

## **PENINGKATAN FREKUENSI PENCITRAAN KAMERA MULTISPEKTRAL SATELIT LAPAN-A3/IPB MENGGUNAKAN MANUVER PENGAMATAN *OFF-NADIR***

### ***IMAGING FREQUENCY IMPROVEMENT OF LAPAN-A3/IPB SATELLITE MULTISPECTRAL IMAGER USING OFF-NADIR OBSERVATION MANEUVER***

Patria Rachman Hakim, Satriya Utama  
Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
patriarachmanhakim@yahoo.com

#### **Abstrak**

Satelit LAPAN-A3/IPB memiliki sebuah kamera multispektral untuk melakukan pemantauan wilayah Indonesia. Dengan ketinggian satelit 510 kilometer dan dengan lebar sapuan kamera sebesar 120 kilometer, secara teoritis kamera multispektral satelit LAPAN-A3 memiliki resolusi temporal sebesar 21 hari. Untuk dapat mengamati suatu target wilayah tertentu dengan frekuensi yang lebih sering, sikap satelit dalam sumbu *roll* dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Penelitian ini membahas mengenai metode yang digunakan untuk meningkatkan frekuensi pencitraan kamera multispektral satelit LAPAN-A3 untuk suatu target wilayah tertentu, serta menganalisis hubungan antara frekuensi pencitraan yang dilakukan terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Berdasarkan simulasi model orbit satelit, kamera multispektral satelit LAPAN-A3 dapat mengamati sebuah target wilayah di Indonesia sebanyak 17 kali per tahun dalam posisi nadir. Jika pengamatan dilakukan dalam posisi *off-nadir* dengan mengatur sudut *roll* dalam rentang 10 derajat, maka frekuensi pemantauan terhadap target tersebut dapat ditingkatkan menjadi 43 kali per tahun, sedangkan rentang sudut *roll* 20 derajat dapat menghasilkan frekuensi sebesar 71 kali per tahun. Walaupun demikian, citra yang dihasilkan dengan menggunakan sudut *roll* yang terlalu besar akan mengalami penurunan kualitas yang cukup signifikan, baik dalam hal geometri maupun radiometri. Berdasarkan beberapa citra yang telah dihasilkan satelit LAPAN-A3 selama ini, disarankan sudut *roll* tidak melebihi 20 derajat pada saat pengamatan *off-nadir* agar kualitas citra tetap terjaga. Dengan menggunakan batasan tersebut, kamera multispektral satelit LAPAN-A3 memiliki frekuensi pencitraan efektif sebesar 5 hari, empat kali lebih sering dibandingkan dengan perhitungan teoritis pada saat satelit dalam posisi nadir.

Kata kunci: LAPAN-A3/IPB, kamera multispektral, resolusi temporal, sikap satelit.

#### **Abstract**

*LAPAN-A3/IPB satellite has a multispectral imager to monitor Indonesian territory. With satellite altitude of 510 kilometer and imager swath-width of 120 kilometer, in theory LAPAN-A3 multispectral imager will have 21 days temporal resolution. To be able to monitor particular target area more often, satellite attitude in roll axis can be adjusted depends on specific needs. This research discusses about imaging method of LAPAN-A3 multispectral imager to increase its imaging frequency of particular target area, as well as analyzes the relationship between the imaging frequency to image quality produced. Based on satellite orbit model simulation, LAPAN-A3 multispectral imager is able to monitor a particular target area 17 times a year in nadir position. If the observation is done under off-nadir position within 10 degree roll angle, the frequency could be increased to 43 times a year, while 20 degree roll angle will produce 71 observations a year. However, the images produced under off-nadir position with high degree of roll angle will have significant degraded quality, both in geometry and radiometry aspect. Based on numerous LAPAN-A3 multispectral images that have been captured, it is recommended to keep satellite roll angle less than 20 degree for off-nadir observation to maintain image quality produced. Using this off-nadir observation method, multispectral imager of LAPAN-A3 satellite will have effective imaging frequency of 5 days, almost four times higher compare to theoretical calculation when satellite in nadir observation.*

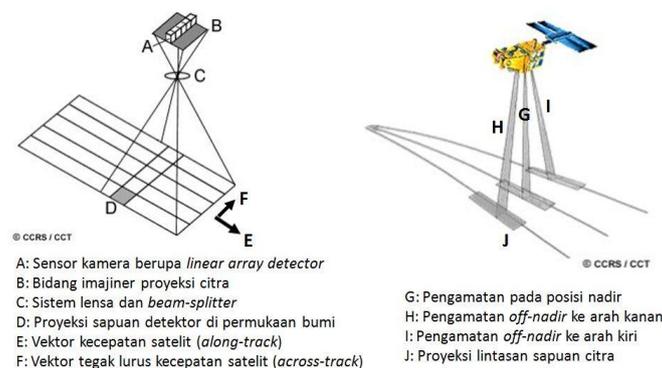
*Keywords: LAPAN-A3/IPB, multispectral imager, temporal resolution, satellite attitude.*

## 1. PENDAHULUAN

Satelit LAPAN-A3/IPB merupakan salah satu satelit LAPAN dengan misi pemantauan bumi dan penginderaan jauh, yang telah berhasil diluncurkan pada tahun 2016. Untuk mendukung tercapainya misi tersebut, satelit LAPAN-A3 memiliki beberapa muatan optis berupa kamera multispektral empat kanal RGB-NIR, kamera matriks digital dengan filter Bayer RGB, serta sebuah kamera video analog. Selain muatan optis tersebut, satelit LAPAN-A3 juga memiliki kamera termal untuk pemantauan suhu permukaan bumi, sensor ilmiah magnetometer untuk pengamatan medan magnet bumi, dan *Automatic Identification Systems* (AIS) untuk pemantauan kapal terutama di wilayah perairan Indonesia [1]. Kamera multispektral satelit LAPAN-A3 merupakan muatan utama dalam misi penginderaan jauh, sehingga analisis misi operasi dan pengolahan citra kamera multispektral harus dilakukan secara detail dan akurat. Pengolahan citra kamera multispektral satelit LAPAN-A3 dilakukan secara sistematis dengan menggunakan informasi sistem satelit dan kamera yang dimiliki, baik dalam aspek geometri maupun radiometri [2][3].

