



PREDIKSI TEORITIS WAKTU INTERFERENSI MATAHARI TERHADAP PENERIMAAN SINYAL SATELIT PALAPA-D

(Theoretical Prediction of Time of Sun Interference to Palapa-D Satellite Signal)

Rhorom Priyatikanto

Pusat Sains Antariksa,

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

e-mail: rhonom.priyatikanto@lapan.go.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015

Direvisi: 16-10-2016

Disetujui: 19-10-2016

Diterbitkan: 24-10-2016

Kata kunci:

Satelit geostasioner,
komunikasi, interferensi
Matahari.

Palapa-D merupakan salah satu satelit komunikasi pada orbit geostasioner yang mencakup wilayah Indonesia. Satelit yang berada di atas 113° BT ini digunakan oleh sejumlah perusahaan media dan jasa komunikasi yang diakses oleh sejumlah besar penduduk Indonesia. Sinyal satelit tersebut dapat mengalami interferensi oleh Matahari (*Sun outage*), yakni ketika Matahari berada pada arah yang sama dengan satelit bila dilihat dari antena penerima. Waktu terjadinya interferensi dapat diperkirakan berdasarkan posisi satelit relatif terhadap posisi geodetik penerima sinyal serta perubahan asensioirekta dan deklinasi Matahari sepanjang tahun. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk peta sehingga dapat digunakan oleh masyarakat dengan mudah. Prediksi yang dilakukan mengabaikan tiga faktor, yakni kecepatan Bumi, persamaan waktu, dan paralaks geosentris. Di antara ketiganya, hanya persamaan waktu yang memberikan dampak/kesalahan yang signifikan terhadap prediksi waktu kejadian interferensi, yakni sekitar 8 menit. Meski demikian, peta yang dihasilkan tetap dapat diandalkan.

ABSTRACT

Keywords:

Geostationary satellite,
communication, Sun
interference.

Palapa-D is communication satellite located on geostationary orbit with a vast coverage enclosing Indonesia region. This satellite, which is located over 113° BT, is utilized by a number of media and communication companies accessed by a large fraction of Indonesia citizen. High frequency signal from the satellite may be interfered by the Sun (Sun outage), especially during Solar passage over the satellite's direction. Time of Solar interference can be calculated/predicted according to satellite's position with respect to geodetic position of the antennae and the over changing Sun's right ascension and declination. The calculation result is then visualized as a map that can be used publicly and easily. The calculation mentioned in this paper ignores three factors which are oblateness of the Earth, equation of time and geocentric parallax. Among those three, only equation of time that gives significant effect/error to the prediction of the time of interference which is around 8 minutes. Nevertheless, the resulted map can be reliable.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara ketiga yang pertama kali memanfaatkan teknologi satelit untuk menunjang komunikasi domestik, tepatnya dengan pemanfaatan INTELSAT sejak tahun 1969 (Djiwatampu, 2004). Tujuh tahun kemudian, Indonesia meluncurkan dan mengoperasikan satelit komunikasi domestik bernama Palapa (Ibrahim, 2004). Komunikasi berbasis satelit memberikan beragam keuntungan bagi Indonesia yang dikenal sebagai benua maritim. Di antara keuntungan tersebut adalah cakupan komunikasi yang luas, tidak menuntut infrastruktur jaringan, biaya komunikasi yang tidak bergantung jarak pisah, serta dapat memberikan solusi komunikasi sementara (*temporary network solutions*).

Sebagaimana diulas oleh Priyanto (2004), beragam mode komunikasi satelit telah digunakan di Indonesia selama empat dekade terakhir, merentang dari pita VHF (*Very High Frequency*), siaran televisi digital, hingga internet berbasis VSAT (*Very Small Aperture Terminal*). Belasan satelit komunikasi telah diluncurkan dan dioperasikan oleh beberapa perusahaan komunikasi milik negara ataupun swasta. Generasi terakhir satelit Palapa yang masih aktif beroperasi adalah Palapa-D. Satelit tipe *Spacebus 4000B3* ini dibuat oleh perusahaan Perancis Thales Alenia Space serta diluncurkan tanggal 31 Agustus 2009. Palapa-D mengitari Bumi pada orbit geostasioner (radius orbit 42.164 km) di atas equator dan 113° BT. Pita komunikasi yang dicakup oleh satelit ini adalah pita *C-standard* (4-6 GHz, 24 pemancar), *C-extended* (3-7 GHz, 11 pemancar), serta pita Ku (12-14 GHz, 5 pemancar). Adapun pengguna kanal komunikasi satelit ini meliputi penyedia jasa telepon seluler, stasiun televisi nasional, jasa televisi berlangganan, penyedia jasa internet, serta perbankan (<http://www.lyngsat.com/Palapa-D.html>; <http://www.palapasat.com/palapad.php>).

