

Pengembangan Potensi Kamera Udara Pustekdata Dalam Rangka Pengembangan Sistem Sensor Inderaja Satelit LAPAN

Development of Pustekdata Pushbroom Camera Potential in the framework of LAPAN Satellite Remote Sensing Sensor System Development

Ahmad Maryanto, Muchammad Soleh, Dinari Nikken SS, Ayom Widipaminto, Nugroho Widijatmiko,
Rahmat Arief, Hidayat Gunawan, Suhermanto

Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh – LAPAN

*) E-mail: a_maryanto@yahoo.com

ABSTRAK – Telah dilakukan penelitian dan perancangan terkait kamera udara untuk sensor penginderaan jauh satelit. Penelitian difokuskan pada studi keterkaitan sensor dan orbit yang terdikte oleh pilihan modus penempatan satelit secara menumpang (sebagai *piggy back payload*) menunjukkan bahwa dengan altitude ($h = 600\text{km}$), periode orbit drakonitik (T_d) dan inklinasi (i) yang memenuhi kondisi *sun-synchronous orbit* untuk satelit mikro LAPAN adalah (berturut-turut) 96.80867 menit dan 97.787° . Untuk orbit tersebut, satelit akan memutar bumi mendekati 15 putaran per hari dan kembali menapaki jejak yang sama di permukaan bumi pada hari ke-8 setelah menjalani 119 putaran (revolusi), dikenal dengan istilah perulangan triplet (*recurrence triple*): [15, -1, 8]. Dengan siklus perulangan 8 hari dalam 119 putaran, maka satelit akan membentuk 119 jalur lintasan (*path*) pada permukaan bumi yang masing-masing berjarak 0.053 rad atau 3.025° atau 336.765 km. Untuk meliput jalur selebar itu pada GSD 15 m, dengan kamera LQ-401CL (*line scan camera*, 4 pita spektrum, 4096 piksel per pita spektrum, $7\ \mu\text{m}$ *pixel pitch*) yang telah diuji coba pada KUPBMSVN-2B (Kamera Udara Pustekdata v-2B) diperlukan 6 kamera yang dipasangkan dengan lensa berjarak fokus (f) 280 mm, sementara jika menggunakan kamera LQ-200CL (*line scan camera*, 4 pita spektrum, 2096 piksel per pita spektrum, $14\ \mu\text{m}$ *pixel pitch*) yang telah diuji coba pada KUPBMSVN-2A (Kamera Udara Pustekdata v-2A) diperlukan 12 kamera yang dipasangkan dengan lensa berjarak fokus (f) 560 mm. Jika hasil analisis ini dikonfirmasi kepada batasan ruang, maka untuk memuat kamera sebanyak itu, volume satelit LAPAN mendatang perlu diperbesar melebihi ukuran ruang satelit LAPAN seri-A yang ada saat ini, yang bisa jadi di luar batasan kelas mikro. Demikian halnya dengan kelistrikan dan infrastruktur lainnya. Jika pilihan kelas mikro dengan misi monitoring vegetasi yang memenuhi peta skala 1:50000 (GSD 15m) tetap akan dipertahankan maka harus dilakukan iterasi beberapa kali dengan memasukkan variabel kebebasan tambahan misalnya dengan membebaskan pilihan orbit (menaikkan ketinggian) atau dengan mengoperasikan beberapa satelit kembar (konstelasi) agar penyelenggaraan penerbangan antariksa tersebut tetap memenuhi misi yang ditetapkan.

Kata kunci: *pushbroom, line scan camera, Kamera Udara Pustekdata v-2B, satelit LAPAN*

