

Linear Spectral Mixture Analysis Untuk Kajian Ekspansi Lahan Terbangun Menggunakan Citra Landsat Multitemporal Di Kota Surakarta Dan Sekitarnya

Riesa Sulastr
riessa.sulastr@mail.ugm.ac.id

Bowo Susilo
bowosusilo@ugm.ac.id

Abstract

Urban areas monitoring at meso scale can be conducted using Landsat Imagery due to its easy access and multi temporal data availability. However, extracting land cover using perpixel classification leads to poor classification due to mixed pixels problem, especially at moderate and low spacial resolution imagery. Linear spectral mixture analysis (LSMA) is a methode to overcome this problem. This study aims to (1) map the distribution of land cover fraction in multi temporal imagery using LSMA methode, (2) assess the accuracy of land cover fraction maps, and (3) study multi temporal built-up area fraction map to discover the expansion happened in Surakarta City for past 13 years. LSMA classification was used to extract multirate land cover fraction map. Root Mean Square Error were calculated to assess the accuracy of each map generated. The built-up area changes later got discovered using image differencing methode. Results from this study are land cover fraction map of year 2002 and 2005. The average RMSE for 2002 map is 14% and for 2015 map is 12,44 %. The study indicated that built-up areas expansion rate in Surakarta City and its surrounding is 345.42 hectare/year. Study also indicated the expansion towards southern part, which is Grogol Sub-District.

Key words: linear spectral mixture analysis, land cover fraction, built-up areas expansion

Abstrak

Monitoring kawasan perkotaan pada skala tinjau dapat memanfaatkan Citra Landsat karena kemudahan perolehan dan ketersediaan data multiwaktu. Namun, ekstraksi penutup lahan menggunakan klasifikasi perpiksel cenderung menyebabkan kesalahan klasifikasi akibat keberadaan piksel campuran. Linear Spectral Mixture Analysis merupakan salah satu metode untuk mengatasi permasalahan piksel campuran, untuk dapat meningkatkan ekstraksi informasi penutup lahan dalam kajian perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memetakan distribusi fraksi penutup lahan pada citra multitemporal, (2) menguji akurasi peta fraksi penutup, dan (3) mengkaji peta fraksi lahan terbangun multitemporal untuk mengetahui ekspansi yang terjadi di Kota Surakarta dan sekitarnya. Pemetaan peta fraksi penutup lahan multi waktu menggunakan klasifikasi LSMA. Metode Root Mean Square Error digunakan untuk mengetahui akurasi masing-masing peta. Perubahan lahan terbangun selama 13 tahun diketahui dengan menggunakan metode image differencing. Hasil dari penelitian ini berupa peta fraksi penutup lahan tahun 2002 dan tahun 2015. Akurasi secara keseluruhan untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2002 dan tahun 2015 secara berturut-turut adalah 14% dan 12,44%. Indikasi kecepatan ekspansi lahan terbangun di Kota Surakarta dan sekitarnya adalah 345,42 ha/tahun. Ekspansi diindikasikan terjadi ke arah selatan yaitu Kecamatan Grogol.

Kata kunci: linear spectral mixture analysis, fraksi penutup lahan, ekspansi lahan terbangun

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk akan diiringi dengan peningkatan kebutuhan ruang untuk beraktivitas dan hunian. Ketersediaan ruang terbuka yang semakin berkurang mendorong pertumbuhan perkotaan mengarah ke wilayah pinggiran. Perembetan kawasan perkotaan yang tidak terkendali dapat memicu berbagai masalah lingkungan dan ekologis seperti polusi air dan udara serta pembuangan limbah (Liu *et al.*, 2005). Kajian dinamika kawasan perkotaan, baik secara spasial maupun temporal, diperlukan sebagai masukan bagi perencanaan dan pengambilan keputusan untuk meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan.

Perkembangan fisik kota ditandai dengan pembangunan pada ruang-ruang kosong di perkotaan. Ekspansi merupakan perkembangan lahan terbangun pada lahan non terbangun yang terjadi dari arah perkotaan ke arah pedesaan (Suharyadi, 2011). Ekspansi dicirikan dengan konversi lahan non terbangun menjadi lahan terbangun yang terjadi di sekeliling daerah yang memiliki kurang dari 40% lahan terbangun (Wilson, 2003). Singh (1989 dalam Bhatta, 2012) menyebutkan bahwa perkembangan kota dapat dikuantifikasikan dengan cara menghitung perubahan lahan terbangun antara dua waktu yang berbeda.

Citra penginderaan jauh merupakan cara yang efektif untuk menilai dan memantau kualitas lingkungan perkotaan. Identifikasi perkotaan secara fisik mencakup wilayah yang cukup luas sehingga survei terestis akan menghabiskan waktu, tenaga, dan biaya yang banyak (Yunus, 2005). Variasi kemampuan citra penginderaan jauh berupa spasial, spektral, radiometrik dan temporal dapat membantu dalam analisis permasalahan perkotaan. Serangkaian program Landsat telah merekam permukaan secara kontinu sejak tahun 1972. Kemudahan perolehan Citra Landsat mendorong penggunaan citra untuk berbagai aplikasi, salah satunya pemantauan dan pemetaan penutup/ penggunaan lahan (USGS, 2016).