Komunikasi satelit semacam itu mengalami gangguan musiman akibat Matahari. Dua kali dalam setahun, Matahari akan berada pada arah yang sama dengan satelit sehingga sinyal satelit mengalami interferensi. Peristiwa ini juga dikenal sebagai *Sun outage* dan waktunya bergantung pada posisi satelit relatif terhadap posisi antenna

penerima di permukaan Bumi. Beberapa studi terkait prediksi dan dampak interferensi Matahari telah dilakukan sebelumnya, tapi lebih berfokus pada satelit tertentu (misalnya Song et al., 2010 dan Lee et al., 2011).

Prediksi waktu interferensi terhadap sinyal satelit Palapa-D di wilayah Indonesia perlu dilakukan supaya masyarakat dan pengguna komunikasi satelit dapat melakukan tindakan antisipatif. Studi ini bertujuan untuk memperkirakan waktu interferensi Matahari terhadap sinyal satelit Palapa-D di wilayah Indonesia, sesuai dengan cakupan satelit. Masa interferensi bergantung pada lokasi geografis penerima sinyal, dihitung menggunakan prinsip trigonometri Bola serta memperhitungkan perubahan posisi tahunan Matahari, sementara hasilnya ditampilkan dalam bentuk peta informatif bagi pengguna. Akurasi dari prediksi juga akan dibahas karena terdapat beberapa penyederhanaan yang dilakukan dalam perhitungan.

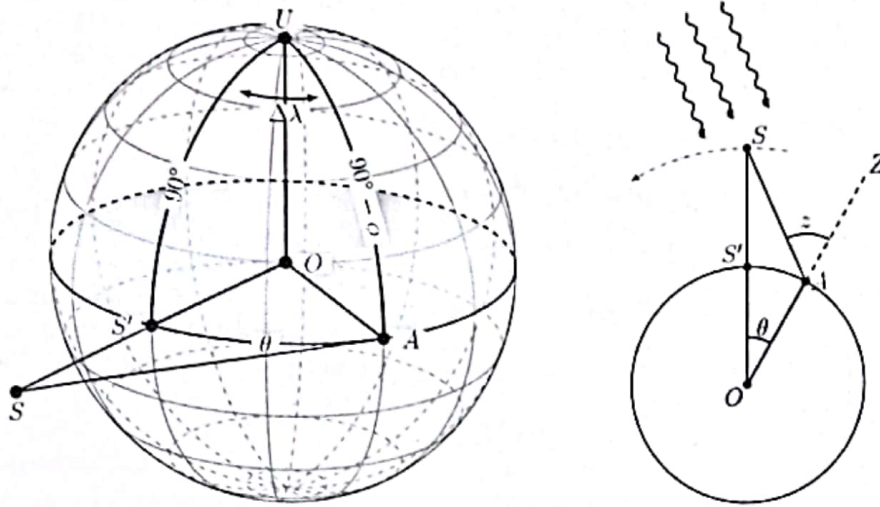
2. Data dan Metode

Satelit Palapa-D diluncurkan tanggal 31 Agustus 2009 pukul 09.28 UT menggunakan roket *Chinese Long March 3B* dari Xichang, Tiongkok. Meski sempat mengalami kendala dalam penempatan orbit, satelit ini akhirnya menempati lintasan geostasioner ($R_{GSO} = 42.164$ km). Orbit satelit memiliki inklinasi sebesar 0,05° dan periode orbit 1436,05 menit serta berada di atas 113° BT (*Launch List dalam Space Research Today*, 2010).

