

**KAJIAN TEKNIS PENGGUNAAN CITRA IKONOS DAN CASI
DALAM RANGKA INVENTARISASI HUTAN: Studi kasus di
Kebun Raya Bogor**

*Study on the use of IKONOS and CASI images for forest inventory: A
case study in Bogor Botanical Garden¹*

I NENGAH SURATI JAYA²

ABSTRACT

This study examined the capability of high-resolution imageries for identifying tree species. The IKONOS and CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) data were examined to digitally identify 20 tree species and estimating stand density. The numerical taxonomy using nearest neighbor hierarchical classification method was applied to cluster the spectral reflectance of those species of interest. Although the panchromatic band of IKONOS and CASI have the same spatial resolution, the study shown that CASI provided better performance than IKONOS in discriminating 20 tree species of interest. The finer spectral and spatial resolution of CASI significantly improved the quantitative discrimination ability. Inversely, the IKONOS imagery was fail to digitally identify tree species. However, the study shows that both the IKONOS and CASI images are capable to be used to estimate the stand density. To get a better result of discriminating 20 species using CASI image, the number of bands should be used more than eight bands. Otherwise, some "inseparable" class pairs could exist.

Keywords: CASI, IKONOS, Separabilitas, Klaster

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sejak memasuki era satelit pada awal tahun 1970-an, inventarisasi hutan berskala global dan nasional, telah banyak memanfaatkan kemajuan teknologi penginderaan jauh satelit. Kemajuan teknologi penginderaan jauh yang dibarengi dengan kemajuan teknologi perangkat keras, perangkat lunak, dan teknologi informasi telah merubah orientasi paradigma teknik inventarisasi hutan dari yang mula-mula berbasis pada data terestis menjadi yang berbasis pada data penginderaan jauh. Pada saat ini, pengguna, praktisi dan analis penginderaan jauh dibidang kehutanan telah dihadapkan pada suatu lompatan teknologi penginderaan jauh beresolusi tinggi yang cukup fantastis. Sejak kehadiran citra

¹ Sebagian dari tulisan ini telah dipresentasikan pada Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XII dan Kongres III MAPIN, 29-30 Juli di Bandung

² Dosen senior dan peneliti pada Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Kampus IPB Darmaga, Bogor (e-mail: ins-jaya@cbn.net.id).

CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*) dan peluncuran satelit IKONOS milik SpaceImaging Inc tahun 1999 yang kemudian disusul oleh Quickbird milik perusahaan Earth Watch Inc. tahun Oktober 2001 dan CASI, telah terjadi perubahan penggunaan data penginderaan jauh dari skala regional atau nasional dengan tingkat kedetailan sedang menjadi skala lokal (daerah) dengan tingkat akuratan tinggi (Zhou and Li, 2000; dan Niemann, 1995). Pada saat ini kehadiran citra IKONOS dan CASI misalnya, telah menawarkan suatu persepektif yang unik terhadap pengelolaan sumberdaya alam dengan tingkat kedetailan yang tinggi. Banyak pemerintah daerah kabupaten dan atau perusahaan swasta nasional memanfaatkan citra IKONOS guna memetakan dan atau identifikasi kondisi sumberdaya alam yang ada di wilayahnya guna kepentingan pengelolaan.

Dalam inventarisasi hutan, pengguna pada umumnya selalu melihat tingkat kedetailan resolusi yang disediakan citra yang mencakup: (a) resolusi spasial, (b) resolusi spektral, (c) resolusi radiometrik dan (d) resolusi temporal. Pada suatu sensor, kemampuan resolusi spektral dan resolusi spasial adalah dua hal yang saling bertolak belakang (*trade-off*). Jika resolusi spektral semakin tinggi, kemampuan resolusi spasialnya biasanya menurun, demikian pula sebaliknya (Jaya, 2002). Resolusi spasial sekaligus resolusi spektral yang tinggi meningkatkan kemungkinan pemanfaatan data citra beresolusi tinggi untuk kegiatan-kegiatan praktis kehutanan.

Banyak pertanyaan yang timbul dari para praktisi, manajer maupun ilmuwan kehutanan terhadap kemampuan dari citra digital beresolusi tinggi ini. Atas dasar hal tersebut, penulis mencoba melakukan studi perbandingan citra CASI dan IKONOS dalam bidang inventarisasi hutan khususnya untuk mengidentifikasi jenis pohon. CASI adalah citra digital dengan wahana pesawat yang mempunyai keunggulan spasial, sekaligus spektral yang tinggi yang tidak dimiliki oleh IKONOS. Pada penelitian Jaya (2002), CASI cukup handal untuk digunakan untuk klasifikasi 20 jenis pohon dengan nilai separabilitas yang cukup tinggi.

Tujuan penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari Jaya (2002) dalam rangka mengidentifikasi jenis pohon menggunakan citra CASI. Adapun tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan masing-masing citra IKONOS dan citra CASI dalam (a) mengidentifikasi beberapa jenis pohon terpilih, (b) tegakan pendugaan kerapatan tegakan dan (c) luas bidang dasar.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu penelitian

Atas pertimbangan ketersediaan informasi jenis vegetasi yang lengkap serta ketersediaan data citra, penelitian ini dilakukan di Kebun Raya Bogor yang secara geografis terletak antara 106°47'37.01" BT dan 106°48'17.01" BT serta 6°35'33,38" LS dan 6°36'15,66" LS. Luas Kebun Raya yang dibangun oleh Prof. Dr. C.G.C. Reinwardt

pada tahun 1817 adalah sekitar 87 Ha. Di Kebun Raya Bogor ini diperkirakan terdapat 3548 spesies flora dari 1301 marga (genus) yang berasal dari berbagai daerah di Indonesia.

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 3 bulan, mulai dari bulan Maret 2003 sampai dengan Juni 2003. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan Fakultas Kehutanan IPB.

