

Analisis Spektral Campuran Linier untuk Deteksi Tutupan Lahan di Daerah Perkotaan menggunakan Data Satelit Landsat ETM+ (Studi Kasus Kota Banjarbaru dan Sekitarnya)

Nurlina

Abstract: Evaluated from remote sensing perspective, urban region is a real district heterogeneous, what gives reflectance from different some land cover type and material. The limitation of the spatial resolution from middle resolution sensor such as Landsat requires analysis at level sub-pixel. Mixture pixel in remote sensing data is one of the source of error in accuracy assessment result in conventional classification. This research tries to apply Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA) method to detect land cover change (vegetation, impervious surface, bare soil and water) at level sub-pixel in Banjarbaru City based on Landsat temporal data. LSMA is approach with analysis sub-pixel which can give information of the fraction in each pixel, so that is a potential solution to classify one pixel. Maximum Likelihood Classifier applied as comparable from LSMA. Accuracy assessment to this method use a higher spatial resolution IKONOS image. Some processing phases applied in this research to increase the accuracy, are Atmospheric Correction, Minimum Noise Fraction (MNF) and Pixel Purity Index (PPI). The percentage of each land cover component in each pixel shown by fraction image from method LSMA with RMS Error average is 0,016 indicated that each *endmember* land cover has been dissociated well with small deviation standard. The accuracy test result of abundance for each *endmember* using IKONOS image equal to 95%, indicates that LSMA have a high accuracy to detect the *endmember* land cover at level sub-pixel.

Keywords: MNF, PPI, *endmember*, linear spectral mixture analysis

PENDAHULUAN

Pengukuran tutupan lahan secara langsung, meskipun tingkat ketelitiannya lebih tinggi akan tetapi dibatasi oleh luas cakupan dan skala, apalagi jika diperlukan prediksi perubahan tutupan lahan secara regional. Karena itu, masih dibutuhkan citra dengan resolusi spasial yang relatif rendah untuk kajian secara regional yang meliputi wilayah perkotaan dan perdesaan seperti citra Landsat. Dari perspektif

Penginderaan Jauh, daerah perkotaan merupakan daerah yang sangat heterogen, yang memberikan pantulan dari beberapa tipe tutupan lahan dan material yang berbeda, diantaranya terdapat area lahan terbangun (jalan, atap bangunan, beton, dan lain-lain), vegetasi, tanah, dan air. Biasanya untuk memetakan penggunaan lahan dan tutupan lahan dari data penginderaan jauh secara digital digunakan metode klasifikasi seperti *Maximum*

Likelihood, *Minimum Distance* atau menggunakan *Parallelepiped*. Pada metode klasifikasi konvensional tersebut, satu piksel citra diasumsikan hanya mengandung satu jenis obyek saja (*pure pixel*). Namun pada kenyataannya, untuk satu piksel pada citra satelit Landsat yang memiliki resolusi spasial (30 x 30) meter dapat memiliki lebih dari satu jenis obyek didalamnya. Adanya piksel campuran ini merupakan masalah yang sulit untuk keperluan klasifikasi tutupan lahan di daerah perkotaan.

Spectral Mixture Analysis menyediakan suatu strategi kuantitatif dalam mempelajari citra multispektral. Metode ini telah dipergunakan untuk melakukan deteksi sub-piksel serta klasifikasi dari piksel campuran pada citra hasil penginderaan jauh (Aklein, 1998). Pada *Linear Spectral Mixture Analysis*, nilai spektral pada piksel dimodelkan sebagai kombinasi linear dari pantulan setiap *endmember*, yang besarnya sesuai dengan persentasi tutupan dari setiap *endmember* di lapangan (Smith et.al., 1990).

Linear Spectral Mixture Analysis berbeda dengan beberapa metode pemrosesan citra untuk

klasifikasi tutupan lahan. Secara konseptual, LSMA adalah metode deterministik yang lebih dari sebuah metode statistik, selama itu berdasar pada model fisik dari campuran pola tanggap spektral yang berlainan. Hal ini dapat memberikan informasi yang sangat berguna pada level sub-piksel, selama beberapa tipe tutupan lahan dapat dideteksi dengan satu piksel. Banyak tipe tutupan lahan cenderung merupakan campuran yang heterogen, meskipun dilihat pada citra dengan skala yang lebih baik. Karena itu, metode ini dapat memberikan representasi yang lebih realistis mengenai kondisi permukaan yang sebenarnya apalagi jika hanya terdapat satu klas pada setiap piksel (Lillesand, et al, 2004).

Penelitian ini mencoba menggunakan metode *Spectral Mixture Analysis* untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan (vegetasi, permukaan kedap air, tanah dan air) pada tingkat sub-piksel di Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan dengan menggunakan model pemisahan linier (*linier unmixing*) berdasarkan data Landsat ETM+ Tahun 2003. Untuk mengetahui sejauh mana kemampuan metode ini untuk mendeteksi tutupan lahan di daerah perkotaan dilakukan uji

akurasi dengan menggunakan Citra IKONOS. Sejumlah teknik pengolahan citra juga diterapkan untuk meningkatkan akurasi hasil dari metode LSMA, seperti koreksi atmosferik, *Minimum Noise Fraction*, dan *Pixel Purity Index*.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mendeteksi tutupan lahan (vegetasi, permukaan kedap air, tanah terbuka dan air) di daerah perkotaan dengan menggunakan metode *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA) dari data Landsat ETM+ dan menguji tingkat akurasi metode *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA) menggunakan data satelit IKONOS.