Dalam studi ini, Bumi dianggap sebagai bola dengan radius $R_{Bumi} = 6.378$ km (Luzum et al., 2011). Dilihat dari lokasi dengan lintang ϕ dan bujur λ , satelit berada pada azimut Az dan ketinggian a atau jarak zenit $z = 90^\circ - a$. Antena penerima sinyal diatur supaya mengarah pada arah tersebut. Dengan demikian, interferensi terjadi ketika Matahari berada pada arah yang sama. Perhitungan dilakukan secara berulang untuk $\lambda = [90^\circ, 150^\circ]$ dan $\phi = [-15^\circ, 15^\circ]$.

a. Koordinat Horizontal Satelit

Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2-1, jarak zenit satelit bergantung pada jarak geodetik antenna dan proyeksi satelit di permukaan Bumi (busur θ). Jarak zenit satelit dapat dihitung dengan persamaan berikut:



Gambar 2-1.

$$z = \sin^{-1} \left(\frac{R_{GSO}}{d} \sin \theta \right) \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan d menyatakan jarak linier antara antena dan satelit (AS). Nilai d dihitung dengan formula cosinus sebagai berikut:

$$d = \left(R_{GSO}^2 + R_{Bumi}^2 - 2R_{GSO}R_{Bumi} \cos \theta \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2-2)$$

Seminar Nasional Sains Antariksa 2015 LAPAN
Bandung, 22 November 2015

Jarak geodetik θ dihitung menggunakan aturan trigonometri dari segitiga bola yang menghubungkan Kutub Utara (U), antena (A), dan proyeksi posisi satelit di permukaan Bumi (S'). Panjang busur θ dihitung dengan formula cosinus (Roy dan Clarke, 2003):

$$\theta = \cos^{-1}(\cos \phi \cos \Delta\lambda) \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan $\Delta\lambda = \lambda - 113^\circ$ menyatakan selisih bujur titik A dan S'. Kemudian, mengacu pada segitiga bola AUS' dan menggunakan formula sinus, azimut satelit dihitung dengan persamaan berikut:

$$Az = -\sin^{-1}\left(\frac{\sin \Delta\lambda}{\sin \theta}\right) \dots\dots\dots (2-4)$$

Nilai Az berkisar antara $0^\circ-180^\circ$ untuk antena yang berada pada bujur $\lambda > 113^\circ$ dan berkisar antara $180^\circ-360^\circ$ untuk antena pada bujur $\lambda < 113^\circ$.

b. Koordinat Equatorial Satelit

Koordinat horisontal (Az,a) dari Palapa-D yang telah dihitung sebelumnya perlu ditransformasi menjadi koordinat equatorial, yakni sudut jam (HA) dan deklinasi (δ). Saat interferensi terjadi, koordinat satelit sama dengan koordinat Matahari. Transformasi koordinat dilakukan berdasarkan kaidah trigonometri bola yang diilustrasikan pada Gambar 2-2. Pertama, deklinasi Matahari (δ) dihitung dengan persamaan:

$$\delta = \sin^{-1}(\cos z \sin \phi + \sin z \cos \phi \cos Az) \quad (2-5)$$

Deklinasi Matahari berada pada kisaran $-23,44^\circ$ dan $+23,44^\circ$. Bila δ yang diperoleh dengan Persamaan 2-5 melebihi batasan tersebut, maka interferensi tidak akan terjadi.

Proses kedua adalah perhitungan sudut jam Matahari yang berkaitan dengan waktu (pukul berapa) terjadinya interferensi. Persamaan yang digunakan adalah:

$$HA = -\sin^{-1}\left(\frac{\sin Az}{\cos \delta} \sin z\right) \dots\dots\dots (2-6)$$

c. Waktu Interferensi Matahari

Deklinasi Matahari mengalami perubahan sepanjang tahun. Sebagaimana disebutkan dalam Meeus (1996), deklinasi Matahari dihitung dengan persamaan:

$$\delta = \sin^{-1}(\sin \varepsilon \sin \Lambda) \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan Λ menyatakan bujur semu (*apparent longitude*) dari Matahari dan $\varepsilon = 23,44^\circ$ menyatakan kemiringan bidang ekliptika

terhadap equator pada epoch 2000.0 (Luzum et al., 2011). Bujur semu Matahari dihitung dengan kumpulan persamaan sebagai berikut:

$$\Lambda = \Theta - 0,00569^\circ - 0,00478^\circ \sin \Omega \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\Omega = 125,04^\circ - 1934,136^\circ T \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\Theta = L_0 + C \dots\dots\dots (2-10)$$

$$L_0 = 280,46645^\circ + 36000,7698^\circ T \dots\dots\dots (2-11)$$

$$+ 0,0003032^\circ T^2$$

$$C = \left(1,9146^\circ - 0,004817^\circ T\right) \sin M$$

$$- 0,000014^\circ T^2 \sin M \dots\dots\dots (2-12)$$

$$+ \left(0,019993^\circ - 0,000101^\circ T\right) \sin 2M$$

$$+ 0,00029^\circ \sin 3M$$

$$M = 357,5291^\circ + 35999,0503^\circ T \dots\dots\dots (2-13)$$

$$- 0,0001559^\circ T^2 - 0,00000048^\circ T^3$$

$$T = \frac{t - t_0}{36525} \dots\dots\dots (2-14)$$

dengan variabel atau simbol yang dirangkum dalam Tabel 2-1.

Tabel 2-1. Daftar variabel/simbol yang digunakan dalam Persamaan 2-8 hingga persamaan 2-14.

Simbol	Keterangan
Θ	bujur ekliptika benar (<i>true longitude</i>)
Ω	bujur ekliptika titik simpul naik (<i>longitude of ascending node</i>)
L_0	bujur ekliptika rerata (<i>mean longitude</i>)
C	<i>equation of center</i>
M	anomali rerata (<i>mean anomaly</i>)
T	parameter waktu dinyatakan dalam abad

Persamaan 2-7 pada dasarnya digunakan untuk menghitung δ pada waktu tertentu, sementara formula yang diperlukan dalam

studi ini adalah kebalikan dari formula tersebut. Alih-alih menurunkan fungsi balikan yang sesuai, interpolasi linier (Press et al., 2002) dilakukan untuk mendapatkan nilai t ketika Matahari memiliki δ tertentu. Solusi dari prosedur ini adalah tanggal kejadian interferensi.

Terakhir, sudut jam (HA) dapat dinyatakan dalam satuan waktu sehingga waktu lokal (LT) terjadinya interferensi adalah:

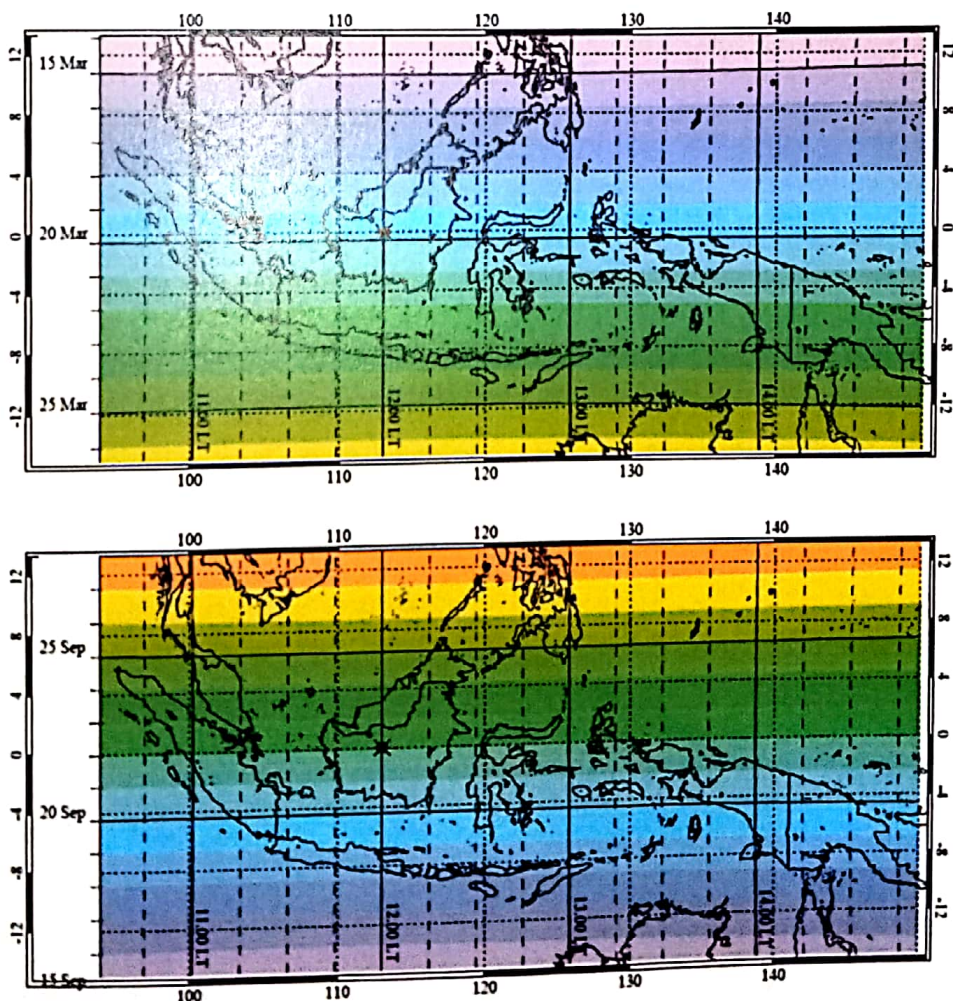
$$LT = 12^{jam} + HA \dots\dots\dots (2-15)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan masa terjadinya interferensi disajikan dalam bentuk peta (Gambar 3-1). Proses perhitungan dilakukan secara terpisah untuk interferensi saat *vernal equinox* (sekitar tanggal 20 Maret) dan

