

KALIBRASI RADIOMETRI *VICARIOUS* KAMERA MULTISPEKTRAL SATELIT LAPAN-A3/IPB DI WILAYAH BUKIT JADDIH MADURA (*VICARIOUS* RADIOMETRIC CALIBRATION OF LAPAN-A3/IPB SATELLITE MULTISPECTRAL IMAGER IN JADDIH HILL MADURA)

**Sartika Salaswati¹, Patria Rachman Hakim², A Hadi Syafrudin³, Rommy Hartono⁴, Satriya Utama⁵,
Agus Herawan⁶, Rakhmat Yatim⁷, Rifki Ardinal⁸, Bambang Sigit Pamadi⁹**

Pusat Teknologi Satelit, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

¹e-mail: sartika.salaswati@lapan.go.id

Diterima : 24 September 2019; Direvisi : 4 Maret 2020 ;Disetujui 24 April 2020:

ABSTRACT

LAPAN-A3/IPB satellite is an experimental microsatellite with remote sensing as its main mission. The satellite brings a multispectral pushbroom imager of red-green-blue-near infrared (RGB-Nir) color channel, with spatial resolution of 15 meter, 120 km swath-width, 16 bit radiometric resolution and 21 days temporal resolution. In order to produce high quality observation image everytime, vicarious radiometric calibration of the imager needs to be conducted regularly since the satellite launch. This research analyzes vicarious radiometric calibration of LAPAN-A3/IPB satellite multispectral imager which has been conducted on Jaddih Hill of Madura last year. By comparing satellite observation image and radiance data measured from field observation by using spectrometer, radiance coefficient can be derived, which shows the relationship between image digital number to at sensor ToA (Top-of-Atmosphere) radiance value. Several calculations and analysis which have been done show that the resulted radiance coefficient derived from Bukit Jaddih calibration has similar values to several previous vicarious radiometric calibrations on different calibration area. Temporal analysis also shows that the radiance coefficient derived by using several Bukit Jaddih observations on different acquisition time have similar values. The result show that the coefficient of vicarious calibration in Jaddih Hill, Madura on the red channel is 0,00134; green channel is 0,00183; blue channel is 0,0036; and NIR channel is 0,00143. These results show that result of the vicarious radiometric calibration conducted is quite accurate. However, the accuracy of the calibration could be improved using atmosphere data obtained from sunfotometer measurement.

Keywords: *vicarious radiometric calibration, multispectral imager, LAPAN-A3/IPB satellite, bukit Jaddih Madura, ToA (Top-of-Atmosphere) radiance*

ABSTRAK

Satelit LAPAN-A3/IPB merupakan satelit mikro eksperimental yang memiliki misi penginderaan jauh sebagai salah satu misi utamanya. Dalam melaksanakan misi penginderaan jauh tersebut, satelit LAPAN-A3/IPB dilengkapi dengan muatan utama berupa kamera multispektral empat kanal (merah-hijau-biru-inframerah dekat) jenis pencitraan pushbroom dengan resolusi spasial 15 meter dan lebar sapuan 120 km serta resolusi radiometri 16 bit dan resolusi temporal 21 hari. Untuk menghasilkan data citra pengamatan yang memiliki kualitas standar setiap saat, salah satu kalibrasi yang harus dilakukan adalah kalibrasi radiometri *vicarious* yang dilakukan setelah satelit mengorbit. Penelitian ini menganalisis hasil kalibrasi radiometri *vicarious* untuk kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB di wilayah bukit Jaddih Madura yang telah dilakukan pada tahun 2018 lalu. Dengan membandingkan data citra observasi yang dihasilkan satelit dan data radiansi hasil pengukuran lapangan dengan menggunakan spektrometer, diperoleh koefisien radiansi yang menyatakan hubungan antara data *digital number* citra kamera multispektral dengan data radiansi sensor ToA (*Top-of-Atmosphere*). Analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa koefisien radiansi yang dihasilkan kalibrasi radiometri *vicarious* di bukit Jaddih Madura tidak berbeda jauh dengan koefisien radiansi yang dihasilkan pada beberapa kalibrasi radiometri *vicarious* sebelumnya. Analisis temporal juga menunjukkan bahwa koefisien radiansi yang dihasilkan dengan menggunakan data observasi bukit Jaddih pada periode waktu lainnya juga menghasilkan nilai koefisien radiansi yang sama. Hasil menunjukkan koefisien radiansi kalibrasi *vicarious* di bukit Jaddih Madura pada kanal merah 0,00134; kanal hijau 0,00183; kanal biru 0,0036; dan kanal NIR 0,00143. Hasil kalibrasi radiometri *vicarious* yang dihasilkan cukup akurat. Walaupun demikian, akurasi kalibrasi radiometri *vicarious* yang dilakukan dapat ditingkatkan dengan menggunakan data atmosfer yang dihasilkan sensor *sunfotometer*.

