

KAJIAN FOREST BASE PROBABILITY MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT UNTUK Mendukung INDONESIA'S NATIONAL CARBON ACCOUNTING SYSTEM (INCAS) WILAYAH SUMATERA

Inggit Lolita Sari¹⁾, Tatik Kartika²⁾, dan Kustiyo³⁾

^{1), 3)} Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh – LAPAN

²⁾ Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – LAPAN

Jl. Lapan No.70, Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta 13710

¹⁾ E-mail: inggitlapan@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia's National Carbon Accounting System (INCAS) dibentuk untuk mendukung mekanisme *Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD)* internasional. LAPAN sebagai salah satu institusi mengambil peran dalam pemrosesan dan penyediaan data satelit penginderaan jauh seluruh wilayah Indonesia. Kegiatan INCAS di LAPAN meliputi: inventarisasi data, penyeleksian *scene*, koreksi orthorektifikasi, koreksi radiometri, penghilangan data awan (*cloud masking*), mosaik data, dan klasifikasi digital. Klasifikasi digital yang dilakukan adalah pembuatan *forest base probability* dan *forest probability*. Namun pada kajian ini lebih ditekankan pada pembuatan *forest base probability* untuk wilayah Sumatera tahun 2008. Kriteria hutan yang dimaksud dalam kajian ini adalah hutan yang memiliki tutupan kanopi lebih dari 20%, memiliki ketinggian minimal 2 meter, dan merupakan hutan jenis kayu. Data utama yang digunakan adalah mosaik citra Landsat 5 dan Landsat 7 tahun 2008, sedangkan data mosaik lain yang digunakan adalah tahun 2006 dan 2000. Data lain digunakan untuk menunjang tingkat akurasi klasifikasi, yaitu citra Quickbird tahun 2008-2009, data sekunder seperti data geologi, informasi penutup lahan, dan data survei lapangan. Metode yang digunakan adalah pembuatan training sampel, analisis menggunakan *Canonical Variate Analysis (CVA)*, dan membuat zona stratifikasi. Hasil dari kajian ini berupa nilai indeks dan *threshold* terbaik untuk membedakan hutan dan non-hutan serta zona stratifikasi hutan di Pulau Sumatera.

Kata Kunci: *Canonical Variate Analysis, Forest Base Probability, INCAS, Sumatera*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sedang melakukan proses untuk mengembangkan sistem nasional dan pengaturan kelembagaan sebagai bagian dari kesiapan nasional untuk mekanisme REDD internasional. Bagian dari hal ini adalah program *Indonesia's National Carbon Accounting System (INCAS)*. Program ini adalah perwujudan kerjasama antara Indonesia dan Australia melalui *Indonesia Australia Forest Carbon Partnership (IAFCP)*, yang bertujuan untuk mendukung disain dan implementasi sistem berdasarkan dari pengalaman keberhasilan Australia dalam melaksanakan sistem monitoring kehutanan yang transparan dan kuat untuk mendukung REDD.

Beberapa kementerian negara bertanggung jawab untuk mengelola beberapa masalah yang berbeda dan relevan dalam mengemban sistem *Measurement, Reporting, and Verification (MRV)* nasional untuk pelaksanaan REDD di Indonesia, seperti kebijakan dan peraturan dari kementerian yang terkait dengan pengelolaan lahan, yaitu Kementerian Kehutanan, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, dan Kementerian Pertanian. LAPAN sebagai institusi pemerintah mendukung Kementerian Kehutanan dalam pemrosesan dan penyediaan data satelit penginderaan jauh seluruh wilayah Indonesia.

Kegiatan INCAS di LAPAN meliputi inventarisasi data Landsat 5 dan Landsat 7 dari tahun 1998 hingga 2009. Data yang telah terkumpul diseleksi dengan batasan tutupan awan. Data yang terseleksi dikoreksi, yang meliputi: koreksi geometri orthorektifikasi, koreksi terrain,

cloud masking, mosaiking dan digital klasifikasi untuk pembuatan probabilitas wilayah hutan dan non-hutan, serta perubahannya di setiap tahun. Perubahan hutan yang dipantau adalah perubahan karena pengaruh konversi lahan oleh manusia, bukan karena kejadian alam/bencana alam.

