

EKSTRAKSI INFORMASI PENUTUP LAHAN MENGGUNAKAN SPEKTROMETER LAPANGAN SEBAGAI MASUKAN ENDMEMBER PADA DATA HIPERSPEKTRAL RESOLUSI SEDANG

Muhammad Kamal¹ dan Sanjiwana Arjasakusuma²

^{1,2} Prodi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi,
Universitas Gadjah Mada, Email: m.kamal@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

Hyperspectral sensor captures a large number of narrow and contiguous spectral bands, mostly covering from 400 to 2500 nm of electromagnetic spectrum. This characteristics offer recognition of high-detailed object spectral reflectance, which serve as basic information on object analysis using hyperspectral data. This research aims to study the applicability of field-based endmember collection as input for land cover mapping, and assess the accuracy of resulted map. The mapping algorithm used was Spectral Angle Mapper (SAM), which compares the angle between endmember's vector and each pixel's vector in n-dimension space. Smaller angle values indicate higher similarity between pixels and the endmember. The result of this research is a land cover map of 26 land cover classes, with overall accuracy of 60.82% (Kappa 0.52). Overall, the utility of field-based spectrometer for endmember input is potentially high; however, the effect of time difference between data acquisition and field work and image resolution is remains problematic.

Keywords: hyperspectral, endmembers, field spectrometer, spectral angle mapper, land cover.

ABSTRAK

Sensor hiperspektral merekam saluran spektral yang sangat banyak, dengan julat tiap saluran sempit, yang umumnya beroperasi pada spektrum 400 – 2500 nm. Karakteristik ini dapat memberikan pola reflektansi spektral obyek yang sangat rinci, yang bertindak sebagai informasi dasar dalam analisis obyek menggunakan data hiperspektral. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan teknik pengambilan endmember berbasis lapangan sebagai masukan untuk penutup lahan, dan menilai akurasi hasilnya. Algoritma pemetaan yang digunakan adalah *Spectral Angle Mapper* (SAM), yaitu dengan membandingkan sudut antara vektor endmembers dan tiap vektor piksel dalam ruang n-dimensi. Semakin kecil sudut piksel terhadap suatu endmember maka semakin sesuai piksel untuk masuk ke dalam kelas *endmember* tersebut. Hasil klasifikasi berupa peta penutup lahan untuk 26 kelas penutup lahan, dengan akurasi keseluruhan sebesar 60,82% (*Kappa* 0,52). Secara keseluruhan, utilitas spektrometer lapangan untuk mengumpulkan endmember berbasis lapangan berpotensi tinggi, namun dampak yang disebabkan oleh perbedaan waktu akuisisi citra dan kerja lapangan dan resolusi citra masih menjadi problem.

Kata Kunci: Hiperspektral, *endmembers*, spectrometer lapangan, *spectral angle mapper*, penggunaan lahan.

Diterima (received): 26-04-2010; disetujui untuk publikasi (Accepted): 17-10-2010

PENDAHULUAN

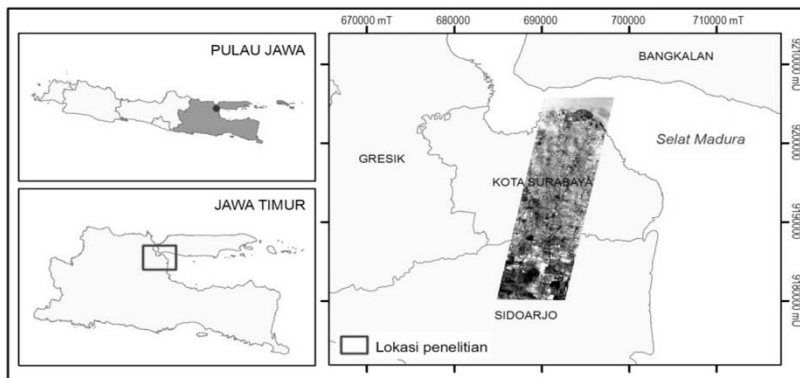
Perkembangan teknologi penginderaan jauh yang pesat berpengaruh juga pada pengembangan berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk ekstraksi informasi secara otomatis dari data penginderaan jauh. Salah satu perkembangan dalam bidang ini adalah hadirnya sensor hiperspektral, yang merekam obyek pada puluhan hingga ratusan saluran, dengan menggunakan spektrum sempit (10-20 nm) untuk setiap saluran, dan beroperasi pada spektrum antara 400-2500 nm (Van der Meer & de Jong, 2001; Apan & Phinn, 2006). Setiap piksel pada citra memiliki asosiasi pola spektral dengan pola pantulan spektral obyek yang unik (*spectral fingerprint*) yang diperoleh dari laboratorium atau lapangan (Schmidt & Skidmore, 2001; Borengasser *et al.*, 2008). Sebagai contoh, Short (2006) mengemukakan bahwa untuk studi vegetasi, sensor hiperspektral tidak hanya dapat digunakan untuk mengidentifikasi kelompok vegetasi yang berbeda, tetapi lebih jauh dapat membedakan spesies tumbuhan secara individual. Dengan demikian, secara teoritik, data hiperspektral memungkinkan untuk dapat membedakan obyek yang terekam pada citra dengan lebih detail berdasarkan pola pantulan spektral.