Kata kunci : *kalibrasi radiometri vicarious, kamera multispektral, satelit LAPAN-A3/IPB, bukit Jaddih Madura, radiansi ToA (Top-of-Atmosphere)*

1 PENDAHULUAN

Satelit LAPAN-A3/IPB memiliki misi utama penginderaan jauh dengan kamera multispektral sebagai muatan utamanya. Kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB merupakan kamera bertipe pushbroom yang memiliki empat kanal warna, yaitu kanal merah (*red*), hijau (*green*), biru (*blue*), dan inframerah-dekat (NIR). Kamera ini mempunyai resolusi spasial 15 meter dan lebar sapuan 120 km, serta resolusi radiometri 16 bit dan resolusi temporal 21 hari. Kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB telah menghasilkan citra yang

telah dimanfaatkan cukup luas diantaranya untuk mengidentifikasi jenis tanaman dan jenis pertumbuhan tanaman (Setiawan *et al.*, 2017) (Wijayanto, *et al.*, 2018), monitoring wilayah kekeringan (Amalo *et al.*, 2018), estimasi jumlah klorofil tanaman (Permatasari, *et al.*, 2018), pemantauan lahan sawah (Raimadoya, *et al.*, 2011) (Setiawan, *et al.*, 2018), dan analisis perubahan penggunaan lahan (Nugroho, *et al.*, 2018).

Untuk menghasilkan data citra dengan kualitas tinggi baik dalam aspek geometri maupun radiometri, beberapa

tahapan kalibrasi dan koreksi citra perlu dilakukan. Beberapa kalibrasi sebelum satelit diluncurkan pada tahun 2016 telah dilakukan, antara lain adalah kalibrasi focus citra (Tahir, et al, 2016) dan kalibrasi radiometri skala laboratorium (Syafudin, et al, 2017). Beberapa algoritma koreksi citra juga telah dikembangkan untuk melakukan koreksi sistematis terhadap citra mentah satelit yang dihasilkan (Hakim, et al, 2018). Kalibrasi radiometri setelah satelit berada di orbit, yang dikenal dengan istilah kalibrasi radiometri *vicarious*, juga telah dilakukan untuk mengetahui perubahan kualitas kamera selama di orbit (Arai, et al, 2018).

Diantara beberapa aspek terkait kalibrasi kamera dan koreksi citra tersebut, salah satu indikator utama dari kualitas sebuah citra yaitu citra tersebut telah terkalibrasi radiometri secara absolut. Salah satu metode kalibrasi radiometri setelah satelit diluncurkan yaitu kalibrasi *vicarious*. Kalibrasi *vicarious* adalah kalibrasi yang memanfaatkan situs alami atau buatan pada permukaan bumi untuk kalibrasi sensor pasca peluncuran (CCRS, 2004). Kalibrasi ini dipercaya dapat menjadi jaminan kualitas data penginderaan jauh (Dinguirard *et al.*, 1999).

Tahap pertama metode kalibrasi berbasis reflektansi ini adalah memilih permukaan referensi dengan karakteristik spesifikasi seragam, dan stabil, yang dapat dibagi menjadi dua kelompok : (1) karakteristik yang terkait dengan masalah atmosfer dan geografis, yaitu, wilayah harus memiliki tutupan awan rendah, ketinggian tinggi, dan datar, dan (2) karakteristik fisik, seperti nilai reflektansi tinggi, keseragaman spasial yang tinggi pada area yang luas, *near-lambertian*, dan stabil dari waktu ke waktu (*invariant temporal*), serta permukaan yang mudah diakses (Scott *et al.*, 1996). Wilayah harus memiliki

tutupan awan rendah untuk mendapatkan data reflektansi yang sama dengan yang diterima kamera satelit, disamping itu juga untuk menghasilkan citra yang bebas awan khususnya pada wilayah kalibrasi.