Citra IKONOS

Satelit ini merupakan satelit sipil pertama yang menggunakan sensor dengan resolusi spasial tinggi, yaitu: 1-m panchromatik (PAN) dan 4-m multispektral (XS), serta mengorbit pada ketinggian 681 km. Selain itu, kemampuannya melakukan perekaman secara *off-nadir* sampai dengan 60° di segala azimuth menyebabkan kemampuan perekaman ulang (*revisit*) antara 2 sampai dengan 3 hari, dan juga mampu menyediakan citra stereo dari posisi "in-track". Karakteristik dari IKONOS yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Waktu perekaman: Januari 2003.
- Resolusi radiometrik: 11 bit per piksel
- Resolusi spasial: 1 m panchromatik dan 4 m multispektral (XS). Untuk kepentingan penelitian ini, saluran XS kemudian di-resampling kembali menjadi resolusi 1 m;
- Prapengolahan citra dari vendor: Standard Geometrically Corrected (GEO)
- Proyeksi peta: UTM zone 48 M, WGS-84.

Tabel 1. Karakteristik band IKONOS

Band	Panjang gelombang	Resolusi spasial	Deskripsi
1	0,45 μm ~ 0,53 μm	4 m	Biru
2	0,52 μm ~ 0,61 μm	4 m	Hijau
3	0,64 μm ~ 0,70 μm	4 m	Merah
4	0,77 μm ~ 0,88 μm	4 m	Inframerah dekat
Pan	0,49 μm ~ 0,90 μm	1 m	Hijau - inframerah dekat

Citra CASI

Pada penelitian ini data CASI yang digunakan adalah data mode spasial rekaman 29 Januari tahun 1998 yang dilakukan oleh PT Comserve Indonesia. Karakteristik data CASI yang digunakan adalah (a) format file BIP (*band interleaved by pixel*), (b) 16 bits per pixel (c) resolusi spasial 1 m x 1m, (d) lebar masing-masing band berkisar antara 10,6 nm – 12,20 nm dan (e) terdiri dari 12 band. Data yang digunakan adalah data mosaik yang dibuat oleh PT Comserve Indonesia menggunakan Peta Rupa Bumi Digital skala 1:25000 dengan datum DGN-95 dan sistem proyeksi UTM (Zone 48M, WGS-84). Karakteristik dari masing-masing band dari citra CASI yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Data CASI mode spasial yang digunakan pada studi ini.

Band	Panjang gelombang (nm)	Deskripsi
1	439,6 ~ 451,8 nm	Biru
2	496,8 ~ 509,2 nm	Biru/hijau
3	526,7 ~ 539,1 nm	Hijau
4	566,0 ~ 576,6 nm	Hijau
5	596,2 ~ 608,6 nm	Hijau/merah
6	645,4 ~ 657,8 nm	Merah
7	668,0 ~ 680,6 nm	Merah
8	704,2 ~ 716,8 nm	Inframerah dekat
9	734,7 ~ 747,3 nm	Inframerah dekat
10	769,1 ~ 781,7 nm	Inframerah dekat
11	794,0 ~ 806,6 nm	Inframerah dekat
12	838,0 ~ 850,6 nm	Inframerah dekat

Perangkat yang digunakan

Perangkat lunak ER Mapper digunakan hanya pada tahap penampilan dan pengambilan data training area untuk setiap jenis pohon contoh. Sedangkan JAYA-SYSTEM yang dirancang dan di-code menggunakan bahasa pemrograman QuickC lebih banyak digunakan melakukan analisis-analisis utama, seperti analisis kluster, separabilitas, diskriminan dan analisis akurasi. Perangkat kerasnya adalah satu set komputer desktop.

Metode

Persiapan

Persiapan penelitian mencakup pengumpulan data penunjang yaitu peta sebaran jenis dan famili, termasuk penelusuran jenis-jenis yang dijadikan sampel pengamatan.

Registrasi

Untuk memudahkan penelusuran jenis pohon yang terdapat pada kedua jenis citra serta untuk memudahkan melakukan klasifikasi, maka dilakukan registrasi dari citra-ke-citra (*image-to-image registration*). Pada penelitian ini citra CASI digunakan sebagai citra referensi (*master image*) sementara citra IKONOS sebagai *slave image*. RMSE yang dihasilkan tidak lebih dari 1 pixel.

Kategori/kelas

Kategori yang dibuat pada citra IKONOS maupun CASI sedapat mungkin sama. Pada studi ini satu jenis pohon dianggap sebagai satu kategori atau satu kelas. Atas pertimbangan hasil penelitian Jaya (2002), pada penelitian ini diteliti sebanyak 20 jenis pohon dari 12 famili untuk masing-masing citra. Namun karena citra direkam dengan

perbedaan waktu lima tahun, hanya 18 jenis pohon yang sama ditemukan baik pada citra CASI maupun IKONOS. Pemilihan jenis pohon terpilih dilakukan atas pertimbangan kenampakannya yang jelas pada citra, mudah diamati di lapangan dan sekaligus untuk menghindari adanya kesalahan penempatan *training area*. Selanjutnya untuk setiap jenis pohon diambil sejumlah pixel yang digunakan untuk analisis statistik seperti analisis kluster, separabilitas, diskriminan dan akurasi. Adapun jenis-jenis yang diteliti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis-jenis pohon yang diteliti.

No.	Jenis	Famili	Nama perdagangan	CASI	IKONOS
1	<i>Alstonia angustiloba</i>	Apocynaceae	Pulai	3	3
2	<i>Alstonia scholaris</i>	Apocynaceae	Pulai	3	3
3	<i>Araucaria columnaris</i>	Araucariaceae	Araukaria	3	3
4	<i>Agathis damara</i>	Araucariaceae	Damar	3	3
5	<i>Albizia falcataria</i>	Fabaceae	Jeunjing	3	3
6	<i>Caesalpinia coraria</i>	Fabaceae	-	3	3
7	<i>Cananga odorata</i>	Annonaceae	Kenanga	3	3
8	<i>Cryptocarya ferrea</i>	Lauraceae	-	3	3
9	<i>Cryptocarya nitens</i>	Lauraceae	-	-	3
10	<i>Dalbergia latifolia</i>	Fabaceae	Sonokeling	3	-
11	<i>Dracontomelon dao</i>	Anacardiaceae	Dahu	3	3
12	<i>Diospyros discolor</i>	Ebenaceae	Kayu hitam/ebony	3	-
13	<i>Dyera costulata</i>	Apocinaceae	-	-	3
14	<i>Eusideroxylon zwageri</i>	Lauraceae	Kayu besi/ulin	3	3
15	<i>Dipterocarpus gracilis</i>	Dipterocarpaceae	Keruing	3	3
16	<i>Palaquium rionse</i>	Sapotaceae	Nyatoh	3	3
17	<i>Pinus merkusii</i>	Pinaceae	Pinus	3	3
18	<i>Pometia pinata</i>	Sapindaceae	Matoa	3	3
19	<i>Pterocarpus indicus</i>	Fabaceae	Sonokembang	3	3
20	<i>Shorea leprosula</i>	Dipterocarpaceae	Meranti merah	3	3
21	<i>Shorea sumatrana</i>	Dipterocarpaceae	Damar laut/Balau	3	3
22	<i>Dipterocarpus gracilis</i>	Dipterocarpaceae	Keruing	3	3

Pengecekan Lapangan

Pengecekan di lapangan mencakup identifikasi jenis serta pemetaan lokasi pohon menggunakan *GPS Garmin III plus*.