Penelitian ini adalah aplikasi dari bidang penginderaan jauh yang dimaksudkan untuk mengkaji aplikabilitas spektrometer lapangan untuk mengambil *endmember* (sampel obyek) di lapangan sebagai input klasifikasi penutup lahan. Yaitu dengan menggunakan spektrometer tersebut untuk merekam pola pantulan spektral obyek yang akan dipetakan. Penggunaan metode ini cukup menarik untuk dikaji karena seringkali *endmember* diambil pada waktu perekaman, kondisi lingkungan, dan julat spektral yang berbeda. Tema penutup lahan dipilih karena merupakan obyek fisik, baik bersifat antropogenik maupun non-antropogenik, yang paling mudah dikenali pada citra. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk (1) mengkaji penerapan teknik pengambilan *endmember* berbasis lapangan menggunakan spektrometer sebagai masukan untuk pemetaan penutup lahan, dan (2) menilai akurasi hasil pemetaannya.

DATA DAN METODE

Data

Penelitian ini menggunakan citra Hyperion daerah Kota Surabaya dan sekitarnya (antara 684830-698359 mT dan 9180065-9205825 mU, UTM zone 49 M) perekaman 21 September 2002 yang telah terkoreksi secara atmosferik dan geometrik (Gambar 1). Citra hyperion memiliki 242 saluran dengan 2 sensor utama yaitu VNIR dan SWIR dengan rentang panjang gelombang 400 sampai dengan 2500 nm dengan julat 10 nm untuk tiap saluran. Dari jumlah saluran tersebut dipilih 52 saluran yang digunakan untuk penelitian yang mewakili rentang panjang gelombang tampak hingga inframerah dekat. Pemilihan saluran tersebut dimaksudkan untuk menyamakan rentang panjang gelombang citra dengan rentang panjang gelombang dari alat spektrometri RP5600 (200-1050 nm) dan juga memilih beberapa saluran yang mempunyai pengaruh *noise* dan *striping* yang rendah.