Sementara nilai reflektansi yang tinggi untuk menghasilkan data yang akurat karena data reflektansi yang cenderung tinggi lebih aman dari *noise*. Kalibrasi radiometri *vicarious* pertama untuk kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB telah dilakukan dengan supervisi dan analisis mendalam Kohei Arai di wilayah Kupang, Nusa Tenggara Timur (Arai, et al, 2018).

Pada penelitian tersebut dihasilkan TOA radiansi dari pengukuran kemudian dihitung persentase perbedaannya dengan hasil perhitungan di laboratorium. Melanjutkan kalibrasi *vicarious* pertama tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan nilai koefisien radiansi kamera multispektral satelit LAPAN-A3/IPB berdasarkan pengukuran kalibrasi lapangan yang dilakukan di wilayah lain yaitu bukit Jaddih Madura. Wilayah tersebut dinilai memenuhi syarat sebagai referensi kalibrasi *vicarious* kamera multispektral LAPAN-A3/IPB. Koefisien radiansi yang dihasilkan tersebut dapat digunakan untuk mengkonversi *digital number* kamera ke dalam unit radiansi, sehingga dapat meningkatkan kualitas citra kamera multispektral LAPAN-3/IPB dan pemanfaatannya dapat berkembang lebih luas lagi. Selain itu, hasil kalibrasi yang dilakukan ini dapat digunakan untuk memvalidasi hasil kalibrasi sebelumnya dan yang lebih penting yaitu untuk membangun kemandirian dan kemampuan sumberdaya LAPAN terkait proses kalibrasi radiometri *vicarious* di masa yang akan datang.

2 METODOLOGI

2.1. Waktu dan Lokasi

Pengukuran reflektansi dan radiansi dilakukan di bukit Jaddih, Madura pada tanggal 30 Oktober 2018 (01:59:30 – 02:00:33 UTC). Waktu tersebut bertepatan dengan lewatnya satelit LAPAN-A3 pada wilayah tersebut. Sementara itu, pemilihan lokasi pada wilayah bukit Jaddih Madura ($7^{\circ} 5'0.04$ LS dan $112^{\circ}45'38.49$ BT) telah diobservasi sebelumnya. Lokasi tersebut dipertimbangkan memenuhi syarat untuk dijadikan lokasi kalibrasi *vicarious*, yaitu memiliki homogenitas yang baik (wilayah bukit Jaddih didominasi dengan hamparan pasir kapur yang warnanya homogen), memiliki nilai reflektansi yang tinggi (bukit Jaddih merupakan bukit kapur yang didominasi dengan warna putih, objek berwarna putih memiliki reflektansi yang tinggi), memiliki luasan yang mencukupi skala resolusi sensor yang akan dikalibrasi (memiliki luasan lebih dari 30 m x 30 m, luas wilayah bukit Jaddih sebelumnya diukur melalui *google earth*), memiliki curah hujan yang rendah (berdasarkan citra yang diporeleh LISA pada bulan Agustus – Oktober 2018, wilayah bukit Jaddih Madura cenderung bebas awan), dan aksesnya mudah (wilayah bukit Jaddih merupakan tempat wisata sehingga dapat diakses dengan mudah tanpa harus melewati birokrasi yang rumit).

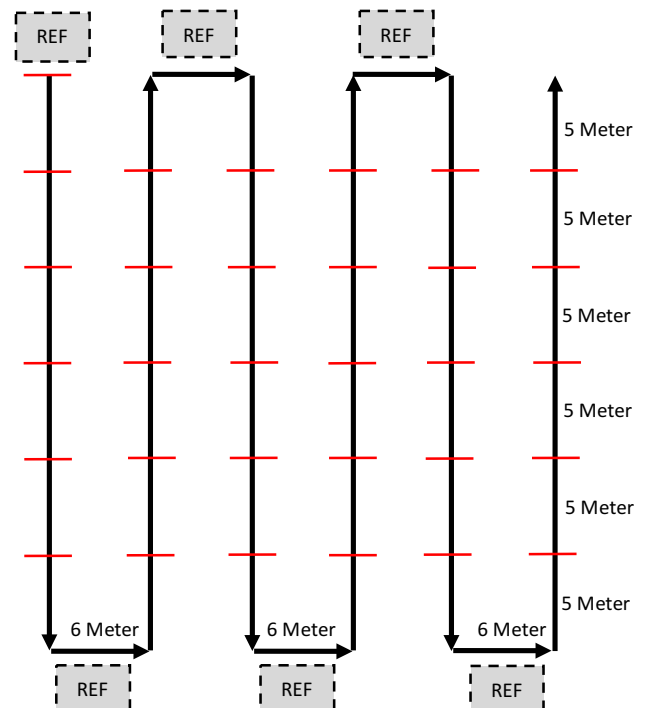
2.2. Pengukuran Reflektansi dan Radiansi

