

ANALISIS SISTEM DINAMIKA TERBANG (*FLIGHT DYNAMICS*) SATELIT LAPAN TUBSAT

Abdul Rahman ^{*)}, Agus Nuryanto^{**)}

^{*)}Peneliti Pusat Teknologi Elektronika Dirgantara, LAPAN

^{**)}Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara, LAPAN

ABSTRACT

Launch and Early Orbit Phase (LEOP) is a critical step in satellite operation activities. The main activity in launch and early orbit phase are tracking, checking and controlling, the attitude as well as payload testing. This paper will explain the LEOP activities gradually in accordance with flight dynamics of LAPAN-TUBSAT Satellite or LAPAN-A1 Satellite.

Keywords : *LEOP, Flight dynamics, LAPAN-TUBSAT Satellite*

ABSTRAK

Phase peluncuran dan awal orbit (*Launch and Early Orbit Phase – LEOP*) merupakan tahapan kritis dalam siklus pengoperasian sebuah satelit. Aktivitas utama dalam phase peluncuran dan awal orbit satelit terdiri dari pelacakan, pengecekan sistem satelit, pengendalian sikap dan pengujian muatan. Dalam makalah ini akan diulas tahapan-tahapan tersebut terkait dengan sistem dinamika terbang (*Flight Dynamics*) Satelit LAPAN-TUBSAT atau Satelit LAPAN-A1.

Kata Kunci : *LEOP, Dinamika Terbang (flight dynamics), LAPAN-TUBSAT Satellite*.

1 PENDAHULUAN

Phase peluncuran dan awal orbit (*Launch and Early Orbit Phase-LEOP*) merupakan tahapan yang kritis dalam siklus pengoperasian sebuah satelit. Banyak sekali faktor yang menentukan keberhasilan sebuah peluncuran hingga satelit bisa beroperasi pada orbitnya. Faktor-faktor penentu tersebut ada yang berada dalam domain kendali operator satelit di Pusat Pengendali Satelit (*Spacecraft Control Center-SCC*) ada pula yang di luar kendali operator.

Berbagai ketidakpastian dalam peluncuran satelit harus diantisipasi oleh operator. Beberapa skenario kejadian perlu disimulasikan sebelum proses peluncuran dilaksanakan. Proses simulasi akan membantu operator dalam membuat keputusan secara cepat. Rangkaian aktivitas yang dilakukan akan disesuaikan dengan data kondisi terkini yang di-

peroleh dari satelit atau wahana peluncur. Jadi aktivitas LEOP ini bersifat deskriptif analitis. Operator satelit berusaha menguraikan data-data yang diperoleh untuk kemudian dianalisis. Analisis- analisis tersebut menjadi acuan dalam aktivitas berikutnya.

Aktivitas utama dalam fase peluncuran dan awal orbit satelit ini adalah pelacakan, pengecekan sistem satelit, pengendalian sikap dan pengujian muatan. Pada proses pelacakan, Pusat Pengendali Satelit (*Spacecraft Control Center-SCC*) satelit harus mendapatkan data-data parameter orbit yang akurat untuk memprediksikan lintasan satelit. Jika data-data tersebut tidak akurat maka stasiun bumi tidak bisa mengakses satelit sehingga proses pelacakan tidak bisa dilakukan. Ada dua sumber yang bisa dimanfaatkan untuk mendapatkan data orbit ini yakni ISRO-

India (*Indian Space Research Organisation- ISRO*) sebagai penyedia jasa peluncur dan NORAD (*North Aerospace Defense Command*)-Amerika Serikat yang memiliki radar untuk memantau semua objek terbang di wilayahnya.

Setelah proses pelacakan berhasil dilakukan, Pusat Pengendali Satelit melakukan pemeriksaan melalui pengambilan telemetri dari satelit. Berdasarkan telemetri tersebut akan diketahui apakah semua sistem satelit bekerja dengan baik atau tidak. Setelah proses pengecekan dan analisisnya selesai, Pusat Pengendali Satelit (*Spacecraft Control Center-SCC*) akan melakukan proses pengendalian sikap satelit.

Aktivitas terakhir yang dilakukan dalam LEOP ini adalah pengujian pada muatan satelit yakni kamera video. Pengujian pada dua kamera video itu hanya akan dilakukan jika sikap satelit telah terkendali. Selanjutnya satelit akan dinyatakan siap menjalankan misinya jika telah berhasil melalui berbagai tahapan tersebut.

Setelah fase awal orbit dilalui, satelit akan melakukan berbagai misi pengambilan gambar video. Berdasarkan proses pengendalian sikap satelit, teknik pengambilan gambar video ini secara garis besar dibedakan menjadi dua yakni pengendalian interaktif dan pengendalian *nadir pointing*.

Pada modus pengendalian *nadir pointing*, satelit selalu diarahkan ke *nadir* dengan sedikit interaksi dari operator. Umumnya pengendalian sikap tersebut menggunakan sistem otonomi penuh. Stasiun bumi tinggal menerima data dari satelit dengan atau tanpa melakukan perintah. Satelit akan meliputi permukaan bumi dalam cakupan kamera di sepanjang lintasannya.

Pada proses pengendalian interaktif, operator berada dalam lingkaran sistem kendali (*man on the loop*). Operator

dapat secara langsung memerintahkan sistem kendali satelit untuk menengok ke depan-belakang atau kiri-kanan berdasarkan gambar video yang dipancarkan satelit secara *realtime*.

Pengoperasian satelit mikro LAPAN-TUBSAT secara interaktif tersebut sejalan dengan misi pengembangannya yakni :

- Sebagai wahana uji sistem penentuan dan kendali sikap. Misi ini dibuat untuk pengujian kelayakan terbang sistem penentuan dan kendali sikap seperti *reaction wheel* baru, IRE-303, yang dibuat di TU-Berlin dan *star sensor CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)* Vectronic. *Reaction wheel* satelit LAPAN-TUBSAT lebih besar daripada yang dipakai oleh DLR-TUBSAT dan MAROC-TUBSAT. Sedangkan penggunaan *star sensor CMOS* merupakan hal baru karena *star sensor* yang dipakai oleh DLR-TUBSAT dan MAROC-TUBSAT memakai teknologi CCD (*Charge Coupled Device*). *Star sensor* yang baru ini memiliki diameter lensa yang lebih besar,
- Pengamatan video (*video surveillance*); kelincahan satelit mikro dapat dimanfaatkan untuk mengamati lokasi-lokasi di luar titik lintasan satelit tersebut. Teknologi ini berbasis pengalaman DLR-TUBSAT yang berhasil melakukan pengamatan permukaan bumi dengan video secara interaktif. Desain LAPAN-TUBSAT memilih kamera video CCD berwarna sebagai muatan utamanya,
- Komunikasi *store and forward*; LAPAN-TUBSAT menyediakan beberapa tempat pada *flash* dan RAM pada komputernya untuk uji coba komunikasi *store and forward*.

