

APLIKASI MODEL GEOBIOFISIK NDVI UNTUK IDENTIFIKASI HUTAN PADA DATA SATELIT LAPAN-A3

(APPLICATION OF GEOBIOPHYSICS NDVI MODEL FOR FOREST IDENTIFICATION IN LAPAN-A3 SATELLITE DATA)

Samsul Arifin^{1,a}, Ita Carolita^{1,b}, Tatik Kartika^{1,b}

¹Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

^aKontributor utama, ^bKontributor anggota

E-mail: samsul.arifin@lapan.go.id

Diterima: 7 Februari 2019; Direvisi: 3 Desember 2019; Disetujui: 31 Desember 2019

ABSTRACT

The LAPAN-A3 / IPB satellite is a micro satellite created by the nation's children in order to build the nation's independence in the field of Space. This satellite has 4 bands including 3 visible waves and 1 near infrared. Given that it is a new satellite, it is necessary to do a study and research on the ability of sensor characteristics to identify natural resources, one of which is forests. *In this study besides using LAPAN-A3 satellite data, Landsat-8 data is also used as comparative data for testing the similarity of forest object classification results.* Determination of extraction of geobiophysical parameters of forest identification using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) model with a threshold value for forest identification. The results of the study with LAPAN-A3 satellite data show that the threshold range for forest identification is above 0.65 on the vegetation index scale -1 (minus one) to +1 (plus one). The results of the study after comparing NDVI values with Landsat-8 data have a 60% similarity.

Keywords: *LAPAN-A3, Geobiophysics, NDVI, Forest*

ABSTRAK

Satelit LAPAN-A3/IPB merupakan satelit mikro yang dibuat anak bangsa dalam rangka membangun kemandirian bangsa bidang Keantariksaan. Satelit ini memiliki 4 *band* diantaranya adalah 3 gelombang tampak dan 1 NIR. Mengingat ini merupakan satelit baru, perlu dilakukan kajian dan penelitian terhadap kemampuan karakteristik sensor untuk mengidentifikasi sumberdaya alam, salah satunya hutan. Pada penelitian ini selain menggunakan data satelit LAPAN-A3, juga digunakan data Landsat-8 sebagai data pembanding untuk pengujian kesamaan hasil klasifikasi objek hutan. Penentuan ekstraksi parameter geobiofisik identifikasi hutan menggunakan model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan nilai ambang batas untuk identifikasi hutan. Hasil penelitian dengan data satelit LAPAN-A3 menunjukkan bahwa kisaran ambang batas untuk indentifikasi hutan adalah di atas 0,65 pada skala indeks vegetasi -1 (minus satu) sampai +1 (plus satu). Hasil penelitian setelah membandingkan nilai NDVI dengan data Landsat-8 memiliki kesamaan 60%.

Kata kunci: *LAPAN-A3, Geobiofisik, NDVI, Hutan*

1 PENDAHULUAN

Indonesia dalam upaya membangun kemandirian bangsa di bidang Keantariksaan, diantaranya adalah pemerintah membangun penelitian dan perekayasa teknologi satelit di dalam negeri baik satelit komunikasi, navigasi maupun penginderaan jauh. Keberhasilan membuat satelit LAPAN-Tubsat (LAPAN A1) yang diluncurkan pada 2007 dengan menggunakan roket peluncur satelit milik India (Ashari & Soedjarwo, 2013) dan Senin, 28 September 2015 telah meluncurkan satelit kedua yang bernama LAPAN A2 (LAPAN-ORARI) dengan Roket *Polar Satellite Launch Vehicle* (PSLV) C-30 dari Bandar Antariksa Satish Dhawan, Sriharikota, India (Wahyudiono & Madina, 2017). Satelit terbaru sukses mengorbit setelah diluncurkan dari Bandar Antariksa Sriharikota, India, pada Rabu 22 Juni 2016, keberhasilan peluncuran satelit LAPAN-A3/IPB, ini menunjukkan satu lagi langkah maju Indonesia dalam keantariksaan (Bempah, 2016).

Satelit LAPAN-A3/IPB selain memiliki misi untuk mengidentifikasi dan memantau sumberdaya alam dipermukaan bumi, satelit ini juga dilengkapi teknologi *Automatic Identification System* (AIS) yang berfungsi memantau lalu lintas laut global dan memerangi perikanan ilegal. LAPAN A3/IPB memiliki orbit polar, melintasi kutub utara dan kutub selatan bumi, sehingga data lalu lintas kapal yang dihasilkan satelit terbaru itu bisa melengkapi data yang dihasilkan oleh LAPAN A2/ORARI. (Judianto, 2015; Hasbi & Suhermanto, 2013; Judianto & Nasser, 2015).

