

KARAKTERISTIK DATA TLE DAN PENGOLAHANNYA

Abd. Rachman

Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa, LAPAN

Email: abdrachman@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

Data processing for historical two line element data from 117 satellites has been done by means of a computer program which is developed using SGP4 model. The result reveals that historical TLE data often contains duplication of elset. The result also shows that difference between orbital element's value which has been processed using SGP4 model and the one which has not been processed using SGP4 model happens more to eccentricity, argument of perigee, and mean anomaly. Beside that, the result also reveals that prediction using SGP4 model is very sensitive to the related TLE.

ABSTRAK

Dengan memakai *historical data two line element* dari 117 satelit telah dibuat pengolahan data menggunakan program yang dikembangkan menggunakan model SGP4. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa duplikasi elset seringkali terjadi dalam sebuah *historical data* TLE. Selain itu, diketahui bahwa perbedaan nilai elemen orbit yang diproses memakai model SGP4 dengan yang tidak diproses memakai model SGP4 terutama tampak pada eksentrisitas, *argument of perigee*, dan *mean anomaly*. Diketahui pula bahwa prediksi menggunakan model SGP4 sangat sensitif terhadap masukan data TLE-nya.

1 PENDAHULUAN

Dalam lingkup penelitian orbit satelit, data yang populer digunakan adalah *two-line element set [TLE set]* yang dikeluarkan oleh NORAD (*North American Aerospace Defense Command*). Data ini dipublikasikan di internet melalui NASA/Goddard dan dapat diakses melalui www.space-track.org atau www.celestrak.com.

Satu 'set elemen TLE' (disingkat elset) terdiri dari dua baris data dengan format khusus. Di dalam sebuah elset tersimpan berbagai data mengenai orbit satelit bersangkutan. Data ini dapat digunakan untuk memprediksi orbit satelit tersebut di kemudian hari seperti yang digunakan pada program-program prediksi orbit yang beredar di pasaran seperti WinTrak, WinOrbit, dan LogSat. Data yang terkandung dalam TLE dapat juga dipakai untuk penelitian pengaruh cuaca antariksa terhadap parameter

orbit satelit seperti dalam penelitian pengaruh perubahan aktivitas matahari pada orbit satelit LEO (Sinambela, 1996).

Sebagaimana lazimnya data yang digunakan dalam sebuah penelitian, data TLE juga memerlukan pengolahan. Diperlukan kajian khusus tentang data TLE untuk bisa memperoleh teknik pengolahan data yang tepat. Teknik ini dapat diimplementasikan dalam sebuah program komputer yang bukan hanya bisa mengolah data TLE dengan benar tetapi juga memiliki fasilitas-fasilitas yang mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas penelitian yang dilakukan. Jika program pengolahan data TLE yang tepat telah diperoleh maka kajian lebih jauh tentang karakteristik data TLE dapat pula dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji karakteristik data TLE beserta teknik pengolahannya dan mengembangkan program pengolahan data TLE. Hasil

penelitian ini diharapkan meningkatkan pemahaman tentang data TLE dan meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan data TLE.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan kajian tentang data TLE dan teknik pengolahannya.
- Men-*download* TLE satelit-satelit.
- Membuat program pengolahan data TLE dan menggunakannya untuk mengkaji lebih jauh karakteristik data TLE.

2 KARAKTERISTIK DATA TLE

2.1 Deskripsi Data

Sebuah elset terdiri dari dua baris data dengan 69 karakter untuk masing-masing baris. Karakter yang bisa digunakan dalam TLE hanyalah angka 0-9, huruf besar A-Z, titik, spasi, tanda positif dan negatif (Kelso, 2005a). Masing-masing baris sebuah elset terdiri atas *field-field*. Masing-masing *field* terdefinisi pada kolom-kolom tertentu dan menyatakan suatu informasi yang spesifik.

Format TLE adalah:

- 1 NNNNNNC NNNNNNAAA NNNNN. NNNN NNNN +.NNNNNNNN +NNNNN-N +NNN NN-N N NNNNN
- 2 NNNNN NNN. NNNN NNN. NNNN NNNN NNN NNN. NNNN NNN. NNNN NN. NNN NNNNNNNNNNN

Pada format ini kolom bertanda 'spasi' atau 'titik' tidak dapat berisi karakter lain. Kolom bertanda 'N' dapat berisi angka 0-9 atau spasi. Kolom bertanda 'A' dapat berisi huruf A-Z atau spasi. Kolom bertanda 'C' dapat berisi karakter yang menyatakan klasifikasi TLE set biasanya U (*unclassified data*) atau S (*secret data*). Kolom bertanda '+' dapat berisi tanda positif, tanda negatif, atau spasi. Kolom bertanda '-' dapat berisi tanda positif, tanda negatif, atau spasi (jika sisa *field* tidak kosong). Deskripsi data TLE dapat dilihat di Tabel 2-1. Penjelasan lebih lengkap untuk setiap *field* dapat dibaca di referensi (Kelso,

2005a). Sebagai contoh, berikut sebuah elset satelit Telkom 1:

- 1 25880U 99042A 06170.20854500 - .00000341 00000-0 10000-3 0 1899
- 2 25880 000.0071 320.5595 0001756 127.8496 001.9170 01.00270616 25163

Dari elset di atas bisa diketahui bahwa waktu pengamatan satelit Telkom 1 tersebut adalah tanggal 19 Juni 2006 pukul 05:00:18 UTC, inklinasi satelit ketika itu 0.0071° , *RAA node* 320.5595° , eksentrisitas 0.0001756, *argument of perigee* 127.8496° , *mean anomaly* 1.9170° , *mean motion* 1.00270616 *rev/day*, dan lain-lain.