2 TUJUAN

Penelitian dinamika terbang satelit LAPAN-TUBSAT ini dilakukan untuk mencapai beberapa tujuan sebagai berikut :

- Mempersiapkan proses pelacakan satelit LAPAN-TUBSAT yang meliputi akuisisi dan analisis parameter orbit,
- Melakukan karakterisasi sikap satelit LAPAN-TUBSAT,
- Mengendalikan sikap satelit LAPAN-TUBSAT agar dapat menjalankan misinya dengan baik,
- Melakukan uji coba pengoperasian satelit LAPAN-TUBSAT dalam modus pengendalian interaktif maupun nadir pointing.

3 METODOLOGI

Pada kegiatan peluncuran dan fase awal orbit satelit terdapat berbagai ketidakpastian yang harus diantisipasi oleh operator. Beberapa skenario kejadian perlu disimulasikan sebelum proses peluncuran dilaksanakan. Proses simulasi akan membantu operator dalam membuat keputusan secara cepat. Rangkaian aktivitas yang dilakukan akan disesuaikan dengan data kondisi terkini yang diperoleh dari satelit atau wahana peluncur. Jadi aktivitas LEOP ini bersifat deskriptif-analitis. Operator satelit berusaha menguraikan data-data yang diperoleh untuk kemudian dianalisis. Analisis-analisis tersebut menjadi acuan dalam aktivitas berikutnya.

Pada kegiatan-kegiatan operasi pasca LEOP, aktifitas yang dilakukan berupa eksperimen. Berbagai uji coba operasi bisa dilakukan karena kondisi satelit lebih terkendali dan terpantau. Operator dapat melakukan operasi berdasarkan skenario yang ditetapkan sebelumnya.

4 ANALISIS

4.1 Proses Akuisisi Orbit dan Pelacakan Satelit LAPAN-TUBSAT

Setelah satelit dilepaskan dari wahana peluncur PSLV-C7 (*Polar Satellite*

Launch Vehicle-PSLV), C7: Commercial seri ke-7, pada tanggal 10 Januari 2007 04:12:31.59 UTC, ISRO mengirimkan parameter-parameter orbit LAPAN-TUBSAT saat ditempatkan pada orbitnya. Namun, parameter-parameter orbit ini segera *expired* setelah 24 jam. Stasiun pengendali tidak bisa lagi menggunakan parameter-parameter orbit tersebut untuk proses pelacakan satelit selanjutnya.

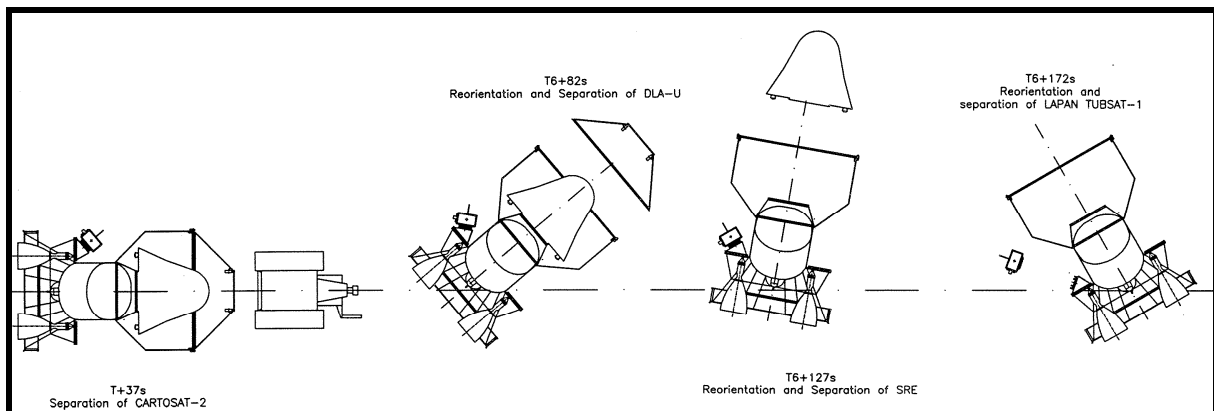
Tabel 4-1 menunjukkan parameter orbit satelit LAPAN-TUBSAT sebagai referensi untuk melacak posisi di orbit ketika satelit LAPAN-TUBSAT dilontarkan oleh roket menempati orbit. Pada tanggal 11 Januari 2007, NORAD (*North Aerospace Defense Command*) mempublikasikan lima obyek terbang baru yang terlacak oleh radarnya. Obyek tersebut merupakan obyek-obyek yang diorbitkan oleh wahana peluncur PSLV-C7. LAPAN-TUBSAT merupakan obyek dengan orbit terendah karena pada saat manuver separasi LAPAN-TUBSAT dilempar ke belakang.

Pada elemen orbit (Tabel 4-2), inisial 2007-001E dipastikan sebagai elemen orbit LAPAN-TUBSAT karena pada separasi dari roket pengorbit PSLV-C7 LAPAN-TUBSAT paling terakhir dilontarkan seperti ilustrasi pada Gambar 4-1. Pada tanggal 13 Januari 2007, NORAD sudah mengidentifikasi elemen orbit LAPAN-TUBSAT, seperti pada Tabel 4-3.

Akuisisi pertama satelit LAPAN-TUBSAT dilakukan pada tanggal 10 Januari 2007 06:49 UTC melalui stasiun pengendali di Spitzberg-Nourwegia. Proses akuisisi tersebut dilakukan pada lintasan kedua stasiun pengendali Spitzberg. Stasiun pengendali memberikan kesempatan kepada satelit untuk mengumpulkan daya melalui panel suryanya sekitar 2,5 jam sebelum diperintah.

Tabel 4-1: PARAMETER ORBIT LAPAN-TUBSAT DARI ISRO SETELAH SEPARASI

SUBJECT	: POD RESULTS FROM CLG-INS PSLV-C7 / LAPANTUBSAT MISSION	
REFERENCE FRAME	: Earth Mean Equator and Equinox of J2000	
EPOCH	: 2007 01 10 04:12:31.591 (UTC)	
Injection Parameters		
ALTITUDE LOCAL (KM)	=	642.51722312
LOCAL RADIUS OF EARTH (KM)	=	6369.94884642
VELOCITY (KM/SEC)	=	7.53805032
FLIGHT PATH ANGLE (DEG)	=	90.01465527
AZIMUTH INERTIAL (DEG)	=	190.14462238
GEODETIC LATITUDE (DEG)	=	-38.33603615
EAST LONGITUDE(DEG)	=	72.53599737
Orbital Elements		
SEMI-MAJOR AXIS (KM)	=	7010.06242095
ECCENTRICITY	=	0.00042778
INCLINATION (DEG)	=	97.95990626
ARGUMENT OF PERIGEE (DEG)	=	1.89828078
RIGHT ASC. OF ASC. NODE (DEG)	=	71.28906193
MEAN ANAMOLY (DEG)	=	216.73653779
State Vector		
X (KM)	=	-2331.83011042
Y (KM)	=	-4995.97007735
Z (KM)	=	-4333.30493952
XD (KM/SEC)	=	0.73683313
YD (KM/SEC)	=	4.71788196
ZD (KM/SEC)	=	-5.83274115
PERIGEE ALTITUDE (KM)	=	637.11481393
APOGEE ALTITUDE (KM)	=	643.11233514