METODE

Uji coba terhadap sistem soft klasifikasi *Linear Spectral Mixture*

$$Radiance = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{QCal_{max} - QCal_{min}} \right) * (QCal - QCal_{min}) + L_{min} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam hal ini Lmax, Lmin adalah nilai *spektral radians* maksimum dan minimum yang terekam oleh sensor pada setiap saluran QCalmax, QCalmin adalah Nilai digital number (DN) maksimum dan minimum pada setiap saluran.

Selanjutnya diterapkan proses koreksi atmosferik untuk

Analysis (LSMA) perubahan tutupan lahan yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan Citra Landsat ETM+ Tanggal 31 Mei Tahun 2003 (TM 7) row/path 117/62. Dimensi data daerah penelitian ditentukan 1072 x 751 piksel, yaitu berada pada posisi antara 3°21'38,92" dan 3°33'51,24" LS, dan antara 114°38'46,40" dan 114°56'5,91" BT dimana 1 piksel mewakili (30 x 30) meter persegi, sehingga luas daerah penelitian seluruhnya berkisar 73.016,97 hektar.

Pada awal pemrosesan ini Nilai *Digital Number* (DN) dari saluran 1 – 5 dan saluran 7 yang direkam dalam 8 bit terlebih dahulu dikonversi ke dalam satuan *exo-atmospheric reflectance* atau dari DN ke radians dengan menggunakan persamaan:

menghasilkan nilai *surface reflectan* menggunakan FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) yang dikembangkan oleh *Spectral Sciences, Inc.* Koreksi atmosferik dengan menggunakan model FLAASH mengacu pada persamaan standar spektral radians pada piksel sensor L, yang

diaplikasikan pada range panjang gelombang matahari pada permukaan Lambertian. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (2)$$

Keterangan:

ρ : piksel surface reflektan

ρ_e : rata-rata pantulan permukaan piksel pada daerah sekitar

S : *spherical albedo*

L_a : pantulan balik radians oleh atmosfer (*Path Radiance*)

A dan B : koefisien untuk kondisi atmosfer dan geometrik.

Konversi dari nilai digital ke nilai *surface reflectan* secara substansial dapat meningkatkan kualitas citra yang digunakan (Huang et. al., 2002). Selanjutnya pada citra kemudian dilakukan koreksi geometrik. Selain citra Landsat, citra lain yang digunakan pada penelitian ini adalah citra satelit IKONOS yang digunakan untuk uji akurasi kedua metode klasifikasi yang digunakan.

Selain koreksi atmosferik, juga diterapkan 2 (dua) tahap pemrosesan yang dianggap perlu untuk meningkatkan akurasi hasil dari metode LSMA ini yaitu:

- a. transformasi *Minimum Noise Fraction*, transformasi ini digunakan untuk mengetahui sifat dimensi data juga untuk memisahkan noise serta untuk mereduksi kinerja komputer pada proses selanjutnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan proses MNF dapat meningkatkan kualitas dari citra fraksi (Van der Moor and De Jong, 2000).
- b. *Pixel Purity Index*, digunakan untuk menentukan spektral piksel murni pada citra (Boardman et. al., 1995). Hasilnya adalah citra dengan nilai digital dari setiap piksel yang dihasilkan berdasarkan jumlah total waktu yang direkam ekstrem, dengan demikian nilai piksel yang cerah pada citra menunjukkan lokasi pantulan dari *endmember*. Hasil dari tahap pemrosesan inilah yang akan dijadikan input pada metode LSMA.

Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA)

Setiap obyek di permukaan bumi yang terekam oleh satelit penginderaan jauh memantulkan atau memancarkan gelombang elektromagnetik yang juga disebut

dengan nilai kecerahan (*brightness value*). Obyek-obyek tersebut dibentuk dalam piksel-piksel pada citra satelit yang merupakan bagian terkecil dari suatu citra. Untuk satelit Landsat TM yang memiliki resolusi spasial (30 x 30) m dan meliputi wilayah yang heterogen seperti kota-kota di Indonesia, tentunya dalam setiap satu pikselnya tidak hanya terdiri dari satu obyek saja, sehingga terdapat kemungkinan bahwa dalam satu piksel citra terdapat campuran dari beberapa obyek (*spectral mixing*), dengan menggunakan SMA dengan model pemisahan spektral linier (LSMA), maka obyek-obyek yang terdapat dalam satu piksel dapat diidentifikasi dan dapat ditentukan proporsi spasialnya. Pada model pemisahan spektral linier ini, obyek yang akan diidentifikasi serta dihitung proporsi spasialnya diistilahkan sebagai *endmember*.