Analisis Kluster

Analisis kluster digunakan untuk menemukan pola keteraturan pengelompokkan jenis berdasarkan nilai reflektansinya (*numerical taxonomy*) dan untuk mengetahui apakah spesies dari famili yang sama akan memberikan derajat kemiripan (*degree of similarity*)

reflektansi yang tinggi atau tidak. Pada analisis ini, derajat kemiripan jenis dihitung menggunakan Jarak Euclidean Terstandarisasi (*Standardized Euclidean Distance*). Selanjutnya, dendrogram digambarkan menggunakan metode *nearest neighbour hierarchical classification (single linkage method)*.

Analisis Separabilitas

Untuk mengetahui apakah suatu jenis pohon dapat teridentifikasi secara statistik sekaligus untuk mengetahui kombinasi band yang baik, maka dilakukan analisis separabilitas. Ukuran separabilitas yang digunakan adalah *Transformed Divergence (TD)* menggunakan kriteria yang diadopsi dari Jaya dan Kobayashi (1995) and Jensen (1986).

Analisis diskriminan

Fungsi diskriminan dibentuk berdasarkan nilai kecerahan yang diambil dari sejumlah pixel yang mewakili setiap jenis yang diteliti. Pada penelitian ini tidak ada informasi tentang *prior probability* $p(\omega_i)$ pada masing-masing jenis pohon, sehingga diasumsikan bahwa peluang untuk menemukan ke 20 jenis tersebut adalah sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

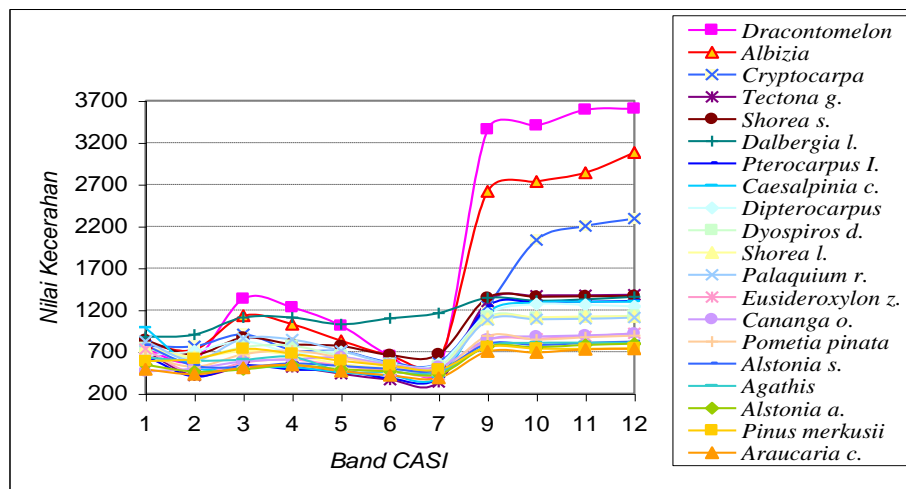
Pengelompokkan Jenis Berdasarkan Nilai kecerahan citra IKONOS dan CASI

Berdasarkan evaluasi grafis terhadap nilai kecerahan data IKONOS dan CASI dari 20 jenis pohon yang diuji menunjukkan adanya kesamaan pola reflektansi spektral, dimana reflektansi tampak rendah pada band biru kemudian sedikit naik pada band hijau, selanjutnya menurun pada band merah dan kembali meningkat tajam pada band inframerah dekat (*near infrared*) (Lihat Gambar 1 dan 2) (catatan: pada studi ini, band 8 data CASI tidak digunakan karena adanya masalah teknis). Besaran yang umumnya mencirikan masing-masing spesies adalah elevasi dari masing-masing reflektansi pada setiap band. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2, variasi perbedaan rata-rata nilai kecerahan (*brightness value*) antar jenis yang relatif tinggi terjadi pada daerah band inframerah dekat. Ini mengindikasikan bahwa band inframerah dekat akan memegang peranan yang sangat penting dalam identifikasi jenis pohon.

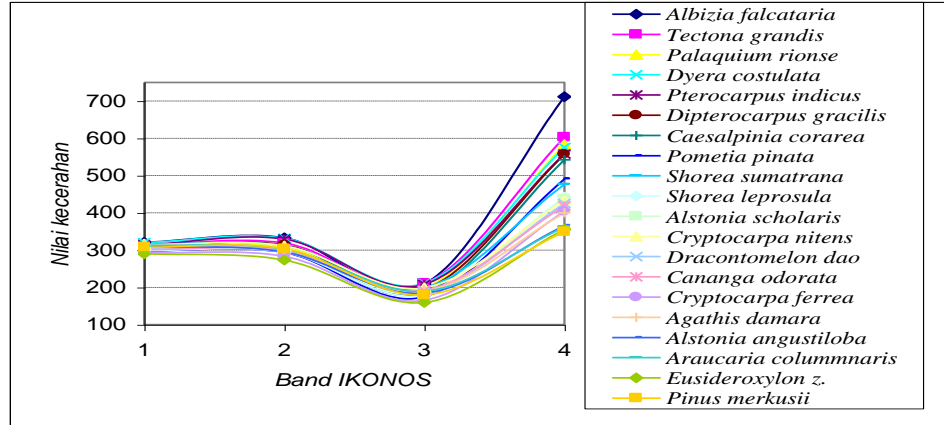
Secara visual variasi nilai kecerahan vegetasi pada citra IKONOS relatif kecil jika dibandingkan dengan yang diberikan oleh citra CASI. Hal ini disebabkan karena perbedaan resolusi radiometrik dari citra, dimana resolusi radiometrik IKONOS hanya 11 bit per pixel (rentang DN berkisar antara 0 sampai dengan 2047) sementara CASI 16 bit (rentang DN dari 0 sampai dengan 65536). Disamping itu, resolusi spasial IKONOS multiband adalah 4 m, sementara CASI 1 m. Resolusi spasial yang hanya 4 m hanya cocok untuk mendeteksi pohon-pohon yang minimal berdiameter tajuk 12 m. Pada mode spasial, CASI mempunyai resolusi spektral yang cukup tinggi yaitu 18 band untuk kisaran band sinar tampak dan inframerah dekat, sementara IKONOS hanya 4 band. Pada Gambar 3 disajikan kenampakan warna komposit menggunakan CASI dan IKONOS. Citra