Gambar 4-1: Manuver pelepasan LAPAN-TUBSAT dari wahana peluncur

Tabel 4-2: ELEMEN ORBIT OBYEK-OBYEK TERBANG BARU DARI NORAD

2007-001A							
1	29709U	07001A	07011.48731627	.00004533	00000-0	61691-3 0	62
2	29709	97.8932	72.5834 0027346	299.6048	60.2426	14.78989499	161
2007-001B							
1	29710U	07001B	07011.75767154	.00000568	00000-0	83386-4 0	91
2	29710	97.9479	72.9569 0012996	269.7527	90.2093	14.79282837	249
2007-001C							
1	29711U	07001C	07011.75717393	.00012827	00000-0	17059-2 0	84
2	29711	97.9430	72.9512 0014717	279.4324	80.5188	14.79780761	247
2007-001D							
1	29712U	07001D	07011.75742881	.00001733	00000-0	23852-3 0	88
2	29712	97.9436	72.9526 0013288	275.1282	84.8339	14.79511450	205
2007-001E							
1	29713U	07001E	07011.55394056	.00003250	00000-0	43439-3 0	61
2	29713	97.9428	72.7556 0012393	289.5670	70.4242	14.80157408	153

Tabel 4-3: ELEMEN ORBIT LAPAN-TUBSAT DARI NORAD

LAPAN-TUBSAT							
1	29709U	07001A	07013.31158416	-.00000153	00000-0	-13148-4 0	123
2	29709	97.9422	74.4933 0012226	281.9236	78.0605	14.80152520	437

Tabel 4-4: TELEMETRI PERTAMA PADA UNIT PENGENDALI DAYA LAPAN-TUBSAT

## LAPAN			
SERVER#####			
2007/01/10 06:51:52 PCDH high level command			
[0xB5 0xAB 0xEE 0x0A 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x00 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE]			
PCU Telemetry			
Switch Register	:	00000000	00000000 00000000 00000000
Status Fuse/TTC	:	00000000	00000011
System Time	:	10424s = 0d 2h 53min 44sec	
Solar Panel +X	:	1.1V	12mA
Solar Panel -X	:	14.6V	133mA
Solar Panel -Y	:	14.6V	167mA
Solar Panel -Z	:	14.7V	894mA
Sun Sensor +Y	:		1mA
Sun Sensor +Z	:		-0mA
Main Power Bus	:	14.22V	180mA
Voltage 29V/12V/-5V	:	26.52V	0.02V -4.99V
Current TTC1/TTC2	:	64mA	62mA
Current Gyros/Wheels	:	14mA	44mA
Current Coils/STS	:	5mA	12mA
Current Stepper+Cam/S-Band	:	20mA	22mA
Temp PCDH CPU/Housing/DCDC:	:	13°C	12°C 16°C
Temp Battery/Middle Plate	:	12.3°C	8.9°C
Temp +X/-X	:	2.6°C	6.0°C
Temp +Y/-Y	:	1.1°C	3.0°C
Temp +Z/-Z	:	2.1°C	4.5°C
Temp S-Band	:	9.4°C	
Target Current Coil X/Y/Z	:	-0mA	-0mA -0mA

Tabel 4-5: TELEMETRI PERTAMA PADA OBDH LAPAN-TUBSAT

```

## LAPAN
SERVER#####
2007/01/10 06:52:01 PCDH high level command
[0xB5 0xAB 0xEE 0x0A 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x10 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE
0xEE]

OBDH Telemetry

Hammer Counter : OFE0 * 324s = 15d 5h 45min 36sec
Reset Counter : 0
Flag Register : 00010000 11000000 00000000 00000000
System Time : 10434s = 0d 2h 53min 54sec
Command Counter: 2
Com Enable : 00000000

ON Time (remaining power-on time)
Wheel X/Y : 4294967295s (OFF) 4294967295s (OFF)
Wheel Z : 4294967295s (OFF)

Gyro X/Y : 4294967295s (OFF) 4294967295s (OFF)
Gyro Z : 4294967295s (OFF)

Stepper : 4294967295s (OFF)
Cam 1/2 : 4294967295s (OFF) 4294967295s (OFF)
S-Band : 4294967295s (OFF)
STS / Coils : 4294967295s (OFF) 4294967295s (OFF)

Timed Switch ON Time: 4294967295s
Timed Switch ON Reg. : 00000000 00000000 00000000 00000000

Timed Exec Time : 4294967295s
Timed Exec Address : 0x00000000

Event Log Pointer : 0x0047E0A4
Telemetry Pointer : 0x00470400

Error Code : 0x08D48000
Error Stack Ptr : 0x21000000
Error Address : 0x04020160
Status Register : 01000101 00000100 01010000 00000000
    
```

Pada telemetri pertama, *switch register* Unit Pengendali Daya (*PCU - Power Control Unit*) menunjukkan angka nol semua. Hal ini menunjukkan bahwa semua subsistem dalam kondisi mati sesuai yang dipersyaratkan oleh wahana

peluncur. Telemetri OBDH (*On Board Data Handling*) juga memberikan konfirmasi bahwa semua subsistem dalam kondisi OFF dengan informasi yang lebih detail (Tabel 4-5).

Tabel 4-6: PENGATURAN POWER ON TIME PADA AWAL PELACAKAN

```

## LAPAN
SERVER#####
2007/01/10 06:56:47 PCDH high level command
[0xB5 0xAB 0xEE 0x0A 0xFF 0xFF 0xFF 0xFF 0x10 0xEE 0xEE 0xEE 0xEE
0xEE]
OBDAH Telemetry
Hammer Counter : 0FDF * 324s = 15d 5h 40min 12sec
Reset Counter : 1
Flag Register : 00000000 10000100 00000000 00000000
System Time : 10719s = 0d 2h 58min 39sec
Command Counter : 30
Com Enable : 00000000

ON Time (remaining power-on time)
Wheel X/Y : 1800s (OFF) 1800s (OFF)
Wheel Z : 1800s (OFF)
Gyro X/Y : 1800s (OFF) 1800s (OFF)
Gyro Z : 1800s (OFF)
Stepper : 1800s (OFF)
Cam 1/2 : 1800s (OFF) 1800s (OFF)
S-Band : 1800s (OFF)
STS / Coils : 1800s (OFF) 1800s (OFF)

Timed Switch ON Time : 4294967295s
Timed Switch ON Reg. : 00000000 00000000 00000000 00000000

Timed Exec Time : 4294967295s
Timed Exec Address : 0x00000000

Event Log Pointer : 0x0047E27C
Telemetry Pointer : 0x00470420

Error Code : 0x08D48000
Error Stack Ptr : 0x21000000
Error Address : 0x04020160
Status Register : 01000101 00000100 01010000 00000000
    
```