Pengukuran radiansi pada wilayah bukit Jaddih menggunakan instrument berupa spektrometer. Spektrometer yang digunakan merupakan jenis *FieldSpec*

Hand Held 2 buatan ASD. Pengukuran reflektansi dan radiansi dilakukan seperti pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 (Salaswati et al., 2019). Pola tersebut digunakan dengan harapan reflektansi pada keseluruhan daerah homogen yang dijadikan referensi dapat terwakili nilai reflektansinya.



Gambar 2-1: Pengukuran reflektansi dan radiansi wilayah bukit Jaddih Madura



Gambar 2-2: Setup pengukuran reflektansi wilayah homogen

Tabel 2-1 : Spesifikasi spectrometer *FieldSpec Hand Held 2* (ASD Inc, 2010)

Spesification	Value
<i>Wavelength Range</i>	325 – 1075 nm
<i>Wavelength Accuracy</i>	± 1 nm
<i>Spectral Resolution</i>	< 3 nm at 700 nm
<i>Integration Time</i>	8.5 ms minimum (selectable)
<i>Field-of-View</i>	25° (Optional fore optics available)
<i>Sampling Interval</i>	1.5 nm for the spectral region 325 – 1075 nm
<i>Spectrum File Size</i>	Approximately 30 KB
<i>Memory Storage</i>	Up to 2000 spectrum files
<i>Wigth</i>	1.2 kg (2.6 lbs) with batteries
<i>Body Dimensions</i>	Measurements with handle not attached (width x depth x height) : 90 x 140 x 215 mm (3.5 x 5.5 x 8.5 in)
<i>Temperature Range</i>	Operating Temperature : 0° to 40° C (32° to 104° F) Storage Temperature : 0° to 45° C (32° to 113° F) Operating and Storage Humidity : 90 % Noncondensing

2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data pada kegiatan ini meliputi pengolahan data citra, pengolahan data radiansi, dan pengolahan data koefisien radiansi. Pengolahan data radiansi menggunakan software *HH2 Sync*, *View Spec Pro*, dan *Ms. Excel*. Pengolahan data citra menggunakan software koreksi sistematis berbasis MATLAB. Pengolahan data radiansi menghasilkan nilai

radiansi di setiap kanal citra. Setelah dihasilkan radiansi pada masing-masing kanal, maka dapat dihitung koefisien radiansinya. Proses perhitungan tersebut mengacu pada persamaan berikut :

$$L = K_A DN + K_B \quad (2-1)$$

$$K_A = \frac{L - K_B}{DN} \quad (2-2)$$

K_A merupakan koefisien radiansi, DN merupakan *digital number* citra, K_B merupakan data dark citra, dan L merupakan radiansi. Jika $K_B = 0$, maka koefisien radiansi pada citra kamera multispektral LAPAN-A3 adalah :

$$K_{AR} = \frac{L_R}{DN_R} \quad (2-3)$$

$$K_{AG} = \frac{L_G}{DN_B} \quad (2-4)$$

$$K_{AB} = \frac{L_B}{DN_B} \quad (2-5)$$

$$K_{AN} = \frac{L_N}{DN_N} \quad (2-6)$$

K_{AR} , K_{AG} , K_{AB} , dan K_{AN} merupakan koefisien radiansi untuk masing-masing kanal merah, hijau, biru, dan *NIR*. DN_R , DN_G , DN_B , DN_N merupakan *digital number* citra kamera multispektral untuk masing-masing kanal merah, hijau, biru, dan *NIR*. L_R , L_G , L_B , dan L_N merupakan radiansi untuk masing-masing kanal merah, hijau, biru, dan *NIR*.