autumnal equinox (sekitar tanggal 22 September) karena Matahari berada searah dengan satelit dua kali dalam setahun.

Secara umum, puncak interferensi Matahari bagi antena di wilayah Indonesia terjadi antara tanggal 18 hingga 25 Maret dan 17 hingga 24 September, bergantung pada lintang geografis lokasi. Puncak interferensi dapat terjadi 90 menit hingga 135 menit setelah kulminasi Matahari, bergantung pada bujur geografis lokasi. Kejadian interferensi dapat dianggap seperti gerhana atau transit satelit di depan piringan Matahari. Karena itu, daerah yang mengalami interferensi adalah daerah yang dilintasi jejak atau bayang-bayang transit. Bayang-bayang tersebut bergerak dari barat (90° BT) ke timur (140° BT) dengan kecepatan sekitar 4,64 km/s.



Gambar 3-1. Peta prediksi waktu kejadian interferensi Matahari saat *vernal equinox* (atas) dan *autumnal equinox* (bawah). Kode warna dan skala vertikal menandai tanggal kejadian dan skala horisontal menandai waktu lokal kejadian interferensi. Bulatan tebal dengan tanda silang menandai titik proyeksi satelit di permukaan Bumi.

Durasi interferensi bergantung pada beam width dari antenna yang digunakan dalam komunikasi satelit. Bila antenna memiliki beam width sebesar 1°, maka interferensi dapat berlangsung selama kurang lebih 6 menit. Saat itu, piringan Matahari berada dalam medan pandang antenna. Interferensi di satu lokasi akan berulang selama sekitar 4 hari karena pada saat itu, deklinasi Matahari memiliki nilai tertentu yang masih memungkinkan terjadinya interferensi. Sebagai contoh, antenna di Bandung (6°,92 LS dan 107°,60 BT) mengalami interferensi tanggal 22-25 Maret dan 20-23 September sekitar pukul 11.35 LT atau pukul 11.25 WIB. Meski dapat berlangsung selama 6 menit, dampak interferensi seperti peningkatan temperatur antenna tidak konstan (Song et al., 2010).

Perhitungan ini dinilai cukup akurat meski menyederhanakan beberapa persoalan sehingga terdapat beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi perhitungan. Faktor pertama adalah asumsi Bumi bulat, padahal Bumi berbentuk elipsoid dengan sumbu panjang 6.378 km dan sumbu pendek 6.357 km. Karena berurusan dengan wilayah di dekat equator, efek kecepatan Bumi tidak terlalu besar. Radius Bumi pada lintang 15° adalah 6.376 km, hanya 2 km lebih kecil dari radius di equator. Dengan demikian, asumsi Bumi bulat menghasilkan kesalahan relatif yang tidak signifikan, yakni kurang dari 4×10^{-5} .