2.2 Aplikasi Data

Data TLE yang *di-download* dari internet dapat berupa data hasil pengamatan terakhir sebuah satelit (data tunggal) atau kumpulan data sebuah satelit yang berurut menurut waktu (data jamak atau *historical data*). Data tunggal biasanya digunakan pada program-program prediksi orbit yang banyak beredar di pasaran seperti TrakStar, WinTrak, LogSat, dan WinOrbit. Data jamak selain digunakan untuk prediksi orbit, juga biasa digunakan pada penelitian tentang pengaruh cuaca antariksa pada orbit satelit seperti penelitian tentang perubahan aktivitas matahari pada orbit satelit LEO (Sinambela, 1996).

Program prediksi yang menggunakan TLE sebagai masukannya harus menggunakan model berbasis *Simplified General Perturbation* disingkat SGP (Kelso, 1988). Ini karena data TLE sebenarnya adalah data elemen orbit Keplerian rata-rata yang diperoleh menggunakan model SGP. Dengan model ini efek gaya-gaya pengganggu utama "dimasukkan" ke dalam nilai rata-rata dengan cara tertentu. Akibatnya untuk menggunakan data TLE dengan akurasi maksimal diperlukan kembali model SGP untuk memperhitungkan efek gaya-gaya pengganggu utama tadi.

Tabel 2-1:DESKRIPSI DATA TLE

field	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
kolom	1 2	3 4 5 6 7	8 9	01	2 3 4	5 6 7	8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2	3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3	4 5 6 7 8 9 0 1 2 3	4 5 6 7 8 9 0 1	2 3 4	5 6 7 8	9
baris	1	NNNNN	C	NN	NNN	AAA	NN	NNN.NNNNNNNN	+ .NNNNNNNN	+NNNNN-N	+NNNNN-N	N	NNNN	N
contoh	1	16609	U	86	017	A	01	062.20636684	.00382388	12180-4	29147-4	0	782	7

field	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
kolom	1 2	3 4 5 6 7	8 9 0 1 2 3 4 5 6	7 8 9 0 1 2 3 4 5	6 7 8 9 0 1 2 3	4 5 6 7 8 9 0 1 2	3 4 5 6 7 8 9 0 1	2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3	4 5 6 7 8	9	10
baris	1	NNNNN	NNN.NNNN	NNN.NNNN	NNNNNN	NNN.NNNN	NNN.NNNN	NN.NNNNNNNN	NNNNN	N	
contoh	2	16609	51.6362	249.6171	0048914	224.8684	134.9353	16.33569098	86330	5	

Baris 1			Baris 2		
Field	Kolom	Deskripsi	Field	Kolom	Deskripsi
1	01	Line Number of Element Data	1	01	Line Number of Element Data
2	03-07	Satellite Number	2	03-07	Satellite Number
3	08	Classification	3	09-16	Inclination Degrees]
4	10-11	International Designator (Last two digits of launch year)	4	18-25	Right Ascension of the Ascending Node [Degrees]
5	12-14	International Designator (Launch number of the year)	5	27-33	Eccentricity (decimal point assumed)
6	15-17	International Designator (Piece of the launch)	6	35-42	Argument of Perigee JDegrees]
7	19-20	Epoch Year (Last two digits of year)	7	44-51	Mean Anomaly Degrees]
8	21-32	Epoch (Day of the year and fractional portion of the day)	8	53-63	vlean Motion [Revs per day]
9	34-43	First Time Derivative of the Mean Motion	9	64-68	Revolution number at epoch [Revs]
10	45-52	Second Time Derivative of Mean Motion (decimal point assumed)	10	69	Checksum (Modulo 10)
11	54-61	BSTAR drag term (decimal point assumed)			
12	63	Ephemerystype			
13	65-68	Element number			
14	69	Checksum (Modulo 10)			

2.3 Kasalahan Data

Akurasi data TLE bergantung pada beberapa faktor. Di antaranya adalah sensor yang digunakan untuk memperoleh data tersebut dan jumlah data yang dikoleksi untuk tipe orbit dan kondisi lingkungan antariksa yang ditinjau (Kelso, 2005a). Di samping itu, pembatasan angka desimal pada parameter-parameter orbit yang dikandungnya, turut membatasi akurasi data TLE. Contohnya, sudut-sudut yang hanya dinyatakan dalam 4 desimal akan mengakibatkan ketidakpastian sekitar 6 m untuk satelit LEO dan sekitar 35 m untuk GEO (Vallado, 2001 hal. 116).

Terkait dengan data jamak, kadang didapati ada *historical data* TLE yang

mengandung duplikasi elset. Selain itu didapati juga data TLE yang keliru format datanya dan salah pada uji *checksum*. Uji *checksum* adalah tes untuk mengetahui benar tidaknya data yang ditransmisikan dari satu lokasi ke lokasi lain (Encarta, 2006).

3 PEROLEHAN DATA

Untuk penelitian ini data TLE yang digunakan adalah data jamak dari 117 buah satelit (*Space Track*, 2006). Sebanyak 52 di antaranya adalah satelit LEO, 8 MEO, dan 57 GSO (Tabel 3-1, 3-2, dan 3-3). Dengan menggunakan data jamak maka kajian yang menggunakan data tunggal pun dapat dilakukan.

Tabel 3-1: DAFTAR SATELIT LEO YANG DITELITI

BeppoSax	Intelsat 3-F5	Landsat 5	Oscar 22	Soyuz-TMA 5	Yohkoh
Clementine	Iridium 9	Landsat 7	Priroda	Spektr	Zarva
CZ-3A R-B	Iridium 27	Mir	PSLV deb	Starshine	
CZ-4 DEB	Iskra 1	Nusat 1	Salvut 7	Starshine 2	
Delta 2 R-B	Iskra 2	OEX	Scout X-4 deb	Starshine 3	
Explorer 1	Iskra 3	Orsted	Skvlab 1	Tiungsat	
Explorer 1 1	Kristall	Oscar 1	SL-8 R-B	UOSAT 12	
Explorer 1 1 deb	Kvant 1	Oscar 9	SL-12 R-B	Vanguard 1	
Glomr	Kvant 2	Oscar 11	SL-16 deb	Vanguard 2	
HST	Landsat 4	Oscar 13	SNOE	Vanguard 3	