Kecerahan dari piksel tunggal dalam saluran tunggal dimodelkan sebagai berikut (Aklein, 1998):

$$R_{meas,b} = \sum_{em=1}^n (R_{em,b} F_{em,b}) + \epsilon_b \quad .. (3)$$

Keterangan:

$R_{meas,b}$: nilai kecerahan hasil pengamatan setiap saluran

$R_{em,b}$: nilai pantulan spektral dari *endmember* setiap saluran

$F_{em,b}$: nilai fraksi dari *endmember* setiap piksel setiap saluran

ϵ_b : error atau kesalahan antara nilai kecerahan yang dimodelkan dan yang diukur dalam setiap saluran,

n : jumlah *endmember*

Sebagai batasan, jumlah dari semua fraksi *endmember* sama dengan satu (Aklein, 1998):

$$\sum_{j=1}^n F_j = 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_{i1} + f_{i2} + f_{i3} + \dots\dots + f_{in} = 1$$

dan $0 \leq f_{in} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5)$

RMS (*root – mean - square error*) dihitung untuk setiap piksel berdasarkan pada perbedaan antara nilai kecerahan yang dimodelkan dan nilai kecerahan yang diukur dari setiap piksel dalam setiap saluran dinyatakan dengan [Aklein, 1998]:

$$\epsilon_i = \left[\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (R_{ij} - R_{model})^2 \right]^{1/2} \quad \dots (6)$$

$$\epsilon_i = \left[\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left(R_{ij} - \sum_{k=1}^n r_{jk} * f_{ik} \right)^2 \right]^{1/2} \quad .. (7)$$

Keterangan:

ϵ_i : error pada piksel ke i
 m : jumlah saluran

n : jumlah *endmember*

R_{ij} : nilai kecerahan pada piksel ke- i saluran ke- j

r_{jk} : nilai piksel murni pada saluran ke- j *endmember* k

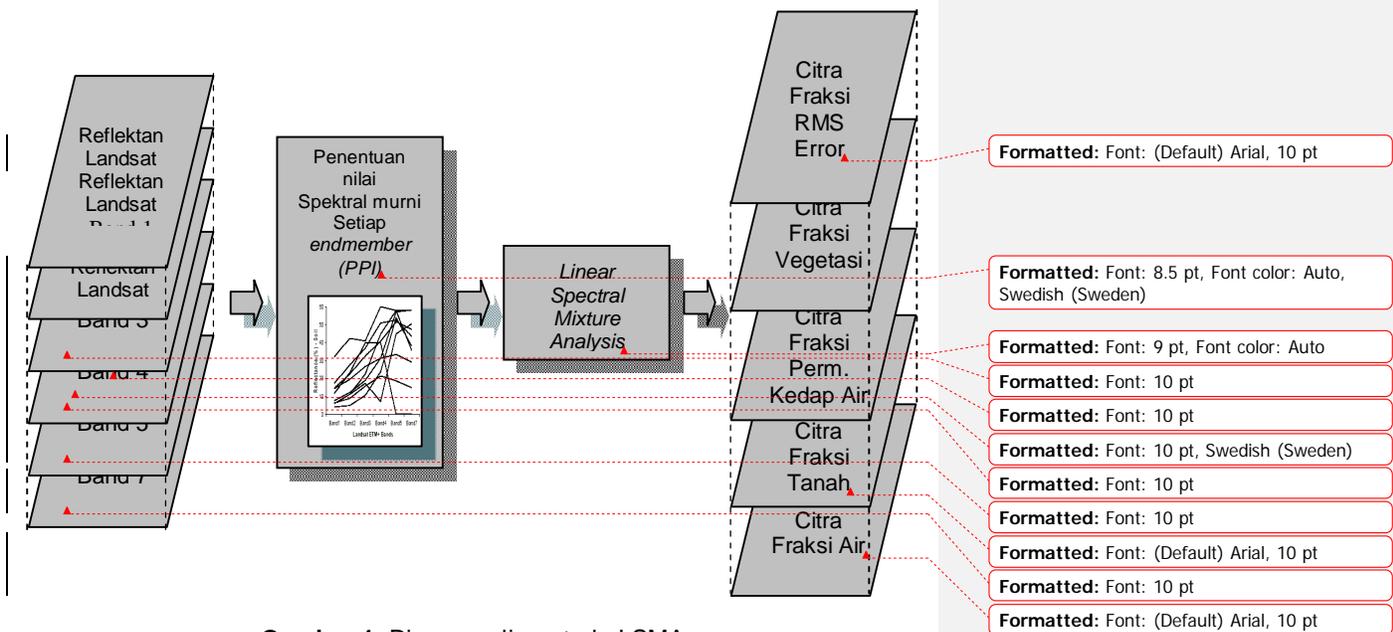
f_k : fraksi piksel ke- i , *endmember* k

i : indeks piksel (1,2,3,...,jumlah baris x jumlah kolom)

j : indeks saluran (1,2,3,..., m)

k : indeks *endmember* (1,2,3,..., n)

Proses ini akan menghasilkan citra fraksi dari setiap *endmember* tutupan lahan dan citra fraksi RMSE yang dihasilkan dari persamaan (7). Gambar 1 adalah tahap pemrosesan menggunakan model LSMA.