Kawasan perkotaan tersusun atas penutup lahan yang heterogen dan kompleks. Pada citra resolusi menengah seperti Landsat, setiap piksel dapat merepresentasikan kombinasi beberapa penutup lahan yang berbeda atau disebut dengan piksel campuran. Piksel campuran menyajikan rata-rata nilai kecerahan kombinasi penutup lahan (Schowengerdt, 2007).

Penelitian sebelumnya terkait kajian perkotaan menggunakan citra resolusi menengah, cenderung menggunakan klasifikasi keras seperti *maximum likelihood*. Klasifikasi multispektral didasarkan pada asumsi bahwa setiap piksel merupakan penutup lahan yang homogen. Padahal

kenyataan di lapangan, setiap piksel dapat mengandung beberapa komposisi penutup lahan yang heterogen. Penggunaan teknik klasifikasi multispektral pada citra resolusi menengah menghasilkan akurasi yang rendah akibat keberadaan piksel campuran (Dutta *et al.*, 2015). Pola pantulan campuran pada suatu piksel (*composite signature*) dapat mengakibatkan kesalahan klasifikasi akibat kemiripan spektral dengan penutup lahan berbeda. Selain itu, hasil klasifikasi dapat menjadi kurang akurat karena banyaknya piksel yang tidak terklasifikasi (Putri, 2016).

Analisis Campuran Spektral (*Spectral Mixture Analysis*) merupakan salah satu metode klasifikasi lunak (*soft classification*) yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan piksel campuran. Teknik ini memiliki keunggulan untuk mengekstraksi dan mengkuantifikasi informasi pada level subpiksel (Adams *et al.*, 1998; Smith *et al.*, 1990; Robert *et al.*, 1998). Penggunaan teknik analisis campuran spektral dapat memisahkan piksel campuran menjadi beberapa kelas penutup lahan berdasarkan nilai pantulan spektral *endmember*. Salah satu teknik analisis campuran spektral yang populer digunakan yaitu *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA). LSMA merupakan teknik untuk mengestimasi reflektansi yang terekam pada piksel yang dapat dimodelkan sebagai kombinasi linier dari penjumlahan beberapa *endmember* (Weng dan Pu, 2013).

LSMA melibatkan dua tahapan utama. Pertama, menentukan sekumpulan pantulan murni dari kelas penutup lahan atau sering disebut dengan *endmember*. *Endmember* dapat diidentifikasi dengan cara (1) pengukuran spektrometer di lapangan dan di laboratorium, (2) pustaka spektral, (3) piksel yang secara spektral murni (piksel ekstrim), diperoleh berdasarkan transformasi citra (Schowengerdt, 2007). Kebanyakan aplikasi SMA menggunakan pilihan ketiga karena ketersediaan data pustaka spektral yang jarang.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan distribusi fraksi lahan terbangun, vegetasi, tanah terbuka, dan tubuh air pada Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2002 dan Citra Landsat 8 OLI 2015 dengan metode *Linear Spectral Mixture Analysis* (LSMA), (2) menguji akurasi peta fraksi penutup lahan hasil klasifikasi Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2002 dan Citra Landsat 8 OLI tahun 2015, dan (3) mengkaji ekspansi lahan terbangun di Kota Surakarta dan sekitarnya melalui analisis peta fraksi penutup lahan multitemporal.

METODE PENELITIAN

a. Material

Penelitian ini menggunakan citra multitemporal untuk melihat perubahan lahan terbangun yang terjadi selama kurun waktu lebih dari satu dekade. Citra yang digunakan adalah Citra Landsat 7 ETM+ L1T *Path 119 row 065* tanggal perekaman 27 Juni 2002 dan Citra Landsat 8 OLI tahun 2015 L1T tanggal perekaman 23 Juni 2015. Sedangkan untuk uji akurasi digunakan citra resolusi tinggi yaitu Citra Geoeye 1 perekaman 13 Juni 2015 dan Citra Quickbird perekaman 21 Agustus 2002.

b. Pemetaan Fraksi Penutup Lahan

Pemetaan fraksi penutup lahan diawali dengan persiapan citra dan penentuan *endmember*. Citra multitemporal perlu dikoreksi radiometrik terlebih dahulu sebelum dianalisis. Hal ini dikarenakan perbedaan waktu perekaman dan sensor dapat mengakibatkan perbedaan nilai piksel yang terekam. Masing-masing Citra Landsat dilakukan koreksi radiometrik secara terpisah berdasarkan metadata yang ada. Selain itu, untuk meminimalkan pergeseran geometrik, dilakukan koreksi geometrik untuk kedua citra. Tahapan rektifikasi menggunakan titik kontrol sebanyak 17 titik yang tersebar di wilayah kajian. Daerah Perkotaan Surakarta cenderung datar sehingga digunakan metode polinomial orde 1 untuk koreksi. Algoritma *nearest neighborhood* digunakan untuk *resampling* penentuan nilai piksel baru hasil koreksi geometrik. Algoritma ini dipilih karena dapat mempertahankan nilai asli piksel. Koreksi geometrik dilakukan hingga RMSE kecil dari 0,5 piksel.

