

PENGUJIAN MODUL PENGOLAH DATA TELEMETRI LAPAN-A3/IPB UNTUK MENGHASILKAN PRODUK LEVEL-0 (THE TEST OF LAPAN-A3/IPB TELEMETRY DATA PROCESSOR MODULE TO PRODUCE LEVEL-0 PRODUCT)

Suhermanto

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Pusat Teknologi Satelit
Jl. Cagak Satelit Km. 4, Bogor 16310 Indonesia
e-mail: suhermanto@lapan.go.id

Diterima 8 Desember 2015; Direvisi 28 Februari 2016; Disetujui 16 Mei 2016

ABSTRACT

Telemetry data processing modulus is a software for converting the LAPAN-A3/IPB telemetry data into raw sensor data (level-0 product). Telemetry data output from the High Data Rate Modulator-demodulator (HDRM) becomes an input for telemetry data processor, which has entered its setup parameter. The objective of the research is to test LAPAN-A3/IPB telemetry data processor implementation. The development and processing of telemetry data have been performed on a desktop computer that are divided into two stages, data decoding and data decomposition. The performance of the software has been tested using eight samples of raw-data, consisted of multi-spectral and camera matrix data obtained before and after the launch of the satellite. The test results showed, there were no missing telemetry data frames and damaged codeword in the process of decoding. Data on missing multi-spectral lines and data on camera matrix frame lost in the process of decomposition were not found. It was concluded that the overall performance of the test result was that the system used was not able to decode, decompose, display quick-look LISA, or extract camera matrix data in real-time. To perform as required, the computer performance needed to be increased up to 8 times. From this process, approximately 92% of CPU time were used for decoding and only about 8% were for the decomposition, extraction of data LISA, or extraction of data camera matrix. Improvement attempt by changing the word-size of 32bit processors into 64bit, did not give significant results and was only able to improve the processing speed of 8.1%.

Keywords: *telemetry, raw-data, decoding, decomposition, quick-look*

ABSTRAK

Modul pengolah data telemetri adalah *software* untuk mengubah data telemetri LAPAN-A3/IPB menjadi data sensor yang masih mentah (produk level-0). Data telemetri keluaran dari perangkat *High Data Rate Modulator-Demodulator* (HDRM) menjadi masukan bagi pengolah data telemetri, yang parameter *set-up*nya telah dimasukkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji implementasi pengolahan data telemetri satelit LAPAN-A3/IPB. Pembangunan dan pengolahan data telemetri telah dilakukan di komputer desktop yang dibagi dalam dua tahap, yaitu pendekodean data dan dekomposisi data. Unjuk kerja *software* telah diuji menggunakan delapan sampel *raw-data*, terdiri atas data multi-spektral dan matrik kamera yang diperoleh sebelum dan sesudah peluncuran satelit. Hasil uji memperlihatkan, tidak ditemukan *frame* data telemetri yang hilang dan *codeword* yang rusak pada proses pendekodean data. Juga tidak ditemukan data pada larik multi-spektral yang hilang maupun data pada matrik kamera yang hilang pada proses dekomposisi. Dari uji kinerja secara keseluruhan didapat hasil bahwa sistem yang digunakan tidak mampu melakukan dekoda, dekomposisi, menampilkan *quick-look* LISA, atau ekstraksi data matrik kamera secara *real-time*. Perlu peningkatan kinerja komputer hingga 8 kali lebih baik. Dari proses tersebut, sekitar 92% *CPU time* dipakai untuk pendekodean data dan hanya sekitar 8% untuk dekomposisi, ekstraksi data LISA, atau ekstraksi data matrik kamera. Upaya perbaikan yang dilakukan dengan mengubah *word-size* prosesor dari 32bit menjadi 64bit hasilnya tidak signifikan dan hanya mampu memperbaiki kecepatan proses 8,1%.

Kata kunci: *telemetri, data-mentah, pendekodean, dekomposisi, quick-look*

1 PENDAHULUAN

Satelit LAPAN-A3/IPB adalah satelit eksperimen ketiga yang dirancang untuk melanjutkan misi satelit LAPAN-A2/ORARI. Pada misi ketiga telah dilakukan beberapa penyempurnaan, utamanya pada sistem transmisi dan sistem pencitra objek. Untuk mendukung misi pemantauan tanaman pangan eksperimen, satelit membawa *Line Imaging Space Application* (LISA) sebagai muatan utama beserta muatan lain hasil penyempurnaan dari misi sebelumnya. Muatan tersebut adalah matrik-kamera (*High Resolution Digital Camera*, HRDC), *Automatic Identification System* (AIS) dan *Hybrid Fluxgate Magneto meter* (HFGM).

LISA adalah instrument pencitra larik multi-spektral (*push broom multi-spectral imager*) dengan alokasi spektral yang mirip dengan keempat kanal spektral Landsat pada daerah tampak. Spesifikasi kanal spektral LISA dikaji dan ditentukan berdasarkan hasil penelitian bersama antara LAPAN dan Institut Pertanian Bogor (IPB) guna memenuhi kebutuhan misi untuk

pemantauan tanaman pangan (Pusat Teknologi Satelit, 2012).

Dari semua muatan satelit, LISA dan HRDC adalah dua instrumen penyedia data-misi terbesar. Untuk menyalurkan data-misi tersebut digunakan frekuensi pita-X dengan kecepatan transmisi 105 Mbps. Selain pindah dari pita-S ke pita-X, pada misi ketiga ini diupayakan agar paket data telemetrinya juga memenuhi standardisasi sistem data ruang-angkasa. Pemenuhan standardisasi ini akan memberi kemudahan pada penerimaan maupun pengeloaan data di satelit. Untuk memudahkan penanganan data di satelit digunakan perangkat *Payload Data Handling* (PDH). PDH menangani semua proses pengelolaan data mulai dari pengumpulan data-misi, perekaman/pengambilan data *on-board*, perlindungan data, dan pembentukan paket *Consultative Committee for Space Data Systems* (CCSDS), yang merujuk pada spesifikasi desain satelit dan *Interface Control Document* (Vectronic, 2013).

PDH mengelompokkan proses akuisisi dan transmisi data telemetri

dalam enam modus operasi yaitu: mode operasi *LISA*, mode operasi *SPACE*, mode operasi *LISA Real-Time (RT) Lossy*, mode operasi *LISA RT Lossless*, serta mode operasi *AIS* dan mode operasi *HFGM*. Mode operasi *LISA* dan *SPACE* adalah mode operasi transmisi data rekaman, tidak dikompres dan menjadi bahasan pada tulisan ini.

