

6

KLASIFIKASI MULTI-TEMPORAL HUTAN DAN NON-HUTAN MENGGUNAKAN DATA MOSAIK LANDSAT UNTUK MENGISI PIKSEL KOSONG (Studi Kasus: Kabupaten Tanah Bumbu dan Tanah Baru, Kalimantan Selatan)

Tatik Kartika, Ahmad Sutanto, Gagat Nugroho, Nursanti Gultom
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN

ABSTRACT

Research using optical satellite data such as Landsat, is often constrained by clouds. Mosaic some data in the same year, by first abolishing the clouds and its shadow, will get an annual Landsat Data. The annual Landsat Data acquisition was often not produce a mosaic with free data cloud, so that the pixels are empty. If the data is used for land cover classification, the blank pixel is identified as no data. To overcome these empty pixels, multitemporal classification was done where the classification of Landsat data is used yearly above. This research method is divided into four parts, namely input, phase I, phase II, and output. Input data are annual mosaic of Landsat data and forest probabilities data resulted from forests and non-forest classification yearly using Support Vector Machine (SVM). Phase I is the filtration and determination of the percentage of lower forests threshold to produce annual forest and non-forest spatial. This result still contains a blank pixel according to its annual mosaic of Landsat data. Phase II is a multitemporal classification which generates spatial information of forest and non-forest with blank pixels that have been classified as forest or non-forest with permutation rules and land changes rules. The data being used is data mosaic of Landsat in 2009 to 2012 and included in Tanah Bumbu and Tanah Baru, South Kalimantan. The results of visual analysis, lower threshold for the forest in the study area is between 30-35%. These values provide spatial information if the forest is more or equal to the lower threshold, non-forest if less than the lower threshold, and a null value for the blank pixels. The final result or output generates spatial information forest and non-forest yearly with null values are minimal.

Keywords: *Landsat Data, mosaic, missing pixel, multitemporal classification*

ABSTRAK

Penelitian dengan menggunakan data satelit optik seperti Landsat, seringkali terkendala oleh awan. Mosaik beberapa data pada tahun yang sama dengan terlebih dahulu menghilangkan awan dan bayangannya, akan diperoleh Data Landsat tahunan. Perolehan Data Landsat tahunan pun seringkali tidak menghasilkan mosaik dengan data yang bebas awan sehingga terdapat piksel-piksel kosong. Jika data tersebut digunakan untuk klasifikasi penutup lahan, maka piksel kosong tersebut diidentifikasi sebagai tidak ada data. Untuk mengatasi piksel-piksel kosong tersebut, dilakukan klasifikasi multitemporal di mana pada klasifikasi ini digunakan data Landsat tahunan di atas. Metode penelitian ini terbagi dalam empat bagian, yaitu *input*, tahap I, tahap II, dan *output*. *Input* berupa mosaik Data Landsat tahunan dan data probabilitas hutan hasil klasifikasi hutan dan non-hutan tahunan menggunakan metode *Support Vector Machine (SVM)*. Tahap I adalah filterisasi dan penentuan persentase ambang batas bawah hutan untuk menghasilkan informasi spasial hutan dan non-hutan tahunan. Hasil ini masih memuat piksel kosong sesuai dengan mosaik data Landsat tahunannya. Tahap II adalah klasifikasi multitemporal yang menghasilkan informasi spasial hutan dan non-hutan dengan piksel kosong yang sudah dikelaskan menjadi hutan atau non-hutan dengan aturan permutasi dan aturan perubahan lahan. Data yang digunakan adalah data mosaik Landsat tahun 2009 sampai dengan 2012 dan termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Tanah Bumbu dan Tanah Baru, Provinsi Kalimantan Selatan. Hasil analisis visual, ambang batas bawah untuk hutan di wilayah penelitian berkisar antara 30–35%. Nilai tersebut memberikan informasi spasial hutan jika lebih atau sama dengan ambang batas bawah, non-hutan jika kurang dari ambang batas bawah, dan nilai *null* untuk piksel kosong. Hasil akhir atau *output* menghasilkan informasi spasial hutan dan non-hutan tahunan dengan nilai *null* yang minimal.

Kata Kunci: Data Landsat, mosaik, piksel kosong, klasifikasi multitemporal

1. PENDAHULUAN

Secara global, hutan hampir menutupi 40% dari penutup lahan di bumi (Webtob 1989 dalam Wulder 1989). Di Indonesia, hamparan hutan mempunyai luas sekitar 99,6 juta hektare atau 52,3% luas wilayah Indonesia (Kementerian Kehutanan 2011). Untuk memperoleh informasi spasial mengenai area hutan, diperlukan data yang mempunyai cakupan yang luas. Data penginderaan jauh satelit bisa digunakan untuk memperoleh informasi tersebut karena mempunyai resolusi spasial atau area yang luas dan resolusi temporal atau lokasi yang sama akan direkam secara berulang pada periode waktu tertentu sehingga dimungkinkan untuk memantau kondisi hutan dari tahun ke tahun. Data Landsat adalah data satelit yang ditujukan untuk mengamati permukaan bumi, mempunyai cakupan 185x185 km dan resolusi temporal 16 hari (<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/landsat.htm>, http://www.trfic.msu.edu/data_portal/Landsat7doc/intro_landsat.html).