komposit CASI disajikan dengan warna komposit band 9-10-1 dan sementara IKONOS dengan kombinasi band 3-4-2. Pada warna komposit CASI, penampakan jenis pohon menjadi cukup unik. Kenampakan warna vegetasi yang dihasilkan menggunakan IKONOS tampak lebih monoton dengan kisaran warna dari hijau gelap sampai dengan hijau terang. Secara spektral, interpretasi visual menggunakan IKONOS untuk identifikasi jenis pohon relatif cukup sulit untuk dilakukan. Resolusi spasial IKONOS multiband yang 4 m menyebabkan variasi warna individu-individu pohon yang dapat direkam oleh sensor IKONOS menjadi lebih rendah sehingga kemampuan citra untuk tujuan interpretasi visual menjadi kurang memadai.

Dari 20 jenis pohon yang diamati ditemukan adanya pengelompokkan pada CASI, khususnya pada band inframerah dekat, yaitu (a) kelompok jenis reflektansi tinggi, (b) kelompok reflektansi sedang dan (c) kelompok reflektansi rendah dengan kisaran nilai kecerahan sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Secara grafis pengelompokkan ini juga dapat dilihat pada Gambar 1. Jenis-jenis pohon dari famili Apocynaceae, Araucariaceae, Annonaceae, Sapindaceae dan Pinaceae termasuk pada kelompok *reflektansi rendah*, sedangkan famili Dipterocarpaceae, Sapotaceae dan Verbenaceae termasuk pada kelompok *reflektansi sedang*. Jenis-jenis famili Lauraceae termasuk kelompok *reflektansi rendah* dan *tinggi*, sedangkan Fabaceae termasuk kelompok *sedang* dan *tinggi*. Dari pengelompokkan ini dapat disimpulkan bahwa jenis-jenis dari suatu famili tertentu dapat mempunyai reflektansi yang sangat beragam dari yang rendah sampai dengan yang tinggi misalnya jenis *Eusideroxylon zwageri* (famili Lauraceae) mempunyai reflektansi inframerah yang rendah, sementara jenis *Cryptocarya ferrea* dari famili yang sama (Lauraceae) mempunyai reflektansi inframerah dekat yang tinggi. Demikian pula jenis-jenis dari famili Fabaceae, dimana jenis *Albizia falcataria* mempunyai reflektansi inframerah dekat yang tinggi, sedangkan *Pterocarpus indicus*, *Dalbergia latifolia* dan *Caesalpinia coraria* mempunyai reflektansi inframerah dekat yang sedang.



Gambar 1. Kurva nilai kecerahan 20 jenis pohon pada citra CASI



Gambar 2. Kurva nilai kecerahan 30 jenis pohon pada citra IKONOS

Pola pengelompokan yang relatif sama juga ditemukan pada citra IKONOS, khususnya pada band 4 (daerah inframerah dekat). Kelompok dengan urutan nilai kecerahan inframerah tertinggi sampai rendah juga disajikan pada Tabel 5.

Pada citra IKONOS jenis *Albizia falcataria* secara konsisten termasuk pada kelompok dengan reflektansi tinggi. Demikian juga jenis *Tectona grandis*, *Palaquium rionse*, *Pterocarpus indicus*, *Dipterocarpus gracilis*, *Caesalpinia corarea* dan *Shorea sumatrana* termasuk kelompok dengan reflektansi pada band inframerah dekat relatif sedang. Jenis yang tidak konsisten dalam pengelompokan reflektansi ini adalah *Cryptocarya ferrea* dan *Dracontomelon dao*, dimana pada citra CASI mempunyai reflektansi tinggi sementara pada citra IKONOS mempunyai reflektansi rendah. Secara umum diketahui bahwa relatifitas nilai kecerahan masing-masing jenis terhadap jenis lainnya pada citra CASI dan citra IKONOS relatif sama.

Gambar 3.

Tabel 4. Pengelompokan jenis pohon berdasarkan nilai kecerahan pada daerah inframerah dekat citra CASI dan IKONOS.