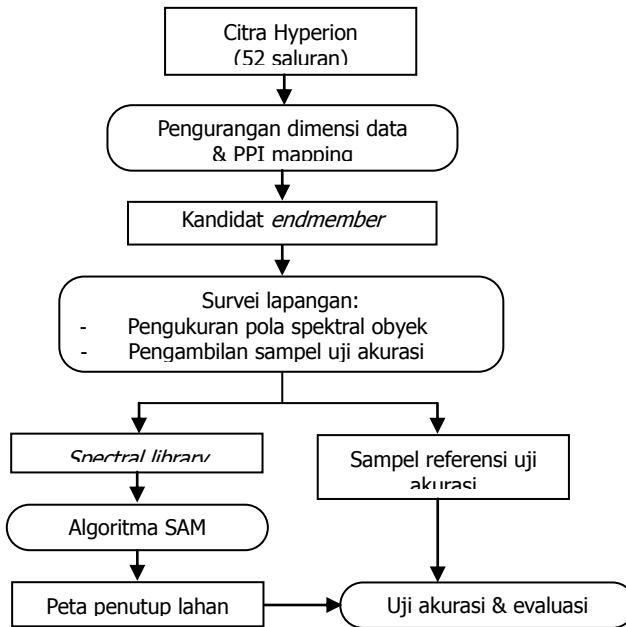


**Gambar 1: Lokasi penelitian, Surabaya dan sekitarnya.
Citra komposit warna asli R:29 G:23 B:16.**

Metode

Ekstraksi informasi penutup lahan pada citra hiperspektral dimulai dengan pemrosesan citra untuk pengurangan dimensionalitas data dan penentuan lokasi *endmember* berdasarkan piksel yang relatif murni melalui pemetaan *pixel purity index* (PPI). Target obyek dengan piksel relatif murni tersebut kemudian diukur pola pantulan spektralnya di lapangan menggunakan spektrometri RP5600. Hasil pengukuran pola pantulan beberapa obyek tersebut kemudian disimpan sebagai *spectral library* yang akan digunakan sebagai masukan *endmember* dalam proses klasifikasi, yaitu menggunakan

algoritma *spectral angle mapper* (SAM). Sekuen lengkap dari penelitian ini disajikan pada Gambar 2 berikut:

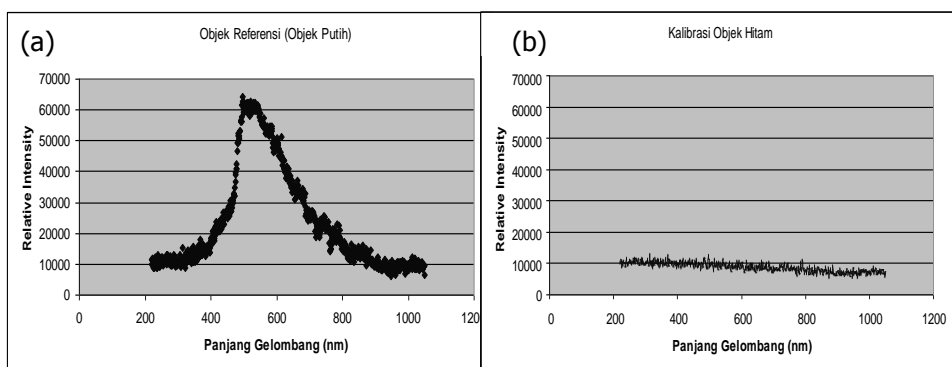


Gambar 2: Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Spektroradiometer

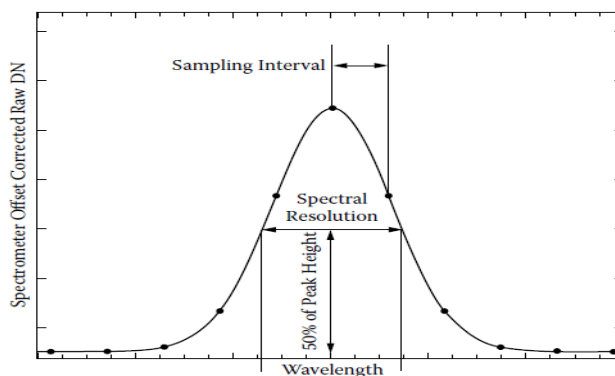
Pengukuran pantulan obyek menggunakan spektroradiometer dilakukan setelah terlebih dahulu mengkalibrasi alat dengan obyek putih dan obyek hitam. Hasil pengukuran untuk kalibrasi obyek putih dan obyek hitam dapat dilihat pada Grafik 1. Hasil pengukuran berupa kurva pantulan spektral obyek didapatkan setelah membagi nilai *Relative Intensity* atau pantulan obyek hasil pengukuran spektroradiometer dengan nilai *Relative Intensity* referensi (dalam hal ini menggunakan obyek putih) yang didapatkan pada saat kalibrasi alat.



Grafik 1. Contoh kurva *Relative Intensity (RI)* obyek putih (referensi, a) dan benda hitam (b) untuk kalibrasi alat spektrometri RPS900 (Sumber: Survey Lapangan, Desember 2009)

Spectral Resampling

Data *spectral library* yang didapatkan dari lapangan melalui pengukuran spektrometri memiliki perbedaan julat spektral dengan spektrum pada citra Hyperion. Data *spectral library* hasil pengukuran lapangan memiliki julat spektral 1 nm, sedangkan Hyperion memiliki julat spektral 10 nm. Agar julat spektral data *spectral library* bersesuaian dengan julat spektral data citra, maka perlu adanya resampling spektral (Borngasser, 2008). Proses resampling ini memerlukan nilai *center wavelength* dan FWHM (*Full Width at Half Maximum*, Gambar 3) yang dapat ditemukan pada manual citra Hyperion. Dengan demikian, data *spectral library* dapat dijadikan input pada proses klasifikasi.