Tabel 3-2: DAFTAR SATELIT MEO YANG DITELITI

1 Delta 1 deb	Echo 2	Lageos 1	Prognoz 6
1 Echo 1	Integral	Lageos 2	Topex

Tabel 3-3: DAFTAR SATELIT GSO YANG DITELITI

Anik F2	GMS 2	Insat1A	Intelsat 4-F8	Palapa 2	STTW4
Apple	GMS 3	Insat 1B	Intelsat 502	Palapa B1	STTWT2
Arabsat1A	GMS 4	Insat 1C	Kiku2	Palapa B2	TDRS6
Arabsat 1B	GMS 5	Insat 2A	LES8	Palapa B2P	Telkom 1
Arabsat 1DR	GOES 4 AKM	Insat 2B	Meteosat 3	Palapa B2R	Telkom 2
ATS1	GStar 1	Insat 2C	Olympus 1	Palapa B4	Westar 3
Ayame 2	GStar 2	Insat 2D	Optus A1	Palapa CI	Yuri
Chinasat 5	GStar 3	Intelsat 1-F1	Optus A2	Palapa C2	
Garuda 1	HGS 1	Intelsat 2-F1	Optus A3	Sakura 2A	
GMS 1	Indostar 1	Intelsat 2-F2	Palapa 1	STTW3	

Data di-*download* secara *ascending* menurut waktu. Data masing-masing satelit disimpan dalam file teks misalnya file bepposax.txt yang berisi TLE satelit BeppoSax dari tanggal 30 April 1996 (tanggal peluncuran) hingga 29 April 2003 (tanggal jatuh).

4 TEKNIK DAN PROGRAM PENGOLAHAN DATA

Ada kalanya terjadi duplikasi elset dalam data jamak yang di-*download*. Dua elset yang memiliki *epoch* sama berdampingan. Contohnya adalah kasus satelit Clementine (NORAD number 25978) untuk tiga elset berikut:

• 1 25978U 99064B 05125.42283938
.00000711 00000-0 91310-4 0 8188

• 2 25978 098.2908 128.3864 0010222
328.9355 031.1253 14.84495911292726

• 1 25978U 99064B 05125.42283938
.00000711 00000-0 91310-4 0 8177

• 2 25978 098.2908 128.3864 0010222
328.9355 031.1253 14.84495911292726

• 1 25978U 99064B 05125.69245392
.00000701 00000-0 90167-4 0 8198

• 2 25978 098.2902 128.6670 0010216
327.9090 032.1470 14.84496112292766

Terlihat bahwa nilai *field-field* elset pertama dan kedua adalah sama kecuali nomor elemen (*element number*)-nya (818 dan 817). Seharusnya setelah elset pertama adalah elset ketiga yang memiliki nomor elemen 819. Terkadang elset yang di-*download* memiliki format data yang keliru dan gagal pada uji

checksum - kendati situs internet yang menyajikan elset tersebut menyatakan bahwa elset yang disajikannya telah lulus *checksum*. Contohnya adalah kasus objek Delta 2 R-B (NORAD number 28390) untuk elset berikut:

- 1 28390U 04220.34665334 .00323934 -43082-6 59873-3 0 123
- 2 28390 32.2304 189.3096 3601631 318.7764 18.9753 8.41600372 341

Baris pertama elset ini formatnya keliru karena jumlah kolomnya 70 selain itu *field* 4, 5, dan 6 kosong. Baris pertama elset tersebut juga gagal uji *checksum*. Jika dilakukan prediksi dengan masukan data TLE maka harus digunakan model orbit berbasis *Simplified General Perturbation* disingkat SGP seperti SGP4 dan SDP4 (Kelso, 1988).

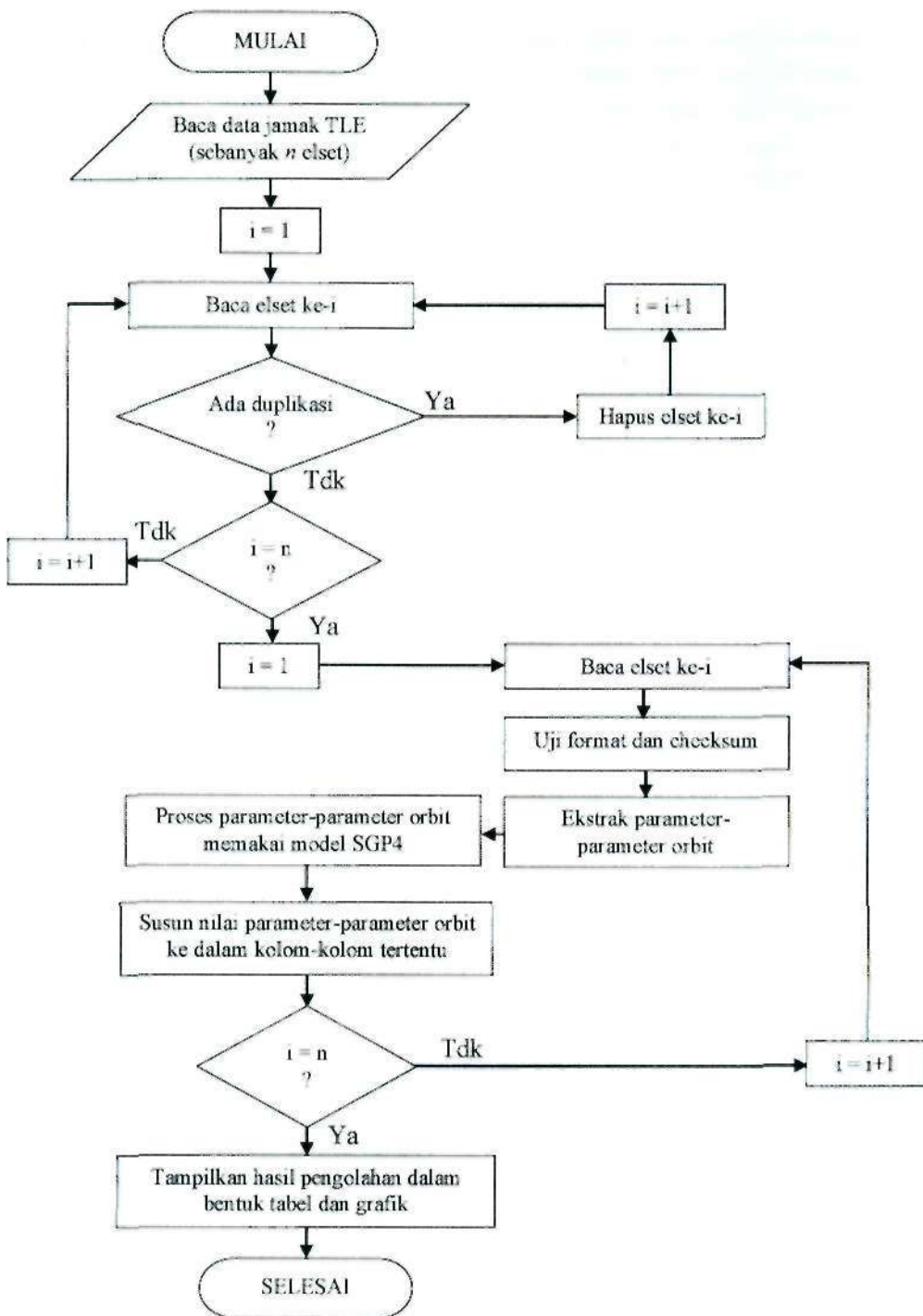
Berdasarkan hal-hal tersebut telah dirancang teknik pengolahan data TLE dengan algoritma sebagai berikut (untuk diagram alirnya lihat Gambar 4-1):