Akuisisi oleh sensor *LISA* akan menghasilkan data dengan resolusi radiometrik 16 bit. Pada mode operasi *LISA*, data hasil akuisisi akan direduksi radio metriknya (sesuai perintah), kemudiandisinkronkan dengan data sikap satelit (*Attitude Control System, ACS*), ditambah dengan data *time*, selanjutnya disimpan ke memori (*flash-disk*). Prinsip yang sama diterapkan pada mode operasi *SPACE*, hanya saja datanya berasal dari matrik-kamera. Dalam hal ini, data dari matrik-kamera disimpan baris demi baris seperti penyimpanan data multi-spektral.

LISA RT Lossy adalah mode operasi *real-time*, dimana data hasil akuisisi *LISA* di-reduksi menjadi 12 bit/pixel, kemudian di kompres dengan algoritma *Lossy*, disinkronkan dengan data *time* dan *ACS*, untuk kemudian diteruskan ke *CCSDS formatter* yang selanjutnya ditransmisikan ke bumi. Sedang pada mode operasi *LISA RT Lossless*, prosesnya mirip dengan *LISA RT Lossy* kecuali datanya dikompres menggunakan algoritma *Lossless*. Pada makalah ini, mode operasi *LISA RT Lossy*, *LISA RT Lossless*, *AIS*, dan *HFGM* tidak dibahas lebih lanjut.

Data *LISA* dan/atau matrik-kamera yang tersimpan di satelit akan dikirim ke penerima bilamana *PDH* mendapat perintah dari stasiun kendali di bumi. Dalam hal ini, data rekaman akan dibaca kembali, kemudian disandikan di *CCSDS formatter* yang meliputi pengkodean *Reed-Solomon (RS)*, randomisasi *Pseudo-Noise (PN)*, penambahan kode *Attached Synch Marker (ASM)* untuk selanjutnya diteruskan ke *transmitter*. Implementasi penyandian data telemetri

merujuk pada standar *CCSDS* versi 2 dengan parameter paket terdapat pada dokumen detail desain satelit *LAPAN-A3/IPB* (*Satellite Technology Center, 2015*).

Lazimnya pengembang satelit mempersiapkan sistem operasi satelit secara mandiri yang meliputi operasi *TT&C* dan akuisisi data misi. Tujuannya adalah untuk mencegah dan melindungi satelit dari akses ilegal. Data yang diterima di stasiun bumi berupa data telemetri atau data-metah (*raw-data*) yang perlu diolah untuk menghasilkan produk level-0. Produk level-0 juga berupa data mentah hasil pencitraan instrumen yang belum diproses, namun telah terbebas dari berbagai artefak komunikasi (*United States Geological Survey, 2009*).

Secara umum, penelitian ini membahas tentang rancangan dan pengujian modul pengolah data telemetri *LAPAN-A3/IPB* untuk menghasilkan produk level-0 bagi data *LISA* dan data matrik-kamera. Implementasinya diwujudkan dengan membuat dan menguji *software* pengolah data telemetri berbasis *invers* algoritma pengkodean data telemetri (*Telemetry Data Encoding*), menampilkan dan mengarsipkan hasilnya. Pembahasan dan pengujian modul dimaksudkan untuk mendapatkan performamodul yang memenuhi kebutuhan operasional. Diharapkan, hasil penelitian ini akan bermanfaat juga untuk pengembangan modul pengolah data telemetri *LISA* terkompres *lossy* maupun *lossless*.

2 METODOLOGI

Data telemetri satelit *LAPAN-A3/IPB* telah memenuhi standar *CCSDS*, sehingga pendekodeannya bisa menggunakan perangkat *High Data Rate Modem (HDRM)* yang tersedia di pasar. Perangkat *HDRM* bersifat modular, dapat dikonfigurasi sebagai *demodulator*, *frame synchronizer*, *data ingest* atau sebagai pengarsip data telemetri kecepatan tinggi. Kemampuan tersebut didukung oleh fasilitas *Forward Error Correcting (FEC)*

codes untuk berbagai tipe data telemetri satelit hingga kecepatan 1,5 Gbps (Orndorff, Tim; Puri, Amit; Smiley, Mike; Connell, 2016).

Sebelum diterbangkan, kinerja PDH satelit LAPAN-A3/IPB telah diuji menggunakan perangkat HDRM yang meliputi proses modulasi-demodulasi, dan encode-decode (Judianto & Nasser, 2015). Juga telah dievaluasi untuk beberapa tipe modulasi dan *channel encoder*, dimana diperoleh data bahwa *margin link budget* > 3db hanya dapat diperoleh bila menggunakan *FEC codes* (Nasser, Suhermanto, & Hasbi, 2013). Hal ini relevan diterapkan pada misi satelit mikro, karena penyandian *FEC* lebih efisien dalam penggunaan kanal komunikasi (Secretariat, 2012).

Perangkat HDRM selain *powerful* namun harganya sangat mahal. Tidak semua stasiun bumi penerima dapat dilengkapi dengan perangkat HDRM. Oleh karenanya pengembangan *software* ini akan mengambil beban proses pendekodean data telemetri dengan menerima data keluaran demodulator standar, serta sekaligus berperan sebagai sistem *ingest* dan *quick-look*.

Fungsi HDRM adalah menerima dan mendemodulasi sinyal IF (*Intermediate Frequency*), dan menghasilkan *raw-data*. *Raw-data* yang dihasilkan dapat berupa (1) *raw-data* tidak struktur, (2) *raw-data* terstruktur CCSDS, dan (3) *raw-data* terdecode RS namun disimpan dalam struktur CCSDS. Ketiga tipe *raw-data* tersebut menjadi data masukan modul pengolah data telemetri seperti tertera pada Gambar 2-1, dengan alur proses pendekodean data seperti terlihat pada Gambar 2-2.