Salah satu masalah dalam proses analisis citra adalah mengatasi piksel kosong (Aksoy *et al.* 2009). Demikian pula dalam pemantauan hutan dan non-hutan dengan data penginderaan jauh satelit optik mempunyai kendala, yaitu masalah awan, apalagi Indonesia berada di wilayah tropis di mana awan dan bayangannya sering terjadi. Sementara itu, Indonesia termasuk negara

yang perlu diperhatikan atau dipantau keberadaan hutannya karena adanya ekspansi dari perkebunan sawit (Hansen *et al.* 2009 dalam Kim *et al.* 2014). Untuk mengurangi kendala awan tersebut maka dilakukan mosaik citra pada tahun yang sama sehingga diperoleh data penginderaan jauh satelit tahunan dengan harapan tidak ada lagi terdapat piksel kosong akibat awan dan bayangannya. Dengan demikian, penggunaan data mosaik berguna dalam mengurangi kesalahan dalam klasifikasi (Furby *et al.* 2007). Masalahnya untuk Indonesia seringkali pada data mosaik tahunan pun masih terdapat piksel kosong yang kemudian diidentifikasi sebagai tidak ada data.

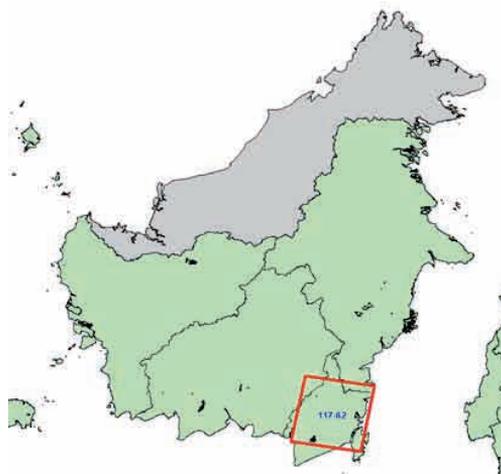
Berdasarkan hal di atas, maka dilakukan penelitian bagaimana mengatasi piksel kosong tersebut sehingga pemantauan di suatu area dapat dilakukan secara kontinu. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan informasi spasial hutan dan non-hutan tahunan, di mana informasi yang diperoleh sudah meminimalkan area piksel kosong. Artinya, area tersebut kemudian terkelaskan sebagai hutan atau non-hutan sesuai dengan aturan permutasi dan ilustrasi perubahan penutup lahan pada data multitemporal.

Keuntungan menggunakan metode klasifikasi multitemporal adalah meningkatkan konsistensi dan akurasi hasil klasifikasi hutan dan non-hutan dengan data satu waktu (Furby dan Wallace 2011). Symeonakis *et al.* (2012) menyatakan bahwa penggunaan klasifikasi multitemporal dapat meningkatkan akurasi hasil klasifikasi dan juga mampu melakukan estimasi tipe penutup lahan untuk pengisian piksel kosong (*missing data*) akibat tutupan awan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi Penelitian

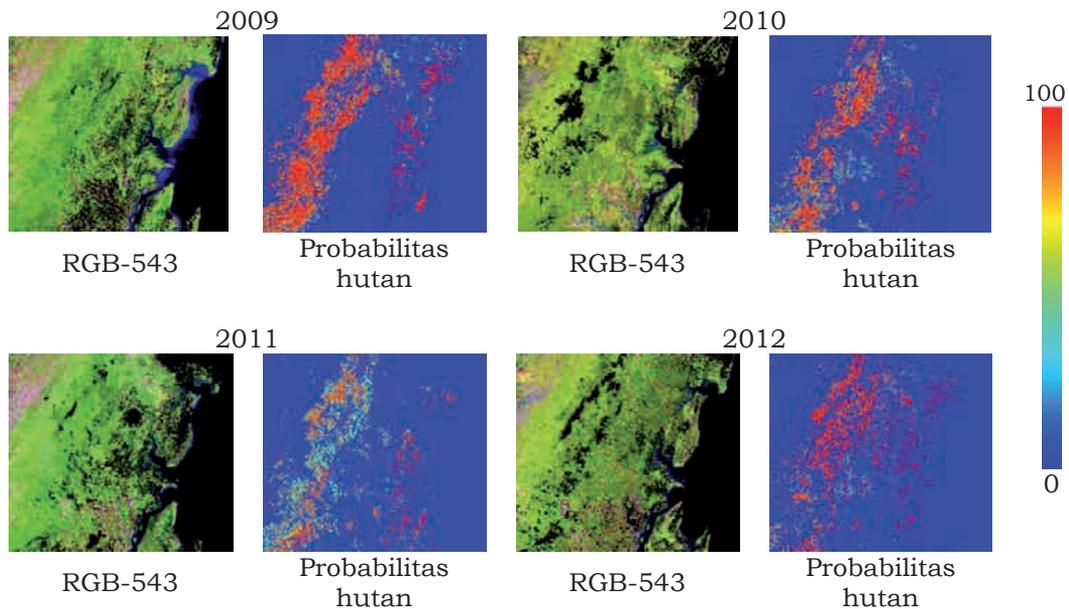
Gambar 1 menunjukkan daerah penelitian di mana wilayah tersebut termasuk ke dalam wilayah Provinsi Kalimantan Selatan di Kabupaten Tanah Bumbu dan Kabupaten Tanah Baru.



Gambar 1 Kotak merah menunjukkan lokasi penelitian

2.2. Data yang Digunakan

Data yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 2, yaitu Data Landsat-5 dan Data Landsat-7 dengan komposit RGB-543 yang sudah terkoreksi *ortho*, *terrain*, dan *cloud masking* di sebelah kiri dan probabilitas hutan di sebelah kanannya. Data Landsat yang digunakan mempunyai *path/row* 117/62 hasil mosaik tahunan dengan menghilangkan awan dan bayangannya, sedangkan probabilitas hutan adalah hasil dari klasifikasi SVM yang bernilai dari nol yang berarti bukan hutan dan makin mendekati 100 maka semakin berpeluang sebagai hutan. Data yang digunakan adalah data dari tahun 2009 sampai dengan 2012.