Secara umum, karakteristik citra satelit ditentukan oleh resolusi spasial, resolusi radiometri dan resolusi temporal, di mana resolusi spasial dan resolusi radiometri ditentukan oleh hasil pengolahan dan koreksi sistematis yang telah dilakukan. Sementara itu, resolusi temporal merupakan frekuensi pencitraan sebuah instrumen satelit dalam mengamati wilayah yang sama dari waktu ke waktu [4]. Resolusi temporal yang dimiliki sebuah citra satelit memiliki peranan penting dalam pemanfaatan data satelit tersebut untuk dapat menghasilkan data penginderaan jauh yang akurat. Walaupun kebutuhan resolusi temporal bergantung pada jenis aplikasi yang digunakan, tetapi secara umum data citra satelit dengan resolusi temporal tinggi akan memiliki daya guna yang lebih tinggi.

Untuk sebuah satelit mikro yang memiliki kemampuan manuver sikap satelit yang cukup tinggi, frekuensi pencitraan suatu wilayah oleh sebuah instrumen dapat ditingkatkan. Manuver dilakukan untuk mengatur sikap satelit pada sumbu *roll* agar berada pada suatu nilai tertentu selama pengambilan gambar, sehingga satelit tidak berada dalam keadaan *nadir pointing* [5]. Ilustrasi pencitraan satelit dengan menggunakan kamera multispektral tipe *pushbroom* dapat dilihat pada Gambar 1. Walaupun demikian, manuver untuk mendapatkan frekuensi pencitraan yang lebih tinggi akan menyebabkan penurunan kualitas citra yang dihasilkan, terutama dalam aspek geometrinya. Selain itu, peningkatan frekuensi pencitraan pada suatu wilayah akan menyebabkan penurunan frekuensi pencitraan untuk wilayah lainnya. Resolusi temporal sangat erat kaitannya dengan waktu kunjung sebuah instrumen satelit, yang lebih dikenal dengan istilah *revisit time*. Terdapat beberapa penelitian yang membahas waktu revisit secara mendalam, diantaranya yaitu model perhitungan waktu revisit [5][6][7] dan perancangan orbit satelit berdasarkan waktu revisit [8]. Walaupun demikian, beberapa penelitian tersebut tidak membahas mengenai kualitas citra yang dihasilkan.



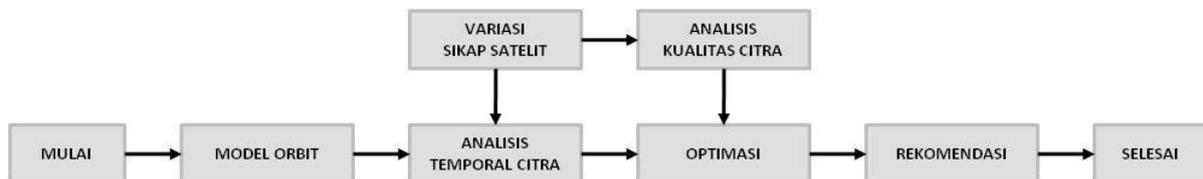
Gambar 1. Pencitraan kamera multispektral tipe *pushbroom* [9]

Penelitian ini membahas mengenai frekuensi pencitraan kamera multispektral satelit LAPAN-A3, dengan mempertimbangkan hubungan antara kebutuhan resolusi temporal suatu target wilayah tertentu dengan kualitas citra yang dihasilkan. Lebih tepatnya, penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai optimal antara frekuensi pencitraan dan kualitas citra yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dalam

beberapa tahap, yaitu simulasi model orbit satelit LAPAN-A3 dan *revisit time* kamera multispektral, simulasi dan analisis hubungan antara toleransi sikap satelit dan frekuensi pencitraan terhadap suatu target wilayah tertentu, dan analisis citra yang dihasilkan satelit LAPAN-A3 dalam berbagai kondisi pengamatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan dalam operasi satelit LAPAN-A3, terkait dengan perencanaan misi pemantauan wilayah Indonesia yang lebih efektif dan efisien.

## 2. METODOLOGI

Secara garis besar, penelitian ini akan mengembangkan metode pencitraan optimal agar kamera multispektral satelit LAPAN-A3 dapat mengamati suatu target wilayah dengan frekuensi tinggi tanpa mengurangi kualitas citra yang dihasilkan secara signifikan. Diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan hubungan antara sikap satelit terhadap resolusi temporal kamera multispektral dalam mengamati suatu target wilayah tertentu, sedangkan langkah kedua adalah menentukan hubungan antara sikap satelit terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Dari kedua tahapan tersebut, dapat dilakukan analisis dan penentuan resolusi temporal yang optimal dengan batasan (*constraint*) berupa resolusi spasial citra yang dihasilkan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian yang dilakukan

Secara umum, resolusi temporal suatu instrumen satelit dapat ditentukan berdasarkan jumlah orbit per hari dan lebar sapuan (*swath-width*) kamera, sesuai dengan persamaan (1) berikut.

$$T = \frac{2\pi}{NL} = \frac{\pi/N}{\pi - \left( (\varphi + \alpha) + \sin^{-1} \left( \frac{R+(H+f)}{R} \sin(\varphi + \alpha) \right) \right)} \quad (1)$$

Dimana  $T$  merupakan resolusi temporal instrumen,  $N$  merupakan jumlah revolusi orbit per hari dan  $L$  merupakan lebar sapuan kamera dalam satuan radian. Lebar sapuan kamera merupakan fungsi yang ditentukan oleh sudut sikap satelit dalam sumbu *roll* ( $\varphi$ ) serta parameter sistem seperti ketinggian satelit ( $H$ ), radius bumi ( $R$ ), panjang fokal lensa ( $f$ ) dan sudut internal kamera ( $\alpha$ ). Pada penelitian ini digunakan model bumi berbentuk bola dengan radius 6378 km. Walaupun dapat menggambarkan resolusi temporal secara umum, persamaan tersebut tidak dapat menjelaskan karakteristik citra yang dihasilkan. Pada penelitian ini akan dilakukan pembahasan yang lebih dalam terkait resolusi temporal untuk sebuah instrumen satelit, khususnya terkait hubungan antara sikap satelit, frekuensi pencitraan dan kualitas citra yang dihasilkan.