2.1 Data Telemetri Satelit

Pengujian modul pengolah data telemetri dilakukan menggunakan delapan sampel *raw-data*, lima sampel diantaranya adalah *raw-data* terstruktur CCSDS dan tiga lainnya adalah data yang telah terdecode RS. Enam dari

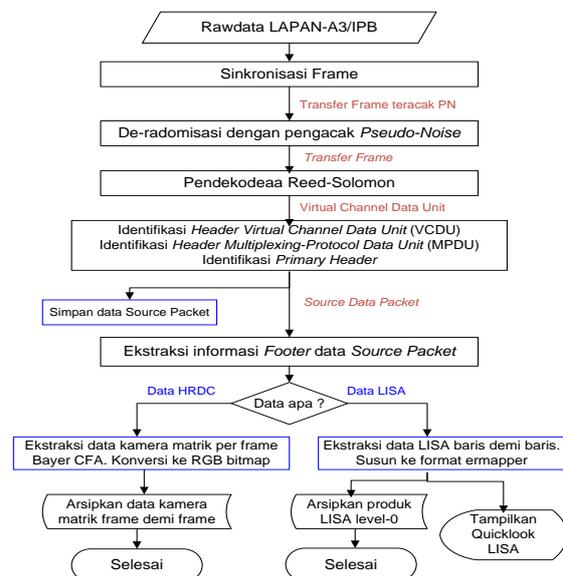
delapan sampel tersebut adalah data sebelum peluncuran, dan dua lainnya adalah data yang diakuisisi pada fase awal satelit di orbit. Ke-delapan *raw-data* beserta penjelasannya disampaikan pada Tabel 3-1.

Pada pengujian ini, belum dilakukan akses langsung dari HDRM, tetapi menggunakan *raw-data* yang dibaca dari hardisk komputer.

2.2 Pendekodean Data Telemetri

Proses pengolahan data telemetri terdiri atas dua tahap, yaitu pendekodean dan dekomposisi data muatan.

Tujuan pendekodean data telemetri adalah untuk menghilangkan semua artefak komunikasi seperti sinkronisasi *frame*, paritas, *header*, maupun duplikasi data (Secretariat, 2011). Pendekodean dimulai dengan mencari kode ASM (*frame-synch*). Untuk data yang tidak terstruktur CCSDS, prosesnya akan lebih lama karena harus mencari kode ASM melalui proses deteksi dan pergeseran bit atas semua data telemetri. Proses demikian lazim dilakukan pada sistem *ingest* konvensional.



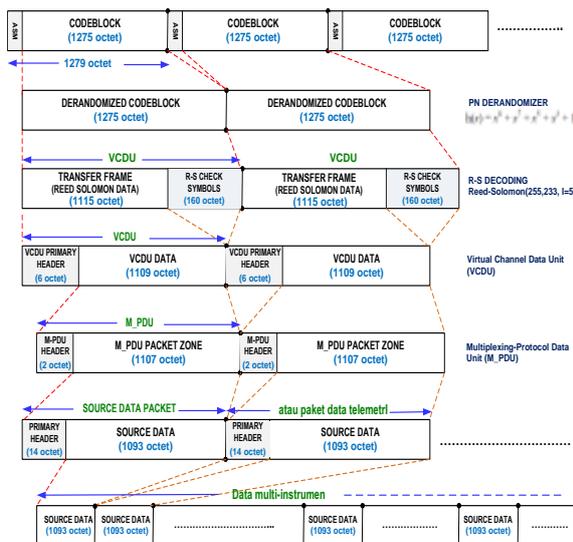
Gambar 2-1: Bagan pengolah data telemetri satelit LAPAN-A3/IPB

Satu *frame* data telemetri terdiri atas 1279 byte, dan setelah kode ASM akan diikuti dengan *codeblock* berukuran 1275 byte. Struktur *frame* akan berulang

hingga *frame* terakhir, sepanjang tidak terjadi *slip-bit* pada data telemetri.

Datapada setiap *codeblock* teracak PN dengan maksud untuk meningkatkan kerapatan transisi bit yang ditransmisikan, dan akan memudahkan sinkronisasi simbol di sistem penerima (Secretariat, 2011). Proses derandomisasi PN dilakukan dengan menambahkan suatu *standard pseudo-random* pada aliran data telemetri, dimana pengacak PN dibangkitkan menggunakan polynomial $h(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + 1$. Penambahan *modulo-two* pada setiap bit data telemetri dimulai dari bit pertama hingga bit 255 dan diulang setelahnya hingga *codeblock* terakhir.

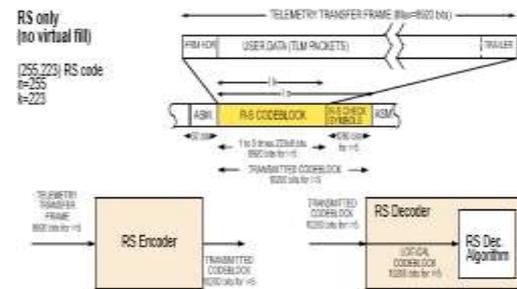
Algoritma penyandian RS tergolong penyandian sistematis, dimana urutan data masukan akan muncul dalam bentuk tidak berubah dan menjadi bagian pada data keluarannya (Secretariat, 2011). Algoritma RS dapat juga digunakan untuk analisis forensik terhadap data yang rusak (*corrupted data*) (Secretariat, 2012), karena dapat mendeskripsikan sebuah cara sistematis dalam membentuk sebuah kode yang mampu mengoreksi kesalahan yang muncul secara acak dan tak terduga (*bursty*) pada paket data yang diterima (Husain, Gamantyo, & Suwadi, 2013).



Gambar 2-2: Alur proses pendekodean data telemetri satelit LAPAN-A3/IPB

Mode penyandian RS pada data LAPAN-A3/IPB adalah RS (255, 223) *Interleave* 5. Setiap *codeblock* terdiri atas 5 *codeword* dan setiap *codeword* memuat $n=255$ simbol. Ke-255 simbol terdiri atas $k=223$ data dan $t=32$ *check symbol* atau paritas, dimana satu simbol adalah $s=8$ bit. Dengan 32 byte *check symbol*, algoritma pendekode RS mampu mengoreksi hingga $t=16$ simbol salah yang muncul acak pada setiap *codeword* ($n=2^s-1$), Gambar 2-3. Selain dapat memperbaiki kesalahan, pendekode RS juga dapat menginformasikan jumlah serta posisi byte yang salah.

Output pendekoda RS atas satu *codeblock* akan menghasilkan satu unit *Virtual Channel Data Unit* (VCDU) seperti pada Gambar 2-2. Bilamana pada saat pendekodean RS ditemukan lebih dari 16 byte data *corrupt* dalam satu *codeword*, maka data tidak dapat diperbaiki dan pada kasus demikian hasil pendekoda RS dicatat sebagai *bad RS* dan semua data dalam satu *codeword* (223 byte) diberi nilai "nol".