ABSTRACT - *Aerial-related research and engineering has been carried out for remote sensing sensors. Research focused on studies of cyclic and orbital connectivity dictated by the choice of satellites in the passenger mode (as a piggy back payload) indicates that with altitude ($h = 600\text{km}$), drakonitic (T_d) or inclination (i) period that fulfills sun-synchronous conditions orbit for LAPAN micro satellite is (successively) 96.80867 minutes and 97.787° . For that orbit, the satellites will turn the earth closer to 15 laps per day and return to the same footprint on the surface of the earth on the 8th day after undergoing 119 revolutions, known as the recurrence triple: [15, -1, 8]. With the 8-day recurrence cycle in 119 laps, the satellite will form 119 paths on the surface of the earth at 0.053 rad or 3.025° or 336.765 km respectively. To cover the wide line on GSD 15m, with LQ-401CL (line scan cameras, 4 spektrum bands, 4096 pixels per band spektrum, $7\ \mu\text{m}$ pixel pitch), which has been tested on KUPBMSVN-2B (V-2B Pustekdata Camera) requires 6 cameras paired with a fokus lens (f) 280 mm, while using the LQ-200CL camera (line scan camera, 4 spectral bands, 2096 pixels per band spektrum, $14\ \mu\text{m}$ pixel pitch) that has been tested on KUPBMSVN -2A (V-2A Air-Conditioning Camera) required 12 cameras paired with fokus lens (f) 560 mm. If the results of this analysis are confirmed to space constraints, then to take such a camera, the upcoming LAPAN satellite volume needs to be enlarged beyond the current size of the existing LAPAN series A satellite space, which may be beyond the micro class limits. Similarly with electricity and other infrastructure. If a micro class selection with a vegetation monitoring mission that meets a scale map of 1: 50000 (GSD 15m) will still be maintained then iterations should be repeated several times by incorporating additional freedom variables eg by releasing orbiting options (raising altitudes) or by operating multiple satellite satellites (constellations) so that the maintenance of the space flight still meets the assigned mission.*

Keywords: *pushbroom, line scan camera, Pustekdata Aerial Camera v-2B, LAPAN satellite*

1. PENDAHULUAN

Kegiatan penelitian dan pengembangan potensi Kamera Udara Pustekdata dalam rangka pengembangan sistem sensor penginderaan jauh satelit LAPAN merupakan penjabaran dari tugas, fungsi, dan rencana strategis (Renstra) Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh 2015-2019 yang mengusung isu utama penyelenggaraan sistem Bank Data Penginderaan Jauh Nasional (BDPJN). Penyelenggaraan sistem BDPJN sebagai salah satu bentuk partisipasi aktif Lembaga dalam program pembangunan nasional memerlukan sinergi yang kuat antar pilar penopang sistem BDPJN, yaitu perolehan data, pengolahan data dan pengelolaan data.

Sesuai Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 Tentang Keantariksaan Bagian Ketiga mengenai Penginderaan Jauh Pasal 15 dan 16 maka litbangyasa sensor inderaja LAPAN diarahkan pada pemenuhan kebutuhan data penginderaan jauh nasional melalui perolehan dari sebuah sistem penginderaan jauh satelit yang dikembangkan secara mandiri (UU No.21 Tahun 2013). Kemandirian teknologi dan pemberdayaan iptek antariksa adalah cita-cita dan komitmen Lembaga untuk berkontribusi dalam proses pembangunan nasional menuju sebuah bangsa yang bermartabat dan berdaulat.

Pada tataran implementasi, embrio kemandirian di bidang teknologi antariksa untuk misi perolehan data kebumihantai ditandai dengan diluncurkannya satelit LAPAN-A1 dan LAPAN-A2, yang akan diikuti dengan seri Satelit LAPAN berikutnya, yang merupakan produk dari kegiatan penelitian dan kerekeyasaan di LAPAN. Sementara pada bidang litbangyasa yang lain, kelompok litbangyasa sensor penginderaan jauh di Pustekdata telah berhasil mengembangkan sebuah purwarupa (*prototipe*) Kamera Udara Pustekdata, yaitu sebuah sistem akuisisi data citra dari wahana udara, khususnya *Lapan Surveillance Aircraft* (LSA-01), baik versi-1 maupun versi-2 (kamera udara *pushbroom* multispektrum *visible-nir* versi-1/KUPBMS-VN1, kamera udara *pushbroom* multispektrum *visible-nir* versi-2A/KUPBMS-VN2A, kamera udara *pushbroom* multispektrum *visible-nir* versi-2B/KUPBMS-VN2B).