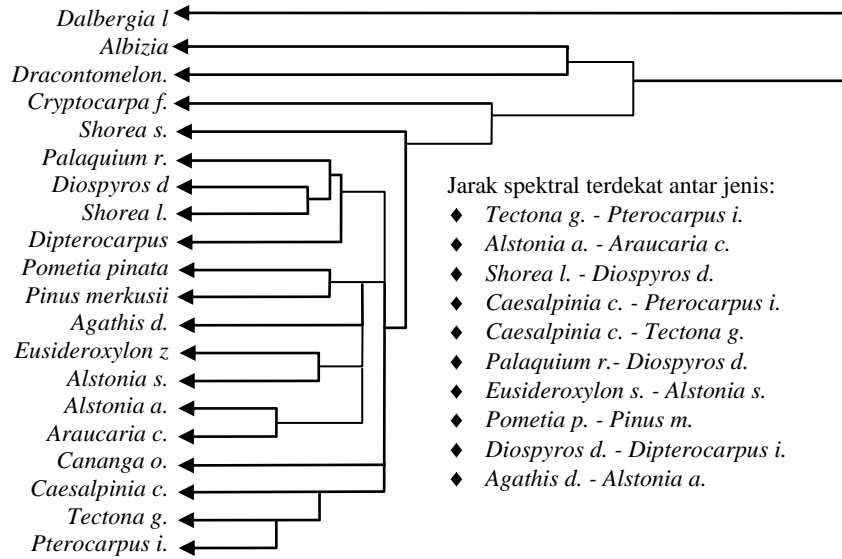
Jenis	Band CASI											Famili
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	
Reflektansi tinggi												
<i>Dracontomelon d.</i>	727	602	1332	1229	1011	649	477	3355	3403	3591	3603	Anacardiaceae
<i>Albizia f.</i>	806	727	1131	1028	831	657	592	2616	2734	2841	3080	Fabaceae
<i>Cryptocarya f.</i>	774	765	908	720	706	575	572	1245	2035	2201	2293	Lauraceae
Reflektansi sedang												
<i>Tectona g.</i>	703	417	521	520	438	366	339	1301	1369	1377	1381	Verbenaceae
<i>Shorea s.</i>	842	668	867	791	769	662	670	1345	1358	1363	1367	Dipterocarpaceae
<i>Dalbergia l.</i>	878	907	1111	1111	1028	1099	1161	1344	1311	1325	1358	Fabaceae
<i>Pterocarpus i.</i>	653	404	538	487	475	382	388	1244	1293	1299	1307	Fabaceae
<i>Caesalpinia c.</i>	987	520	513	516	453	418	392	1175	1288	1299	1299	Fabaceae
<i>Dipterocarpus g.</i>	658	708	825	693	697	560	559	1150	1271	1261	1242	Dipterocarpaceae
<i>Diospyros d.</i>	746	630	756	773	650	556	521	1120	1107	1117	1130	Ebenaceae
<i>Shorea l.</i>	758	638	706	663	552	509	486	1095	1113	1121	1122	Dipterocarpaceae
<i>Palaquium r.</i>	826	595	859	848	710	558	477	1079	1087	1095	1111	Sapotaceae
Reflektansi rendah												
<i>Eusideroxylon z.</i>	732	440	572	610	531	471	425	837	855	885	921	Lauraceae
<i>Cananga o.</i>	463	500	587	609	637	546	520	847	884	897	919	Annonaceae
<i>Pometia p.</i>	654	522	670	715	630	526	461	889	846	874	894	Sapindaceae
<i>Alstonia s.</i>	777	533	520	561	531	498	479	798	783	806	823	Apocynaceae
<i>Agathis d.</i>	631	592	605	638	467	461	456	770	808	810	808	Araucariaceae
<i>Alstonia a.</i>	546	464	491	539	491	465	432	762	754	783	798	Apocynaceae
<i>Pinus m.</i>	587	615	734	676	592	533	488	757	740	734	741	Pinaceae
<i>Araucaria c.</i>	492	431	508	544	470	420	390	704	691	728	735	Araucariaceae

Tabel 5. Reflektansi spektral band IKONOS (Pengelompokkan berdasarkan reflektansi daerah inframerah dekat)

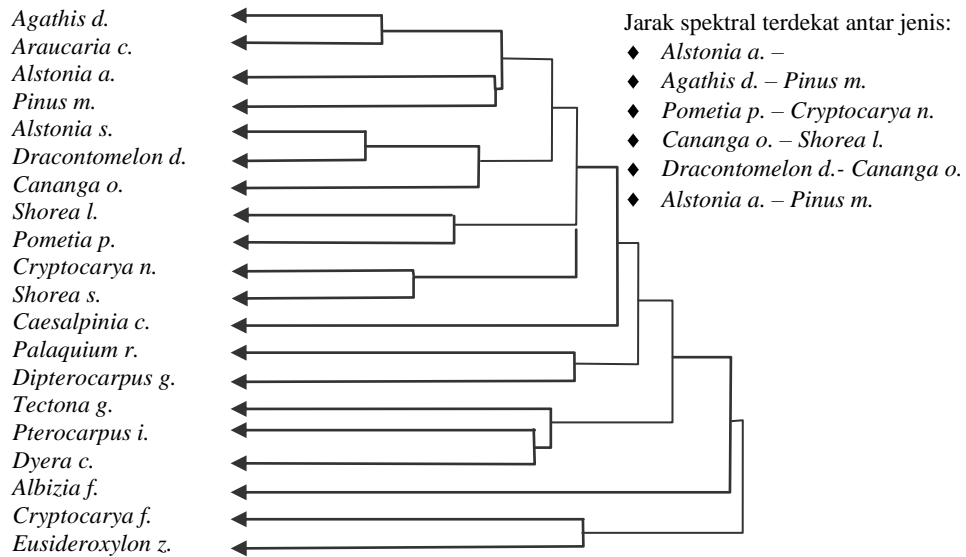
No	Jenis	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
1	<i>Albizia falcataria</i>	321.0	333.1	209.2	711.7
2	<i>Tectona grandis</i>	315.1	318.9	211.2	603.2
3	<i>Palaquium rionse</i>	316.0	307.4	198.1	583.2
4	<i>Dyera costulata</i>	320.5	332.1	210.8	575.8
5	<i>Pterocarpus indicus</i>	313.7	329.5	208.2	557.8
6	<i>Dipterocarpus gracilis</i>	309.2	313.7	194.9	557.7
7	<i>Caesalpinia corarea</i>	300.8	298.7	186.3	542.4
8	<i>Pometia pinata</i>	298.5	293.7	174.7	491.0
9	<i>Shorea sumatrana</i>	316.5	311.7	199.8	476.7
10	<i>Shorea leprosula</i>	299.6	294.5	179.4	442.2
11	<i>Alstonia scholaris</i>	307.9	301.0	185.2	437.2
12	<i>Cryptocarya nitens</i>	314.7	311.3	199.0	433.8
13	<i>Dracontomelon dao</i>	305.1	301.9	185.9	425.0
14	<i>Cananga odorata</i>	301.4	298.9	192.5	418.9
15	<i>Cryptocarya ferrea</i>	293.4	283.2	165.5	403.9
16	<i>Agathis damara</i>	313.9	301.6	190.4	399.9
17	<i>Alstonia angustiloba</i>	310.1	294.9	184.5	365.9
18	<i>Araucaria columnaris</i>	313.6	302.3	189.5	362.5
19	<i>Eusideroxylon z.</i>	290.5	273.5	159.5	356.4
20	<i>Pinus merkusii</i>	308.4	303.7	179.6	349.3