Satelit LAPAN-A3 merupakan satelit sumberdaya alam baru yang memiliki karakteristik tersendiri dan kemungkinan berbeda dengan satelit-satelit penginderaan jauh sebelumnya, seperti Landsat, SPOT atau Sentinel. Satelit LAPAN-A3, perlu diteliti dan dikaji untuk pengembangan model deteksi parameter geobiofisik indeks vegetasi, indeks tanah dan indeks air. Penelitian ini dikhususkan untuk mengidentifikasi hutan.

Potensi Satelit LAPAN-A3 memiliki potensi yang hampir sama dengan potensi satelit-satelit lainnya seperti satelit Sentinel A2 setelah dilakukan studi perbandingan antara kedua satelit tersebut (Zylshal *et al.*, 2017). Selain itu data satelit LAPAN-A3 dapat difusi dengan data lainnya untuk memperoleh informasi yang lebih tajam pada berbagai objek misalnya untuk monitoring lahan sawah (Setiyawan *et al.*, 2018). Kajian Potensi data LAPAN-A3 untuk deteksi parameter geobiofisik dipermukaan bumi berpotensi menghasilkan indeks vegetasi, indeks lahan dan indeks air (Arifin, 2019)

Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa *band* data sensor satelit. Untuk pemantauan vegetasi, dilakukan proses pembandingan antara tingkat kecerahan *band* merah (*red*) dan *band* NIR (*near infrared*). Indeks Vegetasi adalah pengukuran optis tingkat kehijauan (*greenness*) kanopi vegetasi, sifat komposit dari klorofil daun, luas daun, struktur dan tutupan kanopi vegetasi untuk penghitungan biomass hutan dan untuk kerusakan hutan (Huete *et al.*,

2011; Wahyuni, 2012; Yudhistira *et al.*, 2011)

Penelitian tentang geobiofisik terkait dengan ekstraksi vegetasi menggunakan formula indeks vegetasi dan data optik Landsat telah banyak dilakukan, diantaranya indeks vegetasi untuk klasifikasi hutan dan non hutan dengan menggunakan indeks yang diperoleh dari analisis korelasi kanonik CCA (Manalu & Carolita, 2017). Indeks vegetasi untuk diaplikasikan di bidang tanaman juga sudah dilakukan, di antaranya untuk memonitor kondisi tanaman, estimasi produksi, deteksi hama dan penyakit tanaman, mengontrol penggunaan herbisida, pemupukan, kekurangan air, dan bahkan pendugaan sifat tanah, baik di Indonesia maupun di luar negeri (BBSDLP, 2007). Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh formula ekstraksi deteksi paramater geobiofisik untuk identifikasi hutan dari data satelit LAPAN-A3.

2 METODOLOGI

2.1 Data dan Lokasi

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data LAPAN-A3, dan Landsat-8 yg telah terkoreksi *Top Atmosphere Bidirectional Reflectance Distribution Function* (TOA-BRDF) dari Pustekdata.

Akusisi data baik LAPAN-A3 dan Landsat-8 wilayah Provinsi Banten dilihat pada Gambar 2.-1.

2.2 Penentuan Geobiofisik

Ekstraksi geobiofisik indeks vegetasi, indeks tanah, dan indeks pada citra satelit LAPAN-A3, digunakan formula yang telah diterapkan pada

beberapa band data citra satelit sebelumnya diantaranya adalah:

Indeks vegetasi atau NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara band *red* dan band *Near-Infrared* (NIR) yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi (Lillesand & Kiefer, 1997). Formula yang digunakan seperti persamaan 1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots\dots\dots(1)$$

dimana NIR adalah band 5 dengan panjang gelombang 0,85 – 0,80 μm dan *red* adalah band 4 dengan panjang gelombang 0,64 – 0,67 μm dari Landsat-8.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Spektral LAPAN-A3 dan Landsat-8

LAPAN-A3/LAPAN-IPB diluncurkan membawa beberapa muatan termasuk *imager pushbroom* multispektral, kamera matriks digital, serta kamera video. Payload multispektral, dijuluki sebagai *Line Imager Space Application* (LISA), memiliki empat *band* multispektral mulai dari spektrum inframerah yang terlihat hingga dekat. Dengan lebar petak 123 km, dengan sapuan di antara 185 km Landsat-8 OLI, sementara kadan 100 km ubin Sentinel-2A / 2B data MSI. Data citra ini belum banyak analisis komparatif antara platform ini dalam hal kualitas gambar, klasifikasi, dan penilaian akurasi. Gambar 3-1 dan Tabel 3-1 menunjukkan karakteristik multispektral LAPAN-A3.