KU Pustekdata-01 dan KU Pustekdata-02 adalah kamera udara *pushbroom* multispektrum yang menjangkau daerah tampak hingga infra merah dekat (4-kanal Vis/NIR) yang dikembangkan dari kamera industri tipe *linescan*. Kamera ini dipilih karena kinerja laju akuisisi garis *scan* yang bisa diatur hingga 19K *line per second*, yang melebihi laju akuisisi garis *scan* sensor penginderaan jauh satelit dengan resolusi spasial (GSD) 50 cm. Kemampuan ini secara tidak langsung juga menunjukkan bahwa kamera dapat dioperasikan pada tingkat pencahayaan yang sangat beragam, hal yang juga menjadi pertimbangan utama dalam desain sensor penginderaan jauh. Ada dua macam kamera yang telah diuji coba sebagai komponen utama dalam pengembangan Kamera Udara Pustekdata yaitu LQ-200CL; kamera CCD *line scan* 4-pita spektrum vis-NIR masing-masing dengan cacah piksel 2048 per pita spektrum dengan piksel pitch 14 μm , dan LQ-401CL; kamera CMOS *line scan* 4-pita spektrum vis-NIR masing-masing dengan cacah piksel 4096 per pita spektrum dengan piksel *pitch* 7 μm . Keduanya adalah kamera industri keluaran dari JAI (*Japan Analytical Industry*).

Capaian pada litbangyasa sensor inderaja di Pustekdata juga digenapi dengan keberhasilan pengembangan modul pengolah awal (sistematik) data yang diperoleh dari KU Pustekdat. Modul yang dikembangkan diperuntukkan bagi pengolahan geometris/geolokasi piksel-piksel citra hasil akuisisi KU Pustekdata agar memenuhi standar peta melalui komputasi analitis (langsung) koordinat lokasi masing-masing piksel dari data-data parameter internal dan orientasi luar sistem kamera.

Dengan capaian itu maka pengetahuan dan keterampilan dasar membangun sistem untuk menjawab pertanyaan apa dan di mana melalui sebuah sistem imaging, yang merupakan tugas substantif sistem penginderaan jauh, telah memiliki pondasi yang cukup kuat di Pustekdata. Agar pengetahuan dan pengalaman tersebut meningkat menjadi sebuah kecakapan yang menggambarkan kesiapan kemandirian, maka keterlibatannya dalam sebuah program nyata (pengembangan sistem penginderaan jauh satelit maupun wahana udara) perlu dilakukan sesering mungkin.

Pengembangan Sensor Penginderaan Jauh Optis Satelit LAPAN Seri-A Berbasis Komponen COTS adalah salah satu upaya partisipatif pada program satelit LAPAN, khususnya dalam menjawab kebutuhan akan muatan misi satelit LAPAN Seri-A yang murah tetapi berpeluang memperbanyak ketersediaan data-data penginderaan jauh optis untuk pengamatan vegetasi. Model pengembangan seperti ini diyakini dapat memangkas waktu dan biaya pengembangan karena tidak harus mengawali dari riset dasar yang rumit dan memakan waktu. Kekurangannya, pilihannya terbatas dan kadang-kadang ada beberapa fungsi yang tidak diperlukan.

Sebagai kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang telah mengkaji potensi kamera COTS yang digunakan pada sistem Kamera Udara Pustekdata untuk penerapan di satelit dari aspek spektrometri dan geometrik (*spectral bands, bandwidth, tanggap daya cahaya pada kondisi pencahayaan siang hari, GSD, focal length, prakiraan dimensi*), kegiatan penelitian saat ini difokuskan pada kajian dari aspek operasi, meliputi orbit dan

siklus perulangannya untuk kondisi sinkron matahari pada ketinggian andaian, dan status pemenuhan “*wall-to-wall covering*” untuk skenario orbit tersebut.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Data

Dalam penelitian ini digunakan bahan dan data, antara lain sebagai berikut: peraturan perundangan, kebijakan tentang satu peta nasional, data teknis (*datasheet*), manual kamera industri tipe *line scan* yang digunakan pada Kamera Udara Pustekdata (KUPBMSVN), yaitu JAI LQ-200CL, JAI LQ-401CL. Adapun penelitian ini dibatasi oleh adanya persyaratan/batasan yang muncul dari konsep/metode pemantauan vegetasi melalui *remote imaging* serta batasan (*limiting factor*) yang muncul karena pilihan metode “*piggy back payload*” dalam proses penempatan satelit di orbit.