Penelitian ini diawali dengan melakukan simulasi model orbit satelit LAPAN-A3 menggunakan data *Two-Lines Element* (TLE) berdasarkan model SGP4 untuk menghasilkan data simulasi berupa serangkaian posisi relatif antara orbit satelit terhadap suatu target wilayah yang akan diamati [10][11]. Posisi relatif di permukaan bumi tersebut kemudian ditransformasikan menjadi posisi relatif pada bidang kamera multispektral LAPAN-A3 dengan memanfaatkan data sikap satelit dan karakteristik kamera, dengan menggunakan persamaan (1) yang telah dikembangkan. Tanpa mengurangi akurasi, pada persamaan ini diasumsikan sudut inklinasi orbit sebesar 90 derajat, target wilayah yang diamati berada di daerah ekuator dan sikap satelit yang dikendalikan hanya sumbu *roll*.

Dengan mengetahui serangkaian data posisi relatif pada bidang citra kamera untuk rentang waktu tertentu, maka informasi terkait frekuensi pencitraan untuk target wilayah tersebut dapat dihasilkan. Hubungan antara toleransi sikap satelit terhadap resolusi temporal yang dihasilkan dapat ditentukan dengan cara memvariasikan sikap satelit dalam sumbu *roll* pada saat pengamatan. Gambar 3 berikut ini

menjelaskan diagram alir penentuan resolusi temporal suatu target wilayah tertentu berdasarkan data orbit TLE dan data sikap satelit.



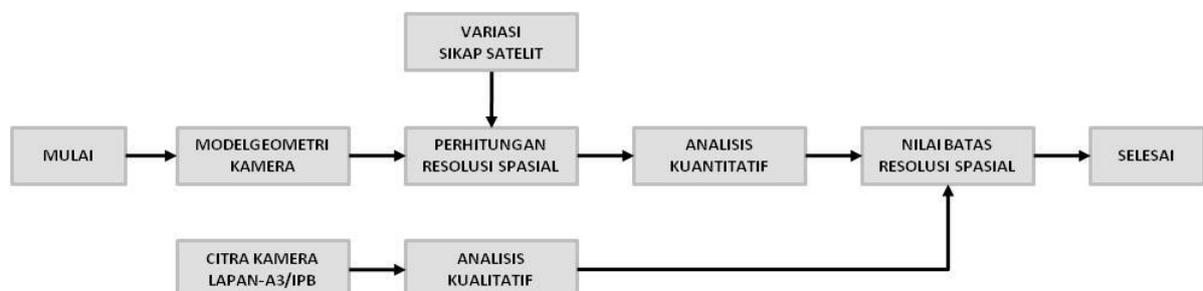
**Gambar 3. Diagram alir penentuan resolusi temporal suatu target wilayah**

Sementara itu, analisis kualitas citra yang dihasilkan akibat perbedaan sudut pengamatan dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan. Pendekatan yang paling sederhana adalah dengan menentukan resolusi spasial dari citra yang dihasilkan, di mana citra yang dihasilkan dalam posisi nadir pasti akan menghasilkan resolusi spasial terbaik. Pada saat pengamatan *off-nadir*, resolusi spasial citra kamera multispektral dalam arah sumbu detektor (*across-track*) dapat ditentukan menggunakan persamaan (2) berikut. Persamaan tersebut hanya berlaku untuk piksel yang dilalui sumbu optikal lensa, sedangkan piksel lainnya memiliki resolusi spasial yang sedikit berbeda. Sementara itu, resolusi spasial dalam arah tegak lurus sumbu detektor kamera (*along-track*) tidak dapat dengan mudah dinyatakan dalam persamaan eksplisit karena membutuhkan transformasi koordinat menggunakan matriks rotasi sikap satelit, yang dikenal sebagai *direction cosine matrix* (DCM) [12].

$$GSD = \frac{H}{\cos \theta} \left( \frac{\frac{d}{f} (\tan^2 \varphi + 1)}{1 - \left(\frac{d}{2f}\right)^2 \tan^2 \varphi} \right) \quad (2)$$

Dimana variabel  $H$  merupakan ketinggian satelit,  $d$  dan  $f$  merupakan lebar detektor dan panjang fokal kamera,  $\theta$  dan  $\varphi$  merupakan sudut satelit dalam arah sumbu *pitch* dan *roll*, dan GSD merupakan resolusi spasial kamera dalam arah sumbu detektor kamera.

Pada penelitian ini, beberapa nilai sudut pengamatan akan digunakan untuk melihat penurunan kualitas citra yang dihasilkan. Analisis resolusi spasial ini dilakukan dalam dua cara, yang pertama yaitu perhitungan teoritis dan simulasi citra satelit menggunakan perangkat lunak MATLAB, dan yang kedua yaitu analisis visual kualitatif berdasarkan data citra kamera multispektral satelit LAPAN-A3. Gambar 4 ini berikut memberikan ilustrasi terkait analisis kualitas citra yang dilakukan, yang akan memberikan rekomendasi nilai batas resolusi spasial yang masih dapat ditolerir dan tidak mengurangi kualitas citra secara signifikan.