Indonesia



Provinsi Banten

Gambar: 2-1. Lokasi dan Akusisi Data Penelitian (Sumber: Google Earth)



Gambar 3-1: Satelit LAPAN-A3/IPB (Sumber : Foto LAPAN)

Tabel 3-1: KARAKTERISTIK MULTISPEKTRAL LAPAN-A3

Sensor	Spektal	Panjang Gelombang	Resolusi Spasial	Lebar petak	Resolusi Temporal
LISA	B1 - Blue	0,41 - 0,49 μm	18 m	122,4	21 h
	B2 - Green	0,51 - 0,58 μm	18 m	km	
	B3 - Red	0,63 - 0,70 μm	18 m		
	B4 - NIR	0,77 - 0,99 μm	18 m		

Sumber: Pusat Teknologi Satelit dalam Kushardono, 2017.

Karakteristik tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi dan memonitoring perkembangan dan perubahan objek di permukaan bumi dengan memanfaatkan transformasi formula geobiofisik. Hipotesis ini dapat dilaksanakan karena karakteristik satelit LAPAN-A3 sebagian memiliki karakteristik spektral pada satelit optik lainnya, khususnya Landsat-7 atau Landsat-8. Berikut merupakan spesifikasi dan karakteristik beberapa *band* yang dimiliki oleh Landsat-8

dilihat pada Tabel 3.2. Satelit Landsat-8 memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Landsat ini memiliki 11 *band*, 9 *band* diantaranya berada di OLI dan 2 *band* lainnya berada di TIRS. Sebagian *band* pada Landsat ini memiliki kesamaan dengan citra satelit Landsat-7. Landsat-8 ini dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerapatan dan luasan vegetasi. Berikut adalah spesifikasi *band* (*band*) yang dimiliki oleh Landsat-8.

Tabel 3-2. KARAKTERISTIK BAND LANDSAT-8

Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (meter)
1	0,43 - 0,45 (<i>Ultra Blue</i>)	30 x 30
2	0,45 - 0,51 (<i>Blue</i>)	30 x 30
3	0,53 - 0,59 (<i>Green</i>)	30 x 30
4	0,64 - 0,67 (<i>Red</i>)	30 x 30
5	0,85 - 0,80 (<i>Near Infrared I</i>)	30 x 30
6	1,57 - 1,65 (<i>Shortwave Infrared - SWIR I</i>)	120 x 120
7	2,11 - 2,29 (<i>Shortwave Infrared - SWIR II</i>)	30 x 30
8	0,50-0,68 (<i>Phankromatik</i>)	15 x 15
9	1,36-1,38 (<i>Cirrus</i>)	30 x 30
10	10,60-11,19 (<i>Thermal Infrared TIRS I</i>)	100 x 100
11	11,50 - 12,51 (<i>Thermal Infrared TIRS II</i>)	100 x 100

Sumber: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands>, 19-03-2018

3.2 Analisis Perbandingan Data

Berdasarkan karakteristik data Landsat-8 dan LAPAN-A3 terlihat adanya perbedaan yang signifikan antara lain bahwa resolusi spektral Landsat-8 memiliki 11 *band* sedangkan LAPAN-A3 hanya memiliki 4 *band*. Persamaan *band-band* kedua satelit tersebut antara lain adalah *band red, green, blue* dan NIR. Resolusi spasial kedua satelit memiliki perbedaan, dimana Landsat-8 pada gelombang tampak dan *infra red* 30 meter x 30 meter, sedangkan LAPAN-A3 resolusinya 18 meter x 18 meter. Pada resolusi temporal, Landsat-8 16 hari sedangkan LAPAN-A3 21 hari. Dari penjelasan di atas, maka resolusi spektral dan temporal Landsat-8 lebih baik dari satelit LAPAN-A3, tetapi dari segi spasial LAPAN-A3 lebih baik dari Landsat-8.

Berdasarkan kurva *digital number*, LAPAN-A3 lebih rapat dari pada Landsat-8 dan resolusi spasial LAPAN-A3 lebih besar dari Landsat-8, tetapi kenampakan visual RGB pada masing-masing citra dengan skala pembesaran yang sama tampak Landsat-8 lebih tajam dari citra LAPAN-A3 seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2. Penyebab hal ini belum dapat dipastikan, apakah karena pengaruh atmosfer saat akuisisi, atau ada faktor teknis lain yang mempengaruhi.