Gambar 2-3: Ilustrasi pengkodean dan pendekodean RS *interleave* 5. Sumber CCSDS

Setiap *VCDU* tersusun atas *Primary Header* dan data-*VCDU*. *VCDU-Primary Header* memuat informasi tentang identitas wahana, *Virtual Channel Id*, konter *VCDU*, dan status data. Sementara data-*VCDU* berisi *Multiplexing Protocol Data Unit* (M-PDU) *Header* dan *Source Data Packet*.

Di dalam setiap *Source Data Packet* akan berisi *Primary Header* dan *Packet Secondary Header*. Keberadaan *Packet Secondary Header* bersifat opsional,

namun pada desain paket data LAPAN-A3/IPB, *Packet Secondary Header* digunakan menjadi bagian *Packet Data Field* yang berisi data *timestamp*. Informasi waktu di dalam data *timestamp* terdiri atas 64bit, 32bit pertama sebagai konter detik dan 32bit berikutnya sebagai konter mikro-detik.

2.3 Dekomposisi Data Muatan

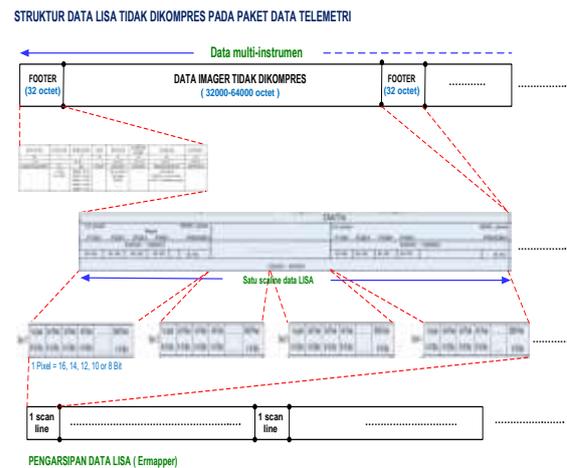
Hasil akhir proses pendekodean, adalah *source data packet*. Bila semua *source data packet* digabung, akan diperoleh data-misi (data-ilmiah) yang di dalamnya memuat berbagai data-misi seperti contoh pada Gambar 2-4 dan Gambar 2-5. Struktur paket data-ilmiah LISA dan HRDC adalah sama, diawali dengan 32 byte *footer* kemudian diikuti dengan data-misi. *Footer* berisi informasi: *Start Marker* (64 bit), data info, resolusi radiometrik, jumlah *pixel*, nomor baris atau nomor *frame*, *Timestamp* dan *End Marker* (40 bit).

Proses ekstraksi untuk mendapatkan satu *frame* data HRDC ataupun satu baris data LISA akan dinyatakan benar, bila hasil uji terhadap 16 karakter kode *Start Marker* dan 8 karakter kode *End Marker* adalah benar, dan 16 karakter kode *Start Marker* berikutnya juga benar. Pada proses ekstraksi ini tidak ada toleransi untuk uji *slip-bit* maupun *slip-byte*.

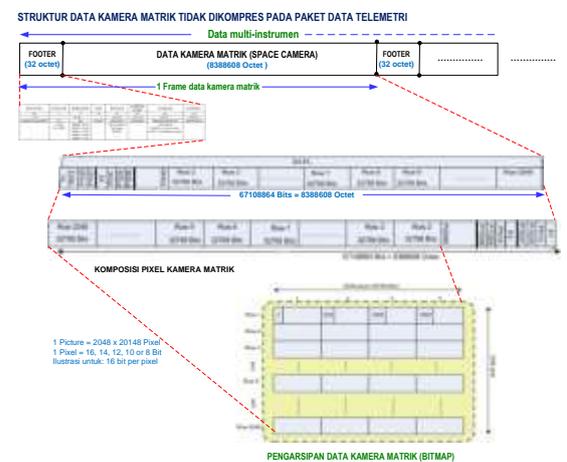
Hasil akhir proses dekomposisi data LISA akan mendapatkan data LISA level-0 yang disimpan dalam file dengan format Ermapper. Satu file data LISA terdiri atas empat kanal, *Band Interleave by Line* (BIL) dengan variasi resolusi radiometrik 16, 14, 12, 10 atau 8 bit/*pixel*. Nilai *default* untuk produk LISA level-0 adalah 8000 pixel/baris, 4 kanal dan 16 bit/*pixel*.

Dekomposisi HRDC akan menghasilkan data *single shot captured* dengan struktur *Bayer Color Array* (BCA). Citra BCA terdiri atas satu kanal, 12 bit per *pixel*, dengan komposisi pola bayer untuk 4 elemen matrik adalah GRBG. Untuk melihat citranya, harus dilakukan

proses *demosai*king guna mengubah citra *single shot capture* menjadi data RGB 12 bit. Ada beberapa metoda konversi yang dapat digunakan, dan implementasinya pada modul ini adalah menggunakan metode interpolasi Bilinear. Metode ini menggunakan pendekatan rata-rata dari 9 *pixel* terdekat untuk data kanal dengan warna yang sama dan tidak termasuk data kosong.



Gambar 2-4: Alur proses dekomposisi data LISA



Gambar 2-5: Alur proses dekomposisi data HRDC

Interpolasi Bilinear merupakan metode yang umum digunakan karena kesesuaian antara kualitas dan kecepatan proses untuk ukuran *filter kernel* terbatas. Disamping interpolasi Bilinear terdapat sejumlah metode interpolasi lain, sebagaimana dijelaskan pada *demosai*king data BCA (Ramanath, Snyder, Bilbro, & Sander, 2002) yang membandingkan beberapa metode *demosai*king data *Bayer Color*

Array. Kesimpulannya adalah bahwa metode *Median-Based Interpolation* yang mengkombinasikan metode interpolasi linear dan *filter* median pada warna berbeda memberikan hasil lebih baik. Hal yang sama namun dengan pendekatan berbeda juga pernah dilakukan (Maschal, Jr. *et al.*, 2010).

2.4 Modul Software Pengolah Data Telemetri

Indikator keberhasilan pengembangan modul pengolah data telemetri, diukur dari kemampuan melakukan dekoda dan menampilkan *quick-look* mendekati *real time*. Terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi kecepatan proses antara lain: kinerja komputer, laju transmisi (volume data), implementasi algoritma pendekodean dan dekomposisi data, serta kompiler yang digunakan. Secara umum, waktu pendekodean data akan lebih lama dibanding dengan

dekomposisi data, karena proses dekomposisi data tidak melibatkan komputasi yang rumit.