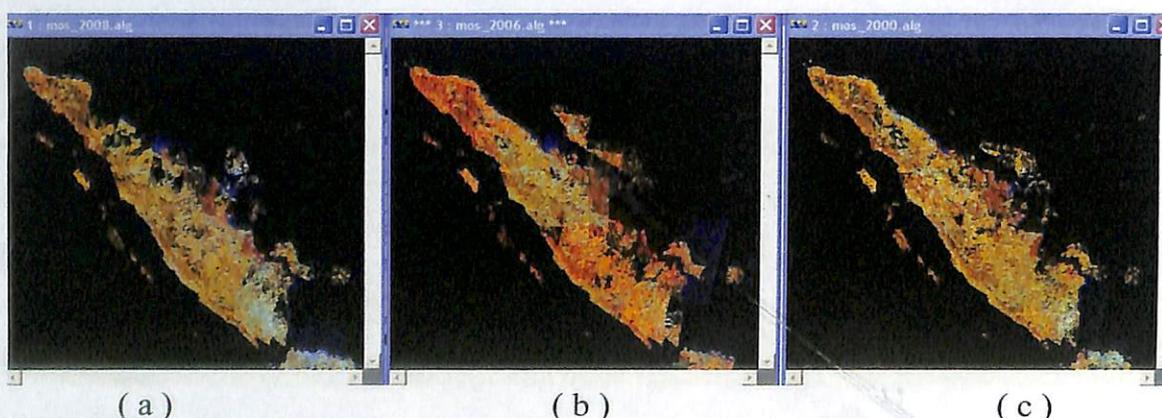
Kajian ini lebih ditekankan pada tahap klasifikasi digital, yaitu bertujuan untuk pembuatan probabilitas dasar (*forest base probability*) wilayah hutan di Sumatera dan membuat zona stratifikasi. Citra probabilitas dasar wilayah hutan yang dibuat, akan dijadikan acuan untuk memetakan sebaran hutan dan perubahannya pada setiap tahun. Hutan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah hutan yang memiliki tutupan kanopi lebih dari 20%, memiliki ketinggian minimal 2 meter, dan merupakan hutan jenis kayu atau bukan merupakan jenis palm/sawit/*softwood*. Citra satelit Landsat multispektral yang digunakan untuk memetakan sebaran hutan dan perubahannya adalah citra multitemporal setiap tahun dengan resolusi spasial 25 meter.

2. METODOLOGI

2.1. Data dan Bahan

Pembuatan citra probabilitas dasar wilayah hutan yang dibahas dalam kajian ini adalah wilayah Sumatera untuk tahun 2008, sedangkan untuk wilayah Kalimantan telah selesai dikerjakan. Pulau Sumatera yang dijadikan kajian terletak pada posisi $6^{\circ} 45' 50,84''$ LU - $6^{\circ} 46' 7,38''$ LS dan $94^{\circ} 28' 47,77''$ BT - $108^{\circ} 55' 50,95''$ BT.

Data yang digunakan untuk kajian ini terdiri dari 2 jenis, yaitu data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan (Gambar 1) meliputi mosaik citra Landsat yang telah terbebas dari awan, kabut dan bayangan awan, untuk tahun 2008, 2006 dan 2000. Citra tersebut digunakan sebagai citra dasar pembuatan *forest base probability*. Mosaik citra landsat tahun 2008, meliputi mosaik citra Landsat multitemporal tahun 2008 sebanyak 79 *scene*. Mosaik citra Landsat tahun 2006 sebanyak 128 *scene*, dan mosaik citra Landsat tahun 2000 sebanyak 116 *scene*. Pemilihan citra tahun 2008 sebagai dasar pembuatan *forest base probability* dengan anggapan pada tahun tersebut adalah data terbaru yang mendekati dengan kondisi lapangan eksisting dan setara dengan tahun ketersediaan citra resolusi tinggi. Mosaik citra Landsat tahun 2006 dan 2000 diperlukan juga untuk menunjang akurasi dalam pengambilan training sampel wilayah hutan dengan melihat kenampakan vegetasi pada tahun berbeda. Tahun 2000 dipilih dengan anggapan pada tahun ini masih banyak hutan alami atau kondisi hutan jauh sebelum ada perubahan tutupan lahan dalam kurun 8 tahun ke depan.



(a) (b) (c)
Gambar 1. (a) Mosaik Landsat tahun 2008, (b) Mosaik Landsat tahun 2006, (c) Mosaik Landsat tahun 2000

Selain citra Landsat, dibutuhkan juga citra resolusi spasial tinggi, yaitu citra Quickbird multispektral dan pankromatik dengan resolusi spasial 2,5 meter dan 0,6 meter. Citra ini diperlukan untuk meningkatkan akurasi ketelitian pengambilan training sampel wilayah hutan, karena kenampakan hutan dan non-hutan akan tampak lebih jelas dari citra resolusi spasial tinggi. Sebaran wilayah cuplikan citra resolusi tinggi tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sebaran citra resolusi tinggi berupa kotak merah

Data sekunder juga dibutuhkan untuk meningkatkan akurasi pengambilan training sampel wilayah hutan dan non-hutan. Data sekunder yang digunakan adalah: a). Informasi spasial penutup lahan tahun 2009 yang dipublikasikan oleh Litbang Dinas Kehutanan; b). Daftar informasi/laporan hasil survei lapangan berupa informasi koordinat dan keterangan penutup lahannya dari Bakosurtanal; c). Data Geologi, *Land System* dan Topografi wilayah Sumatera, data ini diperoleh dari arsip data sekunder LAPAN; dan d). Informasi lapangan berasal dari keterangan nara sumber dari Dinas Kehutanan Provinsi Jambi.

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan: a). *Software* yang dibuat oleh pihak CSIRO Mathematics, Informatics, and Statistics (Australia) dengan menggunakan Program C++ berbasis DOS dengan file berekstensi *.exe; b). Software Ermapper 7.1 digunakan untuk menampilkan citra Landsat dan pengambilan training sampel, dan c). Software R yang dibuat oleh CSIRO meliputi; *train_extract.exe*, *incas_cv_analysis_sig_v2.exe*, *plotcvmeans.R*, *plotbndmeans_v2.R*, *incas_enter_contrast.exe*, *incas_index_smooth.exe*, *incas_enter_index_threshold.exe*, *image2prob_forest.exe*, dan *incas_mosaic_prb1.exe*.