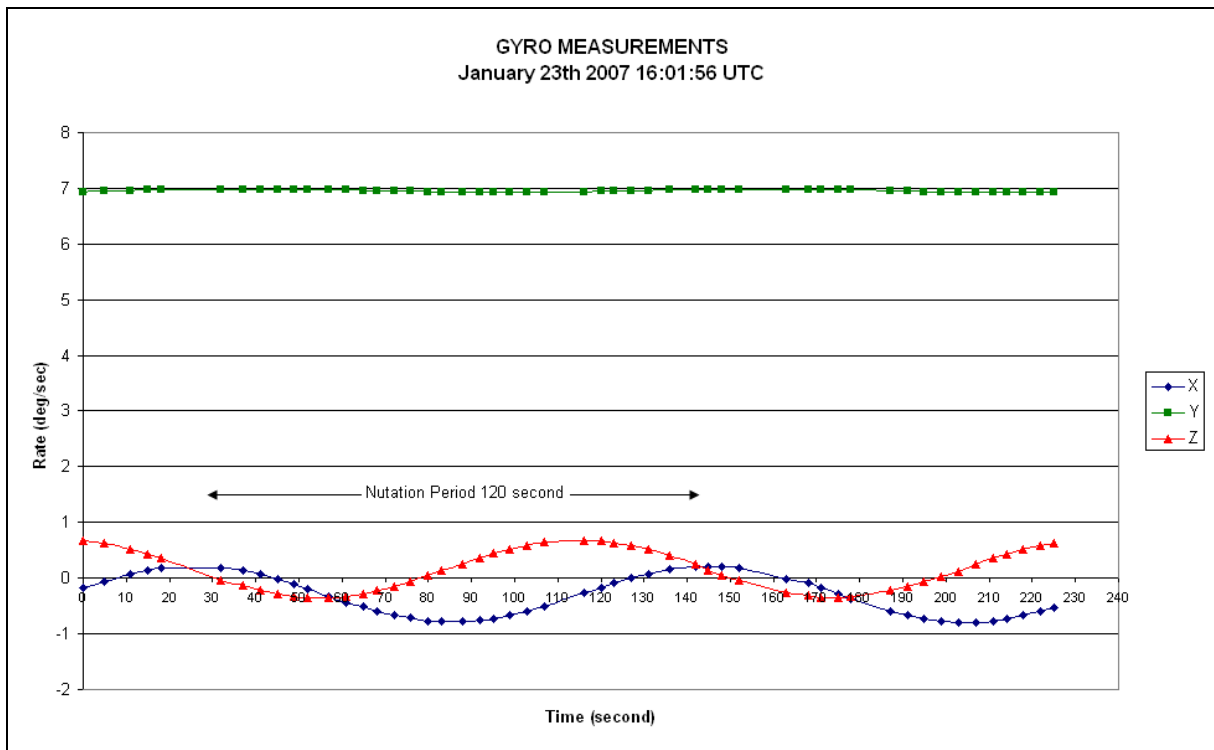
Pada pengendalian daya LAPAN-TUBSAT, terdapat prosedur untuk membatasi durasi pemenuhan daya ke tiap peralatan. Prosedur ini dinamakan *power on time*. *Power on time* ini harus diberi angka kecil untuk menghemat daya. Selama fase awal orbit, *power on time* diberi angka 1800 detik. Pada kondisi *default*, *setting* OBDAH tidak terbatas. Hal ini ditunjukkan dengan angka 4294967295 s.

4.2 Karakterisasi dan Stabilisasi Sikap Satelit LAPAN-TUBSAT

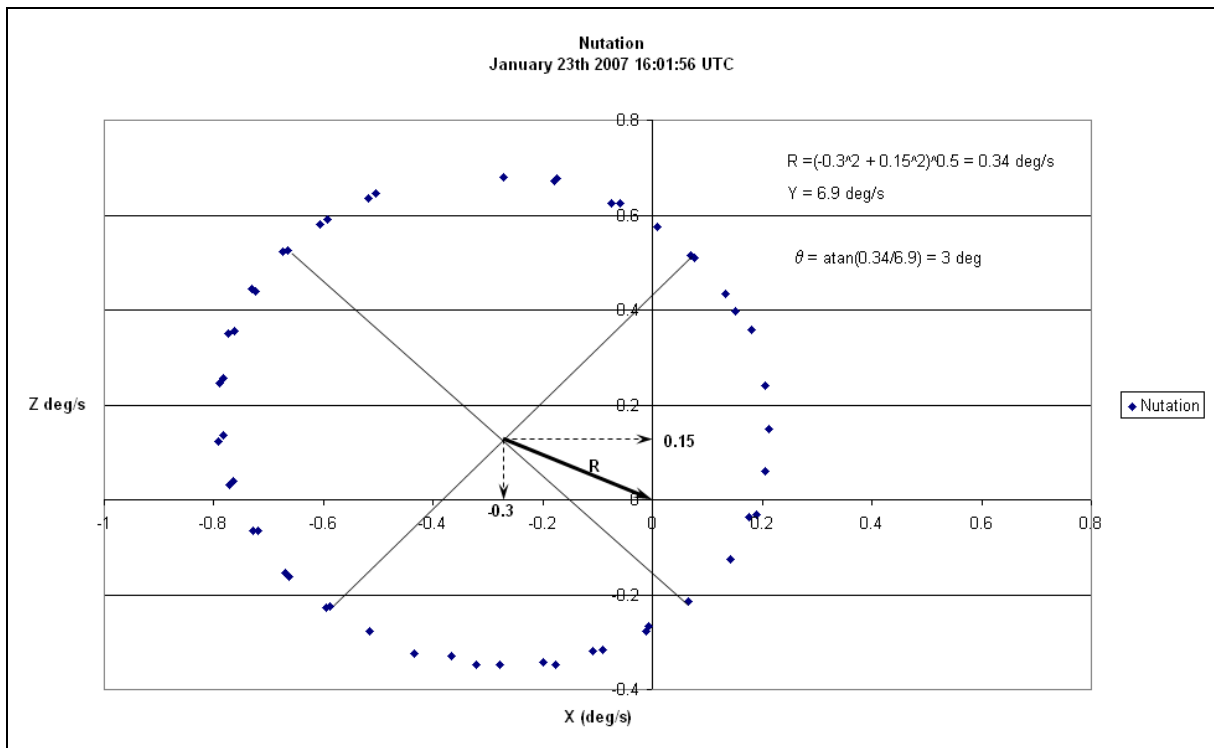
Stabilisasi sikap satelit LAPAN-TUBSAT berbasis metode momentum. Momentum *angular* dipelihara pada sumbu Y yang tegak lurus terhadap bidang orbit. Momentum angular ini

diinginkan setara dengan kecepatan *reaction wheel* 3000 – 4000 rpm.

Setelah separasi dari wahana peluncur, satelit sudah mempunyai momentum *angular* sekitar 0.19 Nms atau setara dengan putaran *reaction wheel* 2079 rpm. Untuk mencapai kondisi yang diinginkan, LAPAN-TUBSAT melakukan manuver pada coil Y untuk meningkatkan besar momentum dan mengarahkan vektornya. Proses pengendalian momentum *angular* agar *teak* lurus terhadap orbit berhasil dicapai pada 28 Januari 2007. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada 23 Januari 2007, LAPAN-TUBSAT mempunyai sudut nutasi sekitar 3 derajat saat semua *reaction wheel* dimatikan.