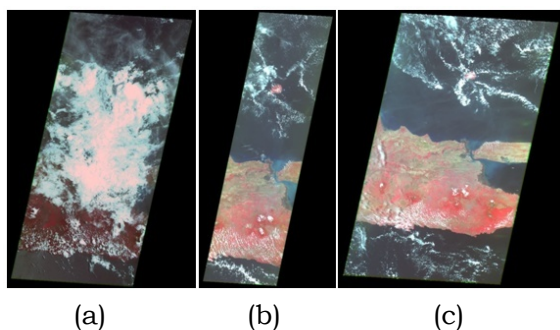
3. HASIL PEMBAHASAN

3.1 Citra Wilayah Bukit Jaddih

Pengamatan satelit LAPAN-A3 pada wilayah Bukit Jaddih Madura dilakukan pada tanggal 29-31 Oktober 2018, dimana pengamatan pada tanggal 29

Oktober dilakukan dengan manuver *off-nadir* sebesar kurang lebih 40 derajat (lintasan satelit berada kurang lebih 400 km di sebelah barat target), pengamatan pada tanggal 30 Oktober dilakukan dalam posisi nadir dan pengamatan pada tanggal 31 Oktober dilakukan dengan manuver *off-nadir* sebesar kurang lebih 40 derajat (lintasan satelit berada kurang lebih 400 km di sebelah timur target). Gambar 3-1 berikut menunjukkan hasil pengamatan untuk ketiga hari tersebut, dimana seluruh pengamatan tersebut berhasil mengamati wilayah Bukit Jaddih. Walaupun demikian, hanya pengamatan

Pada hari kedua dan ketiga yang menghasilkan citra bebas awan (citra kedua dan citra ketiga), sedangkan citra hasil pengamatan pada hari pertama tertutup awan tebal (citra pertama).



Gambar 3-1 : Citra satelit LAPAN-A3 wilayah bukit Jaddih, Madura (a) 29 Oktober 2018, (b) 30 Oktober 2018, (c) 31 Oktober 2018

Data citra wilayah bukit Jaddih pada tanggal 30 Oktober 2018 berhasil diperoleh. Data kuantitatif dari citra tersebut berupa nilai *digital number* pada masing-masing kanal. Wilayah pengukuran radiansi berukuran 30 m x 30 m, yang berarti luasan tersebut mewakili 2 x 2 pixel (1 pixel di kamera sama dengan 15 m di bumi).



Gambar 3-2 :Citra satelit LAPAN-A3 wilayah bukit Jaddih, Madura (30 Oktober 2018)

Digital number 4 pixel untuk masing-masing kanal adalah sebagai berikut :

Tabel 3-1 : *Digital number* kamera multispectral satelit LAPAN-A3

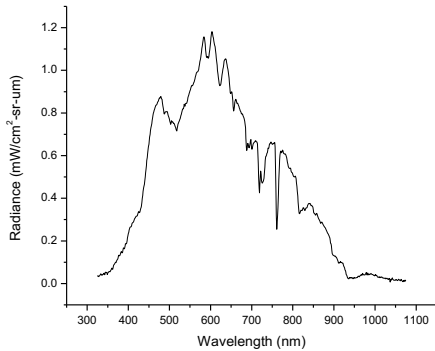
Pixel	Merah	Hijau	Biru	NIR
1	45477	33683	11238	23526
2	42883	34102	11392	22903
3	45436	34541	11452	23867
4	43301	35018	11643	23159

3.2 Radiansi Wilayah Bukit Jaddih

Data radiansi diperoleh dari pengukuran wilayah bukit Jaddih dengan menggunakan spektrometer. Dari pengukuran tersebut diperoleh grafik radiansi dari panjang gelombang 325 – 1075 nm. Sehingga untuk mengetahui nilai radiansi pada panjang gelombang tertentu perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut. Citra kamera multispektral satelit LAPAN-A3 terdiri dari empat kanal yaitu kanal merah (*red*), kanal hijau (*green*), kanal biru (*blue*), dan kanal NIR. Untuk menghitung radiansi pada kanal-kanal tersebut diperlukan nilai *Full Width Half Maximum* (FWHM) masing-masing kanal. Nilai FWHM untuk kanal merah, hijau, biru, dan NIR pada kamera multispektral kamera satelit LAPAN-A3 adalah sebagai berikut :

Tabel 3-2 : FWHM pada kanal kamera multispektral satelit LAPAN-A3

Kanal	FWHM (nm)
Merah	630 – 700
Hijau	510 – 580
Biru	410 – 490
NIR	770 – 900



Gambar 3-3 : Grafik radiansi wilayah bukit Jaddih, Madura (spektrometer)