2.2 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Menetapkan kebutuhan misi (*mission requirements*, andaian) sebagai penggerak awal (*initial driven*). Diandaikan misi yang harus dilaksanakan oleh satelit LAPAN adalah pemantauan vegetasi pada skala 1:50000 sesuai kebijakan satu peta yang mengedepankan terpenuhinya kebutuhan peta nasional skala 1:50000
2. Menurunkan rumusan kebutuhan misi ke dalam spesifikasi misi (yang terkait dengan sensor)
3. Mempelajari/memperkirakan kinerja spektrometri dan kinerja geometrik kamera dikaitkan dengan spesifikasi misi, dan implikasinya terhadap dimensi keruangan yang diperlukan
4. Menurunkan besaran-besaran spesifikasi orbit berdasar andaian ketinggian 600 km sebagai faktor pendikte menggunakan metode/rumus/persamaan yang diambil dari berbagai pustaka sumber (Capderou, 2005; Capderou, 2014)
5. Melakukan konfirmasi antara kebutuhan yang muncul karena memenuhi misi dan batasan-batasan (limitasi) yang ada akibat konsep pengembangan yang dipilih (komponen COTS, *piggy back payload*)
6. Mengusulkan saran dan iterasi untuk memperoleh solusi yang efektif

Berikut adalah daftar singkatan/abreviasi pada diagram alir/*flow chart* dan persamaan matematis yang digunakan pada penelitian ini:

$N = f\#$ = *focal number* (bilangan fokus)

BW = *spectral bandwidth* (lebar pita spektrum)

τ_{AN} = *ascending node crossing time* (saat persilangan di simpul naik)

t_{int} = *integration time* = *exposure time* (waktu integrasi = waktu paparan)

V_{sat} = *saturation signal* (sinyal jenuh)

f = *focal length* (jarak fokus lensa)

Dim = *dimension* (dimensi)

T_d = *draconitic period* (periode drakonitik, periode orbit satelit yang dihitung dari simpul naik/turun)

i = *inclination* (inklinasi)

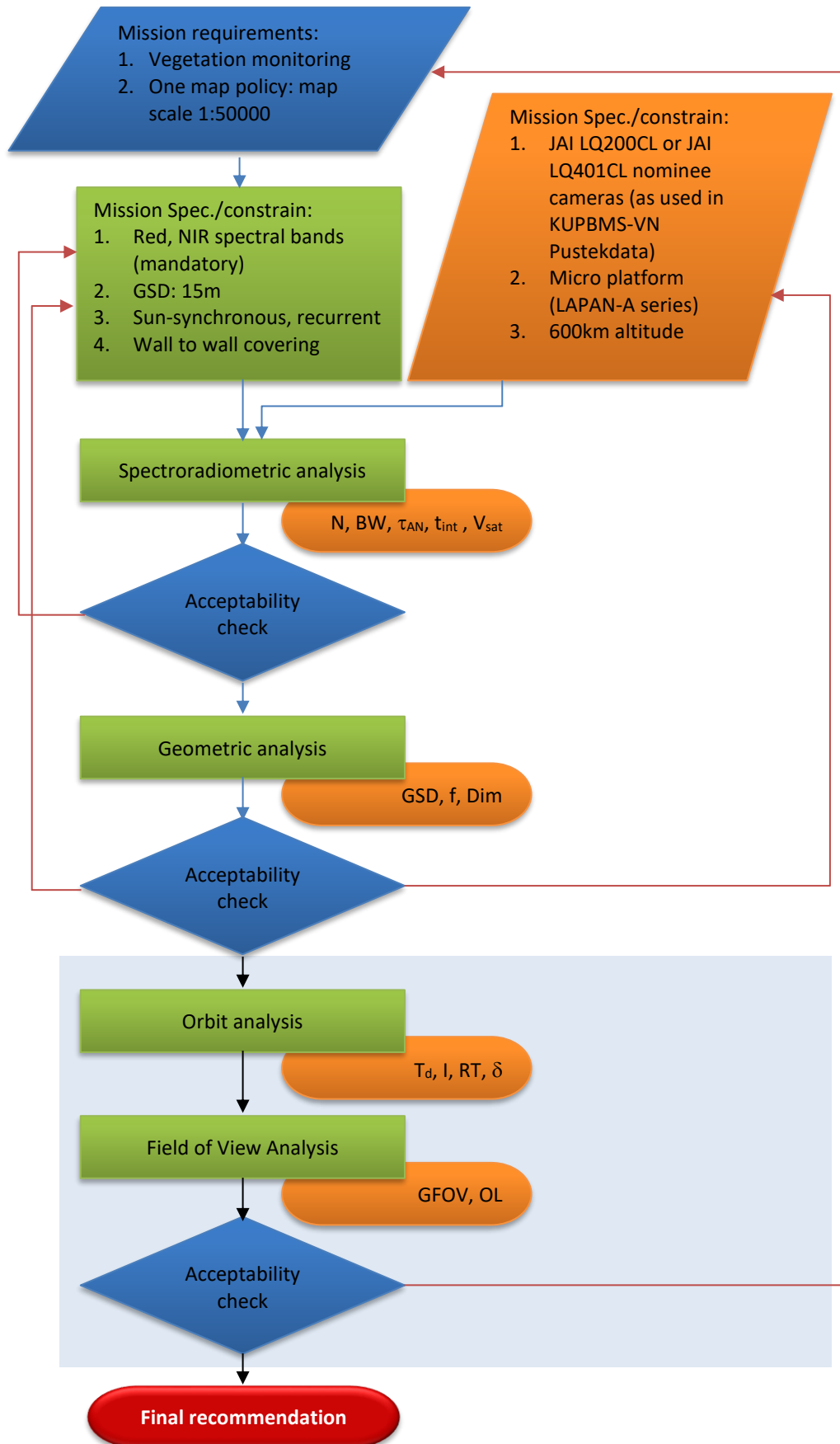
RT = *recurrence triple* (perulangan triplet/siklus rekurensi triplet)