2.2.1. Persiapan

Persiapan dilakukan untuk mengecek kelengkapan data, meliputi data raster citra mosaik dan data header berupa file ASCII dalam format ER Mapper *.erv, lokasi data resolusi spasial tinggi yang mendekati kondisi lapangan eksisting, dan data pendukung. Diharapkan pada setiap zona stratifikasi terdapat kelengkapan data tersebut dan minimal diketahui 50 training site.

2.2.2. Metode *Canonical Variate Analysis* (CVA)

Proses pembuatan *forest base probability* diawali dengan penentuan startifikasi wilayah yang akan dijadikan *image base* Sumatera (2008) yaitu dengan pengambilan sample, penentuan indeks dan *threshold* yang diperoleh menggunakan metode CVA, analisis hasil,

dan terakhir adalah aplikasi hasil untuk area lainnya yang diperkirakan mempunyai sifat yang sama. Output dari proses ini adalah citra base forest probabilitas Pulau Sumatera.

Perolehan indeks dilakukan dengan menggunakan metode CVA. Metode ini memberikan pemisahan terbaik antara hutan dan non-hutan. Indeks dalam CVA diperoleh dari mencari kombinasi linier dari kanal pada citra, yang paling maksimum untuk membedakan antara hutan dan non-hutan dari lokasi training sampel yang dibuat. *Canonical vektor* memberikan arah maksimum pemisahan dan *Canonical root* memberikan nilai dari jumlah pemisahan tersebut. Canonical vektor atau kombinasi linier dari kanal menjadi dasar dari penentuan indeks. Pada umumnya canonical vektor sudah memberikan pemisahan terbaik, tetapi CVA masih memungkinkan untuk dilakukan modifikasi untuk memfokuskan kelompok pemisahan dari lokasi training sampel. Selanjutnya dilakukan vektor kontras dan dilakukan penyederhanaan atau penghalusan sehingga mendapatkan nilai kontras maksimum yang cocok untuk beragam tipe tutupan lahan, pada citra dengan tanggal dan tahun yang berbeda. Setelah mendapatkan angka indeks yang sesuai untuk membedakan hutan dan non-hutan, kemudian dianalisis apakah perlu untuk pembuatan indeks kedua dan indeks ketiga. Beberapa daerah di Australia dan China cukup hanya membutuhkan satu indeks. Indeks yang telah dibuat kemudian diaplikasikan dan dicek pada zona stratifikasi yang telah dibuat, jika tidak sesuai maka wilayah yang tidak sesuai tersebut kemungkinan memerlukan indeks dan zona stratifikasi yang baru.

2.2.3. Metode *Maximum Likelihood Classification*

Metode klasifikasi yang digunakan adalah *maximum likelihood classification*, yang mana probabilitas yang telah terbuat dapat diaplikasikan pada setiap piksel pada citra. Kelas yang digunakan adalah hutan dan non-hutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Training Sampel

Dalam pembuatan training sampel dilakukan dengan pemisahan kelas antara hutan dan bukan hutan. Hutan yang dimaksud adalah yang memiliki tutupan kanopi lebih dari 20%, memiliki ketinggian minimal 2 meter, merupakan hutan jenis kayu atau bukan merupakan jenis palm/sawit/*softwood*. Penentuan hutan juga dikenali dari kenampakan teksturnya di citra. Hutan dibagi menjadi enam jenis, yaitu:

- Hutan produksi, yaitu hutan yang dikelola untuk menghasilkan kayu baik yang dikelola dalam skala besar ataupun individual, seperti akasia, karet, dan sinamon.
- Hutan alam/padat (*dense*) adalah hutan selain hutan produksi, biasanya adalah hutan lindung, taman nasional, hutan suaka alam, dan biasanya terletak di pegunungan.
- Hutan medium adalah percampuran antara hutan produksi dan hutan alam/padat dan hutan produksi.
- Hutan mangrove adalah hutan yang tumbuh di rawa-rawa berair payau yang terletak pada garis pantai dan dipengaruhi oleh pasang-surut air laut.
- Hutan lahan basah/gambut adalah hutan yang tumbuh pada lahan gambut. Lahan gambut adalah lahan yang memiliki lapisan tanah kaya bahan organik (C-organik > 18%) dengan ketebalan 50 cm atau lebih. Bahan organik penyusun tanah gambut terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang belum melapuk sempurna karena kondisi lingkungan jenuh air dan miskin hara. Oleh karenanya lahan gambut banyak dijumpai di daerah rawa belakang (*back swamp*) atau daerah cekungan yang drainasenya buruk.

- Bukan hutan adalah semua lahan terbuka, pertanian, permukiman, tambak, termasuk lahan dengan tanaman yang relatif muda usianya yang tidak sesuai dengan standar klasifikasi hutan.