Analisis Klaster

Hasil evaluasi derajat kemiripan reflektansi spektral menggunakan Jarak Euclidean Terstandardisasi menunjukkan bahwa kemiripan spektral (*degree of similarity*) tidak mengikuti kaidah taksonomi botani, dimana kemiripan spektral tidak selalu berasal dari jenis pohon yang berasal dari famili yang sama dan atau genus yang sama. Sebagaimana disajikan pada dendrogram (Gambar 4) citra CASI, reflektansi spektral *Shorea leprosula* (Dipterocarpaceae) justru sangat mirip dengan *Diospyros discolor* (Ebenaceae), dan bukan dengan *Shorea sumatrana* (Dipterocarpaceae) dari genus yang sama. Demikian pula *Alstonia angustiloba* (Apocynaceae) mempunyai kemiripan spektral yang tinggi dengan *Araucaria columnaris* (Araucariaceae) dan bukannya dengan *Alstonia scholaris*.



Gambar 4. Dendrogram nilai kecerahan 20 jenis pohon pada Citra CASI



Gambar 5. Dedrogram nilai kecerahan 20 jenis pohon pada citra IKONOS

Pada citra CASI pasangan yang paling mirip terjadi antara *Tectona grandis* dengan *Pterocarpus indicus*, selanjutnya diikuti oleh pasangan *Alstonia a.*- *Araucaria c.*, *Shorea l.* - *Diospyros d.*, *Caesalpinia c.* - *Pterocarpus i.*, *Caesalpinia c.* - *Tectona g.*, *Palaquium r.* - *Diospyros d.*, *Alstonia s.*-*Eusideroxylon z.* dan *Pometia p.* - *Pinus m.* Pada citra IKONOS, derajat kemiripan jenis berdasarkan nilai kecerahan yang dihasilkan sedikit berbeda. Pada citra IKONOS pasangan yang mempunyai kemiripan yang tinggi adalah *Alstonia s.* *Dracontomelon d.*, *Agathis d.* - *Araucaria c.*, *Pometia p.* - *Cryptocarya n.*, *Cananga o.* - *Shorea l.*, *Dracontomelon d.* - *Cananga o.* dan *Alstonia a.* - *Pinus m.* (Lihat Gambar 5).

Cengan citra IKONOS dan CASI diketahui bahwa pengelompokkan nilai kecerahan bukan karena kesamaan famili akan tetapi lebih banyak berdasarkan kedekatan nilai kecerahan yang merupakan fungsi dari kandungan biomasa, klorofil, kondisi daun dan arsitektur tajuk. Dari ukuran derajat kemiripan spektral yang digunakan diperoleh hasil bahwa kemiripan sifat-sifat reflektansi suatu jenis tidak mengikuti kaidah pengkelasan jenis secara botani. Kesamaan famili dan bahkan genus tidak selalu memberikan kemiripan spektral yang dekat. Hal ini disebabkan karena klasifikasi tumbuh-tumbuhan didasarkan atas sifat-sifat organ vegetatif ataupun reproduktif (generatif) serta hubungannya dengan proses evolusi yang mempengaruhi bentuk dan sifat organ-organ tumbuhan (Djamhuri *et al.* 2000). Sementara itu, reflektansi dari vegetasi sangat bergantung pada arsitektur tajuk pohon posisi daun, sifat-sifat optis dari daun dan dalam beberapa kasus juga dipengaruhi oleh sifat-sifat dari organ tumbuhan yang lain, misalnya kulit kayu dari cabang-cabang pohon, bunga atau buah (Guyot, 1990). Reflektansi juga sangat tergantung pada sudut datang energi (*incoming radiation*) yang disebabkan oleh variasi posisi daun (arsitektur tajuk). Kombinasi dari refleksi diffuse dan spekular yang disebabkan oleh daun akan menyebabkan perbedaan reflektansi (Breece and Holmes, 1971 dalam Guyot, 1990) Gausman *et al.* (1970) dalam Guyot, (1990). Kondisi permukaan daun juga memberikan kontribusi terhadap besar kecilnya reflektansi. Bagian bawah daun cenderung mempunyai reflektansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian atas daun oleh karena kerapatan chloroplast lebih tinggi Kehadiran bulu daun juga menyebabkan meningkatnya reflektansi pada daerah sinar tampak dan inframerah sedang oleh karena bulu-bulu daun terbentuk dari cellulose dan kering. Kadar air daun yang rendah memberikan reflektansi yang tinggi pada semua spektrum. Kekurangan zat besi (chlorosis) mempengaruhi reflektansi pada daerah sinar tampak, sementara defisiensi nitrogen menyebabkan perubahan reflektansi pada semua spektrum. Untuk pohon-pohon hutan sifat optik dari pohon tidak hanya dipengaruhi oleh daun tapi organ oleh kulit kayu dan buah/bunga. Reflektansi kulit cenderung terus meningkat dari sinar tampak sampai dengan inframerah sedang.

Separabilitas citra CASI

Dengan citra CASI, sejumlah kombinasi band, dilakukan pengujian mulai dari satu band sampai dengan penggunaan semua band. Pada masing-masing kombinasi diuji sebanyak 10 pasang dari total 102 kombinasi band yang diuji. Pada tulisan ini, hanya disajikan kombinasi band yang menghasilkan separabilitas yang cukup baik yaitu kombinasi yang tidak menghasikan adanya pasangan yang "*inseparable*" (Tabel 6). Dengan jumlah band yang digunakan sebanyak 11, 10 maupun 9 band, hampir semua spesies dapat terdeteksi dengan baik, dimana tidak ada ditemukan adanya pasangan antar

jenis yang "tidak dapat dipisahkan (*inseparable*)". Dari 190 pasangan jenis yang diuji, sebagian besar (188 pasang) mempunyai separabilitas yang "baik (*good*)" dan "sangat baik (*excellent*)", hanya 2 pasang yang termasuk kriteria "cukup". Dengan 8 band (kombinasi 1-2-3-5-6-9-10-11), ada satu pasang spesies mempunyai separabilitas kurang "baik (*poor*)", yaitu antara *Alstonia angustiloba* dan *Araucaria columaris*. Penurunan jumlah band yang digunakan menyebabkan semakin menurunnya separabilitas antar kelas. Sebagaimana yang ditemukan pada penelitian ini, penggunaan dengan hanya 7 band (band 1-3-5-6-9-10-12), ada 1 pasang yang tidak dapat dipisahkan (*inseparable*) yaitu yang tadinya termasuk kategori kurang baik (*poor*) dengan menggunakan 8 band (*Alstonia angustiloba* dan *Araucaria columaris*). Penggunaan kurang dari 6 band menyebabkan separabilitas semakin rendah.