Pengembangan dan pengujian modul pengolah data telemetri satelit dilakukan pada komputer desktop, Windows-7, menggunakan kompiler Microsoft Visual studio C++ 2015, memori 2GB dan *buffer* komputasi di set 640 MByte. Dengan konfigurasi tersebut, untuk memproses *raw-data* yang volumenya lebih besar dari ukuran *buffer* komputasi akan dilakukan secara berulang.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Status pengolahan data telemetri selain direkam ke file log-proses (*processes log*), juga ditampilkan di monitor. Cuplikan tampilan saat mengolah data sampel no. 1 (data belum didekoda) dan sampel no. 8 (data telah terdekoda) disajikan pada Gambar 3-1.

Tabel 3-1{ RANGKUMAN PROSES PENDEKODEAN DATA TELEMETRI SATELIT LAPAN-A3/IPB

No	Data masukan			Proses rekonstruksi data					Waktu proses (detik)		
	Nama file	Volume (KB)	Frame (KB)	#Fill Packet	#Reed-Solomon (codeword)		#VCDU	#Idle VCDU	Source Data Packet (KB)	32bit	64bit
					Good	Bad					
1*	Xband_RAM_LISA_SPACE_16_12BIT_1.bin	1379587	1104529	0	5522645	0	982381	122148	1048557	734,538	663,001
2*	Xband_RAM_LISA_16BIT_LINE2.bin	2158913	1728477	0	8642385	0	134461	1594016	143522	1069,10	946,174
3*	Xband_RAM_SPACE_12BIT_3.bin	1285021	1028817	0	5144085	0	982381	46436	1048577	669,568	636,434
4*	Xband_Dynamic_RAM_LISA_16BIT.bin	467245	374085	0	1870425	0	212789	161296	227128	242,455	187,043
5*	Xband_Static_RAM_LISA_COMP_ACS.bin	820309	656757	0	3283785	0	118165	538592	126128	396,084	370,110
6*	A3_154_307_463_505_659_816_LISA.rso	3483800	-	247817	-	-	2539221	538592	2710321	0	0
7	LPN-A3_2016-09-04T17_3A20_3A57.rso	8104310	-	560392	-	-	5928123	0	6327577	0	0
8	LPN-A3_2016-09-28_18_21_30.rso	5922073	-	560455	-	-	4180905	-	4462627	0	0

* Data telemetri sebelum satelit diluncurkan

Tabel 3-2: RANGKUMAN PROSES DEKOMPOSISI DATA MULTI-INSTRUMEN

No	Data masukan		Ekstraksi data LISA dan HRDC					Total waktu proses untuk prosesor (detik)		Keterangan (Data lainnya)
	Nama file	Volume (KB)	#Baris LISA	#baris hilang	#frame kamera	#frame hilang	Waktu (detik)	32bit	64bit	
1*	Xband_RAM_LISA_SPACE_16_12BIT_1.sci	1048557	16178	0	5	0	36,787	771,357	699,645	-
2*	Xband_RAM_LISA_16BIT_LINE2.bin	143522	2278	0	0	0	16,840	1070,785	949,201	-
3*	Xband_RAM_SPACE_12BIT_3.sci	1048577	0	0	170	0	191,069	860,637	790,468	-
4*	Xband_Dynamic_RAM_LISA_16BIT.sci	227128	3630	0	0	0	4,726	247,182	211,068	-
5*	Xband_Static_RAM_LISA_COMP_ACS.sci	126128	1576	0	0	0	25,334	421,419	401,185	Lossy, Lossless
6*	A3_154_307_463_505_659_816_LISA.sci	2710321	43340	0	0	0	127,904	127,904	125,783	24 April 2016
7	LPN-A3_2016-09-04T17_3A20_3A57.sci	6327577	0	0	871	0	906,704	906,704	869,043	ACS=106
8	LPN-A3_2016-09-28_18_21_30.sci	4462627	60743	0	42	0	187,605	187,605	175,466	ACS=106

Dari rangkuman proses pendekodean pada Tabel 3-1, diketahui bahwa hasil akhir pendekodean tidak linier dengan volume data masukan. Persentasenya dipengaruhi oleh jumlah *loss frame*, *codeword* rusak, *fill-Packet* dan *Idle-VCDU*. Sedang waktu pengolahannya dipengaruhi oleh ukuran file serta persentase *fill-packet* dan *Idle-VCDU*.

Uji *frame-synch* terhadap ke-lima sampel data telemetri (sampel no 1 s.d no 5), tidak ditemukan *frame* yang hilang atau *#loss-frame=0*. Suatu *frame* dinyatakan hilang (gagal deteksi), bila kode *frame-synch* tidak ditemukan setelah dicari hingga 3 bit maju ataupun 3 bit mundur dari posisi semestinya. Toleransi pencarian ini merujuk pada software *Real-time Software Telemetry Processing System (RT-STPS)* NASA, yang memberi toleransi *slip-bit* hingga 2 bit dengan default 0 (NASA, 2016).

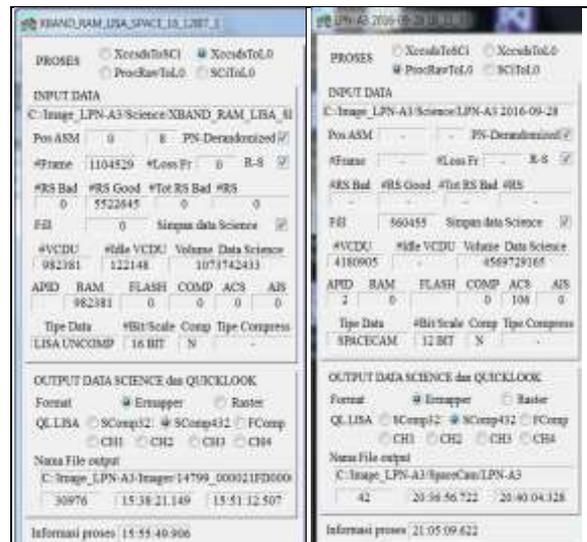
Walau nilai *#loss-frame=0* dan *#fill-packet=0*, tidak berarti volume data ter *framing* akan sama atau hampir sama dengan volume data masukan. Hal ini disebabkan adanya *dummy data* di awal maupun di akhir file rekaman. Munculnya *dummy*, karena perekaman berlangsung sebelum ataupun setelah satelit mengirim data-misi. Untuk mengurangi porsi *dummy* dapat ditempuh dengan memperbaiki akurasi awal dan akhir perekaman.