Gambar 2 Citra Landsat dengan komposit band 543 (RGB) wilayah Kabupaten Tanah Bumbu, Kabupaten Kotabaru, dan sekitarnya yang sudah terkoreksi *ortho*, *terrain*, dan *cloud masking* di sebelah kiri dan probabilitas hasil klasifikasi SVM di sebelah kanannya tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012

2.3. Metode Penelitian

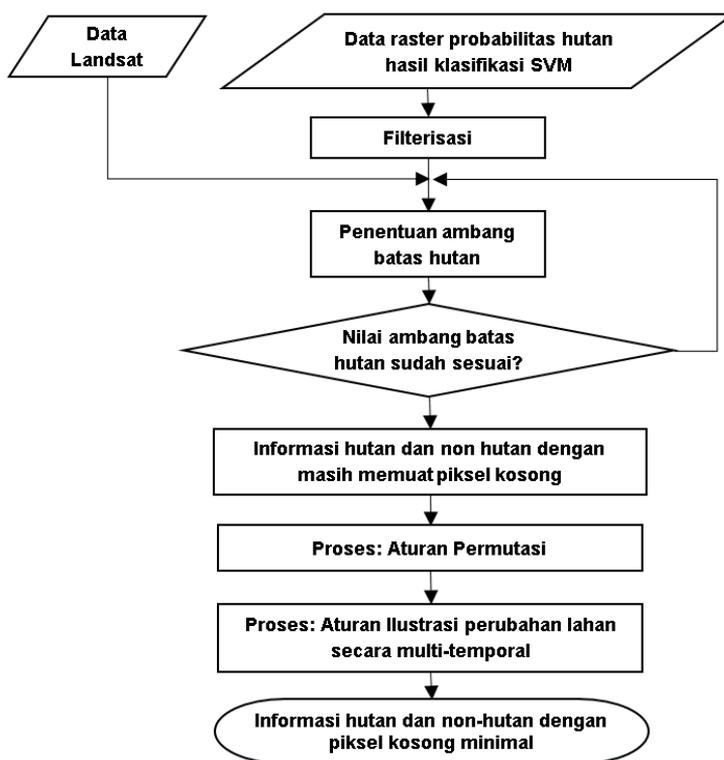
Gambar 3 menunjukkan diagram alir penelitian yang terbagi menjadi empat bagian yaitu *input*, proses terdiri dari klasifikasi hutan tahap I dan klasifikasi hutan tahap II serta *output*.

Input adalah Mosaik data Landsat dan citra probabilitas hutan hasil dari metode SVM.

Klasifikasi hutan Tahap I dimulai dengan model algoritma dari metode klasifikasi multitemporal di mana setiap piksel mengacu kepada program *Indonesia National Carbon Accounting System (INCAS)* berikut ini (Caccetta 1997):

$$P(Y, L, L', N(i)^*) = \prod_{k=1}^n Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 \quad (1)$$

- di mana :
- $Q_1 = P(Y_k | L_k)$ (ambang batas data tunggal)
 - $Q_2 = P(Y_k | L'_k)$ (Aturan akurasi)
 - $Q_3 = P(Y'_k | L'_{k-1})$ (Aturan Temporal)
 - $Q_4 = P(Y'_k | N(i)^*)$ (Aturan ketetanggaan)
 - $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ Citra berlainan tahun
 - $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ Probabilitas pemisahan kelas setiap tahun
 - $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_n\}$ Perbaiki probabilitas pemisahan kelas setiap tahun
 - $N(i)$ Ketetanggaan piksel



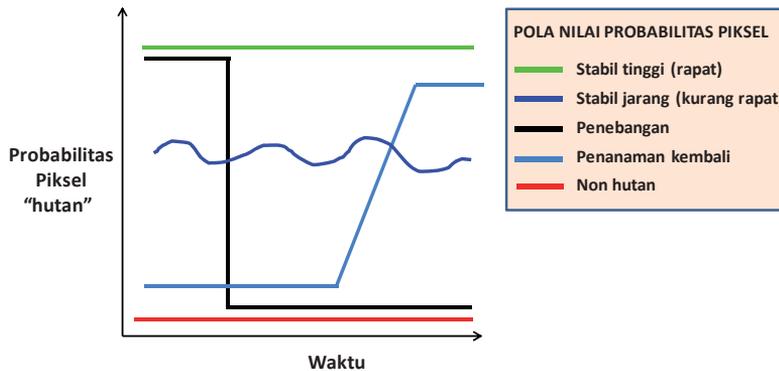
Gambar 3 Diagram alir penelitian untuk memperoleh informasi hutan dan non-hutan dengan piksel kosong yang minimal

Penelitian ini berdasarkan algoritma *INCAS* tetapi dengan urutan yang berbeda dengan alasan untuk peningkatan akurasi, maka dilakukan terlebih dahulu aturan akurasi dan aturan ketetanggaan melalui filterisasi. Aturan akurasi dibuat dengan mengalikan setiap piksel dengan hasil akurasi, yaitu hasil pengujian terhadap *training sampel* yang diambil. Dalam filterisasi digunakan filter *lowpass Kernel avg 3x3* untuk memperhalus kenampakan citra, di mana nilai

piksel yang baru merupakan rerata dari hasil kali tiap-tiap elemen matriks dengan nilai piksel yang dimaksud (Danoedoro 2012). Ambang batas ditentukan melalui analisis visual dengan membandingkan antara citra Landsat dan hasil probabilitas pada tahun yang sama.