$GFOV$ = *ground field of view* (medan pandang bumi)

OL = *overlap* (tampalan)

GSD = *ground sampling distance* (jarak cuplikan bumi)

Adapun diagram alir/flow chart yang menggambarkan penelitian ini dilukiskan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun persamaan-persamaan matematis dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

- orbit terganggu
- menggunakan koefisien harmoni potensial bumi orde 2 (J_2),
- orbit selaras matahari

a) Periode drakonitik, T_d (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$T_d \approx \left[1 - \frac{3}{2} J_2 \left(\frac{R}{a} \right)^2 (4 \cos^2 i - 1) \right] T_{o(h)} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan $J_2 = 0.0010826262207$, dan $a = R+h$ adalah sumbu semi major orbit satelit

b) Inklinalasi (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$i = \arccos \left[-\frac{1}{k_h} \left(\frac{a}{R} \right)^{7/2} \right] \dots \dots \dots (2)$$

Dengan $k_h = 10.10949$ adalah tetapan sinkronisasi matahari, dan $R = 6378136.3$ m adalah jejari bumi

c) Periode Kepler untuk ketinggian orbit h , $T_o(h)$ (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$T_o(h) = \left(1 + \frac{h}{R} \right)^{3/2} T_{o(h=0)} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan $T_{o(h=0)} = 5069.34$ s adalah periode Kepler untuk satelit pada ketinggian orbit 0 (tepat pada permukaan bumi)

d) Frekuensi orbit, ν (revolusi per hari) (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$\nu = \nu_d = \frac{D_M}{T_d} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan $D_M = 24$ jam = 1440 menit = 86400 detik adalah durasi rerata hari (*mean day*)

e) Pernyataan frekuensi orbit harian sebagai kombinasi bilangan bulat unik (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$\nu_d = \nu_o + \frac{D_{T_o}}{C_{T_o}} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan ν_o adalah bilangan bulat terdekat ν_d , C_{T_o} adalah siklus perulangan dalam satuan hari bulat, dan D_{T_o} adalah bilangan bulat unik yang memenuhi persamaan pada persamaan (5) berikut:

f) Perulangan triplet (recurrence triple, RT: [ν_o , D_{T_o} , C_{T_o}]) (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$D_{T_o} = N_{T_o} - \nu_o C_{T_o} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan N_{T_o} adalah cacah orbit (bilangan bulat) yang terbentuk di dalam satu siklus perulangan. dan dalam hal ini :

$$\left\{ \begin{array}{l} |D_{T_o}| < \frac{1}{2} C_{T_o} \\ |D_{T_o}| \text{ dan } C_{T_o} \text{ adalah ko - prima} \end{array} \right. \dots \dots \dots (7)$$

g) Konstruksi grid referensi: interval grid di ekuator, δ , dan cacah lintasan satelit (*path*) dalam bentangan bola bumi, N_{T_o} (Capderou, 2005; Capderou, 2014)