Setelah prapemrosesan citra, dilakukan pemilihan *endmember* sebagai input dari klasifikasi LSMA. Penentuan *endmember* merupakan tahapan yang paling esensial dalam pemrosesan LSMA. *Endmember* yang dipilih menentukan kualitas hasil klasifikasi LSMA. Istilah *Endmember* merujuk pada obyek murni yang tidak bercampur dengan obyek lainnya dalam satu piksel. Pada penelitian ini, *endmember* dipilih dari citra dengan mengambil *training area* pada piksel yang memenuhi persyaratan. Penentuan *endmember* dilakukan dengan serangkaian tahapan meliputi transformasi *Minimum Noise Fraction* (MNF), *Pixel Purity Index*, dan verifikasi menggunakan citra resolusi tinggi. *Endmember* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kelas penutup lahan yang meliputi lahan terbangun albedo tinggi, lahan terbangun albedo rendah, tanah terbuka, tubuh air dan vegetasi.

LSMA merupakan teknik untuk mengestimasi reflektansi yang terekam pada piksel yang dapat dimodelkan dengan kombinasi linier dari

penjumlahan beberapa *endmember* (Weng dan Pu, 2013). Kombinasi linier tersebut, dirumuskan secara matematis sebagai berikut (Schowengerdt, 2007).

$$DN_{ij} = E f_{ij} + e_{ij}$$

f_{ij} = fraksi *endmember* piksel pada posisi ij ,

E = matriks pola pantulan spectral *endmember*,
 DN_{ij} = nilai pantulan suatu piksel ij ,

e_{ij} = *error* atau nilai galat antara nilai kecerahan yang dimodelkan dan nilai kecerahan yang diukur saluran. Rumus diatas diasumsikan bahwa jumlah fraksi semua *endmember* adalah 1

$$\sum_{l=1}^L f_l = 1$$

Selain itu, masing-masing fraksi harus bernilai positif, dimana

$$f_l \geq 0$$

Metode LSMA menggunakan input berupa Citra Landsat 8 yang telah terkoreksi radiometrik hingga nilai pantulan permukaan dan *endmember*. Pada pemrosesan LSMA, masing-masing piksel campuran akan dipisahkan menjadi lima fraksi penutup lahan. Analisis ini menghasilkan peta fraksi lahan terbangun albedo tinggi, lahan terbangun albedo rendah, vegetasi, tanah terbuka, dan RMSE. Peta fraksi lahan terbangun albedo tinggi dan albedo rendah digabungkan melalui proses penambahan citra sehingga menjadi peta fraksi lahan terbangun. Peta fraksi menunjukkan komposisi persentase setiap tutupan lahan pada piksel yang nilainya berkisar antara 0 hingga 1 atau 0% hingga 100%.

c. Uji Akurasi

Pengukuran akurasi dilakukan dengan menghitung selisih antara persentase tutupan lahan hasil klasifikasi dengan persentase tutupan lahan aktual di lapangan. Tutupan lahan aktual diperoleh dengan cara digitasi citra resolusi tinggi (Quickbird dan Geoeye 1) tahun yang sama. Pada penelitian ini, uji akurasi dilakukan dengan menggunakan *root-mean square error* (RMSE) dan *systematic error* (SE). Pendekatan RMSE digunakan untuk mengukur presisi yang dapat menghitung eror relatif hasil klasifikasi LSMA pada level piksel. Pengukuran bias menggunakan pendekatan *systematic error* (SE) yang dapat menghitung efek dari eror sistematis atau kecenderungan *underestimated* atau *overestimated* hasil LSMA secara keseluruhan. Kedua indikator untuk uji akurasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V'_i - V_i)^2}{N}}$$

$$SE = \frac{(V'_i - V_i)}{N}$$

V'_i = fraksi penutup lahan yang dimodelkan untuk sampel i ,

V_i = fraksi penutup lahan aktual untuk sampel i ,

N = jumlah anggota sampel.

Hubungan antara fraksi model dengan fraksi aktual untuk masing-masing *endmember* dihitung dengan menggunakan rumus (Weng dan Pu, 2013)

$$y = kx + \beta$$

x (fraksi referensi) = variabel terikat,

y (fraksi model) = merupakan variabel independen.

Untuk model yang ideal maka slope $k = 1$ dan *intercept* $\beta = 0$

Sampel yang akan di uji berupa piksel campuran. Unit sampel yang digunakan adalah kelompok piksel dengan ukuran 3x3 piksel untuk meminimalisir pergeseran posisi antara citra referensi dengan Citra Landsat. Sampel dengan ukuran ini diperoleh karena ukuran sampel ini merupakan ukuran sampel yang lazim digunakan (Congalton dan Green, 2009). Penentuan sampel lapangan dilakukan dengan metode *stratified random sampling*. Sampel dipilih secara acak pada setiap kelas peta fraksi lahan terbangun dengan rentang 10%. Jumlah sampel untuk menguji akurasi tematik peta fraksi penutup lahan tahun 2002 adalah 71. Sedangkan jumlah sampel yang digunakan untuk menguji akurasi peta fraksi penutup lahan tahun 2015 adalah 81.