Gambar 4-2: Pengukuran periode nutasi LAPAN-TUBSAT



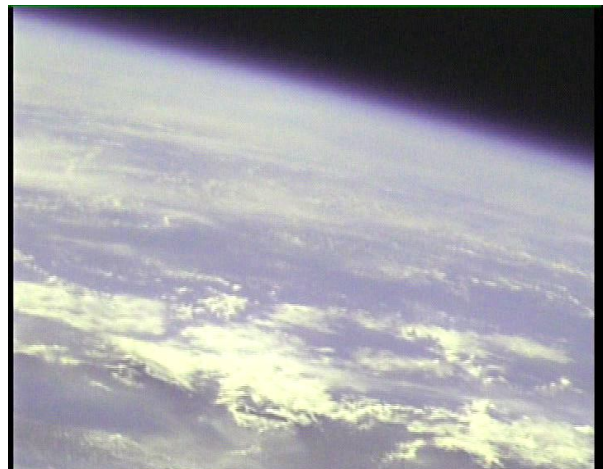
Gambar 4-3: Pengukuran sudut nutasi LAPAN-TUBSAT

Momentum *angular* satelit harus selalu dijaga agar selalu tegak lurus terhadap orbit. Pergeseran pada vektor momentum akan mengakibatkan

pointing pada kamera juga ikut bergeser. Pergeseran vektor momentum *angular* ini akan tampak pada saat satelit berputar dan kamera memotong horison.



Gambar 4-4: Horizon mendatar menunjukkan momentum *angular* satelit tegak lurus terhadap orbit



Gambar 4-5: Horison yang miring menunjukkan adanya pergeseran momentum *angular*

4.3 Pengoperasian Satelit LAPAN-TUBSAT

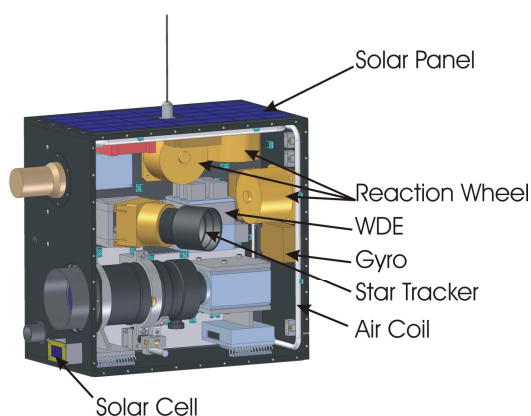
LAPAN-TUBSAT memiliki keunikan tersendiri karena selain dapat dioperasikan secara *nadir pointing*, satelit mikro ini juga bisa dikendalikan secara interaktif. Pada proses pengendalian interaktif, operator berada dalam lingkaran sistem kendali (*man on the loop*). Operator dapat secara langsung memerintahkan sistem kendali satelit untuk menengok ke depan-belakang atau kiri-kanan berdasarkan gambar video yang dipancarkan satelit secara *realtime*.

Kemampuan LAPAN-TUBSAT untuk dikendalikan secara interaktif ini tidak terlepas dari kelebihan sebuah satelit mikro yang mempunyai inersia kecil. Satelit dengan inersia yang kecil mudah sekali melakukan manuver. Teknologi tersebut dikembangkan dari dua generasi satelit mikro sebelumnya yakni DLR-TUBSAT dan MAROC-TUBSAT. Kedua satelit tersebut dibuat di TU-Berlin Jerman. DLR-TUBSAT merupakan satelit mikro yang dikendalikan secara interaktif sementara MAROC-TUBSAT

dioperasikan dengan metode *nadir pointing* pada saat pengambilan gambar.

Proses pengendalian secara interaktif membutuhkan kecepatan satelit dalam bermanuver. Hal tersebut dicapai dengan mengkombinasikan tiga giroskop dan tiga *reaction wheel*. Ketiga pasang giroskop-*reaction wheel* tersebut masing-masing dipasang pada setiap sumbu koordinat benda satelit (*fixed body coordinate*). Ketiga *wheel* tersebut dapat dengan bebas melakukan rotasi pada masing-masing sumbunya. Di samping itu giroskop dapat melakukan pengukuran kecepatan sudut satelit terhadap koordinat inersia secara independen. Sensor-sensor yang lain seperti *star sensor* dapat disilaukan oleh albedo bumi.

Proses pengendalian satelit diawal kontak dengan stasiun bumi harus dilakukan secara cepat dan akurat. Kombinasi giroskop-*reaction wheel* dapat menstabilkan satelit dalam waktu kurang dari 10 detik sehingga satelit dalam keadaan diam dan tidak berotasi. Begitu pula manuver yang diberikan oleh operator dari stasiun bumi dapat dilakukan oleh sistem kendali ini hanya dalam beberapa detik.



Gambar 4-6: Perangkat kendali sikap pada satelit LAPAN-TUBSAT

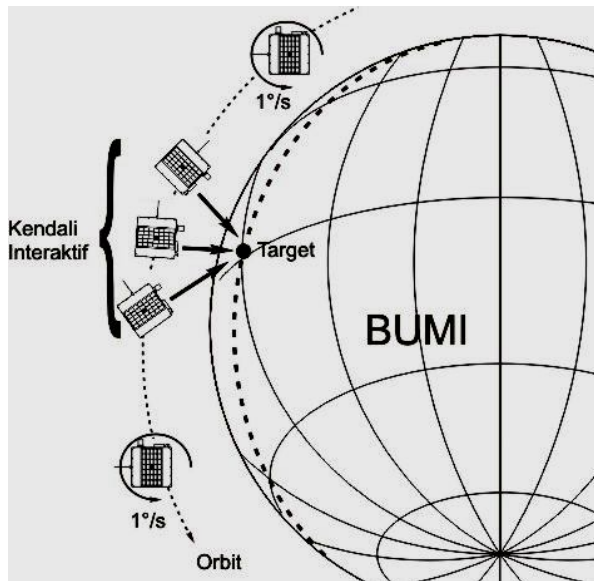
Pengendalian interaktif hanya dilakukan pada saat satelit berada di wilayah cakupan stasiun bumi. Jika satelit berada di luar jangkauan stasiun bumi maka satelit dikembalikan pada

modus momentum bias. Pada modus momentum bias, satelit berotasi $-1 \text{ }^\circ/\text{s}$ pada sumbu Y untuk mempertahankan momentum *angular*-nya. Momentum *angular* satelit dipertahankan agar selalu tegak lurus terhadap bidang orbit. Jadi kamera satelit senantiasa dapat memotong horison bumi sehingga memudahkan operator dalam mengambil gambar.

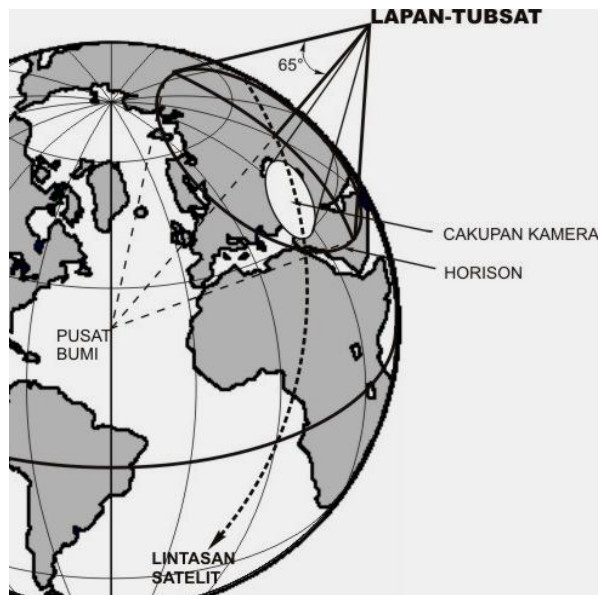
Pada proses pengendalian secara interaktif, satelit dapat diperintah untuk melakukan *target locking* sehingga operator dapat terus-menerus memantau sebuah titik walaupun satelit bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi yakni 7,54 km/s. Proses pengendalian tersebut dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Menghentikan gerakan satelit agar stabil terhadap inersia. Perintah ini dilakukan apabila kamera satelit telah mengarah ke bumi,
- Mencari target yang telah ditetapkan pada permukaan bumi,
- Mempertahankan agar target yang ditangkap oleh kamera dapat terus diamati (*target locking maneuver*). Hal ini dilakukan dengan menyesuaikan antara putaran yang harus dilakukan oleh satelit dengan kecepatan satelit melintas di atas target,
- Mengembalikan satelit dalam pada kondisi momentum biasanya jika waktu kontak dengan satelit sudah hampir berakhir.