**Gambar 4. Diagram alir penentuan nilai batas resolusi spasial**

Berdasarkan penentuan resolusi temporal dan resolusi spasial citra yang telah dilakukan untuk mengamati sebuah target wilayah tertentu, maka selanjutnya dilakukan optimasi yang bertujuan untuk

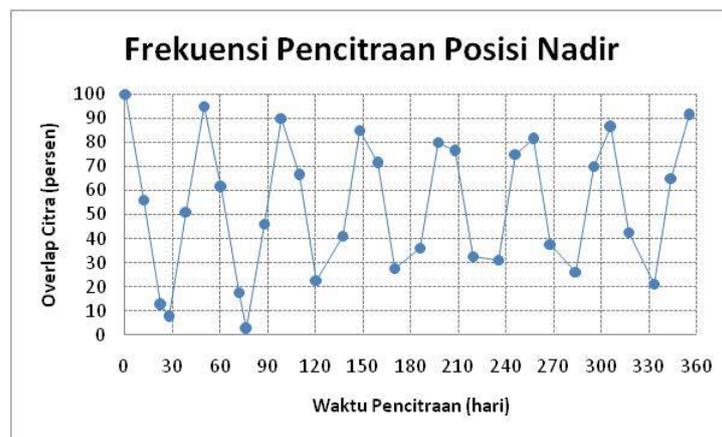
memilih nilai batas toleransi sikap satelit dalam arah sumbu *roll*, sehingga dapat diperoleh frekuensi pencitraan yang tinggi tetapi dengan penurunan resolusi spasial yang tidak terlalu signifikan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk menentukan hubungan antara variasi sikap satelit terhadap resolusi temporal dan resolusi spasial citra yang dihasilkan dalam pengamatan *off-nadir*. Optimasi kedua resolusi tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan analisis kuantitatif hasil simulasi yang dilakukan dan analisis kinerja manuver satelit pada saat *off-nadir* pada beberapa citra kamera multispektral satelit LAPAN-A3.

#### 3.1. Analisis Resolusi Temporal Citra

Resolusi temporal kamera multispektral satelit LAPAN-A3 sebesar 21 hari yang diperoleh sesuai persamaan (1) merupakan definisi umum terkait waktu revisit sebuah instrumen satelit, yaitu frekuensi sebuah target titik di permukaan bumi dapat diamati oleh instrumen tersebut selama periode waktu tertentu dalam keadaan nadir. Walaupun demikian, persamaan tersebut tidak dapat menjelaskan lebih lanjut terkait karakteristik citra hasil pengamatan yang dilakukan dari waktu ke waktu. Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi pencitraan kamera multispektral LAPAN-A3 terhadap suatu target wilayah tertentu dalam posisi nadir untuk periode satu tahun menggunakan model orbit SGP4.

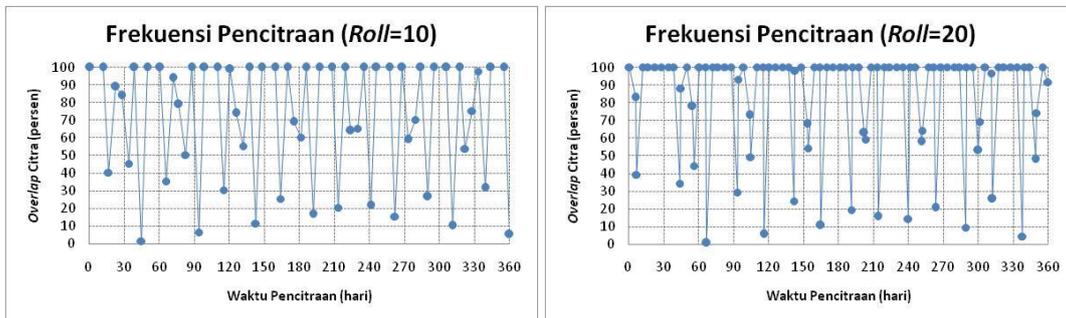


Gambar 5. Hasil pengamatan temporal terhadap suatu target wilayah saat posisi nadir

Pada gambar tersebut tampak bahwa dalam posisi nadir, kamera multispektral LAPAN-A3 dapat mengamati wilayah yang sama seperti wilayah yang diamati pertama kali sebanyak 32 kali dalam satu tahun. Walaupun demikian, dari seluruh pengamatan tersebut hanya tiga buah pengamatan yang dapat menghasilkan wilayah dengan tingkat kesamaan (*overlapping*) sebesar 90 persen. Resolusi temporal yang dihasilkan persamaan (1) juga dapat diturunkan berdasarkan grafik di atas, dengan menentukan batas toleransi tingkat kesamaan citra sebesar 50 persen, yang akan menghasilkan frekuensi pencitraan sebesar 17 kali per tahun, atau setara dengan resolusi temporal sebesar 21 hari. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat disimpulkan bahwa kamera multispektral LAPAN-A3 dapat memiliki resolusi temporal sebesar 11 hari dalam posisi nadir, dengan asumsi bahwa citra yang dihasilkan boleh hanya memiliki tingkat kesamaan sebesar 1 persen, atau sekitar 80 piksel dalam bidang citra.

Untuk dapat meningkatkan frekuensi pencitraan terhadap suatu wilayah dan tetap menjaga tingkat kesamaan citra yang tinggi, maka sikap satelit dalam sumbu *roll* dapat diatur sehingga satelit juga dapat mengamati wilayah di sekitarnya, tidak hanya sebatas wilayah nadir. Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan beberapa batas toleransi sikap satelit, di mana sikap satelit dalam sumbu *roll* dapat diatur dalam suatu batas rentang tertentu. Sementara itu, Tabel 1 menunjukkan data terkait *overlap* citra untuk pengamatan *off-nadir*. Tampak bahwa selain dapat meningkatkan frekuensi pencitraan terhadap suatu wilayah tertentu, toleransi pengamatan dalam posisi *off-nadir* juga dapat menghasilkan citra dengan tingkat kesamaan sebesar 100 persen yang jauh lebih sering dibandingkan

dengan pengamatan dalam posisi nadir. Walaupun demikian, tingginya tingkat kesamaan citra tersebut diakibatkan karena citra yang dihasilkan memiliki resolusi spasial yang lebih rendah dibandingkan citra yang dihasilkan pada posisi nadir.