Untuk mengembalikan susunan data-misi ke kondisi semula, diterapkan derandomisasi-PN. Proses ini tidak mengubah struktur paket, karena pengacakan kembali datahanya dilakukan pada data-misi.

Pengujian kualitas data telemetri menggunakan pendekoda RS hanya dilakukan pada lima sampel (sampel 1 s.d 5), yang seluruhnya merupakan data telemetri sebelum peluncuran. Pengujian dilakukan terhadap semua *codeword* dengan total 5x *codeblock* (jumlah *frame*), termasuk *codeblock* berstatus *Idle-VCDU*. Dari pengujian tersebut, tidak ditemukan *codeword* rusak (*bad RS*) seperti disampaikan pada Tabel 3-1.

Hasil ini memberi indikasi bahwa kualitas data telemetri satelit yang diuji adalah baik.

Sesuai prinsip penyandian sistematis, bila kualitas data telemetri baik, data-misi dapat langsung diambil tanpa harus melalui proses pendekodean RS. Namun demikian, dalam implementasinya algoritma ini tetap diterapkan mengingat beragam gangguan dapat muncul pada sinyal yang ditransmisikan dari ketinggian >500km di atas permukaan bumi.



Gambar 3-1: Cuplik tampilan modul peng-olah data telemetri LAPAN-A3/IPB

Dari proses pendekodean, cukup banyak artefak komunikasi yang ditambahkan pada saat pemaketan data telemetri. Rasio *source data packet* terhadap data masukan untuk ke delapan sampel secara berurutan adalah 76,0%, 6,6%, 81,6%, 48,6%, 15,4%, 77,8%, 78,1%, dan terakhir 75,4%.

Untuk data telemetri yang belum terdekoda (sampel 1 s.d 5), rasio paketnya lebih rendah. Hal ini disebabkan beberapa hal, antara lain: volume data *dummy* dan *#idle-VCDU*. Besarnya data *dummy* dapat dilihat dari selisih antara volume data masukan dengan volume data ter-*framing*. Semakin besar jumlah *idle-VCDU* maka efisiensinya semakin rendah, seperti terlihat pada sampel 2, 4, dan 5.

Untuk data-misi yang telah ter-dekoda (sampel 6, 7 dan 8) rata-rata rasio pakatnya diatas 75%. Hal ini karena semua *dummy* dan *#idle-VCDU* telah dihilangkan, namun masih terdapat *#fill-packet* yang juga merupakan *dummy*. Kemunculan *fill-packet* adalah sebagai konsekuensi akibat tidak sinkron antara kecepatan aliran data-misi dan kecepatan transmisi.

Rendahnya rasio paket tidak semata mata karena masalah ketersediaan data, tetapi lebih dari itu. Semua data telemetri pada ujicoba ini ditransmisi-kan pada mode operasi LISA dan HRDC. Artinya data yang dikirim adalah data rekaman yang telah tersedia di *flash-disk*.

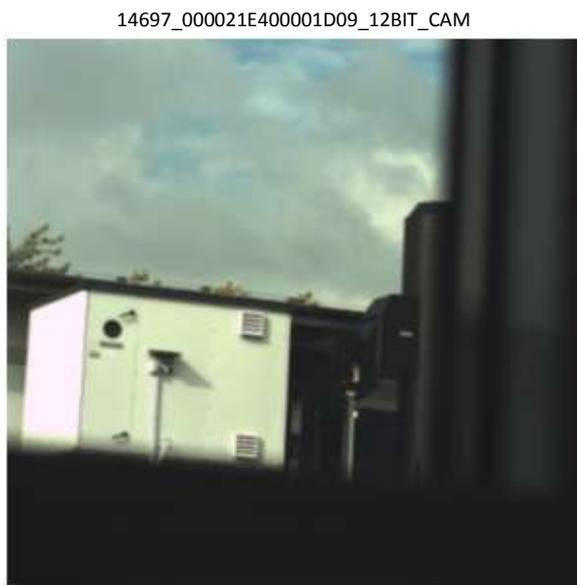
Dekomposisi data adalah tahap menyusun kembali data instrumen yang dikirim dari satelit. Untuk mendapatkan data LISA maupun data matrik-kamera sangat bergantung pada informasi *footer* seperti terlihat pada Gambar 2-4 dan Gambar 2-5. Informasi *footer* menjadi basis untuk mengekstraksi, menguji keabsahan data serta penamaan file. Nomor *frame* menjadi acuan untuk mengetahui apakah ada *frame* yang hilang/terselip. Dari pengujian kesesuaian urutan nomor *frame*, tidak ditemukan

adanya frame HRDC yang hilang (Tabel 3-2).

Proses *demosacking* data BCA diterapkan untuk mendapatkan citra RGB. Hasil prosesnya seperti pada Gambar 3-2. Setiap frame berukuran 2048x2048x12 bit/pixel. Nama file kamera matrik dibentuk dari nomor *frame*, waktu pengambilan (*timestamp*) dan informasi resolusi radio metriknya. Citra 14697_000021400001D09_12BIT_CAM adalah sampel data saat uji matrik-kamera sebelum peluncuran, sedang citra