Gambar 1. Diagram alir metode LSMA

Uji akurasi digunakan untuk menguji secara kuantitatif akurasi fraksi atau persentase dari hasil klasifikasi dengan model LSMA. Uji akurasi ini menggunakan pendekatan selisih antara nilai yang dihasilkan dari perhitungan suatu model dengan nilai yang sebenarnya hasil pengukuran lapangan atau yang dikenal sebagai *Root Mean*

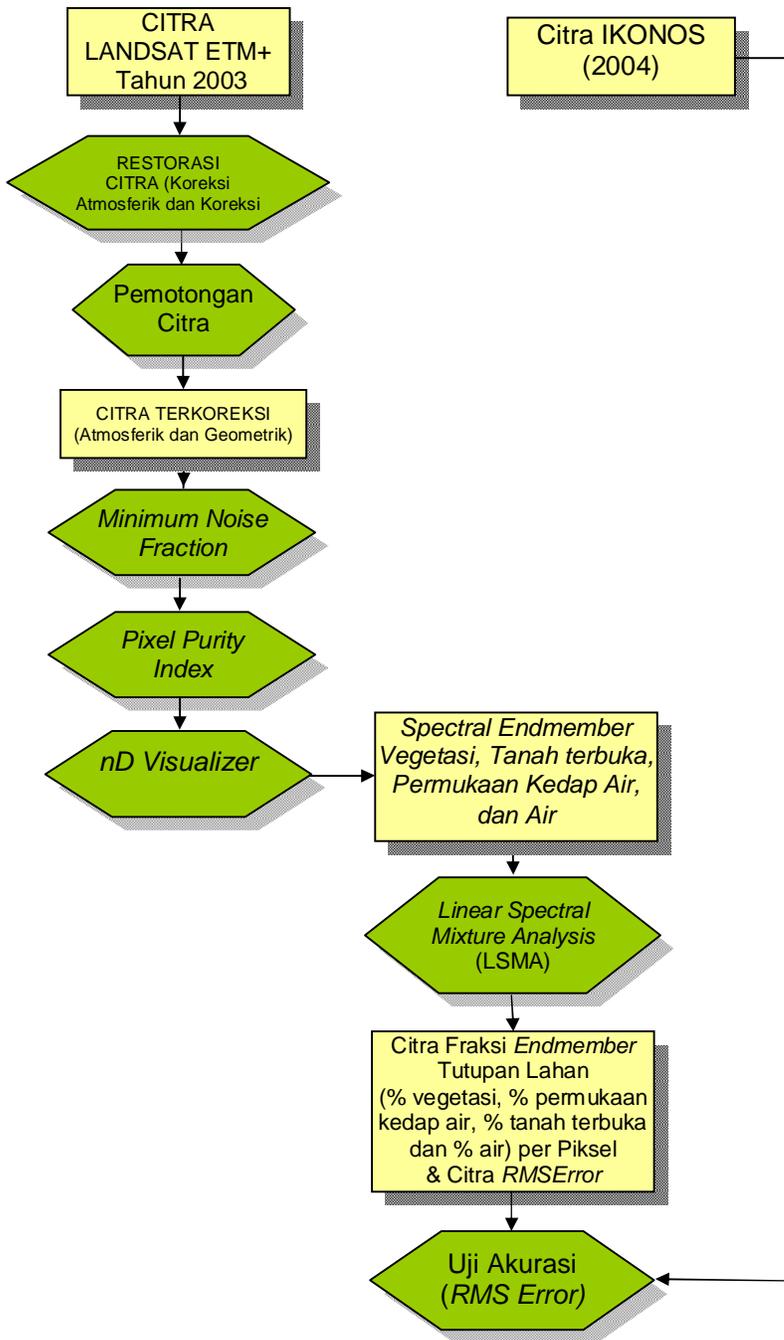
Square Error (RMSE) seperti diberikan oleh persamaan (8).

$$f_{\text{difference}} = (f_{\text{LSMA}} - f_{\text{IKONOS}}) \dots (8)$$

Dalam hal ini:

f_{LSMA} : fraksi hasil LSMA pada tiap piksel dari data Landsat

f_{IKONOS} : persen setiap komponen tutupan lahan data IKONOS



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra Landsat yang digunakan setelah melalui proses kalibrasi radiometrik dari nilai digital ke nilai radians, selanjutnya dilakukan koreksi atmosferik. Terdapat dua koreksi atmosferik yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu koreksi atmosferik dengan menggunakan model FLAASH dengan perangkat lunak ENVI 4.4 dan DOS (*Dark Object Subtraction*) dengan menggunakan IDRISI. Untuk proses selanjutnya citra yang digunakan adalah citra hasil koreksi atmosferik dengan menggunakan DOS model, dengan alasan bahwa citra hasil koreksi atmosferik dengan menggunakan DOS model menghasilkan rentang nilai *surface reflectan* dari 0 sampai dengan 1. Selanjutnya citra landsat dilakukan koreksi geometrik menggunakan proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM) pada datum WGS 84. Hasil dari koreksi geometrik ini diperoleh nilai RMS Error sebesar 0,26 dari 20 GCP (*Ground Control Point*). Citra *surface reflectan* yang telah direktifikasi kemudian digunakan sebagai input dalam proses MNF dan PPI, dimana kedua tahap pemrosesan ini akan digunakan untuk menentukan nilai spektral murni setiap *endmember*.