Gambar 6. Variasi batas toleransi sikap satelit terhadap waktu revisit

Tabel 1. Jumlah pengamatan dalam satu tahun untuk pengamatan *off-nadir*

Toleransi	Jumlah Pengamatan (Citra) w.r.t. <i>Overlap Citra</i> (Persen)										
	100	>90	>80	>70	>60	>50	>40	>30	>20	>10	>0
Nadir	1	3	7	11	15	17	20	24	28	30	32
<i>Roll</i> =10	26	29	31	35	39	43	45	48	52	56	59
<i>Roll</i> =20	54	58	60	63	67	71	74	77	81	85	89
<i>Roll</i> =30	90	92	96	100	103	105	108	112	116	119	122
<i>Roll</i> =40	138	142	146	149	151	155	159	163	165	168	172

Berdasarkan beberapa hasil simulasi tersebut, tampak bahwa semakin besar batas toleransi yang diperbolehkan maka frekuensi pencitraan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Dengan menggunakan asumsi tingkat kesamaan citra sebesar 50 persen, tampak bahwa batas toleransi sudut *roll* sebesar 10 derajat akan dapat menghasilkan frekuensi pencitraan sebanyak 43 kali per tahun dan sudut 20 derajat menghasilkan 71 citra per tahun. Bahkan sudut *roll* sebesar 40 derajat dapat menghasilkan 172 citra pengamatan dalam satu tahun, atau setara dengan resolusi temporal 2,12 hari dengan asumsi tingkat kesamaan citra terendah. Walaupun demikian, peningkatan frekuensi pencitraan tersebut menimbulkan dua permasalahan, yaitu penurunan kualitas citra yang dihasilkan dan wilayah di sekitar target yang diamati akan mengalami penurunan resolusi temporal.

Sementara itu, hubungan antara resolusi temporal sebuah instrumen satelit terhadap lebar sapuan (*swath-width*) kamera yang digunakan untuk pengamatan nadir dapat dilihat pada Tabel 2. Tampak bahwa pengamatan *off-nadir* dan peningkatan lebar sapuan kamera memiliki pengaruh yang sama yaitu dapat meningkatkan frekuensi pencitraan sebuah instrumen satelit.

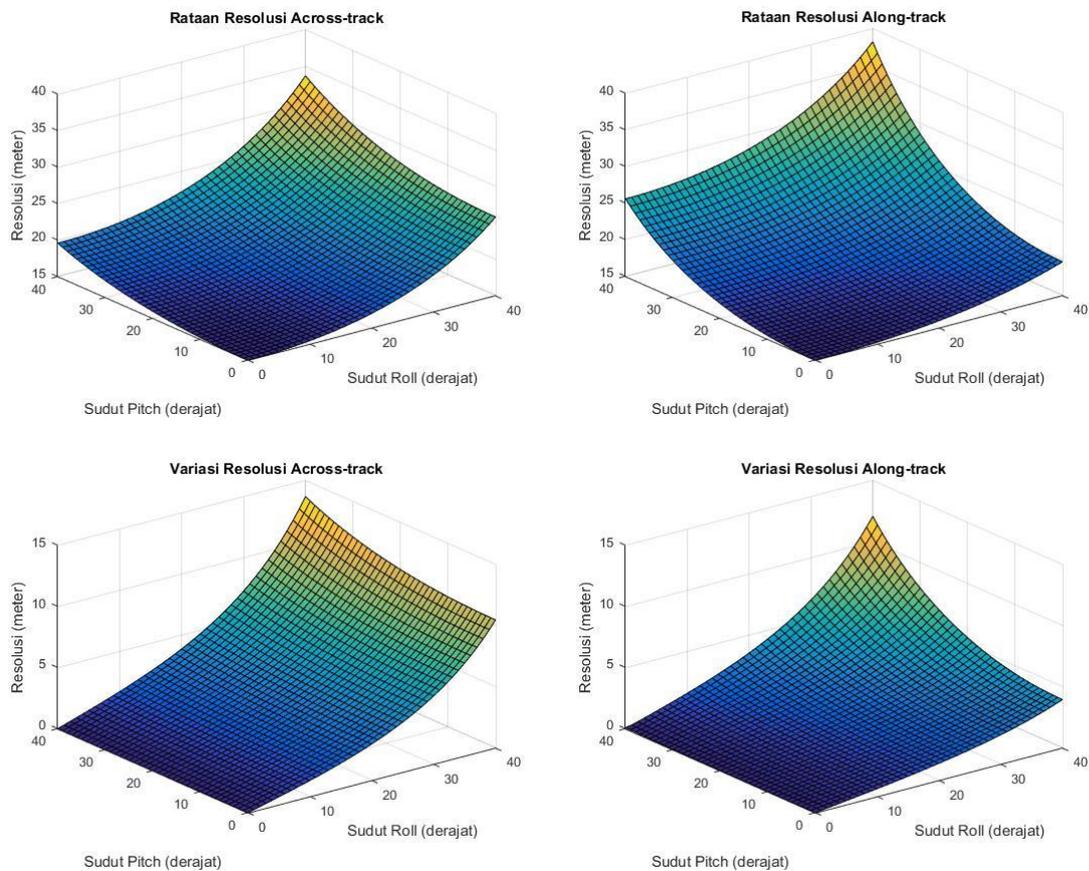
Tabel 2. Jumlah pengamatan dalam satu tahun untuk kamera dengan lebar sapuan yang berbeda