d. Kajian Ekspansi Lahan Terbangun

Analisis temporal ekspansi lahan terbangun dilakukan dengan menumpangsusukan peta fraksi lahan terbangun tahun 2002 dan tahun 2015. Teknik *image differencing* digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi. Berdasarkan proses ini akan dihasilkan nilai pada setiap piksel dengan rentang -1 hingga 1. Hasil pemrosesan diklasifikasikan menjadi berubah dan tidak berubah berdasarkan ambang batas 0,2. Nilai ambang batas ini diperoleh dengan cara pengamatan pada nilai berapa suatu daerah mengalami perubahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun sesuai kondisi nyata di lapangan. Perubahan nilai fraksi diklasifikasikan berdasarkan Tabel 3.7 berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Perubahan Fraksi

Besaran perubahan	Perubahan nilai fraksi
Berubah	20% – 100%
Tidak berubah	-100% – 20%

Sumber: Pengolahan data, 2017

Peta ekspansi diperoleh dengan menumpangsusukan peta perubahan fraksi lahan terbangun dengan peta fraksi lahan terbangun tahun 2002. Wilson (2003) yang menyatakan bahwa ekspansi dicirikan dengan konversi lahan non terbangun menjadi lahan terbangun yang terjadi di sekeliling daerah yang memiliki kurang dari 40% lahan terbangun. Berdasarkan hal tersebut, diterapkan beberapa aturan dalam penentuan daerah yang mengalami ekspansi, yaitu:

- Mengalami perubahan berdasarkan tumpangsusun peta fraksi lahan terbangun tahun 2002 dan tahun 2015.
- Ekspansi terjadi pada daerah yang memiliki nilai fraksi lahan terbangun <40% pada peta fraksi lahan terbangun tahun 2002.

Uji akurasi peta perubahan fraksi lahan terbangun menggunakan metode *binary error matrix*. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung karakteristik data penginderaan jauh yang diperoleh dari peta deteksi perubahan. Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan 61 titik sampel yang dipilih secara *stratified random sampling*.

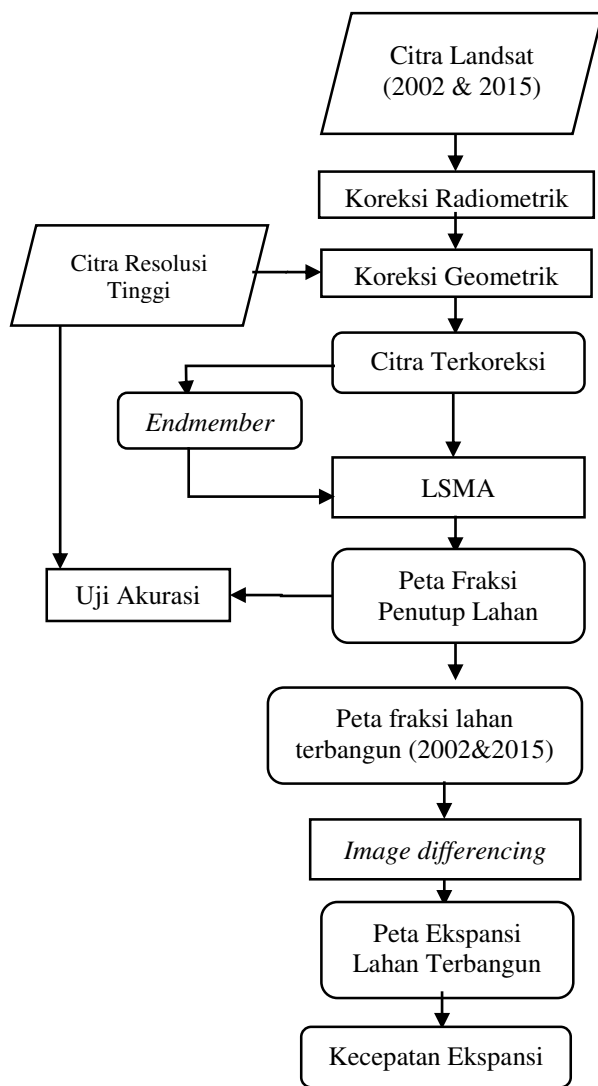
Angka kecepatan ekspansi lahan terbangun diperoleh dengan cara menghitung luas pertambahan lahan terbangun selama kurun waktu 13 tahun yang diperoleh dari peta ekspansi lahan terbangun. Luasan wilayah yang mengalami ekspansi diperoleh dengan mengalikan persentase fraksi lahan terbangun yang mengalami penambahan dengan luasan piksel Citra Landsat (900 m²). Kecepatan ekspansi diperoleh dengan rumus berikut,

$$V = \frac{|T2 - T1|}{\Delta T}$$

V = kecepatan ekspansi lahan terbangun (hektar/tahun),

$T1 - T2$ = penambahan luasan lahan terbangun periode 2002 – 2015 (hektar),

ΔT = periode waktu (tahun).