Gambar 3: *Full Width at Half Maximum* (Borngasser et al., 2008)

FWHM memberikan informasi detail tentang julat spektrum panjang gelombang untuk 1 saluran pada citra. Hal ini dikarenakan resolusi spektral untuk 1 saluran pada Hyperion

yang sebesar 10 nm bukan merupakan besaran nilai pasti dan berbeda-beda antar saluran spektralnya. Oleh karena itu, nilai FWHM ini diperlukan untuk menentukan secara pasti range resolusi spektral 1 saluran pada citra.

Pengumpulan *Endmember* Lapangan

Pengukuran dilakukan pada bulan Desember 2009, antara jam 08.00 – 15.00 WIB dengan kondisi sinar matahari stabil dan cuaca relatif bebas dari awan. Spektrometri diarahkan berlawanan dengan sudut datang sinar matahari dengan sudut perekaman bervariasi dengan jarak dari obyek yang relatif tetap yaitu 30 cm dari obyek. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap obyek dan hasilnya kemudian dirata-rata. Perhitungan nilai pantulan obyek didasarkan pada rumus pada McCoy (2004) dimana pantulan merupakan rasio radians target dan radians panel:

$$\text{Pantulan obyek} = (\text{radians target} / \text{radians panel putih}) * k \text{ (faktor koreksi panel)}$$

Hasil kurva pantulan tiap obyek setelah dibagi obyek referensi rata-rata mempunyai rentang nilai minimal antara 0.5 sampai dengan nilai maksimal 2.

Tabel 1. Tabel *spectral library* obyek hasil pengukuran lapangan (Sumber: survey lapangan, Desember 2009)

Tipe Obyek	Obyek	Tipe Obyek	Obyek
Vegetasi	Daun lebar berkayu	Air	Air keruh I
	Jati (<i>Tectona grandis</i>)		Air keruh II
	Mangrove 1		Air keruh tipikal sungai
	Mangrove 2		Air keruh tipikal tambak I
	Mangrove 3		Air keruh tipikal tambak II
	Daun lebar tidak berkayu		Air keruh tipikal sawah
	Ketela		Air keruh tipikal laut
	Padi (<i>Oryza sativa</i>) umur 2 minggu		Permukaan diperkeras dan kedap air
	Padi (<i>Oryza sativa</i>) umur 1 bulan	Atap genteng I	
	Padi (<i>Oryza sativa</i>) umur 2 bulan	Atap genteng II	
	Rumput	Atap genteng III	
	Vegetasi kering, mati dan terbakar	Atap seng	
	Padi kering	Atap asbes	
		Atap beton	
	Lahan, tanah terbuka	Tanah terbuka dan kering	
Tanah kering terbuka (ladang)			
Lumpur dan permukaan basah lainnya			
Tanah basah tipikal sawah			

Skema klasifikasi penutup lahan yang digunakan berdasarkan klasifikasi penutup lahan

menurut dimensi spektral (Danoedoro, 2004). Dari hasil proses survey lapangan diperoleh 26 sampel obyek pengukuran dimana sampel ini diambil berdasarkan variasi obyek yang ada di lapangan dan mewakili 4 obyek utama pada skema klasifikasi penutup lahan menurut dimensi spektral. Obyek tersebut meliputi tubuh air, tutupan vegetasi, tanah lahan terbuka, dan permukaan diperkeras dan kedap air (Tabel 1). Hasil kurva pantulan obyek di lapangan ini kemudian disusun menjadi *spectral library* untuk digunakan sebagai data masukan klasifikasi.