Tabel 6. Kombinasi tiga terbaik dari menggunakan 8 sampai dengan 11 band.

Kombinasi band	Band	insp	Jumlah pasang dalam setiap kategori					
			kb	ck	bk	Sbk	KA	TDavg
1-2-3-5-6-9-10-11	8	0	1	2	66	121	77.2	1990
1-3-5-7-9-10-11-12		0	1	3	57	129	76.5	1991
1-2-4-5-6-9-10-11		0	1	3	64	122	77.4	1989
1-2-3-5-6-9-10-11-12	9	0	0	3	51	136	79.2	1995
1-2-3-4-5-6-9-10-11		0	0	2	34	154	80.7	1997
1-2-4-5-6-9-10-11-12		0	0	3	54	133	79.0	1994
1-2-3-4-5-6-9-10-11-12	10	0	0	1	44	145	82.7	1997
1-2-3-4-5-7-9-10-11-12		0	0	2	34	154	80.9	1998
1-2-4-5-6-7-9-10-11-12		0	0	2	39	154	81.1	1997
1-2-3-4-5-6-7-9-10-11-12	11	0	0	1	31	158	82.5	1998

Keterangan:

insp = inseparable sbk = sangat baik TDavg = rata-rata separabilitas
 kb = kurang baik ck = cukup baik KA = kappa accuracy
 bk = baik

Separabilitas citra IKONOS

Berdasarkan nilai hasil evaluasi, hampir semua kelas jenis pohon yang dikaji menggunakan IKONOS menunjukkan hasil yang kurang menggembirakan. Pada pengujian derajat keterpisahan (separabilitas), diperoleh gambaran bahwa IKONOS hampir tidak bisa digunakan untuk identifikasi jenis pohon secara numerik. Dari 20 jenis yang diuji, hampir semua jenis mempunyai kemiripan reflektansi. Hal ini ditunjukkan oleh jumlah pasangan yang "*inseparable*" cukup banyak yaitu sebanyak 22 pasang (Tabel 7). Dari 22 pasangan inseparable tersebut semua jenis yang diinvestigasi termasuk dalam pasangan "*inseparable*". Pengujian-pengujian yang dilakukan juga menunjukkan bahwa untuk identifikasi jenis secara numerik, IKONOS belum menghasilkan yang memadai. Penggabungan menjadi 5 kelas masih tetap menunjukkan akurasi Kappa yang sangat rendah yaitu sekitar 45%.

Tabel 7. Separabilitas antar jenis yang tergolong "inseparable" menggunakan citra IKONOS.

No	Pasangan jenis	TDavg
1	<i>Agathis damara</i> - <i>Alstonia angustiloba</i>	1544,7
2	<i>Agathis damara</i> - <i>Araucaria columnaris</i>	1505,8
3	<i>Agathis damara</i> - <i>Eusideroxylon zwageri</i>	1547,1
4	<i>Alstonia angustiloba</i> - <i>Eusideroxylon zwageri</i>	1269,8
5	<i>Alstonia scholaris</i> - <i>Pometia pinata</i>	1095,5
6	<i>Araucaria columnaris</i> - <i>Cryptocarya nitens</i>	1575,2
7	<i>Araucaria columnaris</i> - <i>Pinus merkusii</i>	1376,4
8	<i>Caesalpinia corarea</i> - <i>Dyera costulata</i>	930,6
9	<i>Caesalpinia corarea</i> - <i>Pometia pinata</i>	611,1
10	<i>Caesalpinia corarea</i> - <i>Tectona grandis</i>	668,5
11	<i>Cananga odorata</i> - <i>Cryptocarya nitens</i>	1309,1
12	<i>Cryptocarya nitens</i> - <i>Shorea leprosula</i>	1032,0
13	<i>Cryptocarya nitens</i> - <i>Shorea sumatrana</i>	1056,1
14	<i>Dipterocarpus gracilis</i> - <i>Albizia falcataria</i>	1151,2
15	<i>Dipterocarpus gracilis</i> - <i>Shorea sumatrana</i>	1593,4
16	<i>Dyera costulata</i> - <i>Pometia pinata</i>	907,8
17	<i>Dyera costulata</i> - <i>Tectona grandis</i>	1026,0
18	<i>Eusideroxylon zwageri</i> - <i>Shorea sumatrana</i>	1500,3
19	<i>Palaquium rionse</i> - <i>Tectona grandis</i>	1596,3
20	<i>Pometia pinata</i> - <i>Pterocarpus indicus</i>	1403,9
21	<i>Pometia pinata</i> - <i>Tectona grandis</i>	1071,4
22	<i>Pterocarpus indicus</i> - <i>Tectona grandis</i>	1160,1

Kerapatan Tegakan dan Luas Bidang Dasar

Resolusi spasial yang tinggi baik citra IKONOS maupun CASI yang ukurannya jauh lebih kecil (1 m sampai dengan 4 m) dari ukuran tajuk-tajuk pohon dewasa, membuka peluang digunakannya citra tersebut untuk menduga parameter tegakan. Pada studi ini penulis mengevaluasi kemampuan citra IKONOS dan CASI dalam rangka menduga kerapatan tegakan dan luas bidang dasar. Dari 10 plot contoh yang dibuat dan diukur baik di lapangan maupun di citra diperoleh hasil yang cukup menggembirakan, dimana penggunaan citra resolusi tinggi CASI dan IKONOS ini dapat digunakan untuk menduga kerapatan tegakan cukup teliti.