Satelit LAPAN-TUBSAT mempunyai ketinggian sekitar 630 km. Pada ketinggian tersebut radius *angular* antara horison ke titik nadirnya sekitar 65° . Gambar yang bagus akan diperoleh jika kamera satelit tidak terlalu jauh dari titik nadirnya. Titik nadir tersebut berupa daerah yang dilihat oleh satelit pada saat menghadap lurus ke pusat bumi.



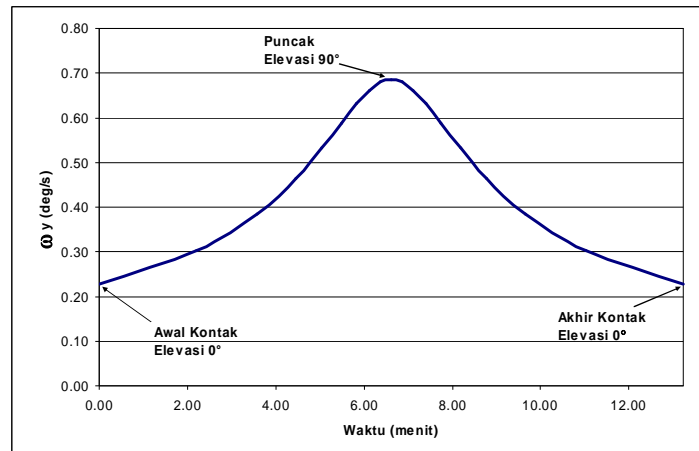
Gambar 4-7: Proses pengendalian interaktif



Gambar 4-8: Skema cakupan kamera satelit LAPAN-TUBSAT



Gambar 4-9: Penampakan horison pada kamera satelit LAPAN-TUBSAT



Gambar 4-10: Profil kecepatan putar satelit LAPAN-TUBSAT pada pengendalian interaktif

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, proses pengambilan gambar video pada satelit LAPAN-TUBSAT dapat dilakukan secara interaktif maupun *nadir pointing*. Pada operasi *nadir pointing*, kamera cukup diarahkan ke pusat bumi sehingga dapat meliputi seluruh permukaan bumi yang dilintasinya. Jika terdapat obyek pengamatan yang menarik, proses pengendalian dapat dilakukan secara interaktif. Operator kemudian mengarahkan kamera pada titik-titik tertentu yang menjadi obyek menarik tersebut. Obyek-obyek yang menarik tersebut bisa berupa sebuah titik kecil seperti puncak gunung atau sebuah wilayah yang cukup luas seperti kota.

Pada pengendalian interaktif, *target locking* dilakukan dengan memvariasikan putaran pada sumbu Y satelit agar bisa mengompensasi kecepatan satelit yang tinggi. Profil kecepatan putar satelit sejak awal hingga akhir kontak dapat dilihat pada Gambar 4-10.

5 HASIL PENGOLAHAN VIDEO SATELIT LAPAN-TUBSAT

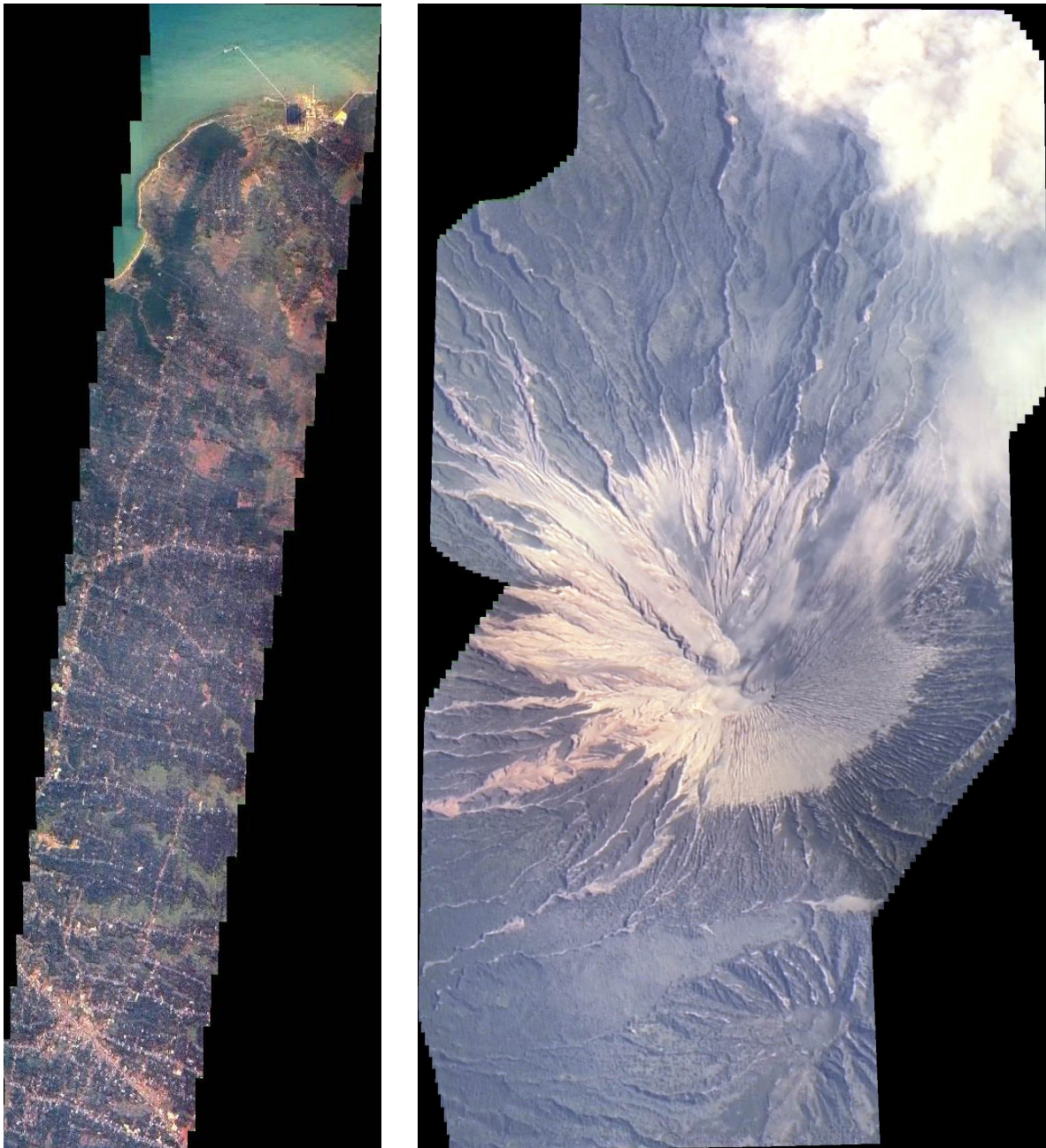
Misi utama satelit LAPAN-TUBSAT adalah pengamatan bumi (*video surveillance*). Misi pengamatan satelit LAPAN-TUBSAT didukung oleh dua buah kamera video analog. Pada kamera pertama, lensanya mempunyai panjang fokal 50 mm yang dipakai untuk mencari target pada skala yang lebih luas, sementara kamera kedua panjang fokal lensanya 1000 mm untuk pengamatan