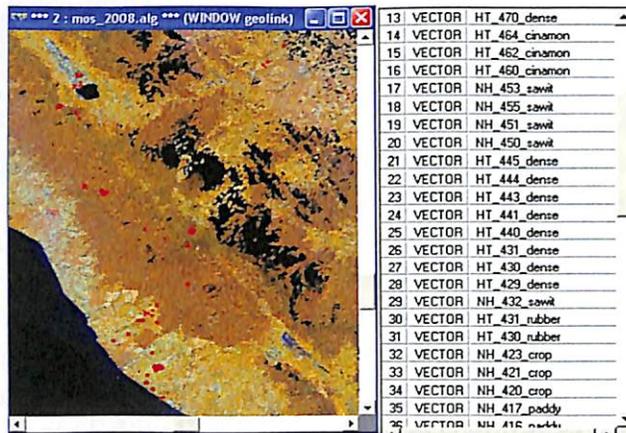
Untuk menunjang keakuratan dalam pembuatan training sampel, vektor region yang dibuat disesuaikan dengan data resolusi spasial tinggi yang tersedia, data mosaik Landsat tahun sebelumnya, data sekunder, dan apabila terdapat keraguan dapat ditanyakan pada narasumber. Langkah selanjutnya adalah memahami wilayah Sumatera, kemudian membuat zona stratifikasi awal. Wilayah dengan kenampakan vegetasi hutan yang berbeda atau kenampakan kondisi lahan yang berbeda dibuat zona tersendiri. Hal ini dikarenakan setiap zona stratifikasi memerlukan indeks yang berbeda untuk mendapatkan nilai maksimum perbedaan antara hutan dan non hutan. Wilayah Sumatera ini pada tahap awal dibagi menjadi 5 bagian, yaitu:

- Wilayah pegunungan, yang meliputi pegunungan di Aceh hingga Sumatera Selatan. Ditinjau dari data geologi dan *Digital Elevation Model (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, wilayah ini merupakan jalur patahan besar Sumatera (*Great Sumatera Fault - GSF*), sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Sebagian besar wilayah ini adalah hutan padat.
- Wilayah lahan basah yang banyak ditemui hutan gambut di sekitar Provinsi Riau.
- Wilayah datar di Lampung.
- Wilayah pantai dan pesisir yang banyak dijumpai hutan mangrove.
- Kelompok pulau-pulau kecil di Sumatera, seperti Pulau Nias dan Mentawai.



Gambar 3. Patahan besar Sumatera (sumber: www.geology.sdsu.edu)

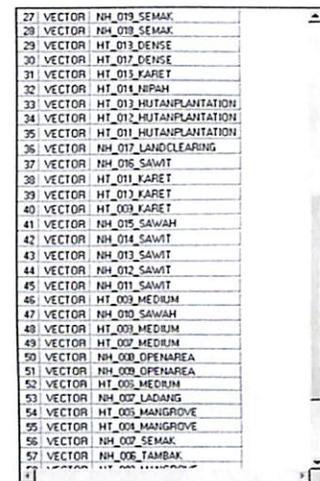
Setelah menentukan zona awal, langkah selanjutnya adalah pembuatan polygon training sampel pada setiap zona awal stratifikasi menggunakan software ErMapper, berupa file vektor format *.erv. Proses ini meliputi wilayah hutan padat, hutan medium, hutan mangrove, hutan perkebunan kayu (seperti akasia, sinamon, karet), dan hutan gambut. Di wilayah non-hutan dibuat juga training region secara menyeluruh, meliputi daerah pertanian lahan kering/ladang, sawah, permukiman, tambak, kebun campur, semak, perkebunan tebu, singkong dan perkebunan sawit serta sejenisnya/perkebunan kelapa. Pengambilan training sampel harus homogen, diutamakan daerah yang memiliki kemiripan antara non-hutan dengan hutan. Jumlah piksel yang diambil antara 10-100 piksel (umumnya 30 piksel). Gambar 4 s.d. 6 memperlihatkan contoh pengambilan training sample di zona pegunungan dan di daerah yang datar.



Gambar 4. Pengambilan training sampel wilayah pegunungan



Gambar 5. Lokasi sebaran training region vektor di daerah datar dan data resolusi tinggi sebagai validasi

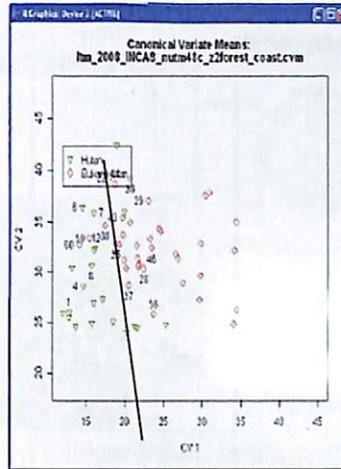


Gambar 6. Format penamaan training vektor

3.2. Penentuan Indeks dan Membuat Citra Probabilitas Dasar Wilayah Hutan

Terdapat beberapa langkah dalam penentuan indeks dan membuat citra probabilitas dasar wilayah hutan. Langkah tersebut adalah:

- 1) Merubah format file training sampel dari *.erv yang dibuat dengan software ErMapper menjadi data ASCII format *.are menggunakan *train_extract.exe*.
- 2) Data training region format ASCII *.are digunakan menganalisis citra multispektral untuk memisahkan kelas hutan dan non-hutan menggunakan metode CVA dengan software *incas_cv_analysis_sig_v2.exe*. Kanal yang digunakan untuk analisis meliputi kanal 2, 3, 4, 5, dan 7. Apabila di wilayahnya terdapat kabut/haze, maka kanal 2 tidak dipakai untuk analisis. Hasil dari pengolahan adalah file dengan format *.lis (*file transcript CVA*), *.sig (*signature file means dan covariance matik*), *.cvm (*canonical variance means* untuk setiap lokasi, yang berisi skor untuk setiap lokasi dengan setiap *canonical* vektor yang dapat diplot/digambarkan pada software R) dan *.mns (*band means*, yaitu kanal di setiap lokasi, untuk membuat plot indeks). Hasil pengolahan *incas_cv_analysis_sig_v2.exe* diplotkan menggunakan software *plotcvmeans.R*. Dengan software ini akan ditunjukkan informasi spasial atau sebaran dari training sample (Gambar 7). Apakah sample sudah terkelompokkan dengan baik atau masih ada ketercampuran antara hutan dan non-hutan.



Gambar 7. Grafik sebaran *Canonical Variate Means*

Setelah memeriksa kembali training sample yang tercampur, diperoleh hasil bahwa sebelah kiri $CV1=20$ adalah training sample hutan darat sehingga selain itu bisa diabaikan (ketercampuran sangat kecil atau kurang dari seperempat training sampel yang dibuat). Dari grafik tersebut (Gambar 7) sudah terlihat adanya pengelompokan hutan dan non-hutan. Namun untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dibuat garis pemisah antara hutan dan non-hutan dengan cara membuat kontrasnya yang memisahkan hutan dan non-hutan dengan jarak kontras yang sama.

- 3) Membuat kontras menggunakan software *incas_enter_contrast.exe*. Pada tahap ini dimasukkan pasangan kontras antara hutan dan non-hutan. Pada kasus ini ditentukan pasangan kontras sebagai berikut:

The number of sites in the forest contrast: 7
 The identity of the sites: 44,6,7,12,8,4,1
 The number of sites in the non-forest contrast: 7
 The identity of the sites: 36,29,43,46,28,37,56

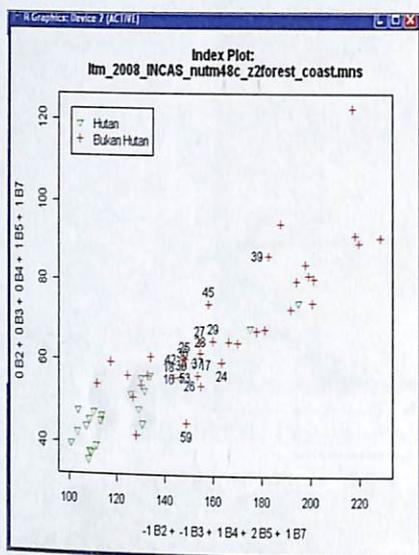
- 4) Menjalankan software *incas_index_smooth.exe*
 Langkah ini untuk mendapatkan indeks pertama dan indeks kedua sebagai display. Proses ini menghasilkan indeks dan *threshold* sesuai dengan nilai kontras yang diberikan. Dengan jumlah kanal yang digunakan adalah kanal 2, 3, 4, 5, dan 7.

```

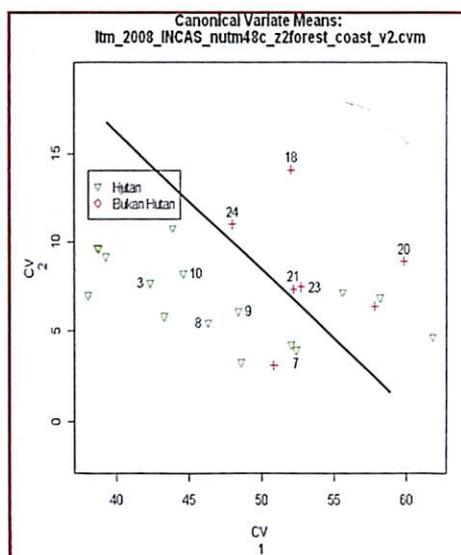
Command Prompt - M:\INCAS\Software\incas_index_smooth.exe
Enter INTEGER COEFFICIENTS for index 1
-1 -1 1 2 1
- analysis using original covariance matrix
C(tr) * B * C / C(tr) * W * C = 1.09319
ratio to usual canonical root = 0.95254

canonical vector
-0.1029 -0.1343 0.9843E-01 0.4086 0.1052
Enter Y to smooth the index:
  
```

- 5) Menjalankan software R dengan perintah *plotbndmeans.R*.
 Dengan indeks 1: -1 -1 1 2 1 (sesuai perhitungan pada Tahap 4), sementara indeks 2: 0 0 0 1 1 (*trial*). Plot dari indeks tersebut digambarkan pada Gambar 8. Di sebelah kiri nilai 140 (indeks 1), terlihat masih adanya pencampuran antara hutan dan non-hutan.