<i>Swath-width</i>	Jumlah Pengamatan (Citra) w.r.t. <i>Overlap Citra</i> (Persen)										
	100	>90	>80	>70	>60	>50	>40	>30	>20	>10	>0
120.1 km	1	3	7	11	15	17	20	24	28	30	32
303.9 km	1	10	17	26	33	43	50	59	67	75	85
511.4 km	1	15	29	43	57	71	86	100	113	127	142
767.0 km	1	22	43	63	86	105	127	149	169	192	212
1120 km	1	31	61	92	123	155	185	218	248	280	298

### 3.2. Analisis Resolusi Spasial Citra

Gambar 7 berikut menunjukkan hubungan antara variasi sudut *pitch* dan *roll* terhadap resolusi citra pada sumbu *across-track* dan sumbu *along-track*. Tampak bahwa dalam keadaan nadir, kamera multispektral satelit LAPAN-A3 memiliki resolusi spasial sebesar 15 meter dalam kedua sumbu citra. Perubahan sudut *pitch* dan *roll* akan menyebabkan resolusi spasial citra yang dihasilkan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan resolusi pada saat keadaan nadir. Selain itu, sudut *pitch* dan *roll* yang

cukup besar juga akan menyebabkan resolusi spasial antara setiap piksel memiliki variasi yang cukup signifikan. Kedua hal tersebut, yaitu menurunnya resolusi spasial citra dan adanya variasi resolusi antar piksel, menyebabkan kualitas geometri citra yang dihasilkan pada saat pengamatan *off-nadir* menjadi tidak terlalu baik.



**Gambar 7. Hubungan variasi sikap satelit terhadap resolusi spasial citra**

Sebagai contoh, berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, untuk pengamatan *off-nadir* dengan sudut *pitch* dan *roll* sebesar 40 derajat, maka dihasilkan citra dengan resolusi spasial sebesar 34x38 meter, dengan variasi antar piksel sebesar 12-14 meter, dengan asumsi model permukaan bumi datar. Dengan memperhitungkan model elipsoid bumi, penurunan kualitas citra yang dihasilkan akan semakin besar, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

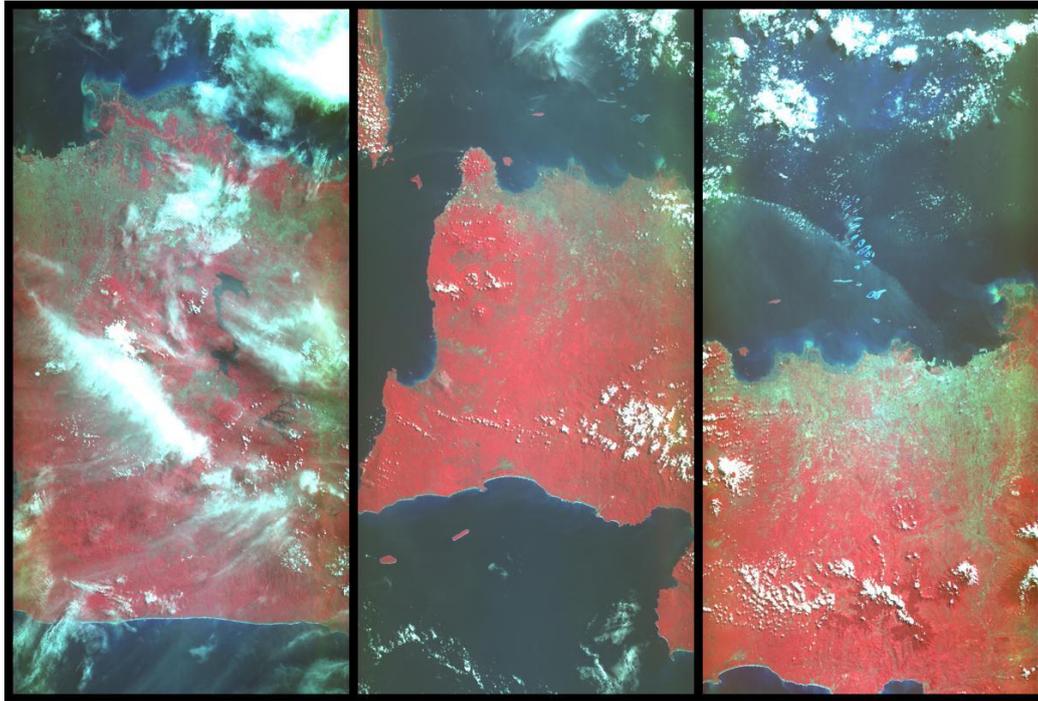
**Tabel 3. Pengaruh model elipsoid bumi terhadap perhitungan resolusi spasial**

Variasi Sudut Pitch	Variasi Sudut Roll					
	Model Permukaan Datar			Model Elipsoid		
	0	20	40	0	20	40
0	15x15	17x16	25.8x19.6	15x15	17.3x16.1	28.4x20.3
20	16x17	18.1x18.2	27.5x23.2	16.1x17.3	18.6x18.7	30.9x25
40	19.6x25.6	22.2x28	33.7x38.3	20.2x28	23.6x31.4	42.2x49.3

Satu catatan yang harus diperhatikan adalah resolusi dalam sumbu detektor (*across-track*) telah menggambarkan resolusi spasial sebenarnya, sedangkan resolusi dalam sumbu *along-track* bersifat semu, di mana perhitungan yang dihasilkan hanya menggambarkan resolusi spasial piksel citra, bukan resolusi spasial sistem. Resolusi spasial efektif dalam sumbu *along-track* sebenarnya ditentukan oleh waktu repetisi kamera dan besar kecepatan satelit. Walaupun demikian, resolusi spasial piksel dalam sumbu *along-track* yang rendah akan menyebabkan distorsi *blur* pada citra yang dihasilkan.