Dari klasifikasi Tahap I di atas diperoleh nilai ambang batas bawah yang menunjukkan informasi hutan dan non-hutan. Tahap selanjutnya adalah klasifikasi Tahap II atau klasifikasi multitemporal untuk memperoleh klasifikasi hutan dan non-hutan.

Klasifikasi multitemporal didasarkan kepada pemikiran bahwa 1) Pohon di hutan memerlukan waktu untuk tumbuh, tidak bisa menjadi besar dalam satu tahun sehingga perlu melihat kondisi sebelum dan sesudahnya dan 2) terjadinya perubahan penutup lahan di wilayah hutan yang harus dipantau secara multitemporal.



Gambar 4 Ilustrasi perubahan lahan secara multitemporal

Sumber: Furby and Wallace (2011)

Gambar 4 memperlihatkan ilustrasi perubahan nilai probabilitas hutan sejalan dengan waktu. Hutan mempunyai nilai probabilitas yang selalu tinggi sejalan waktu (garis hijau), sedangkan non-hutan mempunyai nilai probabilitas yang rendah sepanjang waktu (garis merah). Bila probabilitas berubah-ubah tinggi menjadi rendah atau rendah menjadi tinggi maka telah terjadi perubahan lahan seperti penebangan hutan (garis hitam) atau penanaman kembali (garis abu-abu).

Klasifikasi multitemporal dilakukan dengan mengadopsi model *input* yang dibangun oleh Cacceta (1997) dengan menggunakan empat tahun data. Jika urutan diperhatikan dan suatu objek dapat dipilih lebih dari sekali maka jumlah permutasinya adalah:

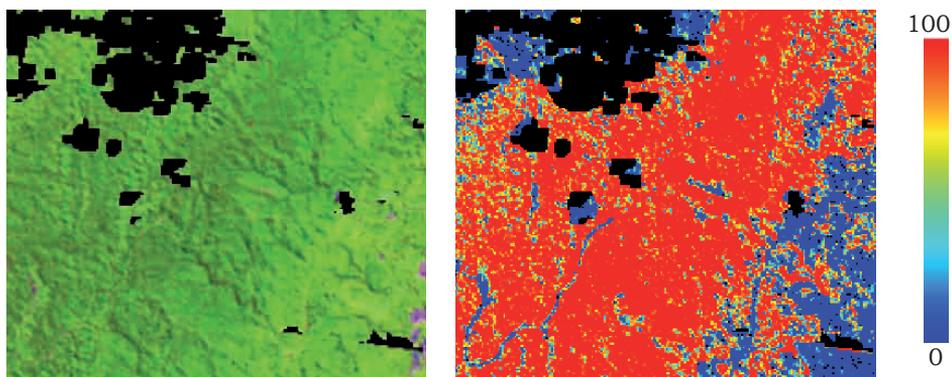
$$n^r \tag{2}$$

di mana n adalah banyaknya objek yang dapat dipilih dan r adalah jumlah yang harus dipilih (Fisher 1991; http://id.wikipedia.org/wiki/Kombinasi_dan_permutasi).

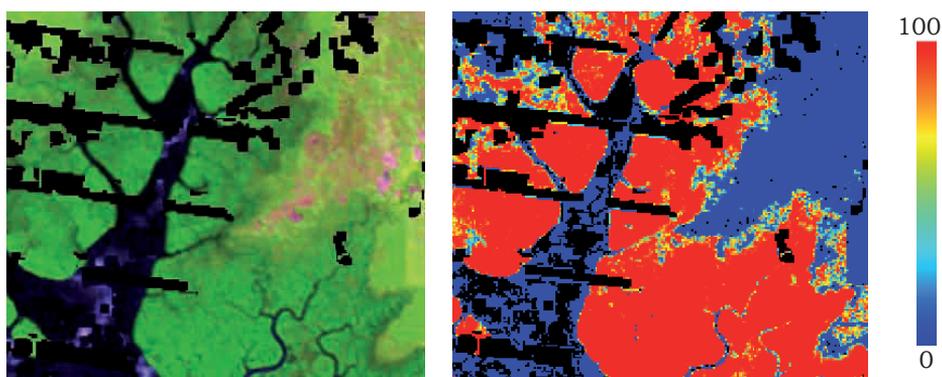
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil klasifikasi hutan dan non-hutan berdasarkan metode SVM memberikan nilai probabilitas dari 0 sampai 100, di mana 0 merupakan nilai bagi piksel kosong dan makin mendekati 100 maka probabilitasnya semakin mendekati hutan.

Gambar 5 menunjukkan citra Landsat dan hasil klasifikasi metode SVM untuk hutan pada dataran tinggi, sedangkan Gambar 6 untuk daerah pesisir. Gambar-gambar tersebut menunjukkan mosaik citra Landsat di sebelah kiri dan probabilitas hutan dan non-hutan hasil dari metode SVM di sebelah kanan. Analisis secara visual, hasil metode SVM sudah baik di mana hutan primer di dataran tinggi maupun hutan mangrove di pesisir mempunyai probabilitas yang tinggi, tetapi batas nilai probabilitas untuk hutan masih belum diketahui. Hasil klasifikasi untuk piksel kosong sudah terkelaskan menjadi kelas null atau tidak ada data.