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Peta Fraksi Penutup Lahan

Analisis campuran spektral mengemukakan bahwa jumlah proporsi semua tutupan lahan sama dengan satu. Berdasarkan teori tersebut, pemrosesan LSMA menghasilkan peta fraksi dengan rentang 0 hingga 1. Masing-masing peta fraksi penutup lahan disajikan dengan gradasi warna biru hingga merah. Warna mendekati biru menunjukkan kandungan fraksi kelas penutup lahan yang semakin rendah, sedangkan mendekati warna merah menunjukkan kandungan fraksi yang semakin tinggi. Hasil klasifikasi LSMA untuk tahun 2002 disajikan pada Gambar 1 dan tahun 2015 pada Gambar 2.

Kecocokan model yang dihasilkan dari klasifikasi LSMA dapat dinilai dari residual yang dihasilkan. Nilai ambang $< 0,05$ menunjukkan hasil pemodelan yang baik. Berdasarkan peta residual yang dihasilkan sebanyak 98,8% peta fraksi penutup lahan di wilayah kajian tahun 2002 dapat dimodelkan

dengan baik. Sedangkan untuk tahun 2015 sekitar 96% piksel citra Landsat 8 OLI di wilayah kajian dapat dimodelkan dengan baik.

Wilayah kajian didominasi oleh tutupan lahan terbangun di bagian tengah dan tutupan vegetasi di wilayah pinggiran kota. Peta fraksi lahan terbangun mewakili pantulan spektral dari permukaan kedap air atau buatan manusia. Bagian tengah wilayah kajian merupakan Daerah Perkotaan Surakarta, peta fraksi menunjukkan nilai rentang berkisar dari 0,4 – 1. Wilayah ini merupakan variasi permukaan kedap air berupa bangunan permukiman, jalan, industri dan jasa. Fraksi penutup lahan tertinggi dominan berada di bagian tengah daerah kajian. Rentang nilai fraksi 0,6 – 0,8 terletak berdampingan dengan lokasi tersebut. Semakin mendekati wilayah pinggiran kota, nilai fraksi semakin rendah.

Peta fraksi vegetasi dominan berada di wilayah peri urban dengan penggunaan lahan berupa sawah. Disamping itu, ditemui sedikit kebun campuran. Sawah yang sedang ditanami ini memiliki nilai rentang fraksi 0,6 – 1. Lahan pertanian berada di pinggiran wilayah Kota Surakarta mencakup Kecamatan Baki, Grogol, Ngemplak, Gondangrejo, Jaten, Mojolaban dan Kartasura bagian utara serta selatan. Rentang nilai 0,4 – 0,8 mewakili daerah permukiman desa dengan vegetasi pohon besar tumbuh di pekarangan rumah.

Persebaran nilai fraksi lahan terbuka dominan pada rentang nilai 0,4 – 0,6 berada di Kecamatan Gondangrejo Kabupaten Karanganyar dan sekitar landasan pacu Bandara Adi Sumarmo. Lahan terbuka di Kecamatan Gondangrejo ini merupakan lahan pertanian yang sedang dalam masa berau sehingga tidak ditumbuhi tanaman. Dengan demikian pantulan dominan yang ditangkap sensor merupakan pantulan tanah. Fraksi lahan terbuka dengan rentang 0,6 hingga 1 sangat sedikit dijumpai.

Fraksi tubuh air pada rentang kelas 0,8 hingga 1 berada di Waduk Cengklik dan Sungai Bengawan Solo. Pada wilayah pinggiran perkotaan terdapat tubuh air dengan rentang nilai 0,2 hingga 0,6 merupakan lahan pertanian yang sedang diairi. Di sisi lain, terdapat tubuh air dengan rentang nilai 0,4 – 0,6 di bagian tengah Kota Surakarta. Padahal tutupan tersebut merupakan penggunaan lahan berupa jalan dengan material aspal. Kondisi *overestimated* tubuh air pada kisaran 40 – 60 % dikarenakan terdapat kemiripan spektral antara tubuh air dengan lahan terbangun yang memiliki albedo rendah.