Gambar 8. Grafik untuk indeks 1 dan 2 dengan koefisien kanal hasil tahap 4



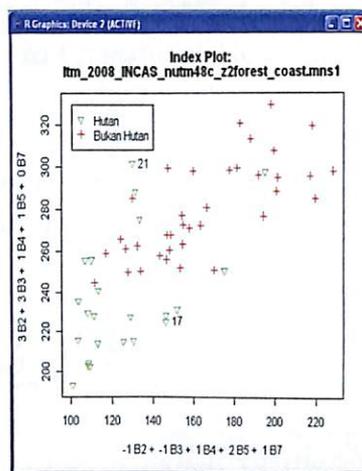
Gambar 9. Grafik CVM dengan sampling training terpilih

Hasil penelusuran menunjukkan bahwa training sample tersebut merupakan hutan darat sehingga bisa dikeluarkan. Proses diulang kembali sehingga diperoleh hasil seperti pada plot Gambar 9. Dengan kontras yang baru, diperoleh indeks 2 terbaik sebagai berikut:

```

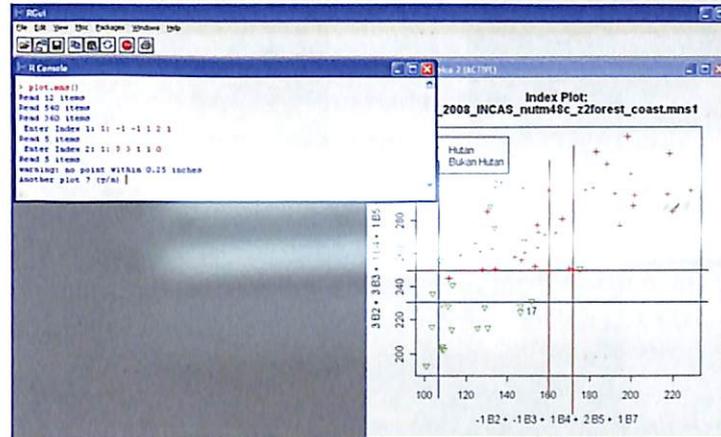
Enter INTEGER COEFFICIENTS for index 1
3 3 1 1 0
- analysis using original covariance matrix
C(tr) * B * C / C(tr) * W * C = 3.82039
ratio to usual canonical root = 0.98518
  
```

Koefisien untuk indeks 2



Gambar 10. Grafik untuk indeks 1 dan 2 dengan koefisien kanal yang baru

Dari grafik di atas diperoleh keterpisahan (Gambar 10) untuk indeks 1 dengan koefisien -1, -1, 1, 2, -1 dan untuk indeks 2 diperoleh koefisien 3, 3, 1, 1, 0 masing-masing untuk B2, B3, B4, B5, dan B7. Dan diperoleh hasil pengkelasan sebagai berikut (Gambar 11):



Gambar 11. Plot dari Indeks menunjukkan lokasi hutan *certain* (100%) dan *uncertain*

- 6) Menjalankan software *Incas_enter_indeks_threshold.exe*
Setelah mendapatkan indeks yang sesuai, kemudian dianalisis/diterapkan pada setiap lokasi, apabila kurang sesuai, maka penentuan *threshold* pada setiap indeks yang dilihat dari penerapan indeks di citra yang di tampilkan pada software Ermapper dengan menseting transform histogram 0-100. Kemudian diatur hingga mendapatkan hasil terbaik yang merepresentasikan kelas hutan dan non-hutan. Nilai threshold tersebut dimasukkan ke dalam software *Incas_enter_indeks_threshold.exe*.
- 7) Menjalankan software *Image2prob_forest.exe*
Tahap ini mengkonversi nilai spektral dengan ketentuan indeks dan *threshold* yang sudah ditentukan sebelumnya, sehingga diperoleh citra probabilitas hutan dengan nilai 0 s/d 100. Hasil forest probabilitas dicek kembali kesesuaiannya untuk semua lokasi di setiap zona, apabila masih terdapat daerah yang kurang sesuai, misal daerah rawa yang masih terkelaskan sebagai hutan. Untuk itu dicoba ditambahkan indeks 3 untuk memisahkan rawa dari kelas hutan. Hasil proses terakhir menunjukkan bahwa kelas rawa sudah terpisah dan mangrove sudah terkelaskan sebagai hutan dengan probabilitas 100% (Gambar 12).