- Baca data jamak TLE.
- Teliti apakah terdapat duplikasi pada data. Duplikasi ini didefinisikan terjadi jika *epoch* (waktu pengamatan) TLE yang sedang diproses sama atau lebih kecil daripada *epoch* TLE sebelumnya. Jika terjadi demikian maka elset yang sedang diproses tadi dihapus untuk menghilangkan duplikasi. Teknik ini dilakukan dengan asumsi tidak ada data orbit yang hilang ketika menghapus *elset* yang sedang diproses. Asumsi ini diambil berdasarkan pengamatan penulis bahwa dua elset berdampingan dengan *epoch* yang sama umumnya mengandung nilai-nilai parameter orbit yang tepat sama. Kalaupun terjadi perbedaan, selisihnya sangat kecil.
- Lakukan uji format dan *checksum* terhadap data untuk lebih memastikan validitasnya. Informasikan hasil pengujian tersebut. Langkah ini memanfaatkan kode-kode program yang terdapat dalam *SGP4 Pascal Library* (Kelso, 2005b).

- Ekstrak parameter-parameter orbit dari TLE bersangkutan memanfaatkan kode-kode program yang terdapat dalam *SGP4 Pascal Library* (Kelso, 2005b).
- Olah parameter-parameter orbit yang telah diperoleh memakai model SGP4 untuk memperoleh akurasi yang maksimal. Inti pengolahan ini adalah melakukan prediksi orbit memakai model SGP4 dengan selang waktu prediksi sama dengan nol sehingga yang dihasilkan adalah nilai baru parameter-parameter orbit pada *epoch* bersangkutan. Langkah ini memanfaatkan kode-kode program yang terdapat dalam *SGP4 Pascal Library* (Kelso, 2005b).
- Susun nilai parameter-parameter orbit yang telah diperoleh ke dalam kolom-kolom tertentu berdasarkan jenis parameternya.

Algoritma ini kemudian diimplementasikan menjadi program pengolahan data TLE yang diberi nama NORAD TLE Translation dengan kemampuan sebagai berikut:

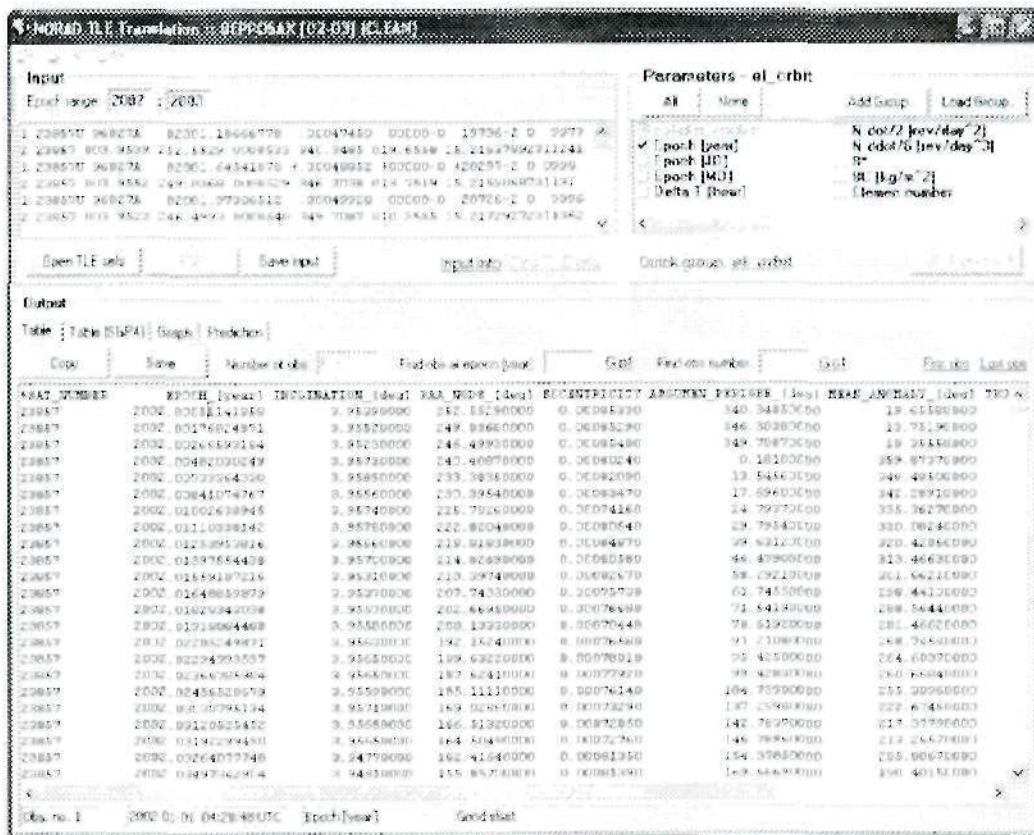
- Mampu menghilangkan duplikasi data yang terjadi.
- Mampu melakukan uji format dan *checksum* terhadap data dan menginformasikan hasilnya.
- Mampu mengekstrak kemudian menata berbagai parameter orbit yang terkandung dalam TLE ke dalam kolom-kolom tertentu sehingga membentuk sebuah tabel (Gambar 4-2). Program ini dapat memproses sekumpulan TLE untuk satu satelit maupun banyak satelit. Di samping parameter yang langsung diekstrak dari data TLE, program ini juga mampu menghitung beberapa parameter turunan seperti jarak satelit dari bumi dan ketinggian satelit. Tabel yang dihasilkan dapat berupa kumpulan nilai parameter-parameter orbit yang telah diolah dengan model SGP4 maupun yang asli (belum diolah dengan model SGP4).



