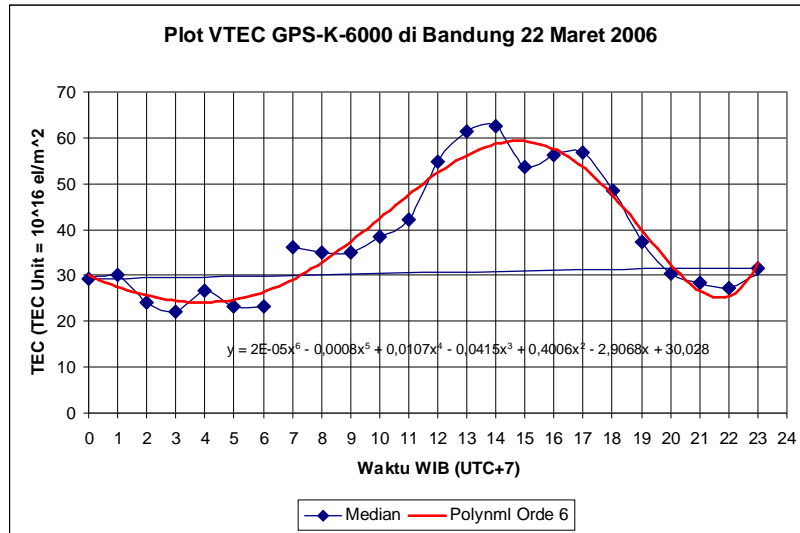
$$1 \text{ TEC Unit} = 1 \times 10^{16} \text{ elektron/m}^2 \quad (4-1)$$

$$1 \text{ TEC Unit} = 0,351 \text{ ns (pada GPS receiver dual frekuensi)} \quad (4-2)$$

Gambar 4-2 menunjukkan grafik nilai VTEC selama satu hari pada tanggal 22 Maret 2006. Untuk memperoleh waktu tunda ionosfer sebagai masukan pada UERE, maka perlu dilakukan konversi dari TEC Unit ke satuan waktu kemudian dihitung jaraknya dengan mengalikannya dengan kecepatan cahaya 3×10^8 m/s. (Ekawati, Sri, 2008). Pada pembahasan selanjutnya akan diambil satu kasus waktu tunda ionosfer pada pukul 07:00 UTC atau pukul 14:00 WIB. Pada pukul 14:00 WIB diperoleh nilai 63 TECU, dan setelah dikonversi, dikalikan dengan 0.351, maka diperoleh waktu tunda ionosfer sebesar 22,113 *nano second*. Kemudian dengan mengalikan kembali dengan kecepatan cahaya (3×10^8) m/s, maka diperoleh kesalahan jarak dari ionosfer adalah 6,63 meter.



Gambar 4-1: Ilustrasi Ionosfer sebagai medium dispersif



Gambar 4-2: Nilai VTEC Bandung 22 Maret 2006

5 PROGRAM TOTAL GALAT (ERROR BUDGET) GPS

Program *error budget* ini cukup sederhana. Adapun proses untuk mendapatkan keluaran yang telah ditentukan dalam program ini, maka digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$URE = \sqrt{space_segment^2 + control_segment^2}$$

$$UEE = \sqrt{trop^2 + ion^2 + mltpth^2 + pr^2} \quad (5-1)$$

$$UERE = \sqrt{URE^2 + UEE^2}$$

Untuk masukan, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dua

komponen utama yang mempengaruhi akurasi penentuan posisi GPS adalah DOP dan UERE. Sehingga dalam program penentuan *error budget* ini, diperlukan:

- Tabel Model Galat Standard sebagai masukan untuk UERE
- Model DOP (HDOP, VDOP, TDOP, GDOP, PDOP)
- Data waktu tunda Ionosfer yang diperoleh dari data TEC yang telah dikonversi

Adapun hasil dari program tersebut, ditunjukkan pada Tabel 5-1.