Faktor kedua yang perlu diperhatikan adalah paralaks geosentris dari Matahari. Akibat paralaks, jarak zenit semu Matahari dilihat di permukaan Bumi berbeda dengan jarak zenit benar yang diukur di pusat Bumi. Matahari yang berada pada jarak $1,496 \times 10^8$ km memiliki paralaks geosentris sebesar 8,794". Nilai ini merupakan selisih maksimum antara jarak zenit semu dan jarak zenith geosentris, sebuah nilai yang tidak signifikan dalam mempengaruhi prediksi waktu interferensi.

Faktor ketiga adalah persamaan waktu (equation of time, E) yang menyatakan perbedaan antara asensioekta Matahari benar (a) dan asensioekta Matahari rata-rata (ams). Akibatnya, Matahari tidak selalu kulminasi pada pukul 12.00 waktu lokal (Roy & Clarke, 2003). Pada tanggal 20 Maret, $E = -7,5$ menit sementara pada tanggal 22 September, $E = +7,2$ menit. Waktu interferensi Matahari mengacu pada asensioekta a sedangkan perhitungan

waktu lokal (LT) dan waktu zona ($zone\ time$) mengacu pada ams . Dengan demikian, 2-15 perlu diubah menjadi:

$$LT = 12^{jam} + HA - E \dots\dots\dots (3-1)$$

Dengan melihat signifikansi ketiga faktor tersebut, peta kejadian interferensi Matahari yang disajikan pada Gambar 3-1 dapat digunakan. Namun, koreksi persamaan waktu perlu diterapkan karena nilainya lebih besar dari durasi yang diperkirakan.

4. Kesimpulan

Makalah ini menguraikan metode perhitungan atau prediksi waktu kejadian interferensi Matahari yang dialami oleh antenna penerima sinyal satelit Palapa-D. Di wilayah Indonesia, interferensi terjadi tanggal 18-25 Maret dan 17-24 September sekitar pukul 10.30 hingga 14.00 waktu lokal, bergantung lintang dan bujur geografis lokasi. Perhitungan ini belum memperhitungkan kecepatan Bumi, paralaks geosentris, dan persamaan waktu. Dari ketiganya, hanya persamaan waktu yang memberikan dampak/kesalahan yang signifikan terhadap prediksi waktu interferensi, yakni sekitar 8 menit. Meski demikian, peta yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan waktu interferensi sinyal Palapa-D oleh Matahari.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada penelaah yang telah memberikan saran perbaikan terhadap makalah ini.

Rujukan

Launch list. (2010). *Space Research Today*. 177, 59-61

Djiwatampu, A. (2004). Braving the challenge of satellite technologies: National break throughs and Indonesia's role in international forums. *Online Journal of Space Communication*. Issue 8

Ibrahim, M. (2004). Planning and development of Indonesia's domestic communication satellite system PALAPA. *Online Journal of Space Communication*. Issue 8

- Lee, B.-S., Hwang, Y., Kim, H.-Y., and Kim, J. (2011). Design and implementation of the flight dynamics system for COMS satellite mission operations. *Acta Astronautica*. 68, 1292-1306
- Luzum, B., Capitaine, N., Fienga, A., Folkner, W., Fukushima, T., Hilton, J., Hohenkerk, C., Krasinsky, G., Petit, G., Pitjeva, E., Soffel, M. and Wallace, P. (2011). The IAU 2009 system of astronomical constants: the report of the IAU working group on numerical standards for fundamental astronomy. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 110, 293-304
- Meeus, J. (1996). *Astronomical Algorithm*. Willman-Bell, Inc.
- Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., and Flannery, B. (2002). *Numerical recipes in C*. Cambridge University Press.
- Priyanto, T. (2004). The journey of TELKOM in operating communication satellite to serve the Indonesian archipelago. *Online Journal of Space Communication*. Issue 8
- Roy, A. and Clarke, D. (2003). *Astronomy: Principal and Practice*. IoP Publishing.
- Song, Y., Kim, K.-S., Jin, H., and Lee, B.-S. (2010). Prediction of communication outage period between satellite and earth station due to sun interference. *Journal of Astronomy and Space Science*. 21, 31-42.