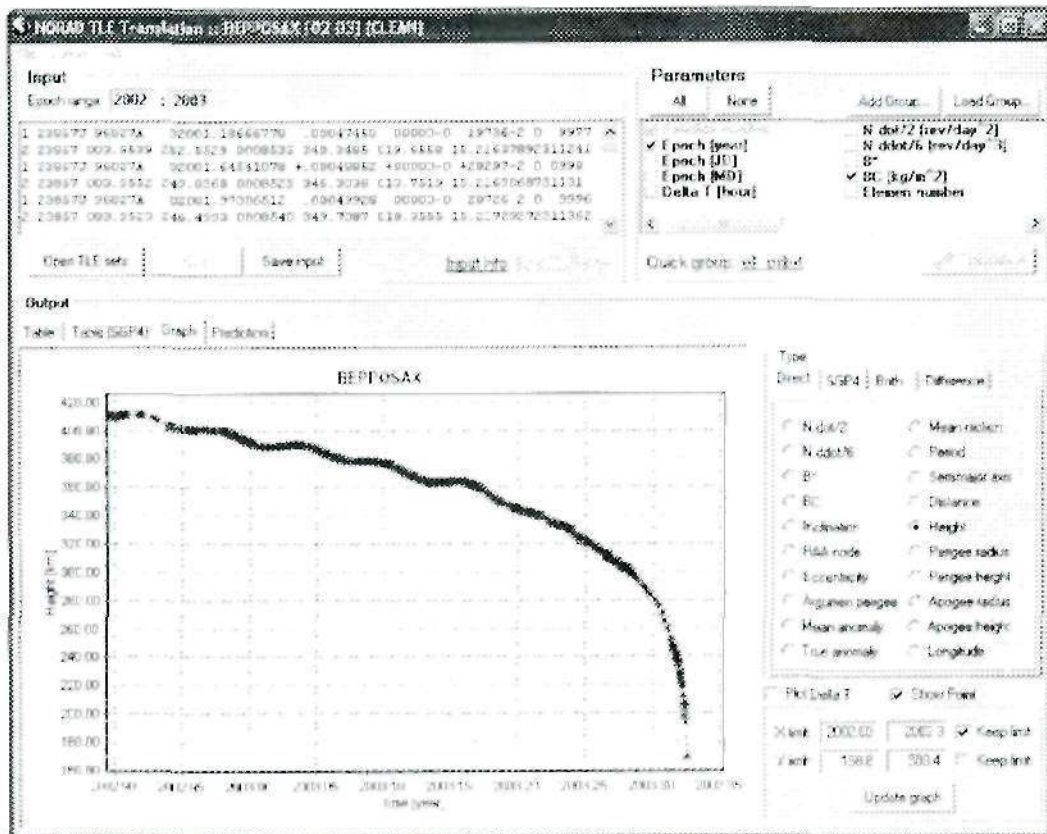
Gambar 4-1: Diagram alir teknik pengolahan data TLE

Mampu menampilkan grafik parameter-parameter orbit yang diekstrak dan diturunkan dari data TLE (Gambar 4-3). Program juga dapat menampilkan grafik parameter orbit yang telah diolah memakai model SGP4 bersama-sama dengan grafik parameter orbit yang asli (belum diolah dengan model SGP4) sehingga dapat dengan cepat dilakukan studi banding (Gambar 5-1). Mampu memprediksi parameter orbit

satelit memakai model orbit berbasis SGP yakni SGP4 dan SDP4. Hasil prediksi ditampilkan dalam tabel dan gambar (Gambar 4-4). Prediksi dilakukan dengan memanfaatkan *SGP4 Pascal Library* (Kelso, 2005b) dan kode program yang dibuat oleh David A. Vallado (Vallado, 2001). Tabel yang dihasilkan program ini dapat dengan mudah disalin atau disimpan untuk digunakan pada aplikasi lain.