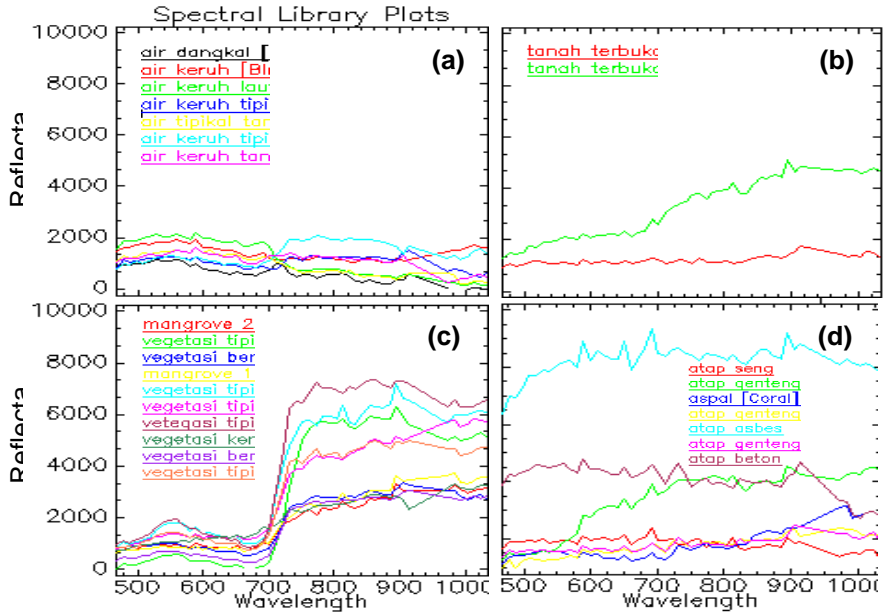
Pola Pantulan Spektral Obyek

Pola pantulan spektral *endmember* yang dikumpulkan dari lapangan memiliki karakteristik yang khas yang bergantung pada jenis obyeknya (Gambar 4). Untuk vegetasi hijau, pola pantulan pada gelombang *visible* (tampak) dipengaruhi oleh aktivitas fotosintesis tumbuhan. Pada panjang gelombang tampak ini terjadi serapan oleh klorofil a dan b pada saluran biru (400-500 nm) dan merah (600-700 nm), sedangkan pada saluran hijau (500-600 nm) banyak dipantulkan. Pola spektral vegetasi meningkat dengan signifikan pada 700-1200 nm, hal ini terutama disebabkan oleh pantulan dari struktur internal daun (jaringan mesofil) (Campbell, 2002; Jensen, 2005; Lillesand et al., 2004).

Pantulan tanah dipengaruhi oleh kandungan kelembaban tanah, tekstur tanah (susunan pasir, debu dan lempung) kekasaran permukaan, adanya oksida besi dan kandungan bahan organik (Lillesand et al., 2004). Pantulan tanah kering terbuka cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya panjang gelombang. Apabila tanah tersebut lembab atau basah, pola pantulan tanah ini tetap berulang akan tetapi pertambahan nilai pantulan seiring bertambahnya panjang gelombang tidak terlalu signifikan.

Obyek air pada *endmember* pada citra mempunyai karakteristik pola pantulan tinggi pada panjang gelombang biru dan menurun pada panjang gelombang inframerah

dekat. Apabila air tersebut memiliki material suspensi, panjang gelombang cenderung meningkat pada inframerah dekat sebagai akibat dari material suspensi yang dikandung oleh air tersebut.



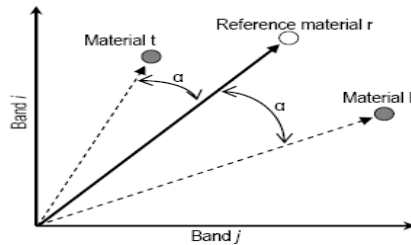
Gambar 4. Pola pantulan spektral endmember (a) tubuh air, (b) tanah, lahan terbuka, (c) vegetasi dan (d) permukaan diperkeras.

Beberapa obyek hasil pengukuran memiliki kemiripan pola pantulan spektral. Obyek-obyek tersebut adalah tanah kering terbuka, vegetasi kering, dan atap genteng. Ketiga obyek tersebut mempunyai pola kurva pantulan yang mengalami kenaikan pada saat bertambahnya panjang gelombang yang merupakan ciri dari pantulan dari tanah. Pada vegetasi kering dan mati, tidak adanya pigmentasi pada daun yang menyebabkan tidak adanya aktifitas daun seperti fotosintesis menyebabkan pola pantulan tidak tergambar seperti pola kurva pantulan vegetasi dan cenderung menyerupai pola kurva pantulan dari tanah.