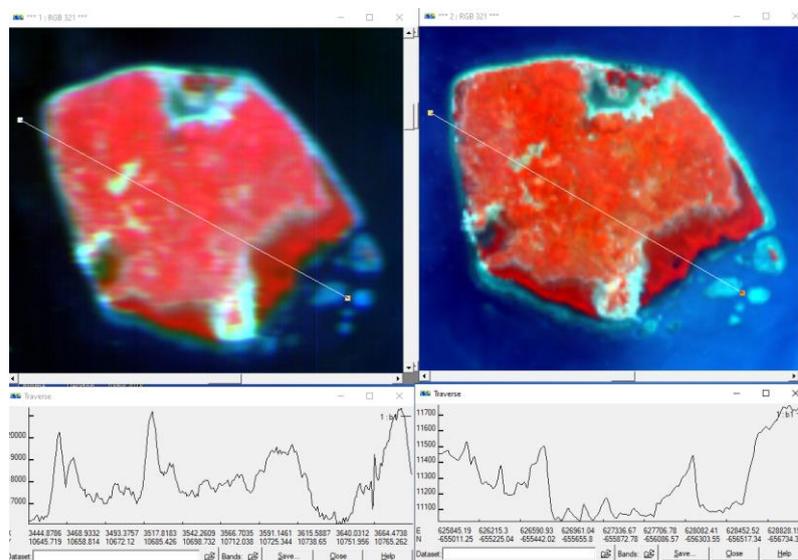
3.3 Penentuan NDVI Landsat-8

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan dan dipublikasikan Ryan

(1997) dan Lillesand & Kiefer (1997) terkait nilai NDVI, dari berbagai data optik seperti Landsat, SPOT, MODIS dan lain-lain, menunjukkan bahwa NDVI dari kanopi vegetasi rapat akan cenderung ke nilai positif (katakan 0,3 hingga 0,8), awan dan salju akan dicirikan oleh nilai-nilai negatif dan air memiliki pantulan yang agak rendah di kedua *band* sehingga menghasilkan nilai NDVI positif atau bahkan negatif yang sangat rendah. Tanah umumnya ditunjukkan dengan spektrum NIR dan beberapa reflektan yang lebih besar dari merah, menghasilkan nilai NDVI positif yang kecil antara 0,1 hingga 0,2. Nilai NDVI sangat rendah nilai di bawah 0,1 terjadi di daerah tandus seperti batu, pasir, atau salju. Nilai NDVI semak belukar dan padang rumput (0,2-0,3), Nilai NDVI tinggi menunjukkan hutan hujan sedang dan tropis (0,6 - 0,8).

Hal ini menunjukkan bahwa reflektan *band* NIR lebih peka terhadap vegetasi dari pada reflektan *band red*

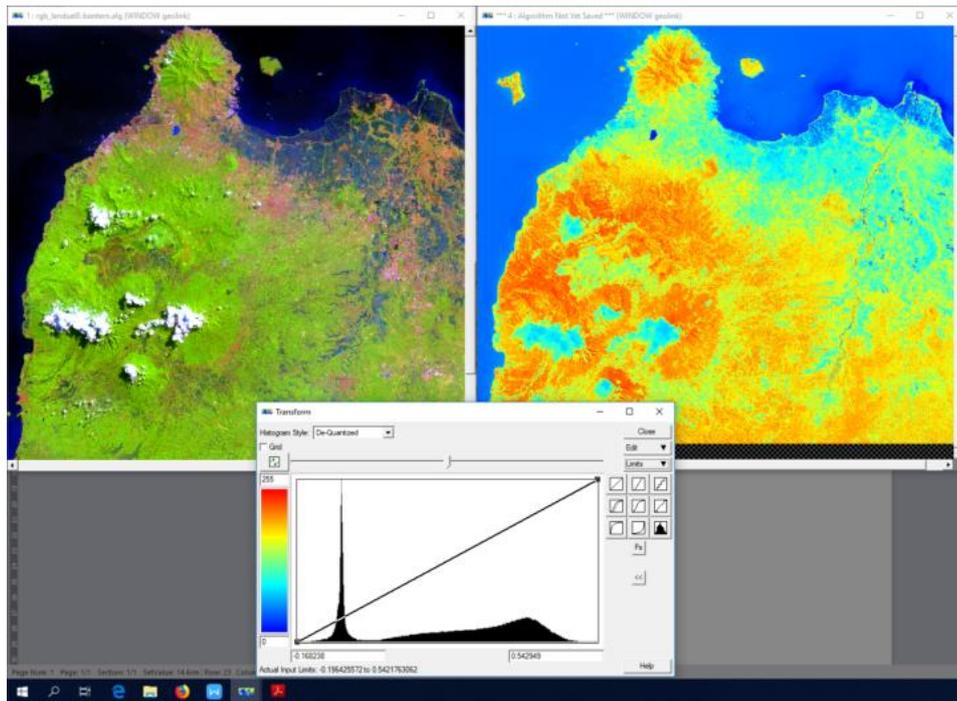
Pada wilayah penelitian, nilai ekstraksi NDVI menggunakan data Landsat-8 dengan formula seperti pada persamaan (1) yang berkisar antara -0,196 sampai 0,529, ini dapat dilihat pada Gambar 3-3, dengan ambang batas masing-masing kelas objek sebagai berikut, NDVI untuk air di bawah 0, NDVI untuk non vegetasi antara 0 sampai 0,3, NDVI untuk vegetasi bukan hutan antara 0,3 sampai 0,4, sedangkan NDVI vegetasi hutan di atas 0,4.