### 3.3. Citra Temporal Kamera Multispektral Satelit LAPAN-A3/IPB

Gambar 8 berikut menunjukkan citra hasil pengamatan kamera multispektral satelit LAPAN-A3 untuk target wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya. Gambar pertama diambil pada tanggal 4 April 2017 di mana orbit satelit pada saat itu berada di sebelah timur Jakarta dan sikap satelit dalam sumbu *roll* diatur sebesar  $-3,24$  derajat agar satelit menghadap ke arah barat. Gambar kedua diambil pada tanggal 20 April 2017 dengan orbit satelit berada di sebelah barat Jakarta dan sikap satelit diatur sebesar  $1,51$  derajat agar satelit menghadap ke arah timur. Sementara itu, gambar ketiga diambil pada tanggal 1 Mei 2017 dengan orbit satelit berada tepat di atas wilayah Jakarta, sehingga sikap satelit diatur pada keadaan nadir, di mana sudut *roll* pada saat itu bernilai  $-0,15$  derajat.



**Gambar 8. Citra hasil pengamatan kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB**

Secara visual tampak bahwa pengaturan sikap satelit dalam sumbu *roll* agar satelit menghadap ke target tujuan belum terlaksana dengan sempurna, di mana pada gambar pertama ada sebagian wilayah Jakarta yang tidak tercakup dan bahkan pada gambar kedua hanya sedikit saja wilayah Jakarta yang terpantau. Hal ini disebabkan karena sikap satelit LAPAN-A3 dalam sumbu *roll* tidak menghadap pada wilayah yang direncanakan. Pada gambar pertama, *ground-track* satelit berada 81 kilometer di sebelah timur target sehingga dibutuhkan pengamatan *off-nadir* dalam sumbu *roll* sebesar  $-7$  derajat. Karena pada kenyataannya gambar pertama diambil pada saat keadaan sudut *roll* hanya sebesar  $-3,24$  derajat, maka target wilayah Jakarta yang diinginkan berada pada sisi kiri citra. Hal yang sama juga terjadi pada gambar kedua, di mana *ground-track* satelit berada 88 kilometer di sebelah barat Jakarta, yang berarti dibutuhkan sudut *roll* sebesar 8 derajat. Karena sudut *roll* pada pengamatan gambar kedua ini hanya sebesar  $1,51$  derajat, maka hanya sedikit wilayah Jakarta yang tampak pada gambar kedua, itu pun wilayah Tangerang-Banten di sisi barat Jakarta. Sementara itu, karena gambar ketiga diambil pada saat *ground-track* satelit hanya berjarak 36 kilometer dari target, maka seluruh wilayah DKI Jakarta dapat tercakup, tanpa adanya pengaturan sikap satelit dalam sumbu *roll*.

Analisis misi operasi pada kasus target wilayah Jakarta tersebut menunjukkan bahwa pengaturan sikap satelit LAPAN-A3 untuk pengamatan *off-nadir*, harus dilakukan dengan lebih baik dan akurat, terutama terkait pengaturan besar arus yang diberikan pada *magnetic-torquer* untuk mengendalikan sikap satelit dalam sumbu *roll*. Sementara itu terkait dengan kualitas citra yang dihasilkan, karena ketiga gambar tersebut diambil dalam keadaan yang tidak terlalu jauh dari posisi nadir, maka tidak terlihat penurunan kualitas citra secara signifikan terutama dalam aspek geometrinya.

### 3.4. Penentuan Frekuensi Pencitraan Berdasarkan Batasan Kualitas Citra

Berdasarkan hasil simulasi resolusi temporal citra, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai batas toleransi sikap satelit dalam sumbu *roll* pada saat pengamatan *off-nadir*, maka akan semakin tinggi frekuensi pencitraan yang dihasilkan. Sementara itu, berdasarkan hasil simulasi resolusi spasial citra, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut sikap satelit dalam sumbu *pitch* dan *roll*, maka resolusi spasial yang dihasilkan akan semakin rendah dan tidak seragam. Karena kedua hal tersebut kontradiktif satu sama lain, maka diperlukan optimasi antara frekuensi pencitraan dan kualitas citra yang dihasilkan. Tabel 4 berikut menunjukkan hubungan antara ketiga variabel tersebut yaitu sikap satelit, frekuensi pencitraan dan resolusi spasial citra, dengan asumsi sudut *pitch* bernilai nol.

**Tabel 4. Hubungan sikap satelit terhadap frekuensi pencitraan dan resolusi spasial citra**

Toleransi Sudut <i>Roll</i>	Resolusi Temporal (50% overlap citra)	Resolusi Spasial (model elipsoid bumi)
0	21,47	15,01
10	8,49	15,54
20	5,14	17,31
30	3,48	20,99
40	2,35	28,41

Optimasi resolusi temporal dan resolusi spasial ini sesungguhnya tidak bersifat unik dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Pada penelitian ini, resolusi spasial akan dijadikan sebagai batasan (*constraint*) untuk menentukan resolusi temporal yang optimal. Dengan mensyaratkan bahwa resolusi spasial citra tidak boleh melebihi resolusi spasial saat nadir sebesar 20 persen atau sekitar 18 meter, maka toleransi sudut *roll* yang diperbolehkan dalam pengamatan *off-nadir* adalah sebesar 20 derajat. Dengan demikian maka resolusi temporal yang dihasilkan adalah sebesar 5,14 hari untuk tingkat kesamaan citra 50 persen. Satu hal yang perlu diperhatikan adalah nilai resolusi spasial pada tabel tersebut merupakan batasan resolusi spasial terburuk yang dihasilkan dalam mode pengamatan dengan toleransi sudut *roll* tertentu. Sebagai contoh, pengamatan dengan toleransi sudut *roll* sebesar 20 derajat akan menghasilkan 71 kali pengamatan dengan tingkat kesamaan citra 50 persen, dalam hal ini tidak berarti seluruh pengamatan tersebut menghasilkan citra dengan resolusi spasial sebesar 18 meter. Hal tersebut disebabkan karena 17 buah pengamatan dapat dilakukan dalam posisi nadir, 26 pengamatan dilakukan dengan mengatur sudut *roll* antara 0-10 derajat dan 28 pengamatan dilakukan dengan sudut *roll* antara 10-20 derajat. Dengan demikian, pengamatan dengan toleransi sudut *roll* tertentu akan menghasilkan citra yang tercakup oleh pengamatan dengan toleransi yang lebih besar, sehingga jika resolusi spasial tidak dijadikan batasan maka optimasi akan menghasilkan toleransi sudut *roll* yang paling besar. Resolusi spasial citra dijadikan batasan untuk menghindari pengamatan dengan sudut *roll* yang terlalu besar yang dapat menghasilkan citra dengan resolusi spasial yang rendah dan tidak seragam, sehingga citra tersebut tidak dapat dimanfaatkan dalam pengolahan dan aplikasi yang dibutuhkan.