Klasifikasi Spectral Angle Mapper (SAM)

Algoritma klasifikasi SAM mengambil piksel pada citra yang telah terkoreksi atmosferik dan membandingkannya dengan nilai spektral referensi pada n-dimensi yang sama

(Jensen, 2005). Nilai spektral referensi ini disebut juga dengan *endmembers*. Citra yang digunakan pada klasifikasi ini lebih baik diubah terlebih dahulu nilainya menjadi nilai *at surface reflectance* melalui koreksi atmosferik sehingga nilai pantulan dari obyek benar merupakan nilai pantulan tanpa adanya gangguan dari atmosfer. Proses pengambilan keputusan dari klasifikasi ini mendasarkan pada sudut spektral (*spectral angle*) yang dibentuk oleh suatu piksel terhadap suatu nilai referensi spektral pada suatu *feature space* (Gambar 5).



Gambar 5: Dasar pengambilan keputusan pada klasifikasi *Spectral Angle Mapper*. Material *t* lebih mirip dengan obyek referensi (*r*) daripada *k*; sudut α (dalam radians) antara *r* dan *t* lebih kecil (Jensen, 2005)

SAM merupakan algoritma yang menghitung tingkat kesamaan dari nilai spektrum *t* yang tidak diketahui ke spektrum referensi *r* menggunakan persamaan berikut ini, dimana *n* merupakan jumlah saluran pada citra, yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Jensen, 2005):

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Di mana:

- t* : Nilai spektral obyek
- n* : Jumlah saluran
- r* : Nilai spektral obyek acuan

Klasifikasi SAM menggunakan *endmember* sebagai input datanya. *Endmember* merupakan nilai piksel yang murni dimana 1 piksel dianggap mewakili obyek yang seragam di citra dan di lapangan. Menurut Van der Meer & de Jong, (2001), sekelompok *endmember* seharusnya memberikan gambaran semua variabilitas spektral untuk semua piksel, menghasilkan hasil yang unik dan signifikan dalam memenuhi hasil yang diharapkan.

Hasil Klasifikasi

Klasifikasi SAM menggunakan *spectral library* hasil pengukuran lapangan dengan memasukkan pula nilai ambang batas (*threshold*) tertentu untuk masing-masing kelas yang digunakan. Hasil dari klasifikasi SAM seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 6, menunjukkan bahwa obyek dengan luasan paling besar adalah atap genteng III yang sebagian besar terletak di sekita kota Surabaya, dengan luas 19.37% dari total luasan daerah penelitian.

Obyek atap genteng merupakan obyek yang dominan pada lokasi daerah penelitian, mengingat daerah ini merupakan daerah perkotaan padat penduduk. Sedangkan obyek yang paling sedikit dapat terkelaskan dari citra adalah air keruh tipikal tambak I dan atap genteng II dengan luasan 900 m² atau sangat kecil dibandingkan luasan total wilayah citra. Penggunaan nilai ambang batas pada saat klasifikasi secara signifikan berpengaruh pada munculnya kelas yang tidak terklasifikasi, yaitu sebesar 4.69% dari luasan total citra.

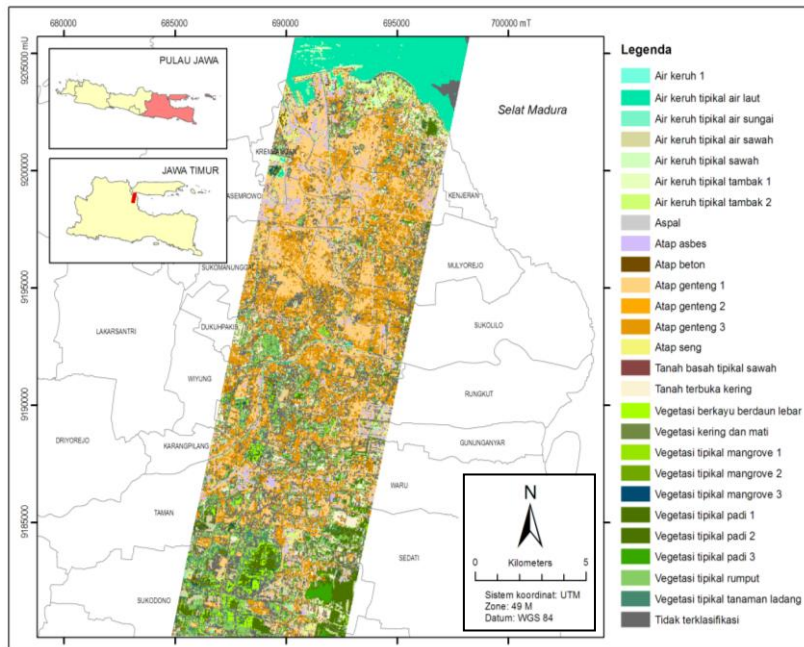
Tabel 2: Tabel Luas Kelas Penutup Lahan Hasil Klasifikasi SAM (Sumber : Pengolahan citra digital, 2010)