LAPAN-A3

Landsat-8

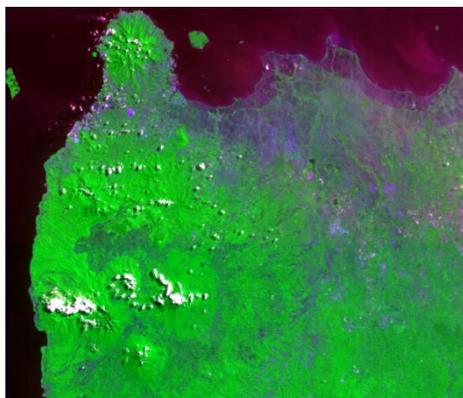
Gambar 3-2. Perbandingan visual ketajaman citra LAPAN-3 dengan Landsat-8



Gambar 3-3 Ekstraksi nilai NDVI berdasarkan data Landsat-8

3.4 NDVI Satelit LAPAN-A3

Data yang digunakan adalah data satelit LAPAN-A3 dengan akusisi wilayah Provinsi Banten. Gambar 3-4 menunjukkan citra satelit LAPAN-A3 dengan kombinasi RGB band 4 (NIR), band 3 (red) dan band 2 (green).



Gambar 3-4. Citra Satelit LAPAN-A3 kombinasi band NIR, red dan green

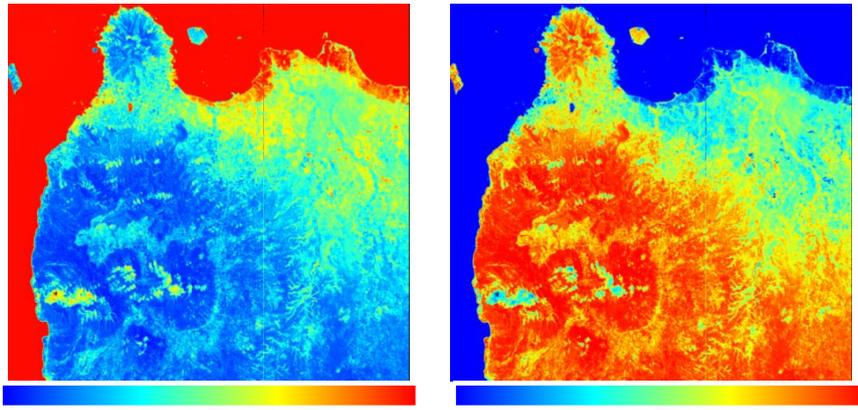
Penerapan formula ekstraksi informasi geobiofisik yang sering digunakan pada citra satelit optik Landsat, MODIS, dan SPOT dicoba untuk mengekstraksi informasi geobiofisik pada data satelit LAPAN-A3. Hasil penerapan formula NDVI dengan formula standar yaitu menggunakan

persamaan (1) menunjukkan bahwa adanya ketidaksesuaian hasil kecerahan pada objek, dimana objek bervegetasi seharusnya memiliki nilai indeks tinggi dengan kenampakan lebih cerah (merah), tetapi ternyata sebaliknya, hasilnya berwarna gelap dengan nilai indeks rendah (biru). Sedangkan objek air yang seharusnya memiliki indeks vegetasi rendah -1 ternyata memiliki nilai indeks 1 terang. Hasil ekstraksi informasi ini dapat dilihat pada Gambar 3-5 (a). Tetapi jika formula dirubah menjadi persamaan pembilang *band red* dikurangi NIR, menghasilkan ekstraksi informasi objek vegetasi bernilai indeks vegetasi 1 berwarna terang (merah), objek air bernilai indeks -1 berwarna gelap (biru).