## 4. KESIMPULAN

Kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB memiliki resolusi spasial sebesar 15 meter dan resolusi temporal sebesar 21 hari. Penelitian ini membahas mengenai peningkatan frekuensi pencitraan terhadap suatu target wilayah tertentu dengan cara mengatur sikap satelit pada sumbu *roll*. Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa pengamatan *off-nadir* akan menghasilkan citra dengan kualitas geometri yang lebih rendah dibandingkan dalam posisi nadir. Berdasarkan beberapa citra kamera multispektral LAPAN-A3 dan analisis terhadap hasil simulasi karakteristik resolusi spasial, sudut *roll* sebesar 20 derajat masih dapat menghasilkan citra dengan kualitas yang cukup baik, yaitu dengan resolusi spasial sebesar 18 meter. Dengan menggunakan toleransi sikap satelit dalam sumbu *roll* tersebut, maka kamera multispektral LAPAN-A3 dapat menghasilkan resolusi temporal yang lebih tinggi yaitu sekitar 5 hari, empat kali lebih baik jika dibandingkan dengan resolusi pada saat nadir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan rujukan dalam perencanaan misi operasi satelit LAPAN-

A3/IPB, terutama terkait pemantauan wilayah atau peristiwa penting di Indonesia yang membutuhkan frekuensi pencitraan yang cukup tinggi. Selanjutnya, penelitian ini dapat dikembangkan dengan penggunaan fungsi obyektif (*cost-function*) dalam penentuan resolusi temporal yang optimal. Selain itu, pengambilan citra sebaiknya dilakukan dengan lebih baik agar dapat lebih mendukung proses optimasi yang dilakukan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kami kepada Bapak Abdul Karim sebagai Plt. Kepala Pusat Teknologi Satelit (Pusteksat-LAPAN) dan Bapak Wahyudi Hasbi sebagai *Chief Engineer* satelit LAPAN-A3/IPB atas arahan dan bimbingannya sehingga karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

#### PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Hasbi dan Suhermanto. "Development of LAPAN-A3/IPB Satellite an Experimental Remote Sensing Microsatellite," *ACRS*, Bali, 2013.
- [2] P.R. Hakim, A. Rahman, Suhermanto dan E. Rachim. "Model Koreksi Geometri Sistemik Data *Imager Pushbroom* Menggunakan Metode Proyeksi Kolinear," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 10 no. 2, hal. 121-132, 2012.
- [3] P.R. Hakim, A.H. Syafrudin dan S. Salaswati. "Analysis of Radiometric Calibration on Matrix Imager of LAPAN-A3 Satellite *Payload*," *ICARES*, hal. 1-7, IEEE, Bali, 2015.
- [4] N. Suwargana. "Resolusi Spasial, Temporal dan Spektral pada Citra Satelit LANDSAT, SPOT dan IKONOS," *Jurnal Ilmiah WIDYA*, vol. 1 no. 2, hal. 167-174, 2013.
- [5] X. Luo, M. Wang, G. Dai dan X. Chen. "A Novel Technique to Compute the Revisit Time of Satellites and Its Application in Remote Sensing Satellite Optimization Design," *International Journal of Aerospace Engineering*, hal. 1-9, 2017.
- [6] H.D. Kim, O.C. Jung dan H. Bang. "A Computational Approach to Reduce the Revisit Time Using a Genetic Algorithm," *International Conference on Control, Automation and Systems*, hal. 184-189, IEEE, Seoul, 2007.
- [7] H. Septanto, S. Utama, R.H. Triharjanto dan Suhermanto, "Indonesia Coverage Simulation of SAR Satellite at Near-Equatorial Orbit," *Earth and Environmental Science*, vol. 54, 2017.
- [8] G. Taini, A. Pietropaolo dan A. Notarantonio. "Criteria and Trade-offs for LEO Orbit Design," *Aerospace Conference*, hal. 1-11, IEEE, 2008.
- [9] Canada Centre of Remote Sensing, *Fundamentals of Remote Sensing*, hal. 48-66.
- [10] K. Riesing. "Orbit Determination from Two Line Element Sets of ISS-Deployed CubeSats," *Conference on Small Satellites*, hal. 1-9, AIAA/USU, 2015.
- [11] F.R. Hoots dan R.L. Roehrich. "Spacetrack Report #3: Models for Propagation of the NORAD Element Sets," *U.S. Air Force Aerospace Defense Command*, Colorado Springs, 1980.
- [12] E. Kovacs. "Rotation about an arbitrary axis and reflection through an arbitrary plane," *Annales Mathematicae et Informaticae*, vol. 40, hal. 175-186, 2012.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Patria Rachman Hakim, ST, MT.  
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta, 30 April 1982  
Jenis Kelamin : Pria  
Instansi Pekerjaan : LAPAN  
NIP. / NIM. : 19820430 201012 1 002



### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMUN 8 Jakarta Tahun: 1997-2000  
STRATA 1 (S.1) : Teknik Elektro ITB Tahun: 2000-2004  
STRATA 2 (S.2) : Teknik Elektro ITB Tahun: 2005-2008

### ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jl. Cagak Satelit Km 04, Rancabungur, Bogor  
Telp. : 0251-8343333  
Email : patriarachmanhakim@yahoo.com