No	Kelas Obyek	Luas	Luas
1	Air keruh I	1158.29	5.76
2	Air Jernih	12.6	0.06
3	Air keruh tipikal sungai	211.75	1.05
4	Air keruh tipikal tambak I	0.09	0
5	Air keruh tipikal tambak II	0.81	0
6	Air keruh tipikal sawah	18.54	0.09
7	Air keruh tipikal laut	0	0
8	Jati (<i>Tectona grandis</i>)	2403.27	11.96
9	Mangrove 1	6.75	0.03
10	Mangrove 2	1378.71	6.86
11	Mangrove 3	4.05	0.02
12	Vegetasi ladang (ketela)	603.9	3.01
13	Padi umur 2 minggu	1173.06	5.84
14	Padi umur 1 bulan	2113.74	10.52
15	Padi umur 2 bulan	7.74	0.04
16	Rumput	1092.51	5.44
17	Vegetasi kering	99.63	0.5
18	Ladang	214.65	1.07
19	Tanah basah tipikal sawah	364.95	1.82
20	Aspal	167.76	0.83
21	Atap genteng I	2946.56	14.66
22	Atap genteng II	0.09	0
23	Atap genteng III	3892.54	19.37
24	Atap Seng	0	0
25	Atap asbes	1091	5.43
26	Atap beton	188.81	0.94
27	Tidak terklasifikasi	942.88	4.69
Total (km²)		20094.68	100

Uji Akurasi Klasifikasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kebenaran hasil klasifikasi citra dengan

fakta di lapangan. Perbedaan waktu perekaman dan waktu cek lapangan menyebabkan perlu adanya penggabungan kelas pada kelas obyek yang rentan perubahannya seperti vegetasi tipikal padi yang digabung menjadi kelas sawah. Pemilihan sampel pada daerah yang relatif belum mengalami perubahan penggunaan lahan sehingga nilai akurasi menjadi lebih dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 6: Peta Penutup Lahan Hasil Klasifikasi *Spectral Angel Mapper* (Sumber: Pengolahan citra digital, 2010)

Cek lapangan dilakukan pada 120 titik observasi pada 15 kelas penutup lahan gabungan. Nilai akurasi dihitung menggunakan *confusion matrix* yang menghasilkan nilai komisi, omisi dan index kappa. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa klasifikasi SAM dengan input dari spektrometriometer mendapatkan nilai akurasi total 60.82% dan indeks kappa sebesar 0.52 (Tabel 3). Nilai indeks kappa tersebut menurut Landis dan Koch (1977, dalam Congalton (2004)), menunjukkan hubungan yang moderat atau sedang. Beberapa obyek penutup lahan tidak dapat dikelaskan dengan baik sehingga menghasilkan nilai omisi dan komisi sebesar 100%. Sedangkan obyek atap genteng memiliki akurasi pengguna dan akurasi produser yang cukup stabil yaitu 90.7% dan 88.64%.