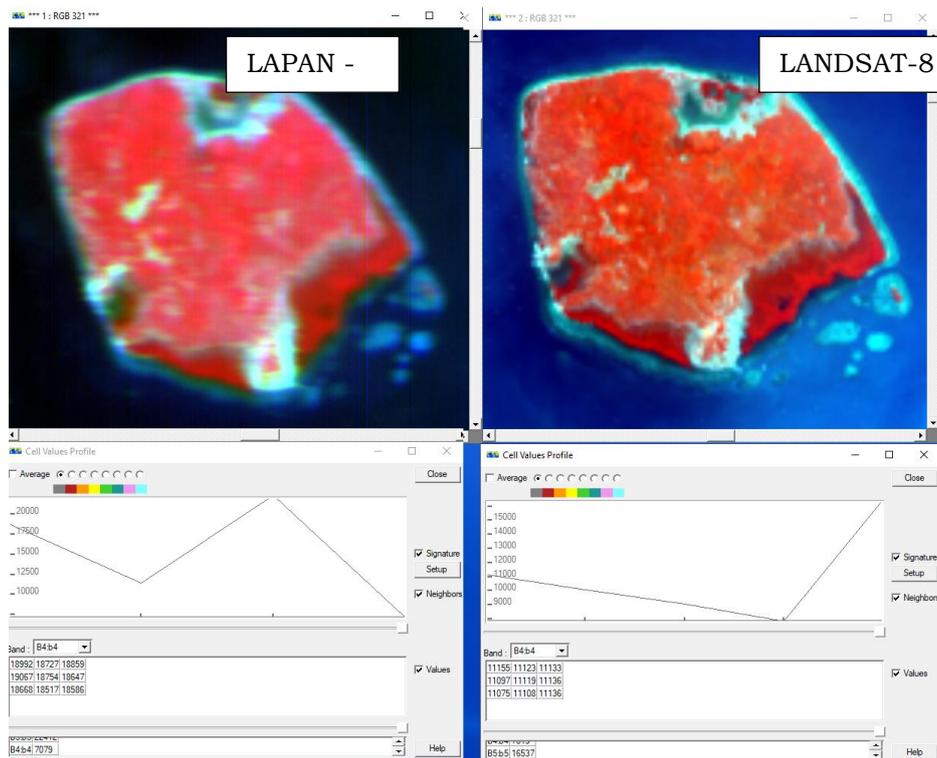
Modifikasi formula NDVI pada data citra LAPAN-A3 dapat dibuat persamaan 2:

$$NDVI_{(LAPAN-A3)} = \frac{RED - NIR}{RED + NIR} \dots\dots\dots(2)$$

Ekstraksi informasi geobiofisik indeks vegetasi pada citra satelit LAPAN-A3 dengan menggunakan formula persamaan 2, ditunjukkan pada Gambar 3-5 (b).



(a). $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ (b). $(RED-NIR)/(RED+NIR)$
 Gambar 3-5. Hasil ekstraksi informasi geobiofisik untuk indeks vegetasi LAPAN-3

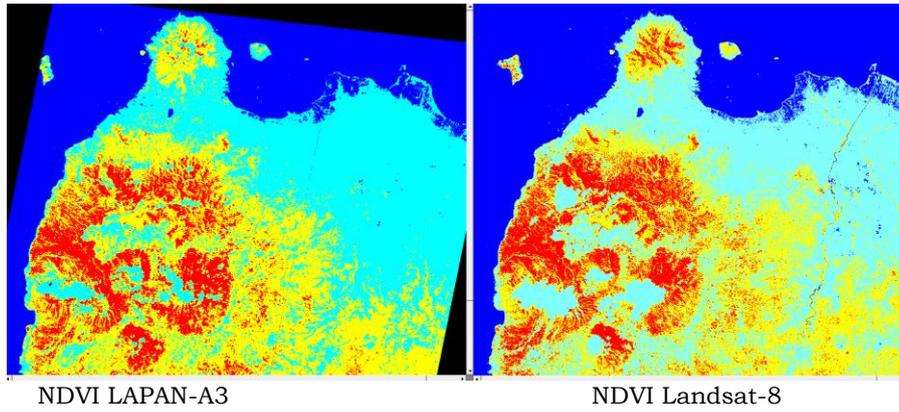


Gambar 3-6. Perbandingan Reflektansi Red, NIR pada LAPAN-A3 dan Landsat-8

Berdasarkan hasil penelitian dan penelaahan penerapan formula NDVI standar yang digunakan pada citra satelit optik seperti Landsat, SPOT, dan MODIS, tidak dapat digunakan pada data citra satelit LAPAN-A3. Hal ini disebabkan nilai digital atau reflektansi *band* NIR pada LAPAN-3 lebih rendah dari pada *band* NIR Landsat-8, sedangkan nilai reflektan *band* red LAPAN-A3 lebih tinggi dari pada red Landsat-8, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-6.

Hasil ekstraksi khusus hutan menggunakan citra satelit LAPAN-A3 dengan formula seperti pada

persamaan 2 dihasilkan indeks vegetasi kisaran $-0,829687$ s/d $0,766671$. Ambang batas masing-masing kelas objek adalah sebagai berikut, NDVI untuk air di bawah 0, NDVI untuk non vegetasi antara 0 sampai 0,5, NDVI untuk vegetasi non hutan antara 0,5 sampai 0,65, sedangkan NDVI vegetasi hutan di atas 0,65. Kisaran tingkat kerapatan NDVI dari Departemen Kehutanan (2003), Kelas Kisaran NDVI tingkat kerapatan -1 s/d $0,32$ jarang, $0,32$ s/d $0,42$ sedang, dan $0,42$ s/d 1 tinggi. Perbandingan klasifikasi citra berdasarkan NDVI ditunjukkan pada Gambar 3-7 dan Tabel 3-3.