Nilai radiansi diperoleh dari luas dibawah grafik radiansi yang diperoleh dari pengukuran spektrometer. Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh radiansi untuk masing-masing kanal adalah sebagai berikut

Tabel 3-3 : Radiansi wilayah bukit Jaddih untuk masing-masing kanal

Kanal	Radiansi (mW/cm ² -sr-um)
Merah	59.229
Hijau	62.690
Biru	41.155
NIR	33.404

Tabel 3-4 : Koefisien radiansi dengan referensi wilayah bukit Jaddih untuk kalibrasi vicarious kamera multispektral LAPAN-A3

Kanal	Koefisien Radiansi
Merah	0.001339
Hijau	0.001826
Biru	0.003603
NIR	0.001430

Sebagai perbandingan akan ditampilkan koefisien radiansi berdasarkan pengukuran laboratorium sebelum peluncuran. Pengukuran ini menggunakan *uniform light source integrating sphere* sebagai sumber cahayanya. Tabel 3-6 menunjukkan bahwa koefisien radiansi pada kalibrasi vicarious wilayah bukit Jaddih tidak jauh berbeda dengan koefisien radiansi Laboratorium dan Bromo. Terjadi sedikit perbedaan koefisien radiansi di setiap wilayah, karena belum dilakukannya koreksi terhadap atmosfer di masing-masing wilayah tersebut. Akan tetapi, perbedaan yang tidak signifikan menunjukkan bahwa koefisien radiansi tersebut cukup presisi dan dapat dipertimbangkan penggunaannya.

3.3 Koefisien Radiansi

Berdasarkan persamaan (2-3), (2-4), (2-5), dan (2-6) maka diperoleh koefisien radiansi masing-masing kanal sebagai berikut :

Tabel 3-5 : Perbandingan koefisien radiansi kalibrasi *vicarious* kamera multispectral LAPAN-A3 di beberapa wilayah referensi

Kanal	Koefisien Radiansi			
	Jaddih	Lab	Bromo	Kupang
Merah	0.00134	0.00074	0.00077	0.00312
Hijau	0.00183	0.00060	0.00099	0.00569
Biru	0.00360	0.00151	0.00675	0.01191
NIR	0.00143	0.00085	0.00103	0.00486

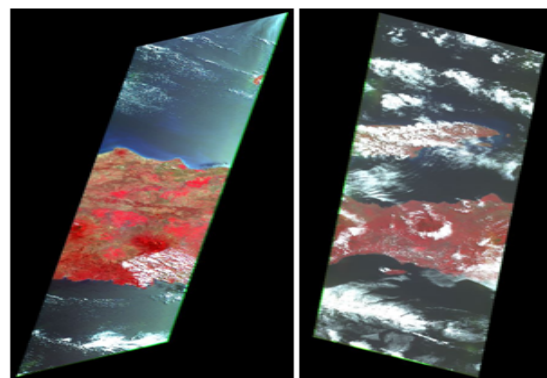
Tabel 3-6 : Selisih koefisien radiansi kalibrasi *vicarious* kamera multispectral LAPAN-A3 di beberapa wilayah kalibrasi

Kanal	Selisih Koefisien Radiansi		
	Jaddih-Lab	Jaddih-Bromo	Jaddih-Kupang
Merah	0.00060	0.00057	0.00178
Hijau	0.00123	0.00084	0.00387
Biru	0.00209	0.00315	0.00831
NIR	0.00058	0.00040	0.00343

Gambar 3-4 dan 3-5 berikut menunjukkan citra satelit LAPAN-A3/IPB pada saat pengukuran kalibrasi yang dilakukan di wilayah Kupang dan Gunung Bromo.