Tabel 3: Tabel nilai komponen akurasi klasifikasi (Sumber: Pengolahan Citra Digital, 2010)

KELAS	Akurasi produser	Akurasi pengguna	Kesalahan omisi	Kesalahan komisi	Akurasi Total	Indeks Kappa
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Air jernih	100.00	33.33	0.00	66.67	60.82	0.52
Air keruh	10.00	33.33	90.00	66.67		
Atap asbes	100.00	31.58	0.00	68.42		
Aspal	50.00	100.00	50.00	0.00		
Atap beton	20.00	100.00	80.00	0.00		
Atap genteng	90.70	88.64	9.29	11.36		
Atap seng	0.00	0.00	100.00	100.00		
Tanah kering terbuka	0.00	0.00	100.00	100.00		
Vegetasi tipikal mangrove	0.00	0.00	100.00	100.00		
Vegetasi berkayu daun lebar	71.43	62.50	28.57	37.50		
Vegetasi kering	0.00	0.00	100.00	100.00		
Sawah	76.47	48.15	23.53	51.85		
Vegetasi tipikal rumput	42.86	100.00	57.14	0.00		
Vegetasi tanaman ladang	0.00	0.00	100.00	100.00		
Tidak terklasifikasi	0.00	0.00	0.00	0.00		

Beberapa hal yang menjadi catatan terkait rendahnya akurasi yang dihasilkan adalah; (1) untuk dapat menggunakan data hasil pengukuran spektroradiometer sebagai data masukan dalam klasifikasi, idealnya waktu pengukuran spektral di lapangan dan waktu perekaman citra berlangsung pada saat yang hampir bersamaan. Sehingga kondisi obyek dan kondisi cuaca pada saat perekaman dan pengukuran spektroradiometer tidak jauh berbeda. (2) Hyperion memiliki resolusi spasial 30 m, sehingga 1 pixel seringkali tersusun atas beberapa obyek atau sering disebut dengan *mixed-pixel*). Adanya *mixed-pixel* ini dapat mempengaruhi pantulan pada citra sehingga terjadi perbedaan antar pola spektral obyek di lapangan dan pola spektral pada citra.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Spektroradiometer lapangan sangat representatif digunakan untuk mengumpulkan *endmember* obyek yang akan dipetakan, tetapi secara teknis implementasi input *endmember* untuk proses klasifikasi pada citra membutuhkan beberapa penyesuaian.

2. Rendahnya tingkat akurasi klasifikasi penutup lahan disebabkan oleh beberapa hal; (1) perbedaan waktu perekaman dan pengukuran lapangan, (2) resolusi citra yang kasar sehingga banyak terdapat *mixed-pixel*, dan (3) adanya kemiripan pola spektral beberapa obyek menyebabkan misklasifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BAKOSURTANAL dan PUSPICS Fakultas Geografi UGM sebagai fasilitator dan institusi payung penelitian. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Suprajaka, M.P. atas bantuan berupa akses penggunaan spektrometri sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apan, A & Phinn, S 2006, 'Special Feature – hyperspectral remote sensing', *Journal of Spatial Science*, vol. 52. no. 2, pp. 47-48.
- Borengasser, M, Hungate, WS & Watkins, R 2008, *Hyperspectral Remote Sensing: principles and applications*, Taylor & Francis in Remote Sensing Applications, CRC Press, New York.
- Campbell, JB 2002, *Introduction to Remote Sensing*, 3rd edn, The Guilford Press, New York.
- Congalton, RG 2004, 'Putting the Map Back in Map Accuracy Assessment', in RS Lunetta & JG Lyon (eds), *Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Danoedoro, P & Phinn, S 2004, *Detailed Land Cover Mapping By Introducing Higher Spatial Resolution Panchromatic Bands in Multispectral Classification: Examples using Landsat ETM+ and Quickbird Imagery*. Makalah pada MapAsia 2005.
- Jensen, JR 2005, *Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective*, 3rd edn, Pearson Prentice Hall, Sydney.
- Lillesand, TM, Kiefer, RW & Chipman, JW 2004, *Remote Interpretation*, 5th edn, John Willey & Sons, New York.
- McCoy, RM 2005. *Field Methods in Remote Sensing*. The Guilford Press, New York.
- Schmidt, KS & Skidmore, AK 2003, 'Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland', *Remote Sensing of Environment*, vol. 85, pp. 92-108.
- Short, N 2006, *Remote Sensing Tutorial*, [Online] Available at <http://rst.gsfc.nasa.gov/>
- Van der Meer, FD & de Jong, S (Ed). 2001, *Imaging Spectrometry; basic principles and prospective applications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.