beresolusi tinggi. Jika kamera pertama mempunyai resolusi atau ketajaman 200 m dengan lebar sapuan 81 km maka kamera kedua mempunyai resolusi lebih tinggi yakni 5 m dengan lebar cakupan 3.5 km.

Data-data yang diperoleh dari LAPAN-TUBSAT berupa video. Video tersebut dipancarkan secara langsung oleh satelit pada frekuensi S-Band 2220 MHz karena satelit tidak memiliki fasilitas penyimpanan data video. Data tersebut setelah diterima langsung direkam oleh stasiun bumi.

Data-data video tersebut dapat diekstrak menjadi gambar untuk kepentingan analisis lebih lanjut. Video yang dihasilkan oleh kamera satelit mempunyai kecepatan 30 *frame per second*, artinya dalam satu detik video terdapat 30 gambar atau frame. Gambar-gambar yang telah diekstrak tersebut kemudian dapat disusun kembali untuk menghasilkan susunan gambar yang lebih luas.

Pada pengendalian *nadir pointing*, susunan gambar yang dihasilkan berupa garis lurus dengan lebar 3,5 km sesuai dengan lebar cakupan kamera resolusi tinggi. Sementara itu, pengendalian interaktif bisa memberikan gambar yang lebih lebar. Hal ini tergantung pada manuver yang diperintahkan oleh operator. Berikut ini beberapa hasil rekaman video satelit LAPAN-TUBSAT yang telah diolah dalam bentuk digital sehingga informasi posisi dan letak objek bisa terukur.



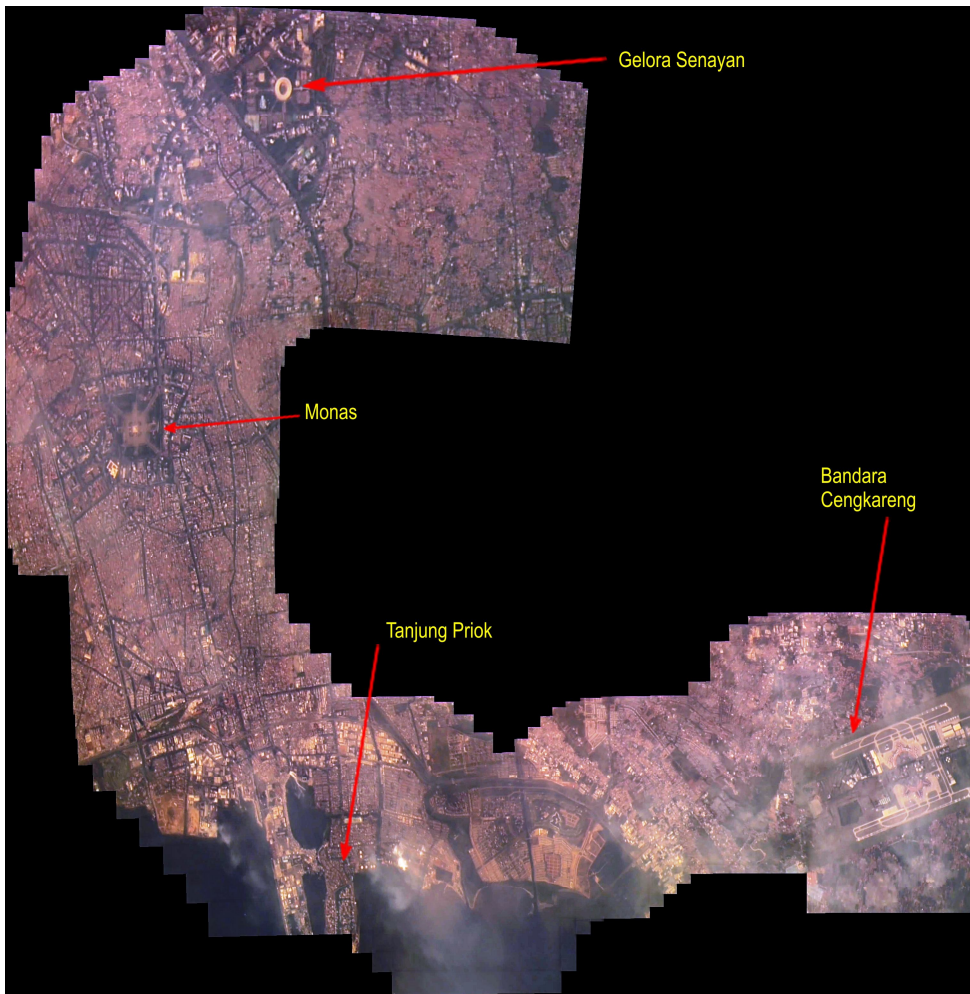
(a) Pengendalian Nadir Pointing di Atas Demak-Jateng (b) Pengendalian Interaktif di Atas Puncak Semeru

Gambar 5-1: Perbandingan antara gambar yang dihasilkan melalui pengendalian *nadir pointing* dengan pengendalian interaktif dari stasiun bumi satelit LAPAN-TUBSAT di Rumpin

Kemampuan satelit LAPAN-TUBSAT dalam bermanuver di sepanjang sumbu *roll*-nya dapat memperlebar cakupan pengamatan secara signifikan. Manuver tersebut dikenal dengan *cross-track maneuver*. Pada saat satelit melintasi wilayah Jakarta, cakupan pengamatan dengan kamera beresolusi tinggi bisa diperlebar hingga 20 km untuk mengamati beberapa obyek

penting dalam sekali melintas, seperti pada Gambar 4-12.