Gambar 3-7: Perbandingan NDVI LAPAN-A3 dan Landast-8

Tabel 3-3: PERBANDINGAN AMBANG BATAS NDVI KLASIFIKASI HUTAN LANDSAT-8 DAN LAPAN-A3

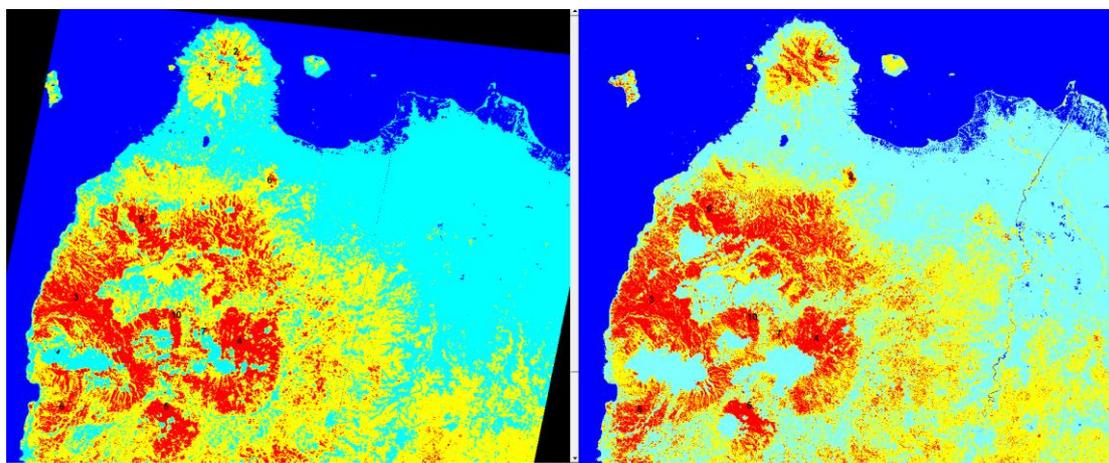
No	Objek	Ambang Batas NDVI Landsat-8	Ambang Batas NDVI LAPAN-A3	Warna Klasifikasi Objek
1.	Air	$I \leq 0$	$I \leq 0$	Biru
2.	Bukan Vegetasi	$0 < I \leq 0,3$	$0 < I \leq 0,5$	Cyan
3.	Vegetasi Bukan Hutan	$0,3 < I \leq 0,4$	$0,5 < I \leq 0,65$	Kuning
4.	Vegetasi Hutan	$I > 0,4$	$I > 0,65$	Merah

3.5 Kesamaan Nilai

Kesamaan nilai dilakukan dengan membandingkan hasil indeks vegetasi dari LAPAN-A3 dengan hasil indeks vegetasi dari Landsat-8. Berdasarkan titik-titik sampel hasil identifikasi NDVI yang diambil, baik pada Landsat-8 maupun LAPAN-A3 pada Gambar 3-8, dan hasil identifikasi dapat di lihat pada Tabel 3-4.

Berdasarkan analisis kesamaan nilai pada pengambilan sampel, bahwa 4 titik bukan merupakan hutan pada data LAPAN-A3, sementara Landsat-8 menyatakan sebagai hutan, demikian maka tingkat kesamaan nilai dari lokasi

penelitian hanya 60%. Tingkat kesamaan nilai rendah diperkirakan disebabkan oleh adanya perbedaan resolusi spasial kedua data citra satelit tersebut. Citra satelit LAPAN-A3 berdasarkan kriteria resolusi spasialnya 18 meter, sedangkan Landsat-8 resolusi spasialnya 30 meter. Kenyataannya setelah dilakukan pembesaran pada kedua citra tersebut, ketajaman citra Landsat-8 lebih baik dari pada satelit LAPAN-A3. Ini menunjukkan bahwa resolusi spasial 18 meter pada data LAPAN-A3, kurang baik dibandingkan dengan citra Landsat-8 resolusi 30 meter.



Gambar 3-8. Titik-titik sample kesamaan nilai

Tabel 3.4. UJI TINGKAT KESAMAAN NILAI

No. Identifikasi	LAPAN-A3	Landsat-8	Keterangan	Nilai (%)
1	Non Hutan	Hutan	x	0
2	Non Hutan	Hutan	x	0
3	Hutan	Hutan	√	100
4	Hutan	Hutan	√	100
5	Hutan	Hutan	√	100
6	Hutan	Hutan	√	100
7	Non Hutan	Hutan	x	0
8	Non Hutan	Hutan	x	0
9	Hutan	Hutan	√	100
10	Hutan	Hutan	√	100

4 KESIMPULAN

Berdasarkan kenampakan visual RGB citra LAPAN-A3 terlihat buram dibandingkan Landsat-8, walaupun resolusi spasial LAPAN-A3 lebih besar dari Landsat-8.