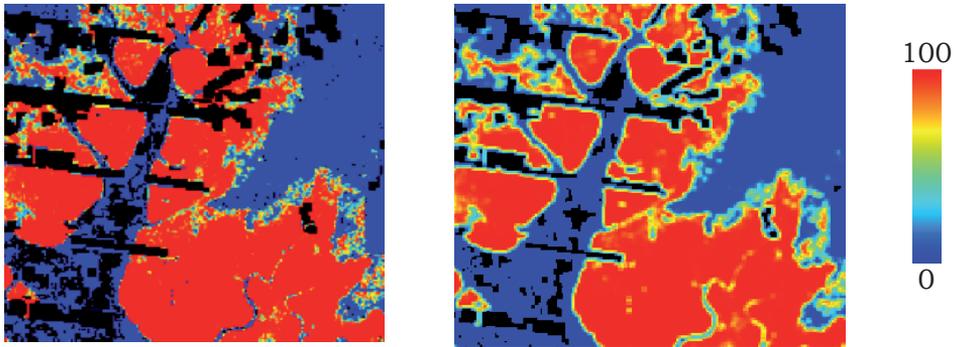


Gambar 5 Data Landsat (kiri) dan hasil metode SVM berupa probabilitas hutan dataran tinggi di area penelitian (kanan)

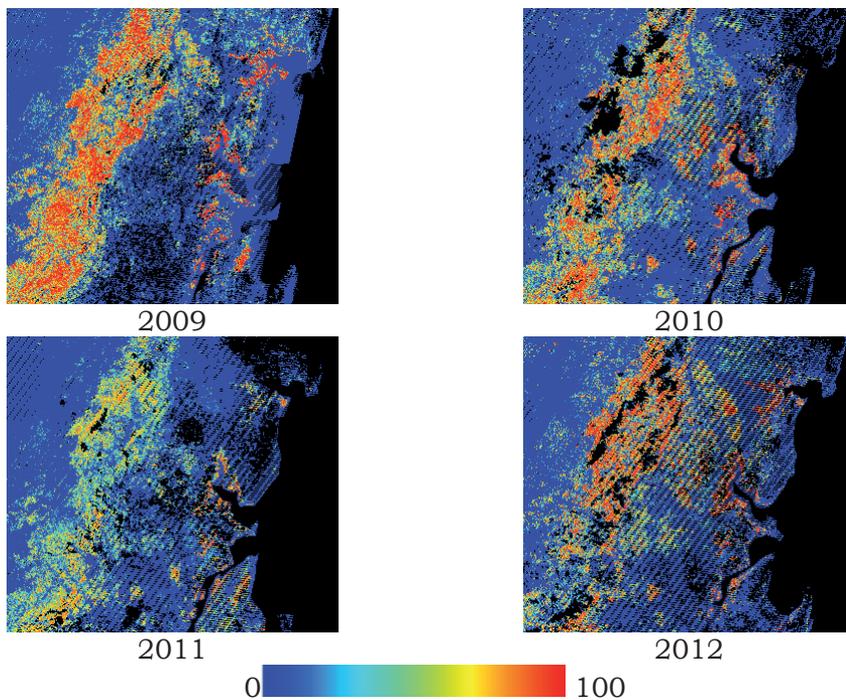


Gambar 6 Data Landsat (kiri) dan hasil metode SVM berupa probabilitas hutan pesisir di area penelitian (kanan)

Hasil klasifikasi SVM adalah klasifikasi berdasarkan piksel. Seperti pada klasifikasi berbasis piksel lainnya, hal ini cenderung menghasilkan efek-efek '*salt and pepper*', yaitu satu piksel terkelaskan pada kelas yang berbeda dengan piksel di sekitarnya. Untuk mengurangi efek-efek tersebut maka dilakukan filterisasi dan dalam penelitian ini menggunakan filter *lowpass Kernel* avg 3x3 (Romie 2015; Lu dan Weng 2007). Contoh probabilitas hutan sebelum dan sesudah filterisasi ditunjukkan oleh Gambar 7, sedangkan Gambar 8 adalah hasil filterisasi pada area penelitian pada tahun 2009 sampai dengan 2012.



Gambar 7 Citra probabilitas hutan di daerah pesisir sebelum dan sesudah filterisasi *lowpass Kernel avg 3x3*



Gambar 8 Data probabilitas hutan hasil filterisasi *lowpass Kernel avg 3x3* pada daerah penelitian untuk tahun 2009–2012

Proses selanjutnya adalah penentuan ambang batas bawah untuk hutan. Ambang batas bawah tersebut ditentukan dengan analisis visual dengan cara membandingkan antara mosaik citra Landsat dan hasil probabilitas pada tahun yang sama. Nilai ambang batas bawah ditentukan dengan metode *trial and error* sehingga diperoleh nilai yang cocok untuk penentuan area hutan. Jika ab menyatakan ambang batas bawah hutan maka hutan mempunyai nilai lebih besar atau sama dengan ab , sedangkan non-hutan mempunyai nilai yang kurang dari ab . Jika hutan diberi nilai satu (1) dan non-hutan diberi nilai dua (2) maka algoritmanya adalah:

If $i1 \geq ab$ then 1 else if $i1 > 0$ and $i1 < ab$ then 2 else null

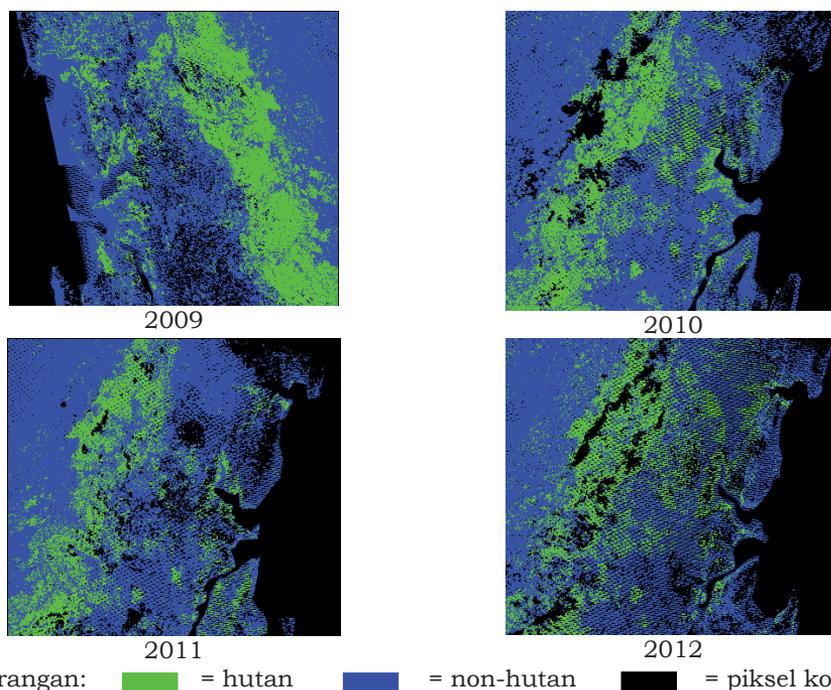
- di mana
- ab = ambang batas bawah hutan
 - $i1$ = probabilitas piksel
 - 1 = kelas hutan
 - 2 = kelas non-hutan
 - Null = Tidak ada data

Ambang batas bawah untuk hutan pada tahun 2000 sampai dengan 2009 ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1 Ambang batas bawah bagi probabilitas hutan pada tahun 2009–2012 di Tanah Bumbu dan Tanah Baru, Kalimantan Selatan

Tahun	2009	2010	2011	2012
Probabilitas (%)	30	33	30	35

Dari hasil tersebut terlihat untuk tahun 2009, ambang batas dari hutan probabilitasnya di atas 30%, tahun 2010 probabilitas hutan di atas 33%, tahun 2011 probabilitas hutan di atas 30%, dan tahun 2012 probabilitas hutan di atas 35%. Dengan demikian, diperoleh informasi spasial hutan dan non-hutan hasil klasifikasi tahap I seperti ditunjukkan oleh Gambar 9 di mana hasil klasifikasi masih memuat piksel kosong bersesuaian dengan piksel kosong pada Data Landsat tahun yang bersangkutan.



Gambar 9 Hasil pengkelasan hutan (warna hijau) dan non-hutan (warna biru), beserta *missing data* (warna hitam) tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012 hasil klasifikasi Tahap I

Klasifikasi Tahap II adalah klasifikasi multitemporal, di mana untuk menentukan suatu piksel termasuk kelas hutan atau non-hutan, diperlukan sederet data tahunan. Pada proses ini, *input* yang digunakan adalah hasil klasifikasi Tahap I berupa informasi spasial dengan kelas terdiri atas hutan, non-hutan, dan piksel kosong. Data yang digunakan adalah data multitemporal sebanyak 4 tahun data, yaitu tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012. Untuk itu akan digunakan kombinasi urutan permutasi pengulangan dengan ruang sampelnya adalah 4 urutan data berbeda tahun di mana pada masing-masing tahun berpeluang untuk berisi salah satu dari 3 kelas objek, yaitu hutan (1), non-hutan (2), atau piksel kosong (0) dengan syarat objek bisa dipilih lebih dari satu kali tetapi urutan tidak berulang. Berdasarkan aturan tersebut maka jumlah ruang sampel yang mungkin adalah 3^4 atau 81 ruang sampel. Kombinasi urutan permutasi pengulangan memungkinkan yang berlaku untuk setiap piksel adalah sebagai berikut:

$$\prod \prod \prod \prod A_i B_j C_k D_l \tag{3}$$

- di mana A_i = Urutan pertama yaitu data tahun 2009
- B_j = Urutan kedua yaitu data tahun 2010
- C_k = Urutan ketiga yaitu data tahun 2011
- D_l = Urutan keempat yaitu data tahun 2012
- i, j, k, l = 0 adalah piksel kosong
- = 1 adalah hutan
- = 2 adalah non-hutan

Contoh urutan ruang sampel dan penentuan informasi spasial tahap II ditunjukkan oleh Tabel 2.

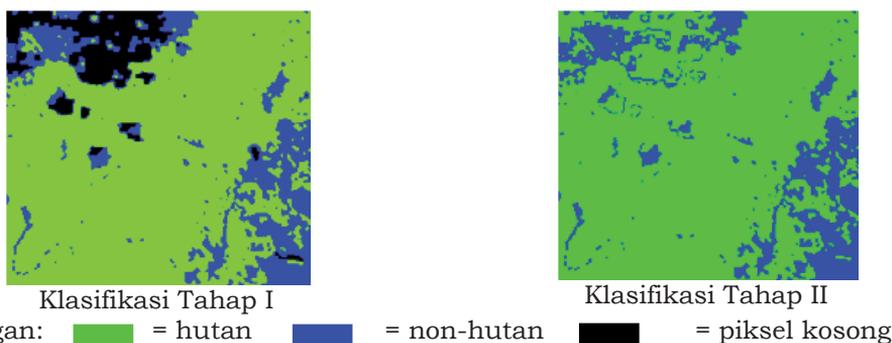
Tabel 2 Kombinasi urutan permutasi dan hasil penentuan hutan dan non-hutan tahunan klasifikasi tahap II, di mana 0 adalah piksel kosong, 1 adalah hutan, dan 2 adalah non-hutan