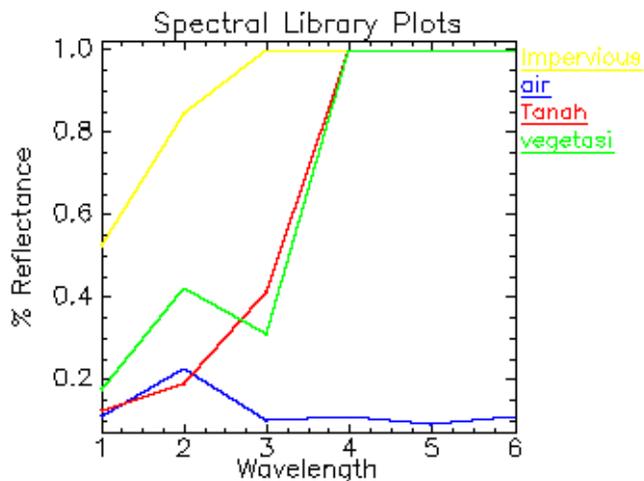
Hasil dari proses MNF memperlihatkan nilai eigen terkecil pada seluruh saluran yang digunakan sama dengan 2, artinya bahwa pada proses ini jumlah saluran keluaran yang digunakan tetap sama dengan inputnya yaitu 6 saluran dengan pertimbangan bahwa dari nilai eigen yang dihasilkan dapat dikatakan tidak terdapat nilai eigen yang mendekati 1, juga dengan pertimbangan bahwa jumlah saluran dalam penentuan nilai spektral dari piksel murni yang digunakan pada proses PPI harus sama dengan jumlah saluran pada citra *surface reflectan* yang menjadi input pada proses LSMA. Citra hasil MNF ini kemudian menjadi input pada proses PPI. Input dari tahap ini merupakan citra hasil MNF yang bebas noise yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Pada proses ini jumlah iterasi yang digunakan yaitu sebesar 104. Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode ini pada data hyperspectral, memberikan kesimpulan bahwa jumlah iterasi yang memberikan hasil yang maksimal adalah 104 dan 105 (Plaza dan Chang, 2008). Selain itu, jumlah iterasi di atas 104 akan memberikan hasil yang relatif sama. Hasil dari

proses ini merupakan citra sebaran piksel murni yang ada di daerah penelitian. Dari citra inilah kemudian ditentukan pantulan spektral murni dari setiap *endmember* yang digunakan.

Jumlah *endmember* ditetapkan harus kurang dari jumlah saluran yang digunakan, biasanya untuk data Landsat TM jumlah *endmember* tidak lebih dari empat (Drake dan Settle, 1989). Penelitian ini menggunakan 6 jumlah saluran yaitu saluran 1 – 5 dan saluran 7, sedangkan jumlah *endmember* ditentukan adalah 4 jenis *endmember* yang obyeknya berbeda secara ekstrem, yaitu vegetasi, air, permukaan kedap air dan tanah terbuka. Pemilihan keempat

endmember tersebut dengan melihat kondisi tutupan lahan di daerah penelitian secara umum yang dianggap telah mewakili sebagian besar jenis tutupan lahan yang ada.

Pantulan spektral untuk keempat jenis tutupan lahan dihasilkan dari kurva pantulan pada proses nD Visualizer melalui proses pemilihan dengan mengambil nilai rata-rata pantulan dari setiap *endmember*. Gambar 3 memperlihatkan kurva pantulan spektral rata-rata keempat *endmember* tutupan lahan yang dihasilkan dari proses nD-Visualizer. Keempat *endmember* inilah yang nantinya akan dipisahkan pada setiap piksel pada proses klasifikasi dengan menggunakan metode LSMA.

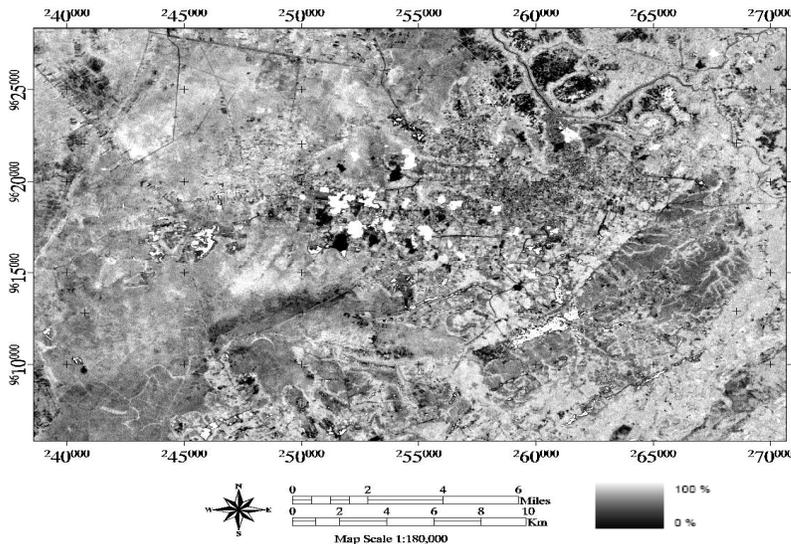


Gambar 3. Kurva pantulan spektral *endmember* vegetasi, air, tanah terbuka, dan permukaan kedap air citra Landsat ETM+ tahun 2003