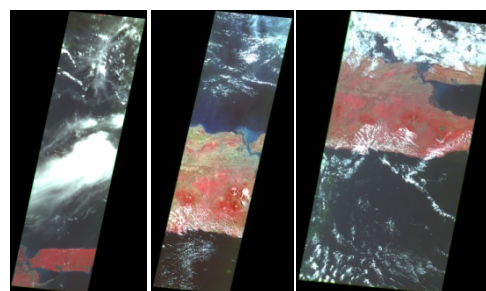
Gambar 3-4 : Citra wilayah Kupang, Nusa Tenggara Timur (NTT)



Gambar 3-5 : Citra wilayah Gunung Bromo, Jawa Timur

3.4 Analisis Temporal

Selain menggunakan data citra satelit pada saat pengukuran lapangan berlangsung, penelitian ini juga membandingkan citra observasi wilayah bukit Jaddih untuk beberapa waktu pengamatan yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui stabilitas radiansi dari wilayah bukit Jaddih tersebut. Wilayah dengan tingkat stabilitas radiansi yang tinggi umumnya dapat dijadikan sebagai target wilayah kalibrasi yang dapat digunakan secara berkala dari waktu ke waktu, karena tidak dipengaruhi pengaruh atmosfer secara signifikan. Gambar 3-6 menunjukkan beberapa citra observasi bukit Jaddih yang digunakan dalam perbandingan ini, yaitu beberapa citra pengamatan bukit Jaddih yang bebas awan yang diperoleh pada tahun 2018.



Gambar 3-6 : Citra wilayah bukit Jaddih, Madura periode 2018

Tabel 3-7 : *Digital number* kamera multispectral satelit LAPAN-A3 pada citra wilayah bukit Jaddih pada waktu yang berbeda

Tanggal	Kanal Merah	Kanal Hijau	Kanal Biru	Kanal NIR
29-03-2018	54347	44192	12044	27704
17-09-2018	59127	48457	22473	25790
18-09-2018	60201	44400	21882	29188
30-10-2018	44274	34336	11431	23364

Tabel 3-8 : Koefisien radiansi kalibrasi *vicarious* kamera multispectral LAPAN-A3 di wilayah bukit Jaddih pada waktu yang berbeda

Tanggal	Kanal Merah	Kanal Hijau	Kanal Biru	Kanal NIR
29-03-2018	0.00109	0.00142	0.00342	0.00121
17-09-2018	0.00100	0.00129	0.00183	0.00130
18-09-2018	0.00098	0.00141	0.00188	0.00114
30-10-2018	0.00134	0.00183	0.00360	0.00143

Dengan menggunakan data pengukuran lapangan yang dimiliki, Tabel 3-6 menunjukkan hasil perhitungan koefisien radiansi yang diperoleh dengan menggunakan beberapa data citra observasi tersebut. Tabel 3-7 menunjukkan bahwa nilai koefisien radiansi yang dihasilkan dengan menggunakan beberapa citra observasi tersebut memiliki nilai yang relatif konstan, dengan standar deviasi sebesar 15 persen. Dengan demikian, wilayah bukit Jaddih dapat dikatakan memiliki karakteristik yang cukup baik sehingga hasil kalibrasi radiometri *vicarious* yang dilakukan ini dapat dikatakan cukup akurat.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dalam kalibrasi *vicarious* di bukit Jaddih Madura ini, diperoleh koefisien radiansi kanal merah 0,00134; kanal hijau 0,00183; kanal biru 0,0036;

dan kanal NIR 0,00143. Nilai tersebut dapat dikatakan merepresentasikan radiansi pada sebuah citra. Nilai yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan koefisien radiansi yang dihasilkan dalam beberapa kalibrasi sebelumnya di wilayah yang berbeda. Akan tetapi perlu dikaji lebih lanjut apakah koefisien ini dapat berlaku untuk semua citra atau citra tertentu saja. Selain itu, penelitian ini masih memerlukan penyempurnaan karena belum dilakukannya koreksi atmosfer pada pengukuran. Analisis temporal menunjukkan bahwa koefisien radiansi yang dihasilkan menggunakan beberapa citra observasi wilayah bukit Jaddih pada periode waktu lain memiliki nilai yang relatif sama, dengan standar deviasi sebesar 15 persen. Kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil kalibrasi radiometri *vicarious* yang dilakukan cukup akurat. Walaupun demikian, akurasi kalibrasi dapat lebih ditingkatkan dengan memperhitungkan faktor atmosfer pada wilayah pengukuran.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Ir. Mujtahid, MT selaku Kepala Pusat Teknologi Satelit Lapan, Bapak Abdul Karim, ST, MT selaku Kepala Bidang Program dan Fasilitas, Bapak Wahyudi Hasbi, S.Si, M.Kom selaku Kepala Bidang Diseminasi, atas arahan, bimbingan, serta fasilitas yang diberikan. Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada tim pengukuran di lapangan. Atas bantuan mereka semua, karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