Tabel 1. Indeks dan *threshold* untuk wilayah pesisir zona 48 *central west*

I:\m_2008_INCAS_num48c_cw_z2r22manual.txt - Notepad						
File Edit Format View Help						
BASE	no base image					
IMAGE	M:\INCAS\satellite_images\2008\zone48_c\m_2008_INCAS_num48c_cw_ter					
INDICES	3					
	0.0	-1.0	-1.0	1.0	2.0	1.0
	0.0	3.0	3.0	1.0	1.0	0.0
	0	0	-1	1	0	0
	86.0	95.0	161.0	169.0		
	180.0	186.0	239.0	263.0		
	14	46	96	110		
REGION	100000.000	400000.000	200000.000	350000.000		
BOOST	1					
ITER	10000					

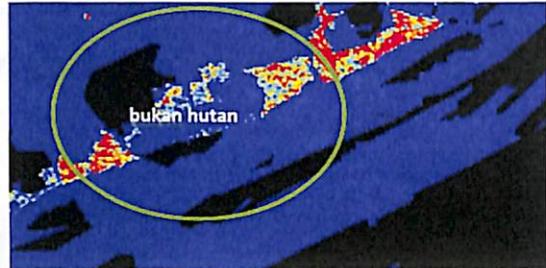


Gambar 12. Citra probabilitas hutan di zona pesisir

Untuk wilayah pesisir lain di luar area kajian, bisa dicobakan indeks hasil kajian ini dengan *threshold* sama atau disesuaikan sampai sejauh mana indeks 1 dan indeks 2 di wilayah tersebut akan dikaji. Contoh penerapan adalah untuk wilayah zona 48 *central east*. Dengan indeks dan *threshold* yang sama, ternyata ada bagian hutan mangrove yang terkelaskan menjadi bukan hutan seperti pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Lokasi mangrove di citra Landsat tahun 2008 zona 48 ce



Gambar 14. Probabilitas hutan tahun 2008 zona 48 ce dengan indeks dan *threshold* yang sama dengan zona 48 cw, mangrove tidak termasuk kelas hutan

Indeks dan *threshold* awal diubah dengan mengambil nilai spektral sample hutan yang tidak terkelaskan sebagai hutan. Dengan indeks yang sama, diperoleh *threshold* 263 untuk indeks 2 (Tabel 2). Nilai tersebut sudah di luar interval hutan. Sementara itu, *threshold* untuk indeks 1 dan 3 masih termasuk dalam interval hutan. Karena itu, *threshold* untuk indeks 2 diperlebar, sampai 283 (Tabel 3), agar sample hutan tadi masuk ke dalam interval hutan, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 15.

Tabel 2. Indeks dan *threshold* lama (berlaku untuk zona 48 central west)

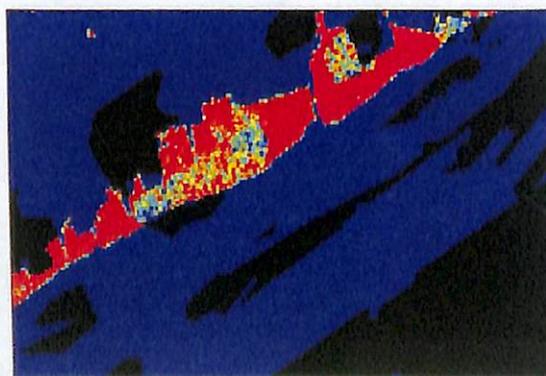
```

Itm_2008_INCAS_nutm48c_ce_z21r22manual.txt - Notepad
File Edit Format View Help
BASE no base image
IMAGE M:\INCAS\satellite_images\2008\zone48_c\itm_2008_INCAS_nutm48c_ce_ter
INDICES 3
  0.0   -1.0   -1.0    1.0    2.0    1.0
  0.0    3.0    3.0    1.0    1.0    0.0
  0      0      -1      1      0      0
  86.0   95.0   161.0  169.0
  180.0  186.0  239.0  263.0
  14     46     96     110
REGION 100000.000 4000000.000 200000.000 3500000.000
BOOST 1
ITER 10000
  
```

Tabel 3. Indeks dan *threshold* baru (untuk zona 48 central east)

```

Itm_2008_INCAS_nutm48c_ce_z21r23manual.txt - Notepad
File Edit Format View Help
BASE no base image
IMAGE M:\INCAS\satellite_images\2008\zone48_c\itm_2008_INCAS_nutm48c_ce_ter
INDICES 3
  0.0   -1.0   -1.0    1.0    2.0    1.0
  0.0    3.0    3.0    1.0    1.0    0.0
  0      0      -1      1      0      0
  86.0   95.0   161.0  169.0
  180.0  186.0  239.0  283.0
  14     46     96     110
REGION 100000.000 4000000.000 200000.000 3500000.000
BOOST 1
ITER 10000
  
```



Gambar 15. Citra probabilitas hutan dengan *threshold* yang baru, mangrove terkelaskan sebagai hutan

8) Hasil zona stratifikasi

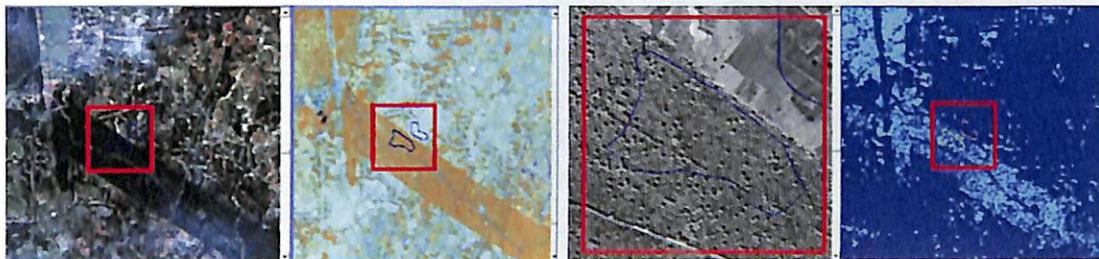
Setelah mendapatkan indeks yang sesuai dan telah dianalisis, selanjutnya adalah membuat batas zona stratifikasi. Namun pada saat pembuatan laporan ini, belum dapat disajikan keseluruhan zona stratifikasi yang ada di seluruh Sumatera, hanya beberapa wilayah yang telah selesai dibuat. Berikut ini (Gambar 16) adalah contoh zona stratifikasi wilayah Lampung dan sebagian Sumatera Selatan.