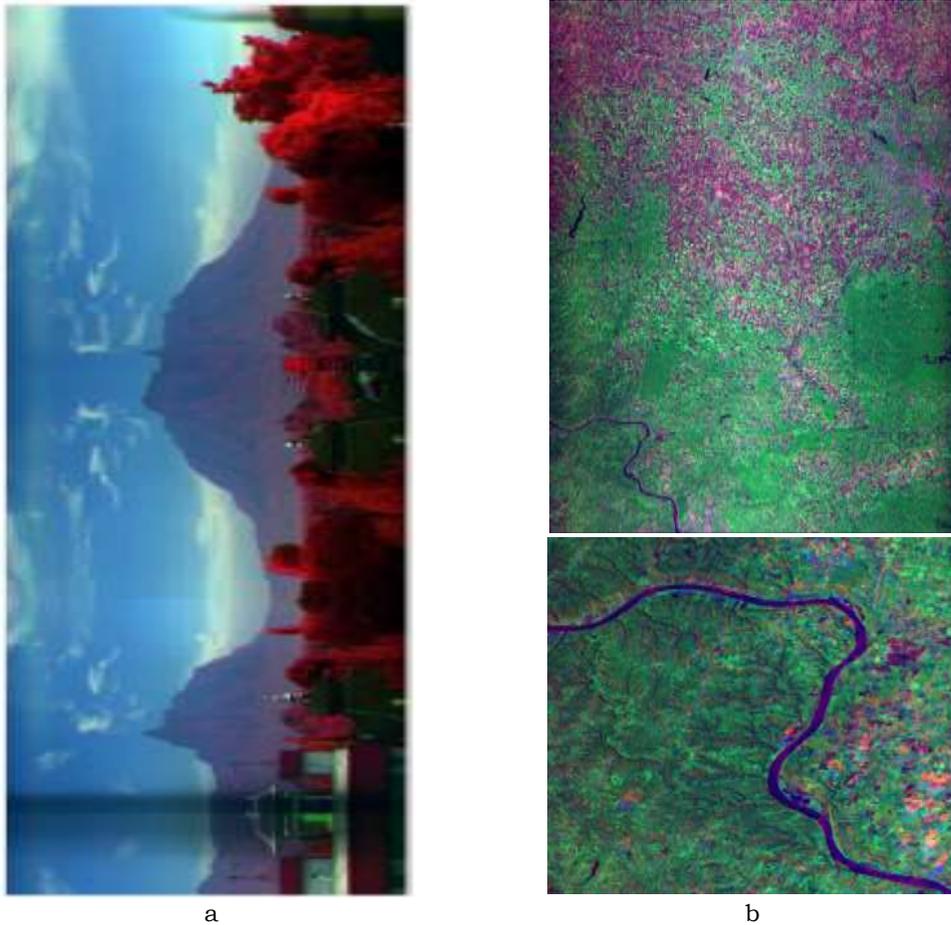
264_0000007C00000FDF_12BIT_CAM adalah data hasil ekstraksi dari sampel no 7. Citra kedua adalah data yang diakuisisi pada 4 September 2016, yaitu pada masa uji satelit di orbit (*In-Orbit Test*).

Dari tampilan citra matrik-kamera pada skala penuh terlihat secara visual kualitasnya belum optimal. Masih terlihat pengaruh perata-rataan nilai elemen warna yang jumlah elemennya terbatas, terutama untuk elemen warna merah dan biru. Perihal kualitas citra, akan diperbaiki menggunakan kombinasi metode interpolasi linier dan median *filter*.



264_0000007C00000FDF_12BIT_CAM

Gambar 3-2: Citra matrik-kamera sebelum dan sesudah satelit diluncurkan



Gambar 3-3: Citra komposit kanal 321 data LISA level 0 untuk sampel nomor 6 dan nomor 8

Pada dekomposisi data multi-spektral, pengecekan nomor baris dan keabsahan data-misi untuk setiap kanal adalah sangat penting. Satu *scanline* data LISA disimpan dalam 64000 byte, tersusun atas 4 kanal spektral dan setiap kanal terdiri atas 8000 pixel dengan resolusi radiometrik 16 bit.

Penggunaan *beam-splitter* di instrumen LISA masih menyisakan sejumlah-baris (*gap*) dengan nilai *gap* bervariasi antar setiap kanal spektral. Konsistensi pergeseran baris pada data harus menjadi perhatian pada proses dekomposisi. Kesalahan/kehilangan sebagian atau satu *scanline* data LISA harus dipertimbangkan dampaknya terhadap registrasi antar kanal spektral maupun saat penyesuaian dengan peta. Untuk itu, bila terdapat kegagalan ekstraksi pada sebagian atau satu *scanline* data LISA, maka data tersebut akan diisi dengan “*blank*”.

Contoh hasil ekstraksi LISA ditampilkan pada Gambar 3-3a dan Gambar 3-3b. Gambar 3-3a diekstraksi dari file A3_154 307 463 505 659 816_LISA.sci, yang diperoleh saat uji kalibrasi instrumen LISA di laboratorium pada 24 April 2016 (menjelang peluncuran). Pada pengujian tersebut, kamera LISA digerakkan secara manual, sehingga tampilannya tidak linier. Hasil yang diperoleh adalah citra LISA berukuran 8000x43340 pixel, yang kemudian dipotong untuk mendapatkan citra berukuran 8000x24400 pixel dan diperkecil untuk keperluan tampilan.

Gambar 3-3b adalah citra LISA yang diakuisisi 28 September 2016 menggunakan antenna penerima Kongsberg di Svalbard, Norwegia. Perekaman berlangsung pada periode *In-orbit Test* dan data telemetri yang diterima telah terdekoda RS seperti tertera pada sampel no 8. Akuisisi data berlangsung saat satelit melintasi belahan bumi bagian utara yang sebagian

obyeknya bersalju. Citra asli berukuran 8000 x 60734 pixel, kemudian dipotong menjadi berukuran 8000x16000 pixel, dandiperkecil untuk memperjelas cakupan pengamatan.

Kedua citra LISA RGB komposit ditampilkan tanpa proses ko-registrasi antar kanal spektral. Akibatnyaterdapat pergeseran baris padasetiap kanal spektral, sehingga tampilan kedua citra terlihat buram (*blur*), termasuk tampilan citrapada skala penuh (Gambar 3-3b bawah).

Citra yang dihasilkan dari proses dekomposisi adalah produk level-0. Produk ini tidak didistribusikan ke pengguna, kecuali pada kalangan ilmiah terbatas. Data level-0 masih memerlukan koreksi sistematik yang bersifat fundamental agar datanya dapat digunakan.

Dari hasil analisis lanjutan terhadap data log-proses, tidak menemukan kesalahan pada saat pendekodean maupun dekomposisi data untuk semua sampel. Juga dari hasil pengamatan secara visual pada resolusi penuh, tidak menemukan garis hitam pada tampilan citra sebagai akibat adanya baris data LISA yang hilang.

Dari catatan waktu proses pada Tabel 3-1 dan Tabel 3-2, sebagian besar *CPU-time* digunakan untuk pendekodean data telemetri, dengan rata rata mencapai 93% (prosesor 64bit) dan 91% (prosesor 32bit). Perhitungan hanya dilakukan terhadap ke-lima sampel yang datanya belum terdekoda, namun terstruktur CCSDS.