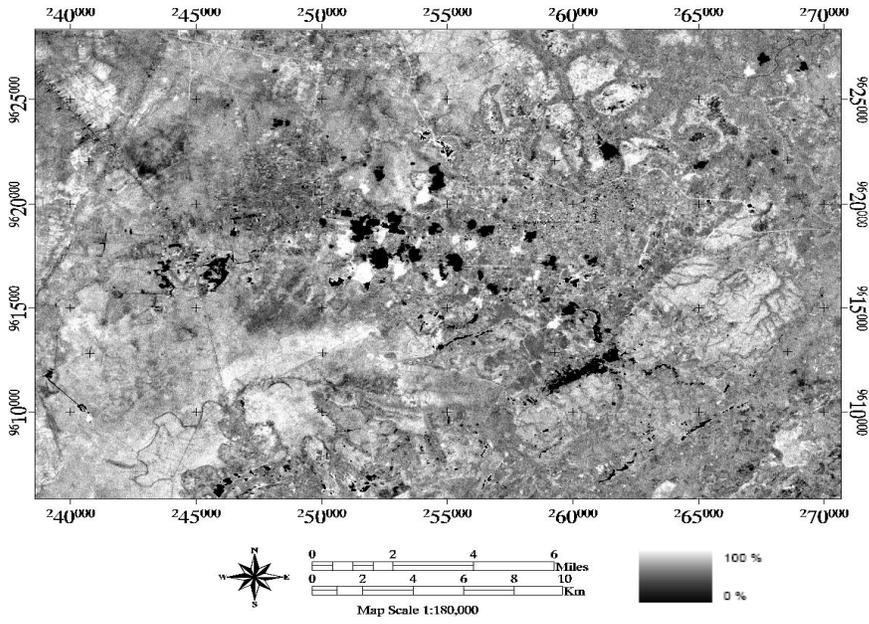
Citra fraksi yang dihasilkan menunjukkan persentase *end-member* pada setiap piksel yang ditunjukkan dengan tingkat kecerahan piksel, yaitu semakin tinggi persentase suatu *endmember*, maka tingkat kecerahannya semakin mendekati putih, dan sebaliknya semakin rendah persentase suatu *endmember* akan semakin gelap atau mendekati hitam.

Secara umum dari nilai minimum dan maksimum masing-masing citra fraksi terlihat bahwa nilai dari setiap *endmember* tidak berada pada rentang 0 sampai dengan 1 sebagaimana mestinya. Nilai fraksi di bawah 0 menunjukkan bahwa terdapat obyek yang

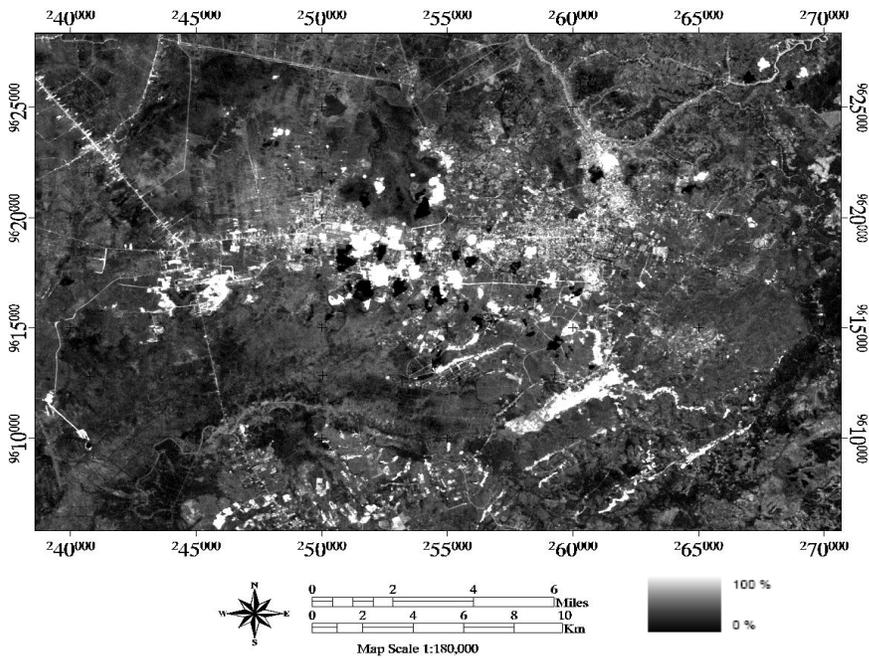
terklasifikasi namun memiliki nilai pantulan yang lebih rendah dari nilai pantulan spektral yang digunakan untuk *endmember* yang bersangkutan, begitu pula sebaliknya untuk nilai fraksi di atas 1 berarti bahwa terdapat objek yang terklasifikasi namun memiliki nilai pantulan yang lebih tinggi dari nilai spektral yang digunakan. Hal tersebut dapat terjadi mengingat bahwa pada daerah kajian memiliki tutupan lahan yang beragam, tidak hanya terdiri atas obyek vegetasi, tanah, permukaan kedap air dan air, namun masih terdapat unsur-unsur tutupan lahan lainnya yang kemudian terklasifikasi menjadi *endmember* vegetasi, tanah, permukaan kedap air dan air.



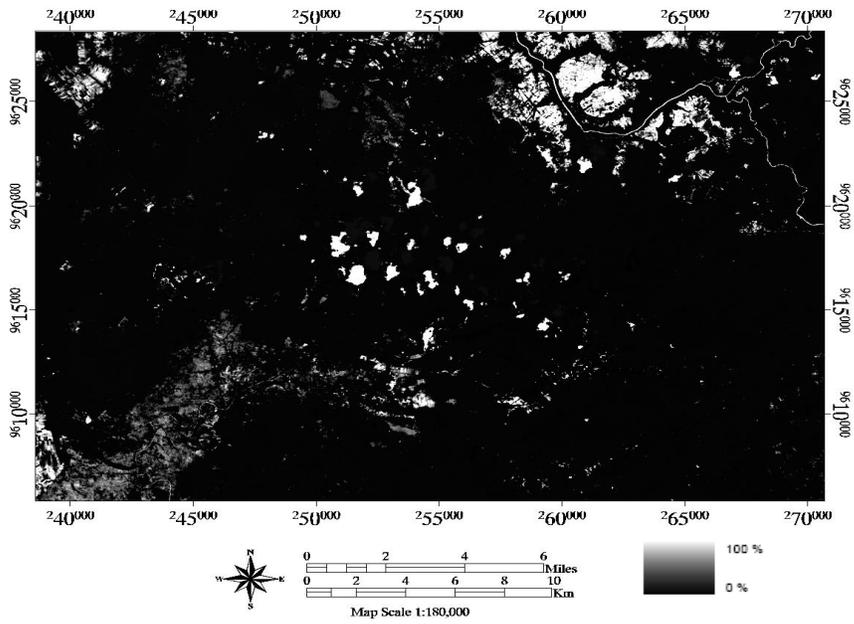
Gambar 4. Citra fraksi vegetasi hasil LSMA