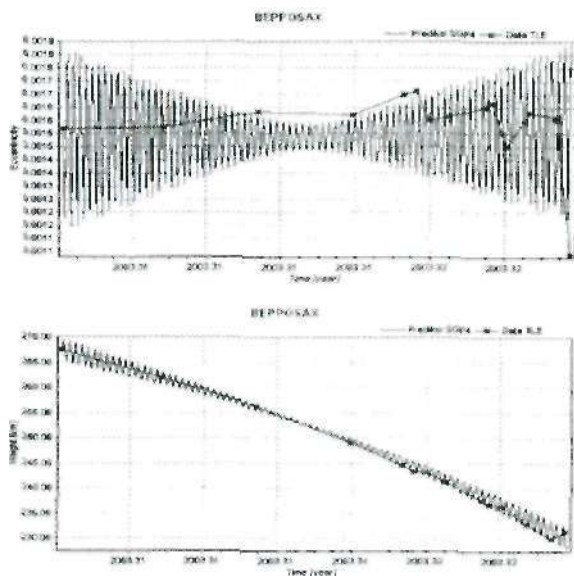
Gambar 4-2: Keluaran program NORAD TLE Translation yang berupa tabel



Gambar 4-3: Keluaran program NORAD TLE Translation yang berupa gambar

5 HASIL PENGOLAHAN DATA

Dari hasil pengolahan data diketahui bahwa duplikasi dialami oleh hampir semua *historical data* yang diteliti (Tabel 5-1, 5-2, dan 5-3). Sebanyak 38 dari 52 satelit LEO (73%), seluruh satelit MEO (100%), dan 53 dari 57 satelit GSO (hampir 93%) mengalami duplikasi. Duplikasi terbanyak untuk LEO dialami satelit Mir (26.6%) diikuti Kvant 1 (19.8%). Duplikasi terbanyak untuk MEO dialami oleh satelit Lageos 1 (22.9%) diikuti Lageos 2 (4%). Duplikasi terbanyak untuk GSO dialami oleh satelit GMS 5 (29%). Hanya sedikit satelit yang mengalami kesalahan *checksum* dan format yakni 5 dari 52 satelit LEO (9.6%). Satelit MEO dan GSO tidak ada yang mengalami kesalahan *checksum* dan format.



Gambar 4-4: Keluaran program NORAD TLE Translation berupa grafik prediksi eksentrisitas (kiri) dan ketinggian satelit (kanan) dibandingkan dengan data untuk satelit BeppoSax.

Tabel 5-1: BANYAKNYA DUPLIKASI DAN *CHECKSUM ERROR* YANG TERDAPAT PADA DATA YANG DITELITI UNTUK SATELIT LEO

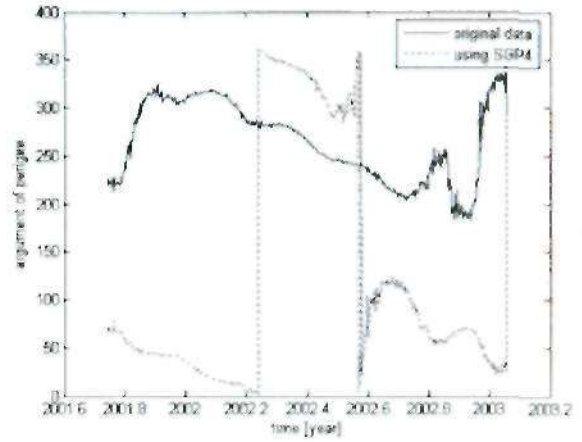
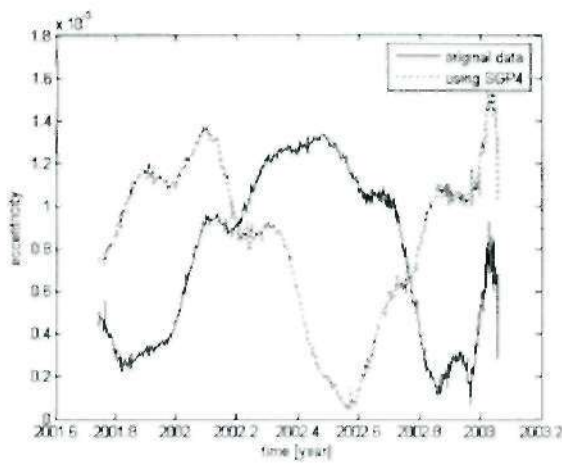
Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)	Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)
Delta 2 R-B	804	9	23	1.12	Explorer 11	9120	21	0	0.23
Mir	22333	5950	14	26.64	Orsted	3296	7	0	0.21
Landsat 5	15505	1458	1	0.40	Oscar 11	8333	14	0	0.17
Seoul X-4 deb	69G2	21	1	0.30	Vanguard 1	7369	12	0	0.16
Iridium 9	2981	5	1	0.17	BeppoSax	2671	4	0	0.15
Kvant 1	7212	1431	0	19.84	Starshine 3	957	1	0	0.10
Kristall	5347	905	0	16.93	Oscar 22	5802	6	0	0.10
Kvant 2	5648	951	0	16.84	Vanguard 3	8620	8	0	0.09
Spektr	2362	235	0	9.95	Vanguard 2	8458	6	0	0.07
Soyuz-TMA 5	219	20	0	9.13	SNOE	3262	2	0	0.06
Priroda	1938	100	0	8.26	Iridium 27	2380	1	0	0.04
Zarya	11345	252	0	2.22	CZ-3A R-B	5488	1	0	0.02
Explorer 1	557	10	0	1.80	Explorer 11 deb	3974	0	0	0.00
Starshine 2	299	4	0	1.34	Glomr	088	0	0	0.00
PSLV deb	1248	15	0	1.20	Intelsat 3-F5	4042	0	0	0.00
Landsat 7	5990	57	0	0.95	Iskra 1	516	0	0	0.00
CZ-4 DEB	2898	20	0	0.00	Iskra 2	78	0	0	0.00
Tiungsat	2797	16	0	0.57	Iskra 3	47	0	0	0.00
SL-12 R-B	2428	13	0	0.54	Nusat 1	489	0	0	0.00
Clementine	7133	3(3	0	0.50	OEX	55	0	0	0.00
UOSAT 12	G257	30	0	0.48	Oscar 1	13	0	0	0.00
Landsat4	8606	39	0	0.45	Oscar 9	1829	0	0	0.00
Yohkoh	6692	28	0	0.42	Oscar 13	791	0	0	0.00
SL-8 R-B	10258	40	0	0.30	Salyut 7	4247	0	0	0.00
SL-16deb	4749	18	0	0.38	Skylab 1	838	0	0	0.00
HST	7 144	19	0	0.27	Starshine	507	0	0	0.00