Upaya perbaikan kinerja modul telah dilakukan menggunakan *compiler* 64bit, yaitu mengoptimalkan penggunaan *word-size* prosesor yang tersedia. Hasilnya, seperti terlihat pada Tabel 3-2, ternyata perbaikan kinerja *software* tidak signifikan, hanya sekitar 8,1% dari harapan sekitar 20 s/d 30%. Hal ini disebabkan implementasi komputasi pada pengolahan data telemetri berorientasi byte (8-bit), sehingga penggunaan *word-size* 64bit tidak banyak menolong.

Hasil evaluasi terhadap isi paket LISA dan HRDC, diketahui bahwa telah dilakukan perbaikan, sehingga antara data sebelum dan sesudah peluncuran terdapat perbedaan. Paska peluncuran, telah ditambahkan datasikap satelit pada paket data secara periodik. Penyisipan data ACS pada data LISAdijumpai setiap ± 122 *scanline*, sementara pada data HRDC diketahui pada setiap ± 3 *frame*. Periode penyisipan data tersebut sesuai dengan periode *update* data sikap satelit.

Merujuk pada kecepatan transmisi data satelit sebesar 105 Mbps, bila diasumsikan transmisi data rekaman berlangsung selama 12 menit, maka volume data yang diterima untuk satu periode akuisisi adalah 9,450 GByte. Bila HDRM hanya melakukan proses demodulasi dan data telemetrinya dikirim langsung ke komputer *ingest*, diperlukan waktu 4820 detik atau 80,2 menit untuk mengolah data telemetri tersebut.

Periode pengolahan data telemetri jauh lebih besar dari periode akuisisi, sehingga kinerja komputer *ingest* tidak mampu menghasilkan data level-0 dan *quick-look* secara *real-time*. Untuk ini, perlu peningkatan kinerja komputer minimal 8x lebih baik, agar semua proses dapat diselesaikan hampir bersamaan dengan waktu transmisi. Namun jika HDRM diberdayakan untuk melakukan proses pendekodean, kinerja komputer *ingest* telah memadai. Namun penggunaan HDRM untuk proses pendekodean dan dekomposisi data menjadi sangat mahal, karena setiap stasiun penerima data misi harus dilengkapi dengan perangkat sejenis.

4 KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat dan dianalisis kinerja modul pengolah data telemetri satelit LAPAN-A3/IPB pada mode transmisi data rekaman LISA dan HRDC. Tidak ditemukan kesalahan *frame*, maupun *codeword* untuk kelima sampel data telemetri. Juga tidak ditemukan

kehilangan baris data LISA dan *frame* HRDC untuk semua sampel yang diuji.

Efisiensi paket telemetry LAPAN-A3/IPB masih rendah, terutama untuk data telemetry yang belum terdekoda. Komposisi *idle-VCDU*, *idle-packet* dan *dummy*, cukup besar, perlu perbaikan pengelolaan data di PDH, dan di sistem perekaman data di stasiun penerima.

Dari proses pengolahan data telemetry, lebih dari 90% *CPU time* terpakai untuk pendekodean data dan hanya sekitar 8% untuk dekomposisi dan tampilan citra. Upaya perbaikan kinerja pengolah data dengan mengoptimalkan penggunaan prosesor 64bit hanya mampu memperbaiki kecepatan sebesar 8,1%. Sehingga perlu perbaikan kinerja komputer hingga 8 kali, untuk menghasilkan produk level-0 dan menampilkan citra secara *real-time*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Kapusteksat dan rekan-rekan peneliti/perekayasa di Pusteksat, LAPAN, yang telah memberikan fasilitas dan akses terhadap dokumen, data pengujian, sehingga penelitian ini dapat berlangsung dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

Husain, A. N. U., Gamantyo, H., & Suwadi, 2013. *Pendekoden Kanal Reed Solomon Berbasis FPGA Untuk Transmisi Citra pada Sistem Komunikasi Satelit Nano*. JURNAL TEKNIK POMITS, Vol 2, Issue 1, A33–A38.

Judianto, C. T., & Nasser, E. N., 2015. *The Analysis of LAPAN-A3/IPB Satellite Image Data Simulation Using High Data Rate Modem*. Procedia Environmental Sciences, 24, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.037>.

Maschal, Jr., R. a., Young, S. S., Reynolds, J., Krapels, K., Fanning, J., & Corbin, T. 2010. *Review of Bayer pattern CFA demosaicing with new quality assessment algorithms*. Army Research Laboratory. <https://doi.org/10.1117/12.849314>.

NASA, G. S. F. C., 2016. *Real-time Software Telemetry Processing System (RT-STPS) User's Guide*, Version 5.(August 2016), 54.

Nasser, E., N., Suhermanto, & Hasbi, W., 2013. *Design, Implementation and Test of Payload Data Handling LAPAN-A3/IPB Satellite*. 34th Asian Conference on Remote Sensing 2013, ACRS 2013, 1, 446–453.

Orndorff, Tim; Puri, Amit; Smiley, Mike; Connell, J., 2016. *Application of a High Data Rate Modem (HDRM) APPLICATION OF A HIGH DATA RATE MODEM (HDRM)*. International Telemetry Conference Proceedings.

Pusat Teknologi Satelit, L., 2012. *Requirement Definition Document LAPAN-A3 Payload Data Packet*, Bogor, Indonesia. Pusteksat, LAPAN.

Ramanath, R., Snyder, W. E., Bilbro, G. L., & Sander, W. a., 2002. *Demosaicking Methods for Bayer Color Arrays*. Journal of Electronic Imaging, Vol 11, Issue 3, 306.<https://doi.org/10.1117/1.1484495>.

Satellite Technology Center, L., 2015. *LAPAN-A3/IPB Microsatellite for Remote Sensing Experiment*. Detail Design Doc: LA3-DD-2015-04.

Secretariat, C., 2011. *TM Synchronization and Channel Coding*. CCSDS Blue Book. Retrieved from <http://public.ccsds.org/publications/archive/231x0b2c1.pdf><http://public.ccsds.org/publications/archive/131x0b2ec1.pdf>.

Secretariat, C., 2012. *TM Synchronization and Channel Coding—Summary of Concept and Rationale*. CCSDS Green Book. Retrieved from <http://public.ccsds.org/publications/archive/130x1g2.pdf>.

United States Geological Survey, 2009. *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) Level 1 Data Format Control Book. v. 14.0 (LS-DFCB-04)*. Vol. 7.

Vectronic, A., G., 2013. *Interface Control Document& Operation Manual for Payload Data Handling System Type VPDHS Project LAPAN Payload Data Handling System*. TD-VAS-PDHS-LAPAN-ICD003. Vol. 1.