No.	Urutan Permutasi	Tahun			
	Pengulangan	2009	2010	2011	2012
1	0000	0	0	0	0
2	0001	1	1	1	1
3	0002	2	2	2	2
...
79	2220	2	2	2	2
80	2221	2	2	2	1
81	2222	2	2	2	2

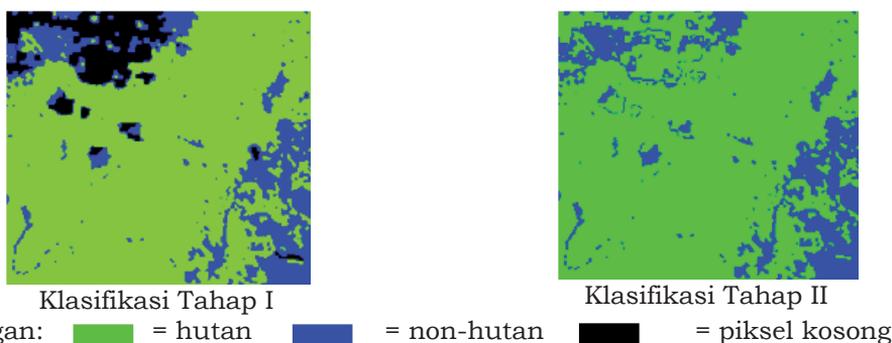
Dalam penentuan hutan dan non-hutan tahunan pada klasifikasi multitemporal, diperlukan *input* informasi hutan dan non-hutan tahunan di mana pada penelitian ini adalah tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012. Selain itu juga, penentuan didasarkan kepada ilustrasi perubahan

penutup lahan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. Data tersebut dijadikan satu data yang memiliki 4 *layer* yang masing-masing berisi tahun penelitian dan setiap pikselnya menunjukkan informasi spasial hutan, non-hutan, atau piksel kosong. Untuk penentuan informasi spasial hutan dan hutan tahap II dibuat algoritma berdasarkan Tabel 2 di atas.

Pada Gambar 5 dan 6 sebelumnya, hasil klasifikasi di area dataran tinggi dan pesisir pada Tahap I, masih banyak terdapat piksel kosong bersesuaian dengan data citra yang digunakan. Tetapi dengan klasifikasi Tahap II yang ditunjukkan oleh Gambar 10 untuk area dataran tinggi dan Gambar 11 untuk area pesisir, piksel kosong sudah diisi oleh hasil prediksi sesuai ilustrasi perubahan penutup lahan pada Gambar 4 sebelumnya, yaitu hutan, non-hutan, atau masih tetap sebagai piksel kosong tetapi sudah berkurang.