Tabel 5-2: BANYAKNYA DUPLIKASI DAN *CHECKSUM ERROR* YANG TERDAPAT PADA DATA YANG DITELITI UNTUK SATELIT MEO

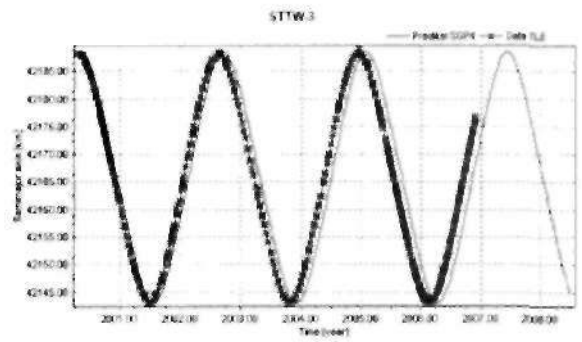
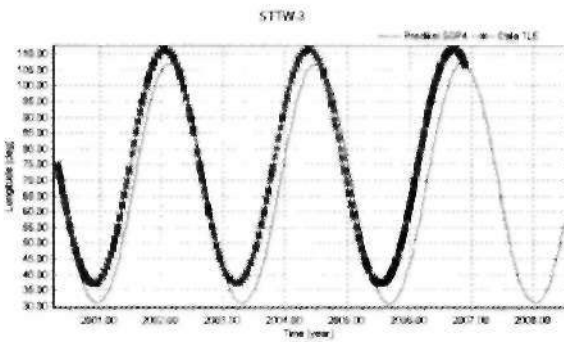
Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)	Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)
Lageos 1	12564	2885	0	22.96	Integral	323	3	0	0.93
Lageos 2	7667	319	0	4.16	Prognoz 6	112	1	0	0.89
Echo 2	377	11	0	2.92	Delta 1 deb	6387	17	0	0.27
Echo 1	509	6	0	1.18	Topex	8586	2	0	0.02

Tabel 5-3: BANYAKNYA DUPLIKASI DAN *CHECKSUM ERROR* YANG TERDAPAT PADA DATA YANG DITELITI UNTUK SATELIT GSO

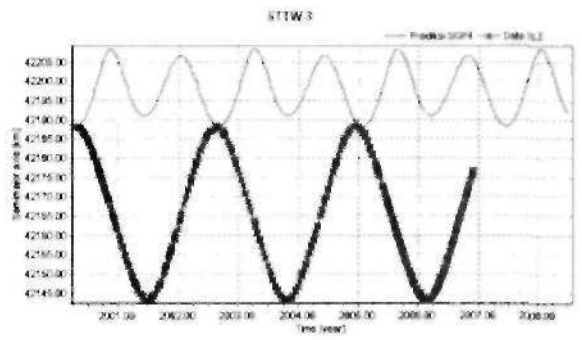
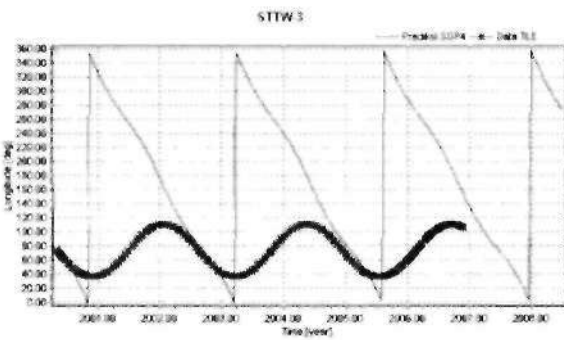
Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)	Satelit	Jml TLE	Jml dupl	csum error	dupl (%)
QMS 5	2953	857	0	29.02	Olympus 1	2068	13	0	0.63
Meteosat 3	2127	309	0	14.53	GMS 3	2330	14	0	0.60
GOES 4 AKM	64	5	0	7.81	Insat IB	2392	14	0	0.59
Telkom 2	137	5	0	3.65	Palapa CI	1546	9	0	0.58
Intelsat 1-F1	290	9	0	3.10	Chinasat 5	4761	26	0	0.55
Ayame 2	313	7	0	2.04	LES8	3453	17	0	0.49
Palapa B2R	651	12	0	1.84	TDRS6	1445	7	0	0.48
Insat 1A	810	14	0	1.73	GStar 3	2510	12	0	0.48
Yuri	1860	27	0	1.45	Apple	2172	10	0	0.46
Anik F2	287	4	0	1.39	STTW 4	4209	18	0	0.43
Insat 1C	2177	28	0	1.29	GStar 1	3219	12	0	0.37
Palapa 2	1235	15	0	1.21	Sakura 2A	2780	10	0	0.36
Insat 2C	1818	21	0	1.16	Arabsat 1DR	3430	10	0	0.29
Insat 2B	1934	22	0	1.14	Palapa B2P	2464	6	0	0.24
ATS1	2434	25	0	1.03	STTW 3	4605	11	0	0.24
Insat 2D	1562	16	0	1.02	GStar 2	2604	6	0	0.23
Kiku2	1524	15	0	0.98	Optus A2	5000	10	0	0.20
Insat 2A	2345	21	0	0.90	Intelsat 2-F1	3065	4	0	0.13
Intelsat 2-F2	1010	9	0	0.89	Indostar 1	1611	2	0	0.12
Arabsat 1A	2301	20	0	0.87	Palapa ("2	1362	1	0	0.07
STTW T2	2199	18	0	0.82	Intelsat 502	3143	2	0	0.06
Optus A1	2450	20	0	0.82	Intelsat 4-F8	1957	1	0	0.05
GMS4	4080	33	0	0.81	Palapa B1	2405	1	0	0.04
Optus A3	3420	27	0	0.79	Westar 3	2591	1	0	0.04
HGS 1	1049	8	0	0.76	Garuda 1	1146	0	0	0.00
Palapa 1	1184	9	0	0.76	Palapa B2	303	0	0	0.00
Arabsat IB	2963	22	0	0.74	Palapa B4	1572	0	0	0.00
GMS 1	2930	21	0	0.72	Telkom 1	1156	0	0	0.00
GMS2	2054	14	0	0.68					