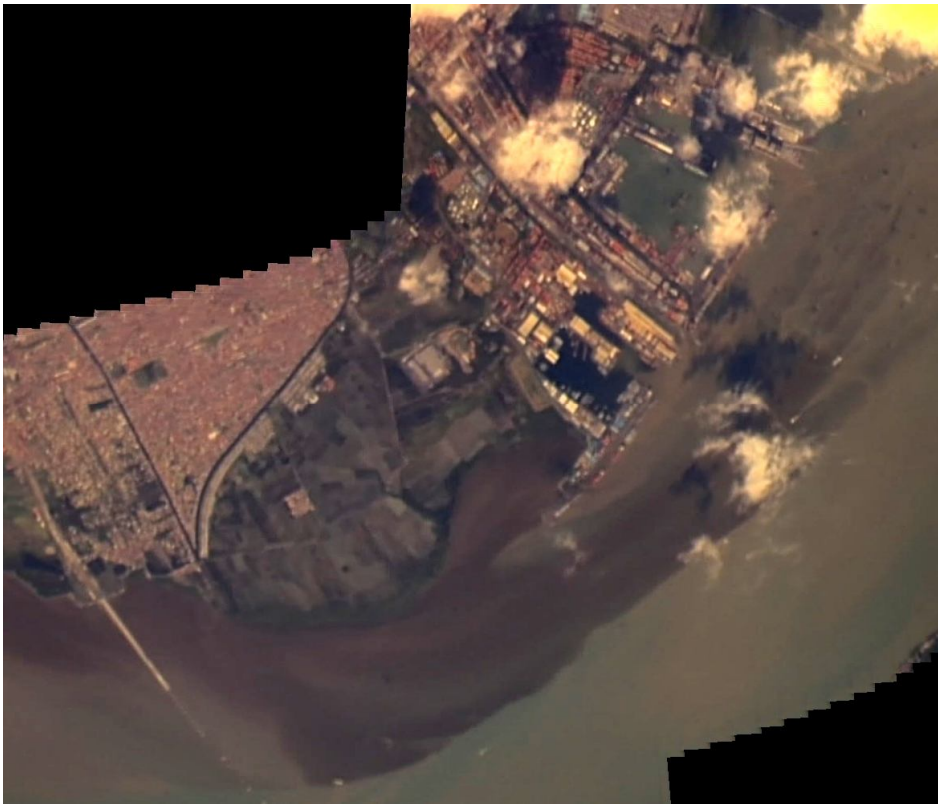
Gambar 4-13 sampai dengan 4-16 berbagai target di luar wilayah Indonesia dan wilayah Indonesia yang terpantau oleh satelit LAPAN-TUBSAT yang dioperasikan melalui stasiun bumi Satelit LAPAN-TUBSAT (*Spacecraft Control Center-SCC*) di Rumpin yang telah diolah dalam tampilan mozaik.



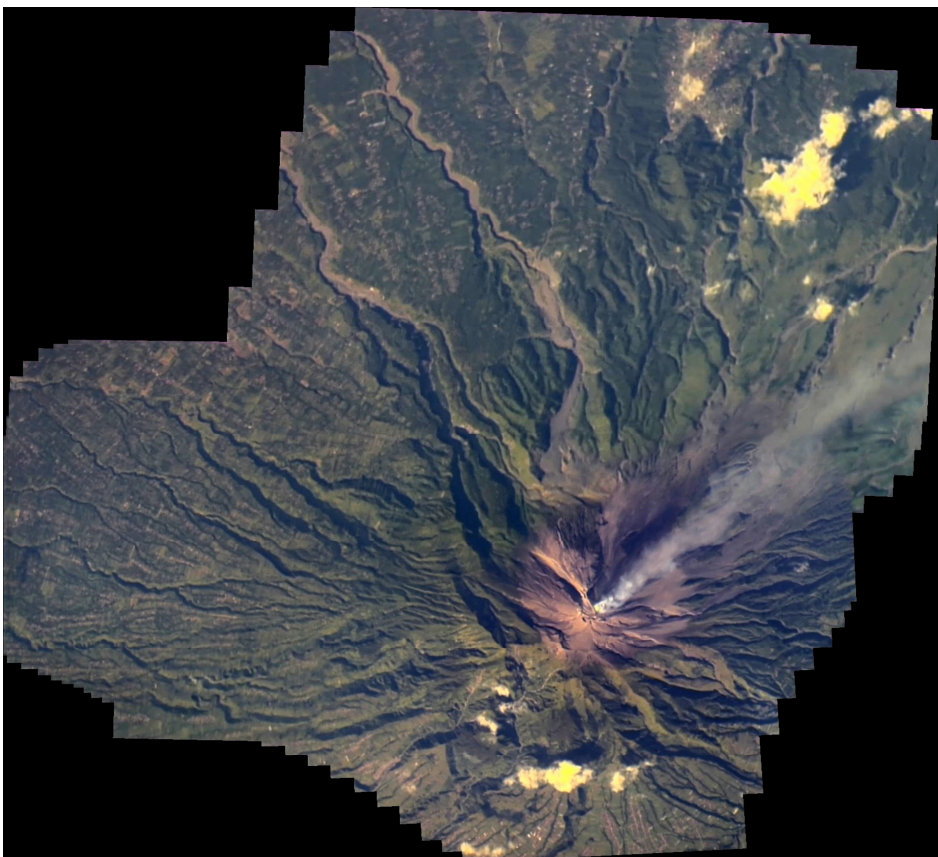
Gambar 5-2: Jakarta dari Stasiun Bumi satelit LAPAN-TUBSAT di Rumpin, tanggal 12 Juli 2007



Gambar 5-3: Bandara Changi - Singapura, 22 April 2007 dari Stasiun Bumi LAPAN-TUBSAT di Rumpin



Gambar 5-4: Tanjung Perak - Surabaya, 23 Mei 2007 dari Stasiun Bumi LAPAN-TUBSAT di Rumpin



Gambar 5-5: Gunung Merapi - Yogyakarta, 24 Mei 2007 dari Stasiun Bumi LAPAN-TUBSAT di Rumpin



Gambar 5-6: Gunung Bromo – Jawa Timur, 12 Juni 2007 dari Stasiun Bumi LAPAN-TUBSAT di Rumpin

6 KESIMPULAN

Proses pelacakan satelit LAPAN-TUBSAT dengan misi pengamatan bumi (*video surveillance*) dilakukan dengan memanfaatkan elemen orbit yang dipublikasikan oleh NORAD. Data-data elemen orbit tersebut dapat diperbarui setiap hari. Fase akuisisi dan pengujian satelit di orbit telah diselesaikan dalam waktu sekitar tiga bulan. Setelah itu satelit dinyatakan berfungsi dengan baik dan siap menjalankan misinya.

Satelit LAPAN-TUBSAT dapat dikendalikan secara *nadir pointing* maupun interaktif. Pengendalian secara interaktif dapat dimanfaatkan untuk melakukan *target locking* maupun untuk memperlebar cakupan kamera beresolusi tinggi. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, cakupan kamera resolusi tinggi tersebut dapat diperlebar secara signifikan melalui manuver *cross-track* yang dilakukan secara interaktif.

DAFTAR RUJUKAN

- Indian Space Research Organisation – ISRO, 2007. PSLV-C7Cartosat-2/SRE Mission.
- Renner, U., et al, 2007. *Report on Beginning Phase of LAPAN-TUBSAT Operation*, IRE.
- Renner, U., et al, 2007. *Report on Completion of Remaining LAPAN-TUBSAT Operation Phase*, IRE.
- Triharjanto, R.H., et al, 2004. *LAPAN-TUBSAT : Micro-Satellite Platform for Surveillance and Remote Sensing*; Proceedings of The 4S Small Satellite System and Services Symposium; La Rochelle, France.
- Wertz, J.R., 1978. *Spacecraft Attitude Determination and Control*, Kluwer Academic Publisher.