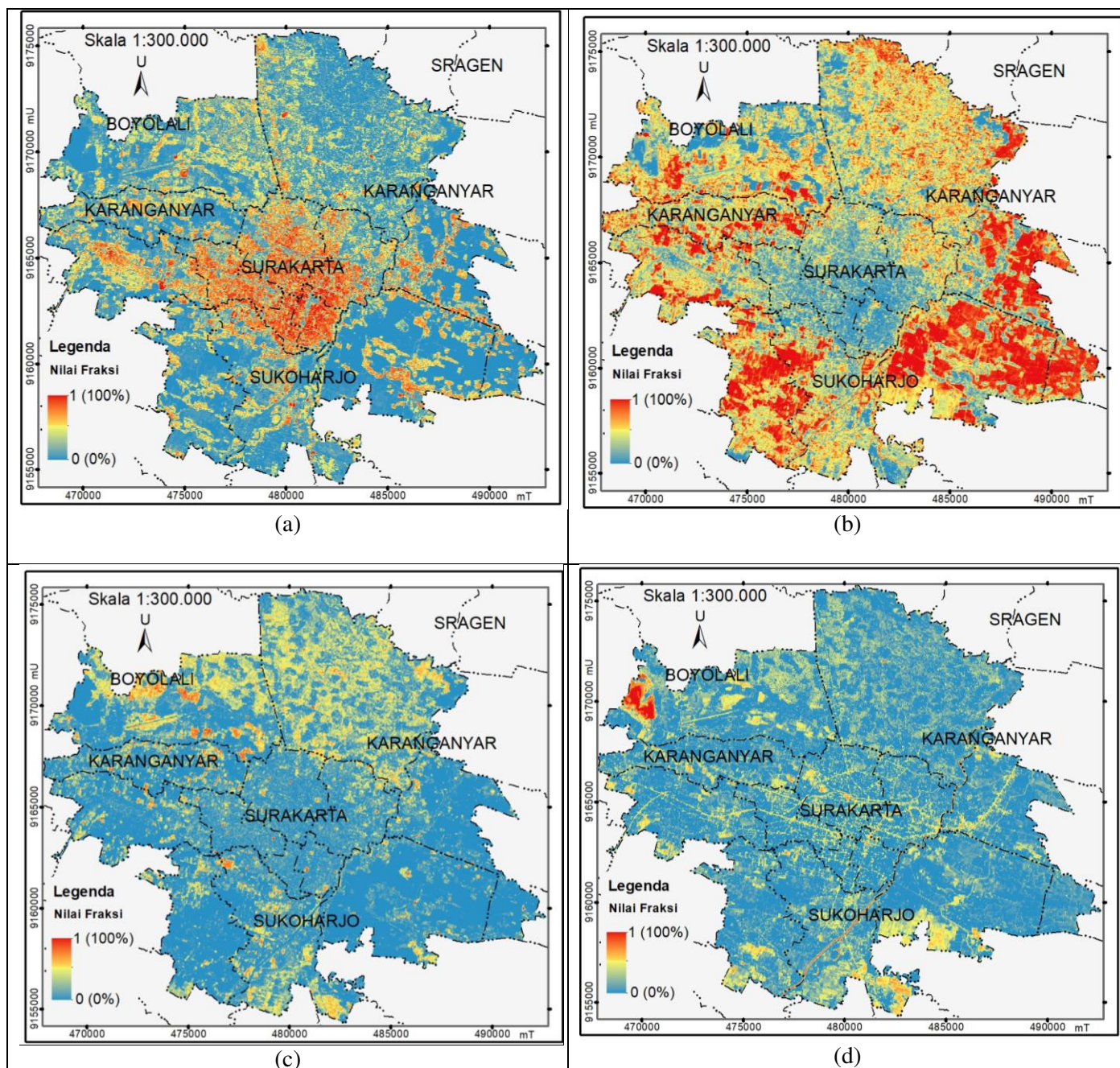
Luas untuk masing-masing peta fraksi diestimasi dengan cara mengalikan total nilai piksel hasil klasifikasi LSMA dengan luasan piksel Landsat

yaitu 30x30 meter. Luas untuk masing-masing kelas penutup lahan disajikan pada Tabel 2.

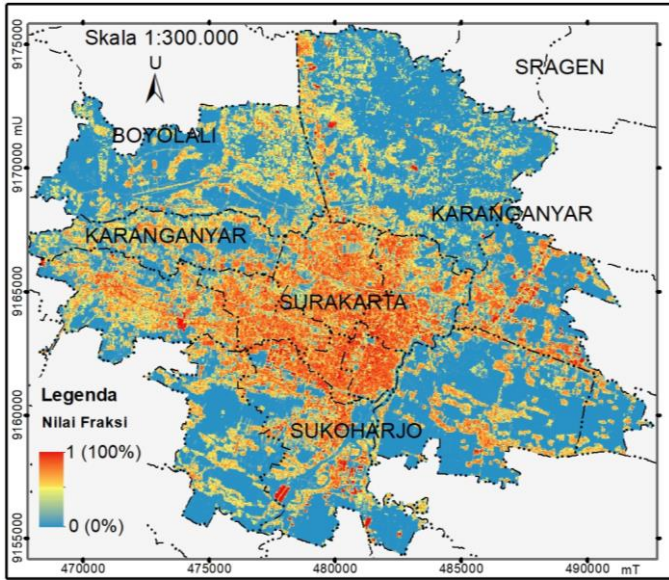
Tabel 2. Luas Penutup Lahan Tahun

No	Penutup Lahan	Luas (ha)	
		2002	2015
1.	Tubuh Air	3.887	3.427
2.	Lahan Terbangun	7.661	9.089
3.	Lahan Terbuka	4.122	4.328
4.	Vegetasi	15.040	13.816
	Total	30.660	30.660