Tabel 5-1: KOMPUTASI GALAT BUDGET

```

*****
*****      COMPUTATION OF ERROR BUDGET      *****
*****
*****      Input data      *****

Space space segment error (meters, 1-sigma)      = 2.100
Space control segment error (meters, 1-sigma)    = 2.100
User segment, tropo error (meters, 1-sigma)      = 0.700
User segment, iono error (meters, 1-sigma)       = 6.600
User segment, multipath error (meters, 1-sigma)  = 1.400
User segment, receiver error (meters, 1-sigma)   = 0.500

PDOP = 2.0000
HDOP = 1.0000
VDOP = 1.8000
TDOP = 1.1000

*****      Results      *****

URE (User Range Error), in meters                = 2.9698
UEE (User Equipment Error), in meters            = 6.8015
UERE (User Equivalent Range Error), in meters    = 7.4216
*****
    
```


Tabel 5-1 adalah hasil perhitungan total galat pada tanggal 22 Maret 2006 pukul 14 WIB (7 UTC). Masukan untuk DOP dimasukkan dari model DOP pada Gambar 2-2. Sedangkan masukan untuk galat ionosfer diperoleh dari Gambar 4-2, yaitu sebesar 6,6 meter. Sedangkan masukan lainnya diperoleh dari tabel model galat standard. Hasil menunjukkan bahwa nilai UERE pada waktu tersebut adalah 7,4216 meter. Dari hasil dapat dianalisis bahwa ionosfer memberikan galat yang cukup besar yaitu 88,9296 % dari keseluruhan galat budget GPS (UERE). Walaupun sudah ada tabel model galat yang cukup signifikan, namun karena salah satu faktor UERE adalah waktu tunda ionosfer maka model tersebut tidak berlaku untuk semua kondisi.

6 PENUTUP

Parameter utama yang menentukan akurasi posisi adalah UERE dan DOP. Besar kecilnya nilai DOP tergantung dari jumlah satelit yang *visible* di Bandung. Semakin sedikit satelit yang melintas maka nilai geometri satelit (DOP) akan besar (geometri yang kurang baik). Nilai DOP besar (geometri satelit kurang baik) disebabkan jumlah satelit yang *visible* di Bandung relatif sedikit. UERE (total galat) sinyal GPS dipengaruhi oleh banyak faktor, namun galat ionosfer memberikan kontribusi kesalahan terbesar terhadap UERE.

DAFTAR RUJUKAN

Abidin, H., 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita.
 Ekawati, Sri, 2008. *Cuaca Antariksa dan Waktu Tunda di Ionosfer. Cuaca Antariksa: Perkembangan Sains Teknologi dan Kebijakan Nasional :*

Prosiding Seminar Nasional Antariksa IV. ISBN: 978-979-1458-23-8.

- Kurniawan, Aries et al. 2005. *Pemanfaatan dan Pelayanan Koreksi Ionosfer untuk Pengguna GPS Frekuensi Tunggal*. Laporan Akhir Program Penelitian Pufatsainsa. LAPAN.
- L3NAV Systems Matlab GPS Toolbox. http://www.l3nav.com/gps_example_13.htm, Maret 2007.
- Parkinson and Spilker. 1996. *GLOBAL POSITIONING SYSTEM : Theory and Applications*. Washington, DC : American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa - LAPAN. 2008. <http://iontelkom.dirgantara-lapan.or.id/content/dop-dilution-precision>.
- Sadeque, Mohammed Zafer, 2005. *Implementation of UERE Module into NavSim and Study of Galats for Single and Dual Frequency GPS-Receiver*. Master Thesis. German Aerospace Center. Institute of Communications and Navigation. Germany.
- Tsui, Yen and James Bao, 2000. *Fundamentals Of Global Positioning System Receivers A Software Approach*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- USACE (Departement of The Army US Army Corps of Engineers Washington). 2003. Chapter 4. *GPS Absolute Point Positioning Determination Concepts, Galats, and Accuracies*. DC 20314-1000. EM 1110-1003. <http://140.194.76.129/publications/engine-manuals/em1110-1-1003/c-4.pdf>, download Februari 2007.