Gambar5-1: Perbandingan elemen orbit hasil translasi langsung (legend: *original data*) dengan translasi memakai model SGP4 (legend: *using SGP4*) untuk eksentrisitas (kiri) dan *argument of perigee* (kanan) untuk satelit StarShine 3



Gambar 5-2: Prediksi bujur (gambar kiri) dan setengah surabau panjang (gambar kanan) satelit STTW 3 dengan masukan TLE tanggal 18 April 2000 pukul 17:10:01 UTC



Gambar 5-3: Prediksi bujur (gambar kiri) dan setengah sumbu panjang (gambar kanan) satelit STTW 3 dengan masukan TLE tanggal 18 April 2000 pukul 22:30:20 UTC

Data elemen orbit yang telah diolah dengan model SGP4 umumnya berbeda nilainya dengan data asli. Besarnya perbedaan ini bergantung pada

jenis elemen orbit bersangkutan dan TLE-nya. Bisa terjadi elemen orbit tertentu setelah diolah dengan model SGP4 memberikan profil yang jauh berbeda

bahkan berlawanan dengan aslinya. Elemen orbit yang kadang berperilaku seperti ini adalah eksentrisitas, *argument of perigee*, dan *mean anomaly* (Gambar 5-1).

Prediksi memakai model SGP4 sangat sensitif terhadap masukan data TLE-nya. Ini terlihat pada prediksi bujur, setengah sumbu panjang, dan periode satelit-satelit GSO. Sebagai contoh, prediksi bujur dan setengah sumbu panjang satelit STTW 3 memakai TLE tanggal 18 April 2000 pukul 17:10:01 UTC sebagai berikut:

- 1 19710U 88111A 00109.71529250 - .00000086 +00000-0+10000-3 0 05308
 - 2 19710 003.7802 074.4984 0005304 260.8670 204.2784 01.00191848035037
- memberikan hasil seperti terlihat pada Gambar 5-2.

Sedang prediksi bujur dan setengah sumbu panjang satelit STTW 3 memakai TLE tanggal 18 April 2000 pukul 22:30:20 UTC sebagai berikut:

- 1 19710U 88111A 00109.93774001 - .00000085 +00000-0 +10000-3 0 05318
 - 2 19710 003.7806 074.4982 0005129 261.2812 284.0965 01.00191789035038
- memberikan hasil seperti terlihat pada Gambar 5-3.

6 KESIMPULAN

Duplikasi elset dalam sebuah *historical data* TLE seringkali terjadi. Kesalahan format dan kegagalan uji *checksum* pun mungkin terjadi pada sebuah TLE walaupun kemungkinannya kecil. Karena itu pengolahan data yang dilakukan sebaiknya dimulai dengan menghilangkan duplikasi tersebut dan menginformasikan jika terjadi kesalahan format dan kegagalan uji *checksum*. Dengan demikian data yang diolah nantinya adalah data yang benar-benar diperlukan dengan validitas yang tidak meragukan lagi.

Data elemen orbit yang telah diproses dengan model SGP4 umumnya berbeda nilainya dengan data asli (sebelum diolah dengan model SGP4). Besarnya

perbedaan ini bergantung pada jenis elemen orbit bersangkutan dan TLE-nya. Boleh jadi elemen orbit tertentu dari sebuah satelit setelah diolah dengan model SGP4 memberikan profil yang jauh berbeda dengan aslinya seperti kadang terlihat pada eksentrisitas, *argument of perigee*, dan *mean anomaly*. Karena itu untuk memperoleh akurasi terbaik, TLE yang diperoleh dari internet harus diproses terlebih dahulu memakai model SGP4 sebelum parameter-parameter orbit di dalamnya dimanfaatkan untuk penelitian.

Prediksi orbit dengan masukan TLE juga harus menggunakan model orbit berbasis SGP seperti SGP4 dan SDP4 untuk memperoleh akurasi yang maksimal. Didapati bahwa prediksi memakai model ini ternyata sangat sensitif terhadap masukan TLE-nya. Ini terlihat pada prediksi bujur, setengah sumbu panjang, dan periode satelit-satelit GSO. Oleh karena itu, diperlukan kehati-hatian dalam memilih TLE yang akan dipakai sebagai masukan.

Telah dihasilkan sebuah program komputer yang dapat digunakan untuk mengolah data TLE. Program ini dapat menghapus duplikasi elset yang terdapat dalam sebuah *historical data* TLE, mendeteksi adanya kesalahan format dan kegagalan uji *checksum* sebuah elset, serta mengoreksi data TLE dan memprediksi orbit memakai model SGP4. Hasil pengolahan data menggunakan program ini dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar.

DAFTAR RUJUKAN

- Encarta, 2006. *English Dictionary*. Microsoft® Student 2007 [DVD], Redmond, WA: Microsoft Corporation.
- Kelso, T.S., 1988. *Models for Propagation of NORAD Element Sets*, Spacetrack Report no. 3, www.celestrak.com download 17 April 2006.
- Kelso, T.S., 2005a. Frequently Asked Questions: *Two-Line Element Set Format*, www.celestrak.com, download 10 April 2005.

- Kelso, T.S., 2005b. *SGP4 Pascal Library Version 2.65*, www.celestrak.com, download 18 April 2005.
- Sinambela, Wilson; T. Djameluddin, Clara Yono Yatini, 1996. *Pengaruh Aktivitas Matahari pada Orbit Satelit LEO*, Majalah LAPAN no. 78 hal. 59-64.
- Space-track, 2006. *Data TLB*, www.space-track.org, download Mei 2005 hingga November 2006.
- Vallado, David A. 2001. *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, Space Technology Library, Microcosm Press, El Segundo, CA.