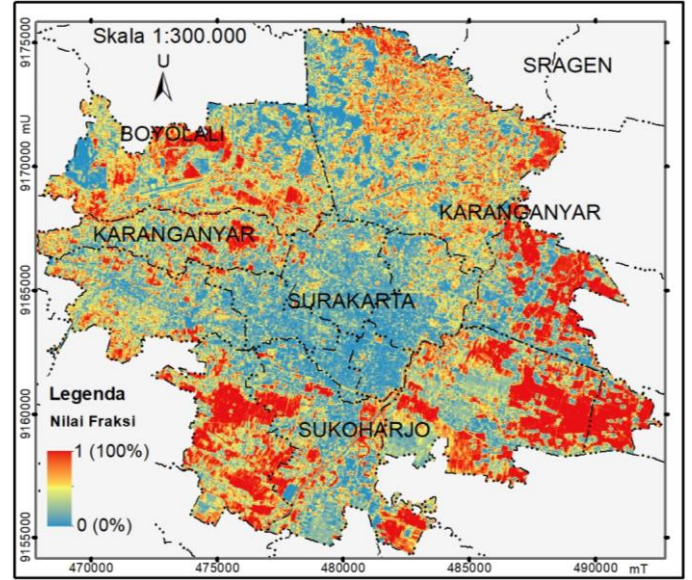
Sumber: Pengolahan data, 2018



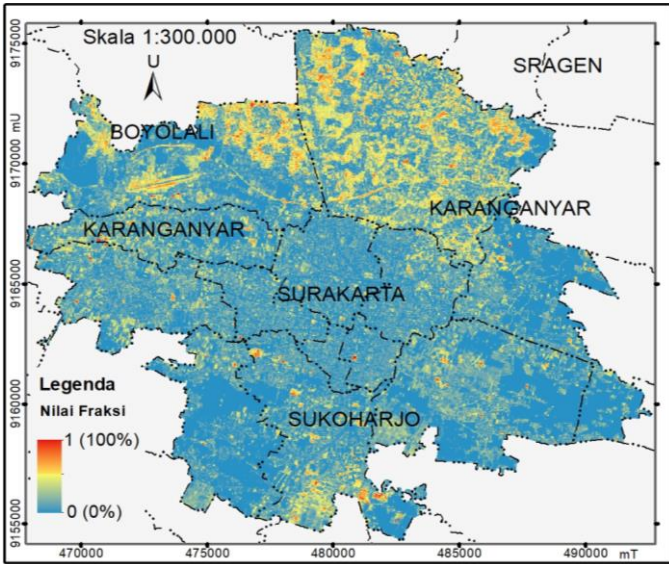
Gambar 2. Sebaran Fraksi Penutup Lahan di Kota Surakarta dan Sekitarnya Tahun 2002 (a) Lahan Terbangun (b) vegetasi (c) lahan terbuka (d) tubuh air



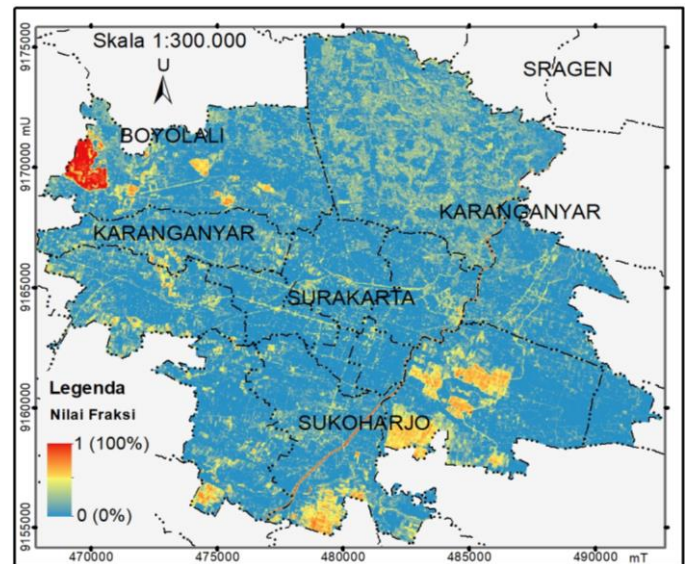
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Sebaran Fraksi Penutup Lahan di Kota Surakarta dan Sekitarnya Tahun 2015 (a) Lahan Terbangun (b) vegetasi (c) lahan terbuka (d) tubuh air

b. Akurasi Peta Fraksi Penutup Lahan

Nilai rerata RMSE untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2002 adalah 14%. Semakin mendekati nilai 0 menunjukkan model yang semakin baik. Tabel 3 berikut menyajikan hasil akurasi secara keseluruhan untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2002. Kesalahan tertinggi pada peta fraksi lahan terbuka dan kesalahan terendah pada peta fraksi vegetasi.

Tabel 3 Hasil Uji Akurasi Tahun 2002

Metode	LT	VE	LB	TA	Rata-rata
SE	3,56	-3,34	-7,65	7,40	
RSME (%)	15,55	10,76	17,39	12,08	14
Uji Regresi Linier Sederhana					
r	0,88	0,93	0,90	0,75	
R ²	0,77	0,88	0,82	0,57	

LT: Lahan Terbangun

VE: Vegetasi

LB: Lahan Terbuka

TA: Tubuh Air

Sumber: Pengolahan data, 2017

Berdasarkan hasil perhitungan RMSE, peta fraksi lahan terbuka memiliki error yang paling tinggi. Nilai error secara keseluruhan sebesar 17,39. Hasil klasifikasi LSMA untuk fraksi lahan terbuka cenderung *underestimated*. Hal ini dapat diketahui dari nilai *systematic error* yang diperoleh yaitu -7,65. Peta fraksi tubuh air menghasilkan error 12,08%. Pada peta fraksi tubuh air, hasil estimasi proporsi tubuh air cenderung *overestimated*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *systematic error* yang lebih dari 0 atau 7,4. Nilai RMSE untuk peta fraksi lahan terbangun adalah 15,55%. Peta fraksi yang dihasilkan cenderung *overestimated* dengan nilai SE sebesar 3,56. Nilai RMSE peta fraksi vegetasi adalah 10,76%. Nilai SE dari peta fraksi vegetasi adalah -3,34. Hal ini menunjukkan bahwa hasil estimasi fraksi vegetasi cenderung *underestimated*.