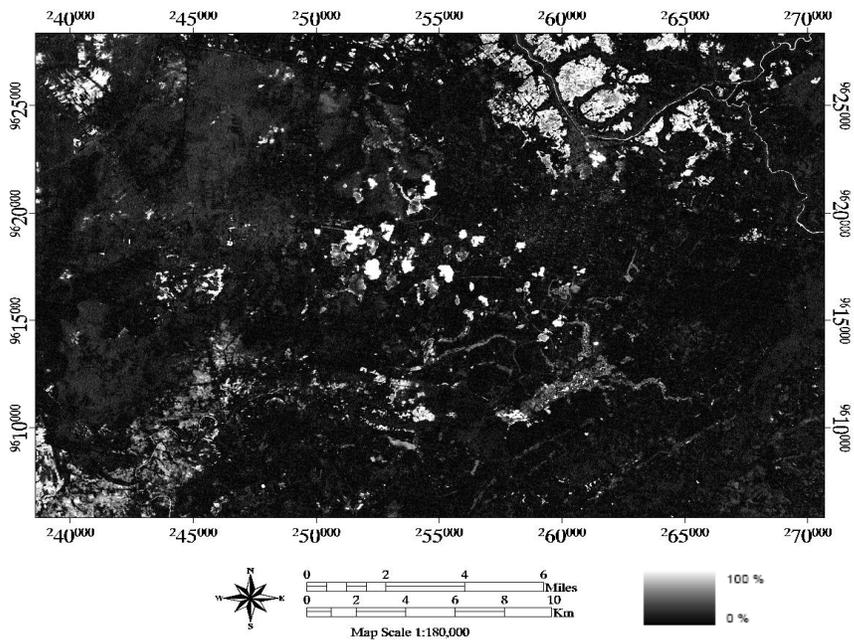
Gambar 5. Citra fraksi tanah terbuka hasil LSMA



Gambar 6. Citra fraksi permukaan kedap air hasil LSMA



Gambar 7. Citra Fraksi *Endmember Air* Hasil LSMA



Gambar 8. Citra fraksi kesalahan (RMS Error) hasil LSMA

Hasil citra fraksi secara keseluruhan (Gambar 4–8) menunjukkan bahwa pada citra fraksi *endmember* vegetasi juga terdapat tutupan-tutupan lahan lainnya yang terpisahkan menjadi *endmember* vegetasi, seperti air dan tanah terbuka. Pada *endmember* permukaan kedap air juga terjadi hal demikian, seperti tanah kering dan pasir sisa pendulangan intan, pasir pada timbunan yang terdefinisi sebagai *endmember* permukaan kedap air, dikarenakan pantulan spektral yang relatif sama. Selain itu, input dari pantulan spektral setiap *endmember* yang digunakan dalam proses pemisahan spektral linier juga sangat berpengaruh. Adanya kesulitan untuk membedakan antara pantulan spektral permukaan kedap air yang hampir sama dengan pantulan spektral pada obyek berupa pasir yang memang mempunyai rona yang hampir sama. Jenis pasir yang terklasifikasi sebagai permukaan kedap air adalah jenis pasir kwarsa yang memang banyak terdapat di daerah penelitian. Kandungan mineral kwarsa pada pasir inilah yang memberikan rona yang sangat cerah sehingga pantulannya hampir sama dengan permukaan kedap air.

Kesulitan ini menjadikan citra fraksi pada *endmember* permukaan kedap air dan citra fraksi tanah terbuka yang dihasilkan dari proses LSMA menjadi kurang akurat, sehingga untuk hasil yang lebih baik sebaiknya penentuan spektral murni dari setiap *endmember* dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan menggunakan spectrometer. Dalam hal ini telah dilakukan beberapa kombinasi nilai spektral dari setiap *endmember*, sampai akhirnya menemukan hasil klasifikasi LSMA dengan nilai rata-rata RMS Error yang paling rendah yaitu sebesar 0,016.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode LSMA mempunyai standar deviasi kesalahan yang kecil sehingga mampu mengklasifikasikan tutupan lahan dengan baik, juga mengingat bahwa nilai fraksi setiap *endmember* apabila dijumlahkan akan menghasilkan nilai sama dengan 1 (satu) (Tabel 1), hal tersebut masih memenuhi fungsi batas dari model pemisahan spektral linier yang tercantum pada persamaan (4), sehingga hasil penelitian ini dapat diandalkan. Kemampuan metode LSMA yang secara kuantitatif dapat memberikan informasi persentase setiap

endmember tutupan lahan pada setiap piksel menjadikan metode ini dapat direkomendasikan sebagai salah satu metode klasifikasi yang lebih akurat dibandingkan dengan

metode klasifikasi konvensional seperti *Maximum Likelihood*. Apalagi jika metode ini diterapkan pada daerah yang heterogen seperti daerah perkotaan.