$$\delta = \frac{2\pi}{N_{T_o}} \dots \dots \dots (9)$$

Dengan N_{T_o} didefinisikan pada persamaan (5)

h) Inklinalasi semu (*apparent inclination, i'*) sebagai gambaran arah lintasan satelit terhadap garis katulistiwa pada peta bola bumi (Capderou, 2005; Capderou, 2014), (Synder, 1981; Synder, 1987)

$$\tan i' = \frac{\sin i}{\cos i - (1/\kappa)} \dots \dots \dots (10)$$

Dengan $\kappa = \upsilon_d$ (orbit selaras matahari)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan yang dilakukan berdasarkan peramaan-persamaan matematis nomor 1 sampai dengan 7, untuk $h = 600$ km dan orbit selaras matahari maka diperoleh:

1. Periode drakonitik, $T_d = 5808.52 \text{ s} = 96.80867$ menit (persamaan 1)
2. Inklinasi, $i = 97.787^\circ$ (persamaan 2)
3. Frekuensi orbit harian, $\upsilon_d = 14.875 = (15 - 0.125) = (15 - 1/8)$ putaran per hari (persamaan 4 dan 5)
4. Rekurensi triplet: [15, -1, 8] yang berarti satelit melakukan hampir 15 putaran per hari ($= \upsilon_o$), dan akan kembali pada jalur yang sama pada hari ke-8 (siklus perulangan 8 hari $= C_{T_o}$) setelah menjalani $(15 \times 8 - 1) = 119$ putaran ($= N_{T_o}$) (persamaan 5 dan 6)
5. Cacah *path* pembentuk grid referensi untuk satelit tersebut adalah 119 (persamaan 6)
6. Interval grid pada lintang 0° (ekuator, δ), adalah 0.0528 radian $= 3.0252^\circ = 336.765$ km (persamaan 7)
7. Inklinasi semu (i'), sebagai representasi orientasi lintasan satelit (*path*) di dalam peta adalah -78.43626° , diukur mengacu kepada garis lintang 0°

Dari perhitungan yang dilakukan berdasarkan peramaan-persamaan matematis nomor 1 sampai dengan 7, maka diperoleh analisis sebagai berikut:

1. Seperti disebutkan pada poin 6 diatas, hal tersebut memberi petunjuk bahwa dengan GSD (*ground resolution*) 15 m, sapuan selebar *interval grid* yaitu 336.765 km akan dicuplik kedalam $(336765/15) = 22.451$ cuplikan
2. Agar dapat meliputi jalur selebar itu dengan GSD 15 m, kamera *line scan* yang digunakan harus memiliki 22.451 piksel/garis
3. Untuk kamera LQ-200CL yang hanya memiliki cacah piksel 2048, maka diperlukan minimal 11 kamera, masing-masing dikombinasikan dengan lensa $f = 560$ mm
4. Untuk alternatif kamera ke-2 yaitu kamera LQ-401CL yang memiliki cacah piksel 4096, maka diperlukan minimal 6 kamera, masing-masing dikombinasikan dengan lensa $f = 280$ mm
5. Dengan batasan ruang yang hanya pada kisaran 500mm x 574mm x 424mm (LAPAN A-3) [<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/lapan-a3>], baik dengan LQ-200CL maupun LQ-401CL, jumlah kamera sebanyak itu tentu tidak akan muat di dalam satu platform satelit mikro LAPAN.
6. Jika GSD 15 m ditetapkan sebagai kebutuhan misi yang tidak boleh didiskusikan, ada dua jalan yang bisa dipertimbangkan untuk memenuhi batasan ini, pertama dengan memperbanyak satelit sejenis (konstelasi) dengan segala konsekuensinya seperti, biaya membengkak, jaminan keseragaman kinerja sensor merosot (kualitas data citra beragam), kapasitas infrastruktur ruas bumi perlu ditambah.
7. Cara kedua misalnya dengan menaikkan ketinggian orbit ke 850 km. Pada ketinggian ini cacah *path* yang akan terbentuk ~ 367 dengan grid interval $\sim 1^\circ = 111$ km sehingga untuk GSD 15 m, sensor yang digunakan cukup hanya dengan 7400 piksel. Jika kamera yang digunakan adalah LQ-401CL maka lebar sapuan tersebut akan tercukupi dengan dua kamera saja. Namun demikian karena jarak obyek-kamera menjadi bertambah jauh, maka jarak fokus lensa pasangannya juga menjadi lebih tinggi, menjadi $f \sim 400$ mm. Untuk satelit kelas mikro LAPAN, secara keruangan kondisi ini masih terakomodasi. Akibat lain dari menaikkan ketinggian orbit ini adalah periode perulangannya yang tidak serapat pada ketinggian yang lebih rendah, pada ketinggian ini siklus perulangannya akan terjadi pada hari ~ 26 . Penurunan periode repetisi ini tentu perlu didiskusikan lagi dengan batas-batas yang masih bisa diterima oleh kebutuhan misi.