PERNYATAAN PENULIS

Sartika Salaswati, Patria Rachman Hakim, dan A Hadi Syafrudin memiliki peran yang sama besar sebagai kontributor utama dalam penelitian ini, yang bertanggungjawab terhadap proses

perancangan penelitian dan prosedur kalibrasi, serta pengolahan dan analisis data. Sementara itu, Rommy Hartono, Satriya Utama, Agus Herawan, Rifki A, Rakhmat Yatim, dan Bambang Sigit berperan sebagai kontributor anggota dalam penelitian ini, bertanggungjawab terhadap proses akuisisi data satelit dan pengukuran spektrometer di lapangan.

DAFTAR RUJUKAN

- Amalo, L.F., et al., 2018. *Drought Monitoring Using LISAT and LANDSAT 8 Satellite Imagery in Pakisjaya District, West Java*, Paper presented at the 5th Sympoium on LAPAN-IPB Satellite, 2018.
- Arai, K., et. al., 2018. *Method for Uncertainty Evaluation of Vicarious Calibration of Spaceborne Visible to Near Infrared Radiometers*, International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Vol. 10, No. 1, 2019.
- ASD Inc., 2010. *FieldSpec HandHeld 2TM Spectroradiometer User Manual*, www.asdi.com, diakses : 13 Agustus 2019.
- Canada Centre for Remote Sensing - CCRS, *Vicarious Calibration*, <http://calvalportal.ceos.org/cal/val-wiki//wiki/CalVal+Wiki/Vicarious+Calibration>, diakses : 13 Agustus 2019.
- Dinguirard, M., & Slater, P.N., 1999. *Calibration of Space-multispectral Imaging Sensor : A Review*, Remote Sensing of Environment 68 (194 – 205).
- Hakim, et. al., 2018. *Development of Sytematic Image Preprocessing of LAPAN-A3/IPB Multispectral Images*, International Journal of Advanced Studies in Computer Science in Engineering (IJASCSE) Volume 7 Issue 10.
- Nugroho, S.P., et al., 2018. *Landuse Change Analysis for Hydrology Response and Planning Management of Cibeet Subwatershed, Wst Java, Indonesia*, Paper presented at the 5th Sympoium on LAPAN-IPB Satellite, 2018.
- Permatasari, P.A., et al., 2018. *Comparison of LISAT and LANDSAT Imagery for Estimating Chlorophyl-a*, Paper presented at the 5th Sympoium on LAPAN-IPB Satellite, 2018.
- Raimadoya, M.A., et al., 2011. *Analisis Misi dan Rancangan LAPAN-IPB Satellite (LISAT) untuk Pemantauan Kemandirian Pangan*, Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, ISSN : 0853-4217.
- Salaswati, S., et al., 2019. *Observasi Wilayah TNBTS untuk Kalibrasi Vicarious Kamera Multispektral LAPAN-A3*, Prosiding SIPTEKGAN XXIII 2019.
- Scott, K.P., Thome, K.J., & Bronwlee, M.R., 1996. *Evaluation of The Railroad Valley Playa for Use in Vicarious Calibration*. In Proceedings of SPIE Conference (pp. 158 -166).
- Setiawan, Y., et al., 2017. *An Evaluation of The Use of LAPAN-A3/IPB Spectral Features to Identify Agricultural Land Use Types in Java*, Paper presented at the 4th Sympoium on LAPAN-IPB Satellite, 2017.
- Setiawan, Y., et al., 2018. *Pemanfaatan Fusi Data Satellite-A3/IPB dan Landsat 8 untuk Monitoring Lahan Sawah*, Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Vol. 8 No.1, 67 – 76.
- Syafrudin, A.H., et. al., 2018. *Pre-Flight Radiometric Model of Linear Imager on LAPAN-IPB Satellite*, IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, Sci. 149 012068.
- Tahir, A.M., et al., 2016. *Peningkatan Kualitas Fokus Citra Imager*

Multispektral Satelit LAPAN-A3,
Jurnal Teknologi Dirgantara Vol.14
No.1 Juni 2016 : 37-50.

Wijayanto, A.K., et al., 2018. *The Characteristic of Spectral Reflectance from LAPAN-IPB Satellite and Landsat 8 over Agricultural Area in Probolinggo, East Java*, Paper presented at the 5th Symposium on LAPAN-IPB Satellite, 2018.