Tabel 1. Nilai Fraksi setiap *endmember* hasil klasifikasi LSMA

Piksel	Nilai Fraksi <i>Endmember</i>				RMS Error
	Vegetasi	Tanah	Permukaan Kedap Air	Air	
1	-0.9761	1.4436	-0.5881	1.1202	0.0079
2	0.5526	0.4463	0.0003	0.0007	0.0082
3	0.8006	0.1756	0.0227	0.0010	0.0122
4	0.9562	0.0414	0.0008	0.0016	0.0191
5	0.9027	-0.0071	0.1039	0.0004	0.0050
6	0.9449	-0.1167	0.1708	0.0010	0.0116
7	0.7957	0.0321	0.1709	0.0012	0.0143
8	0.7487	-0.3352	0.5856	0.0008	0.0099
9	0.8881	-0.1044	0.2153	0.0009	0.0114
10	0.8330	0.1123	0.0528	0.0019	0.0230

Hasil analisis uji akurasi metode LSMA dengan menggunakan citra IKONOS seperti yang disajikan pada Lampiran menunjukkan akurasi yang sangat baik, yaitu diperoleh rata-rata RMS Error untuk seluruh tutupan lahan sebesar 0,049 atau dengan akurasi rata-rata sebesar 95%. Hal ini menunjukkan bahwa metode LSMA mampu mengklasifikasikan setiap *endmember* tutupan lahan pada satu piksel Landsat dengan sangat baik dan dengan akurasi yang relatif sama di setiap piksel. Selain itu keutamaan dari metode ini yang mampu memberikan nilai presentase atau

fraksi dari setiap *endmember* tutupan lahan pada setiap piksel dapat menjadikan metode ini sebagai salah satu metode alternatif yang lebih akurat dalam mengklasifikasikan tutupan lahan pada suatu wilayah, apalagi jika diterapkan pada wilayah yang heterogen seperti daerah perkotaan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

KESIMPULAN

1. Citra fraksi yang dihasilkan dari metode *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA) mampu memberikan informasi secara

kuantitatif jumlah persentase setiap *endmember* tutupan lahan dalam setiap piksel Landsat atau dalam setiap luasan (30 x 30) m, dengan jumlah total fraksi dalam setiap piksel sama dengan 1. Hal ini menunjukkan bahwa metode LSMA dapat mendeteksi tutupan lahan vegetasi, tanah terbuka, permukaan kedap air dan air dalam setiap piksel dengan sangat baik (RMS Error rata-rata 0,016) yang berarti bahwa metode LSMA memiliki standar deviasi kesalahan yang kecil dalam mendeteksi setiap *endmember* tutupan lahan juga menunjukkan bahwa setiap *endmember* tutupan lahan telah terpisahkan secara baik dengan tingkat akurasi yang relatif sama.

2. Uji akurasi fraksi metode LSMA citra IKONOS diperoleh hasil yang sangat baik dengan tingkat kesalahan relatif kecil yaitu RMS Error rata-rata sebesar 0,049 atau akurasi rata-rata sebesar 95%. Hal ini menunjukkan bahwa metode LSMA memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat menjadi salah satu metode alternatif yang lebih akurat dalam klasifikasi tutupan lahan,

SARAN

1. Sebaiknya dalam penentuan nilai piksel murni dari setiap *endmember* digunakan juga data dari *spectral library* atau melakukan pengukuran langsung ke lapangan dengan menggunakan alat spectrometer sehingga hasil yang diperoleh lebih optimal.
2. Perlu dilakukan pemilihan *endmember* yang tepat dan memaksimalkan dari jumlah *endmember* yang digunakan agar error yang dihasilkan dari proses LSMA jauh lebih kecil, dan akurasinya lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aklein, 1998, "Spectral Mixture Analysis of Landsat Thematic Mapper Images Applied to the Detection of the Transient Snowline on Tropical Andean Glacier". Thesis.
- Boardman, J.W., 1993, Automating Spectral Unmixing of AVIRIS DATA Using Geometry Concepts, In Summaries of the Fourth Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publ. 93-26, Vol. 1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, pp. 11-14.
- Drake, N.A., Settle, J.J., 1989, Linear mixture modeling of Thematic Mapper Data of the Peruvian Andes. In: Proc.9th EARSeL Symp, Helsinki, Finland, 27 June-1 July 1989, p.490-495.

- Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., Zylstra, G., 2002, Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 23 (8), 1741-1748.
- Jensen, J. R., 1996. *Introduction Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 2d ed. Prentice Hall, New York.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W, Chipman J.W., 2004, *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Plaza A.J., Chang C.I., 2008, *High Performance Computing in Remote Sensing*, Chapman & Hall/CRC, United State.
- Smith, M.O., Ustin, S.L., Adams, J.B., Gillespie, A.R., 1990, Vegetation in desert: a regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing of Environment* 31 (1), 1-26.
- Van der Meer, F., De Jong, S.M., 2000, Improving the results of spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper imagery by enhancing the orthogonality of end-members, *International Journal of Remote Sensing* 21 (15), 2781-2797.