4. KESIMPULAN

Dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut: untuk ketinggian orbit (*altitude, h*) 600 km, inklinasi (*i*) dan periode (drakonitik, T_d) yang memenuhi kondisi selaras matahari (*sun-synchronous orbit*) adalah berturut-turut 97.787° dan 96.80867 menit. Dengan orbit tersebut maka akan menghasilkan siklus perulangan 8 hari setelah 119 putaran (revolusi) dan akan membentuk jejak sebanyak 119 jalur lintasan (*path*) dengan jarak antar *path* 0.053 radian atau 3.025° atau 336.765 km. Jika diimplementasikan dengan menggunakan kamera LQ-200CL (*4-spectral bands Vis-NIR, 2048 pixel each, 14 μm pixel pitch*) yang diatur pada GSD 15 m (masing-masing dipasang lensa dengan jarak fokus 560 mm), lebar jalur 336.765 km maka akan dicukupi oleh minimal 11 unit kamera yang disusun beraturan dengan sudut pemiringan yang tepat. Dan jika diimplementasikan dengan menggunakan kamera LQ-401CL (*4-spectral bands Vis-NIR, 4096 pixel each, 7 μm pixel pitch*) yang diatur pada GSD 15 m (masing-masing dipasang lensa dengan jarak fokus 280 mm), lebar jalur 336.765 km maka akan dicukupi oleh 6 unit kamera yang disusun beraturan dengan sudut pemiringan yang tepat. Sehingga untuk mempertahankan terpenuhinya kebutuhan misi GSD 15 m, ada dua jalan yang bisa ditempuh, menempatkan banyak satelit sejenis (konstelasi) atau dengan menaikkan orbit ke ketinggian yang lebih besar, misalnya 850 km. Pada ketinggian ini, kebutuhan misi dapat dipenuhi dengan satu satelit kelas mikro LAPAN yang dimuati dengan dua kamera LQ-401CL yang masing-masing dikombinasikan dengan lensa $f = 400$ mm, dengan konsekuensi periode perulangannya menurun dari 8 hari menjadi 26 hari. Dalam hal ini selain studi yang bersifat manajemen sistem semacam ini, penggunaan komponen COTS juga harus didukung dengan studi rinci yang berhubungan dengan masalah teknis. Baku luaran komponen COTS dan pengantarmukaan kepada sistem utama (misalnya CPU dan *board data handling*) juga menjadi isu yang harus dikaji *acceptability*-nya secara tuntas.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam hal ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bidang Program dan Fasilitas Pustedata LAPAN yang telah membantu memfasilitasi penulis untuk melakukan penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- UU No.21, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2013 Tentang Keantariksaan*, no. 1. Indonesia, 2013.
- JAI, "User's Manual LQ-401CL RGB Color & NIR 4CMOS Line Scan Camera," no. Ver.1.2.Dec2014. JAI Ltd., Japan, p. 73, 2014.
- JAI, "LQ-401CL 4 CMOS RGB/NIR Line Scan Camera Datasheet."
- JAI, "User's Manual LQ-200CL RGB Color & NIR 4CCD Line Scan Camera Version 1.5," LQ-200CL_Ver.1.5_Dec2014, 2014.
- M. Capderou, *SATELLITES ORBITS AND MISSIONS*. France: Springer-Verlag, 2005.
- M. Capderou, *HANDBOOK OF SATELLITE ORBITS FROM KEPLER TO GPS*. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2014.
- J. P. Synder, "Map projections for satellite imagery," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 47, no. February 1981, pp. 205–213, 1981.
- J. P. Snyder, "Map Projections: A Working Manual," *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1395, p. 383, 1987.