Sebagaimana disajikan pada Tabel 8, persamaan regresi yang menyatakan hubungan antara jumlah pohon per ha di lapangan (y) dengan yang tampak pada citra IKONOS maupun CASI (x) mempunyai koefisien determinasi yang tinggi, yaitu sebesar 83% untuk citra IKONOS dan 82% untuk citra CASI. Dari uji statistik diketahui bahwa model regresi terpilih adalah model regresi yang tidak menggunakan konstanta (t_{hitung} untuk konstanta $< 1,96$). Dengan kata lain, persamaan regresinya melalui titik pusat koordinat salib sumbu. Pada model regresi tanpa konstanta, baik pengukuran kerapatan

pada citra IKONOS maupun CASI memberikan derajat asosiasi (koefisien korelasi) yang sangat tinggi, yaitu 0,99 ($r^2 = 97\%$) yang artinya bahwa 97% perubahan nilai pada peubah kerapatan tegakan di lapangan disebabkan karena perubahan yang terjadi pada citra. Demikian pula koefisien regresinya menunjukkan signifikansi yang pada taraf yang sangat tinggi (lebih kecil dari 1%). Dengan demikian, penelitian ini dapat menyimpulkan bahwa baik citra IKONOS maupun CASI dapat digunakan untuk menduga kerapatan tegakan.

Pada studi ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya hubungan yang sangat rendah antara luas bidang dasar tegakan dengan persen penutupan tajuk baik menggunakan citra IKONOS maupun CASI. Sebagaimana disajikan pada Tabel 7, koefisien determinasi yang dihasilkan dari citra IKONOS (0,52) sedikit lebih rendah dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh Citra CASI (0,73). Hasil evaluasi terhadap kualitas citra menunjukkan bahwa citra IKONOS relatif lebih sulit diinterpretasi untuk mendapatkan persen penutupan tajuk yang tepat dibandingkan dengan citra CASI. Bayangan tajuk dan gap yang tampak pada citra IKONOS sangat sulit dibedakan sehingga persen tutupan tajuk dari citra IKONOS cenderung “*underestimate*”. Penulis menyadari bahwa hasil penelitian tentang hubungan antara luas bidang dasar tegakan dengan persentase penutupan tajuk ini masih perlu dikaji lebih lanjut mengingat wilayah studi ini adalah Kebun Raya Bogor dimana, jenis tanam dan komposisi jenis didisain tidak dengan konsep pembentukan tegakan hutan yang berorientasi pada potensi kayu, melainkan lebih menekannya pada nilai estetika dan keanekaragaman.

Tabel 8. Regresi linier hubungan antara kerapatan tegakan di citra dengan di lapangan dan antara penutupan tajuk dan luas bidang dasar tegakan

Citra	Persamaan regresi	Kesalahan baku koefisien	r^2	t_{hitung}	Signifikansi
	Persamaan regresi antara kepapatan di citra dengan kerapatan di lapangan				
	Dengan konstanta				
IKONOS	Konstanta (b_0) = 7,474154	24,375	0,83	0,307	0,77
	Koefisien (b_1) = 1,411202	0,223494		6,314	0,00
CASI	Konstanta (b_0) = 6,077761	26,027	0,82	0,234	0,82
	Koefisien (b_1) = 1,352429	0,227153		5,954	0,00
	Tanpa konstanta				
IKONOS	$Y = 1,4743537$	0,082318	0,97	17,910	0,00
CASI	$Y = 1,4014549$	0,082044	0,97	17,082	0,00
	Persamaan regresi antara persen penutupan tajuk di citra (x) dengan lbds dalam m^2 (y) di lapangan.				
IKONOS	Konstanta (b_0) = -13927,46	8120,123	0,52	-1,715	.125
	Koefisien (b_1) = 300,106	102,498		2,928	.019
CASI	Konstanta (b_0) = -16261,4	5612,402	0,73	-2,897	0,02
	Koefisien (b_1) = 325,796	69,936		4,658	0,02

Sumber: diolah dari data lapangan yang dikumpulkan oleh Slamet Riyanto dibawah arahan penulis, Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fahutan IPB (2003).

KESIMPULAN

1. Citra IKONOS dan CASI mempunyai kemampuan yang handal dalam mengklasifikasi 20 jenis pohon yang berasal dari 8 famili. Sebaliknya, tidak mempunyai kemampuan yang memadai untuk mengidentifikasi jenis secara numerik.
2. Kajian Citra IKONOS dan CASI menunjukkan bahwa derajat kemiripan reflektansi spektral suatu spesies tidak mengikuti kaidah keteraturan taksonomi botani. Kemiripan spektral tidak selalu dimiliki oleh spesies dari genus dan atau famili yang sama.
3. Citra IKONOS dan CASI mempunyai kemampuan yang sangat handal dalam menduga kerapatan dan luas bidang dasar tegakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Djamhuri, E., I. Hilwan dan E. Cahyono. 1990. Dendrologi. Laboratorium Ekologi Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Diktat kuliah.
- Guyot, G., 1990. Optical properties of vegetation canopy. *In* Application of Remote Sensing in Agriculture (Steven, M.D. and J.A. Clark, editors). Butterworth, London, p. 19-43.
- Jaya, I N. S. and S. Kobayashi, 1995, Classification of Detailed Forest Cover Types based upon the Separability Algorithm: A case study in the Yahiko Mountain and Shibata Forest Area. *Journal of the Remote Sensing Society of Japan*, 15 (1): 40-53
- Jaya, I N. S., 2002. Separabilitas spektral beberapa jenis pohon menggunakan citra *Compact Airborne Spectrograph Imager* (CASI): Studi kasus di Kebun Raya Bogor. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, volume VIII (2), 57-73.
- Jensen, J. R. , 1986. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Niemann, K. Olaf, 1995. Remote sensing of forest stand age using Airborne spectrometer data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 61 (9): 1119-1127.
- Zhou, G. and R. Li, 2000, Accuracy evaluation of ground control points from IKONOS High-resolution satellite imegry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 66(9): 1103-1112.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilakukan dalam rangka kerjasama antara Fakultas Kehutanan IPB dengan PT. Comserve Indonesia. Kepada anak-anak bimbing kami, sdr. Robby, Slamet, Japyan, Nurhidayati dan Suhendra kami sampaikan penghargaan atas keuletannya yang saling bahu membahu selama melakukan pengecekan di Kebun Raya Bogor dan pengolahan data di laboratorium.