Model geobiofisik NDVI untuk mengidentifikasi hutan dapat digunakan data LAPAN-A3 dengan syarat modifikasi formula dari

$$NDVI_{(LANDSAT-8)} = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \text{ menjadi}$$

$$NDVI_{(LAPAN-A3)} = \frac{RED - NIR}{RED + NIR}$$

Tingkat kesamaan nilai dari perbandingan analisis data LAPAN-A3 dengan Landsat-8 adalah 60%, dan perlu dilakukan verifikasi dan divalidasi lapangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan semua pihak, oleh karena itu kami mengucapkan terimakasih pada Kepala Pusfatja, Kepala Program dan Fasilitas serta Ka. Poklit Darat Dr. Dony Kushardono.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. (2019). *Potensi Satelit LAPAN-A3 untuk Deteksi Parameter Geobiofisik Permukaan Bumi*. Berita Dirgantara, Jakarta. (ISSn 1411-8920 Vol. 20 (1) hal. 1-7.
- Ashari, M.L. & M. Soedjarwo. (2013). *Analisis Kinerja Kamera Resolusi Tinggi (HR Sony) pada Satelit LAPAN A1/TUBSAT Setelah Beroperasi Lima Tahun di Orbit. Pengembangan Teknologi Satelit di Indonesia, Sistem, Subsistem dan Misi Operasi*. IPB Pres. Bogor.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). (2007). *Inderaja untuk Pertanian*. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Bogor., 29 (6) hal.5-6
- Bempah, R. T. (2016). LAPAN A3/IPB Siap Pantau Lahan Pertanian dan Laut. Kompas.com.
- Departemen Kehutanan. (2003) *Kelas Kisaran NDVI untuk Tingkat Kerapatan Hutan*.
- Hasbi, W., & Suhermanto. (2013). *Development of LAPAN-A3/IPB Satellite an Experimental Remote Sensing Microsatellite*. 34th Asian Conference on Remote Sensing.
- Huete, A., K. Didan, W.V. Leeuwen, T. Miura, & E. Glenn. (2011). *MODIS Vegetation Indices*. Land Remote Sensing and Global Environmental Change. Springer. New York. DOI: 10.1007/978-1-4419-6749-7_26.
- Judianto, C. T. (2015) *Kesiapan Stasiun - Bumi-Kendal -Satelit LAPAN. Pusat Teknologi Satelit*.
- Judianto, C.T., & E.N. Nasser. (2015). *The analysis of LAPAN-A3/IPB satellite image data simulation using High Data Rate Modem*. Elsevier, Procedia Environmental Sciences, Vol. 24, April 3, 2015, pp: 285 – 296.

- Kushardono, D. (2017). *Teknologi LAPAN A3 LISA dan Pemanfaatan Citranya*. Berita Inderaja. Vol. 8 (10) hal. 23-29
- Lillesand, T.M., & R.W. Kiefer. (1997). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Diterjemahkan: Dulbahri, Prapto Suharsono, Hartono, Suharyadi. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Manalu, J. & I. Carolita. (2017). *Pemanfaatan Data Landsat-8 untuk Identifikasi Hutan*. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Pertanian dan Kehutanan, IPB Pres, Bogor.
- Ryan, L. (1997). *Creating a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) image Using MultiSpec*. University of New Hampshire.
- Setiyawan, Y., L. B. Prasetyo, H. Pawitan, Liyantono, Syartinilia, A.K. Wijayanto, P.A. Permatasari, A.H. Syafrudin, & P.R. Hakim. (2018). *Pemanfaatan Fusi Data Satelit LAPAN-A3/IPB dan Landsat-8 untuk Monitoring Lahan Sawah*. Jurnal Pengolahan Sumberdaya dan Lingkungan JPSSL). Bogor. 8(1).
- Wahyudiono, A. & R. Madina. (2017). *Pemanfaatan Muatan Kamera Digital pada Satelit LAPAN A2 untuk Pemantauan Pembangunan Ruas Jalan Tol di Pulau Jawa*. Prosiding Seminar Nasional Iptek Penerbangan dan Antariksa XXI-2017. 242-249
- Wahyuni, N.I. (2012). *Integrasi Penginderaan Jauh Dalam Penghitungan Biomassa Hutan*. Info BPK Manado. 2 (2). 115-126.
- Yudhistira, G. B. (2011). *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Identifikasi Kerusakan Hutan di Kabupaten Brebes Tahun 1999-2009*. Skripsi. Jurusan Geografi Universitas Negeri Semarang.
- Zylshal, Z., N.M. Sari, J.T. Nugroho, & D. Kushardono. (2017). *Comparison of Spectral Characteristic between LAPAN-A3 and Sentinel-2A*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 98 (2017) 012051. doi :10.1088/1755-1315/98/1/012051
- <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands> (akses 19-03-2018).