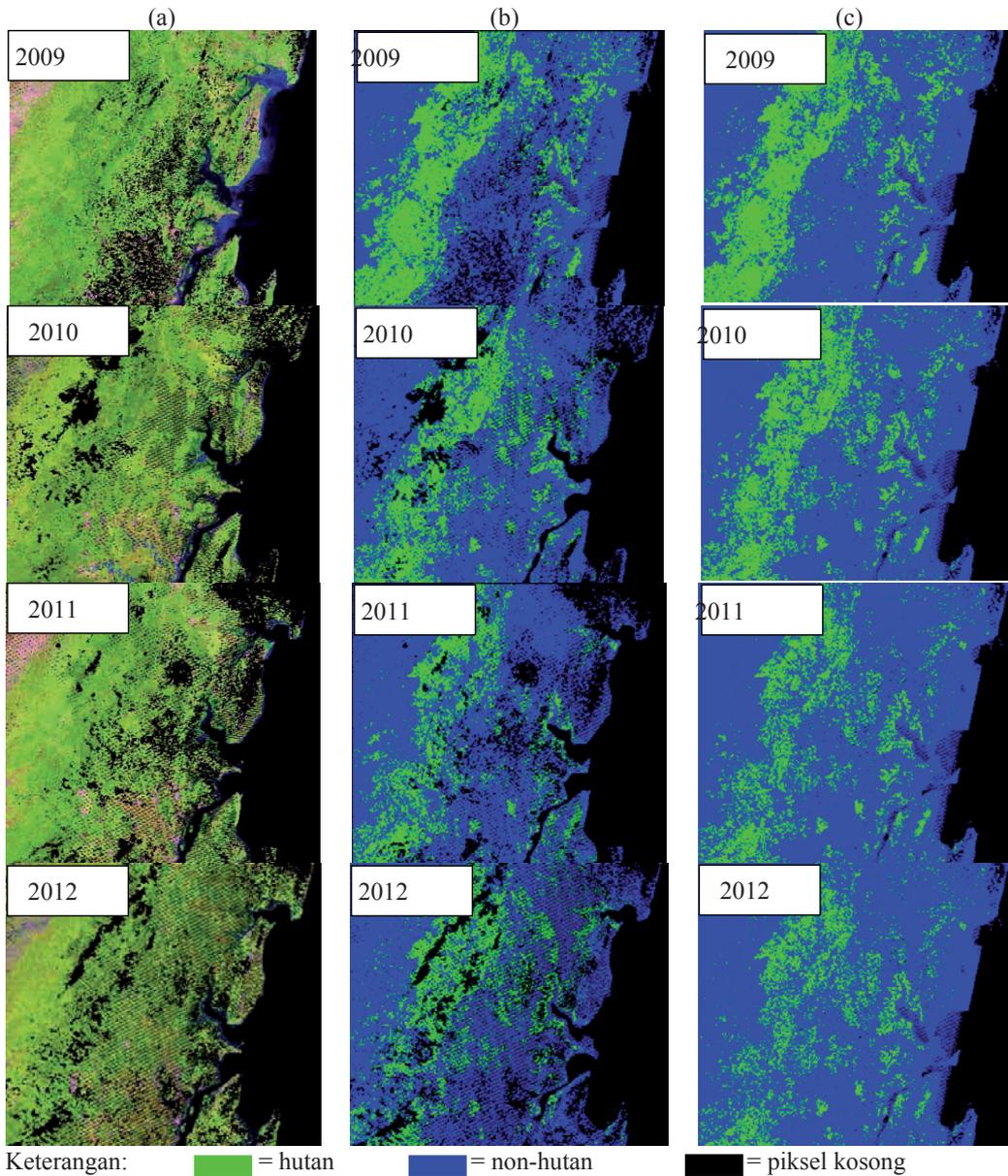


Gambar 10 Perbandingan antara klasifikasi Tahap I dan Tahap II di area dataran tinggi tahun 2009



Gambar 11 Perbandingan antara klasifikasi Tahap I dan Tahap II di area pesisir tahun 2009

Gambar 12 menunjukkan seluruh area penelitian hasil klasifikasi Tahap I (kiri) dan Klasifikasi Tahap II (kanan). Pada Gambar tersebut memperlihatkan bahwa piksel kosong yang masih terkelaskan pada Klasifikasi Tahap I sudah sangat jauh berkurang dibandingkan dengan hasil Klasifikasi Tahap II. Piksel kosong pada Gambar 12(b) hampir seluruhnya sudah terkelaskan sebagai hutan dan non-hutan pada Klasifikasi Tahap II. Piksel kosong pada hasil Klasifikasi Tahap II hanya terjadi jika pada area piksel kosong tersebut selalu tertutup awan.



Gambar 12 (a) Citra Landsat, (b) hasil klasifikasi Tahap I, (c) hasil klasifikasi Tahap II atau klasifikasi multitemporal tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012

Dengan hasil Klasifikasi Tahap II (Gambar 12(c)), maka kondisi hutan bisa dimonitoring secara berkala dengan periode satu tahunan sehingga akan diketahui di mana terjadi deforestasi atau reforestasi. Kondisi hutan di Kabupaten Tanah Bumbu dan Tanah Baru periode 2009–2012 terlihat semakin berkurang. Bahkan area hutan pada tahun 2011 ke 2012 berubah cukup signifikan. Hal ini perlu untuk diteliti lebih lanjut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi multitemporal dapat mengurangi piksel kosong yang diakibatkan oleh adanya awan dan bayangannya sehingga pemantauan hutan di suatu lokasi dapat dilakukan secara kontinu. Hasil akhir klasifikasi yang masih berupa piksel kosong dikarenakan pada area tersebut pada tahun penelitian selalu ditutupi awan atau bayangannya. Hasil klasifikasi multitemporal di Kabupaten Tanah Bumbu dan Tanah Baru, Provinsi Kalimantan Selatan periode 2009–2012 menunjukkan bahwa area hutan semakin menurun, bahkan cukup signifikan pada tahun 2011 dan 2012 sehingga disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada periode tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian tahun 2015 di Bidang Sumberdaya Wilayah Darat (SDWD) Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Bambang Trisakti sebagai Kepala Bidang SDWD; Kepada Tim INCAS, dan Wawan K., Harsanugraha atas masukannya dalam menyusun tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksoy S., K. Krzysztof, T. Carsten, M. Giovanni. 2009. Land cover classification with multisensor fusion of partly missing data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 75(5): 577–593.
- Caccetta A.P. 1997. *Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS) and Bayesian Knowledge-Based Methods for Monitoring Land Condition*. Curtin University of Technology. Perth. Australia.
- Danoedoro P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Andi.
- Fisher A. 1991. (Reprinted by Arrangement). *The Design of Experiment*. Hafner Publishing Company. New York.
- Furby S., J.F. Wallace, P.A. Caccetta. 2007. Monitoring sparse perennial vegetation cover over australia using sequences of landsat imagery. *Environmental Informatics Archives* 5: 585–590.
- Furby S., J. Wallace. 2011. *Guidelines for Annual Forest Extent and Change Mapping Version 2.2*. CSIRO Mathematics, Informatics and Statistics. Perth. Australia.
- Kementerian Kehutanan. 2011. *Buku Statistik Kehutanan Indonesia*. Kementerian Kehutanan. Jakarta.
- Kim D.H., O.S. Joseph, N. Praveen, H. Chengquan, A. Anupam, C. Saurabh, F. Min, R.T. John. 2014. Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000. *Remote Sensing of Environment* 15: 178–193
- Lu D., Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28(5): 823–870.
- Romie J. 2015. *Klasifikasi Mangrove Berbasis Objek dan Piksel Menggunakan Citra Satelit Multispectral di Sungai Kembang, Bengkalis, Provinsi Riau [Disertasi]*. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB Bogor.

- Symeonakis E., C. Peter, K. Sotirius, F. Suzanne, K. Nikolaos. 2012. Multitemporal land-cover classification and change analysis with conditional probability networks: The case of Lesvos Island (Greece). *International Journal of Remote Sensing* 33(13): 4075–4093.
- Wulder M. 1989. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. *Progress in Physical Geography* 22(4): 449–476.