Gambar 15. Contoh hasil zona stratifikasi wilayah Lampung dan sebagian Sumatera Selatan

9) Contoh *forest base probability* sebagian Sumatera

Hasil dari kesesuaian indeks dan *threshold* di setiap zona stratifikasi tersebut dapat dilihat pada cuplikan Gambar 16, 17 dan 18.

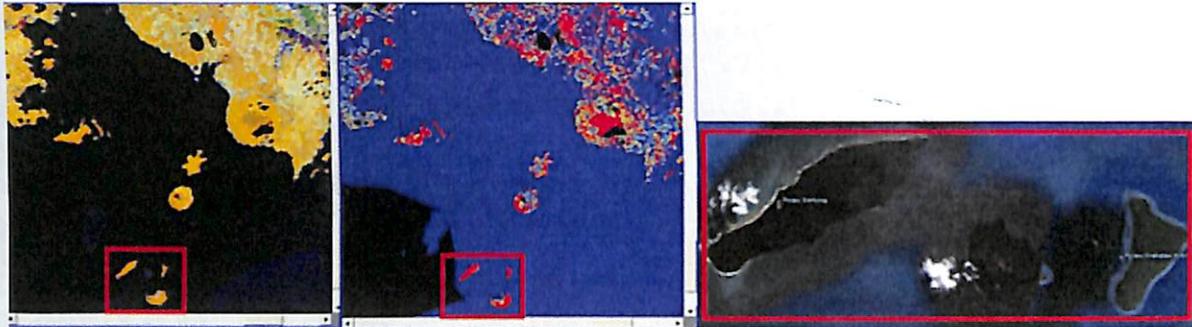


Gambar 16. Daerah yang menyerupai hutan tetapi tidak terkelaskan sebagai hutan, yaitu perkebunan kelapa sawit (kotak merah adalah lokasi perbesaran wilayah)

Gambar 16 menunjukkan bahwa perkebunan kelapa sawit bukan termasuk dalam kelas hutan, namun memiliki vegetasi lebat yang menyerupai hutan sehingga hasil dari *forest base probability* memberikan nilai probabilitas yang cukup rendah, yang ditunjukkan dengan tidak terdapatnya warna merah/100% hutan di daerah tersebut.



Gambar 17. Hutan dengan kepadatan medium (kotak merah adalah lokasi perbesaran wilayah)



Gambar 18. Indeks yang sesuai untuk mendeteksi hutan di pulau kecil dan hutan mangrove

4. KESIMPULAN

Program INCAS dilaksanakan dengan metode yang konsisten dan teruji dengan menerapkan sistem MRV. Metode ini telah selesai dilakukan secara keseluruhan untuk wilayah Kalimantan dan pada saat ini sedang diterapkan untuk wilayah Sumatera. Metode yang digunakan dalam pembuatan *forest base probability* ini meliputi: pembuatan training sampel, analisis menggunakan CVA, dan membuat zona stratifikasi. Hasil dari kajian ini berupa nilai indeks dan *threshold* terbaik untuk membedakan antara hutan dan non-hutan serta zona stratifikasi di Sumatera.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak CSIRO - Mathematics, Informatics, and Statistics (Australia), terutama kepada Dr. Suzanne Furby dan Jeremy Wallace, serta seluruh anggota tim yang terkait dalam program INCAS, terutama dalam pembuatan *forest base probability* Sumatera.

DAFTAR PUSTAKA

- Furby, S.L., Caccetta, P.A., Wallace, J.F., Wu, X., O'Connell, J., Collings, S., Traylen, A. dan Deveraux, D. 2008. Recent Developments in Landsat-Based Continental Scale Land Cover Change Monitoring in Australia. CSIRO Mathematical and Information Sciences. 2008. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/7_pdf/9_ThS-17/16.pdf.
- Furby, S.L. dan Wallace, J. 2011. Guidelines for Annual Forest Extent and Change Mapping for INCAS Programme. CSIRO Mathematical and Information Sciences.
- Jones, S.D., Richards, G., Lowell, K., Woodgate, P., dan Buxton, L. 2006. Towards an Understanding of Uncertainty in Greenhouse Forest Assessments. Commission TS WG VII/6 Monitoring and Modelling Global Change. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/147.pdf>
- Kustiyo. 2011. Aktivitas LAPAN dalam Mendukung INCAS. Bidang Teknologi Pengolahan Data – LAPAN, Canberra, 2 May 2011.
- Rao, C.R. 1966. Linear Statistical Inference and Its Applications. John Willey and Sons Inc. New York. Second Edition, pp 289-191.