Nilai rerata RMSE untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2015 adalah 12,44%. Secara umum, kesalahan yang terdapat pada peta hasil klasifikasi LSMA relatif rendah. Tabel 4 berikut menyajikan hasil akurasi secara keseluruhan untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2015. Error tertinggi terdapat pada peta fraksi lahan terbangun sedangkan error terendah pada peta fraksi vegetasi.

Tabel 4. Hasil Akurasi Tahun 2015

Metode	LT	VE	LB	TA	Rata-rata
SE	-4,22	-1,03	-1,91	7,16	
RSME (%)	14,23	10,70	13,72	11,09	12,44
Uji Regresi Linier Sederhana					
r	0,92	0,94	0,89	0,61	
R ²	0,85	0,89	0,79	0,37	

LT: Lahan Terbangun

VE: Vegetasi

LB: Lahan Terbuka

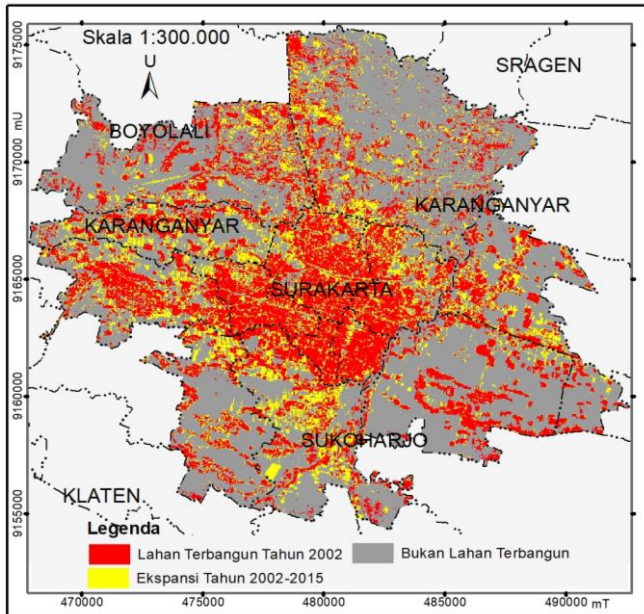
TA: Tubuh Air

Sumber: Pengolahan data, 2017

Nilai error paling tinggi terdapat pada tutupan lahan terbangun yaitu 14,23. Berbeda dengan peta fraksi lahan terbangun tahun 2002, peta fraksi lahan terbangun tahun 2015 cenderung *underestimated*. Nilai error untuk uji akurasi peta fraksi tubuh air adalah 11,09%. Secara keseluruhan, hasil estimasi fraksi tubuh air cenderung *overestimated*. Peta fraksi lahan terbuka memiliki nilai RMSE sebesar 13,72 %. Secara umum, hasil estimasi fraksi lahan terbuka cenderung *underestimated* dengan nilai SE -1,91. Nilai RMSE untuk peta fraksi vegetasi adalah 11,09%.

c. Ekspansi Lahan Terbangun di Daerah Penelitian

Kajian ekspansi lahan terbangun di daerah penelitian dilakukan dengan melihat perubahan lahan terbangun. Perubahan fraksi lahan terbangun diperoleh dengan cara menumpang susunkan peta fraksi lahan terbangun tahun 2002 dengan peta fraksi lahan terbangun tahun 2015. Berdasarkan hasil *subtractive* kedua citra tahun 2015 dengan tahun 2002 diperoleh nilai berkisar pada rentang -1 hingga 1. Hasil pemrosesan ini diklasifikasikan menjadi berubah dan tidak berubah berdasarkan ambang batas 0,2. Nilai ambang batas ini diperoleh dengan cara pengamatan pada nilai berapa suatu daerah mengalami perubahan dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun sesuai kondisi nyata di lapangan. Peta ekspansi lahan terbangun diperoleh dengan menerapkan *rule* bahwa ekspansi terjadi pada piksel dengan nilai fraksi yang <40% dan mengalami perubahan selama tahun 2002 hingga tahun 2015. Peta ekspansi lahan terbangun dapat diamati pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Ekspansi Lahan Terbangun di Kota Surakarta dan Sekitarnya Tahun 2002-2015

Pertambahan lahan terbangun di dalam wilayah administrasi Kota Surakarta cenderung lebih tinggi di bagian utara yaitu Kecamatan Jebres. Estimasi pertambahan lahan terbangun di kecamatan ini seluas 339,83 ha. Kecamatan Jebres memiliki topografi yang mulai bergelombang dan permukiman di daerah ini belum pada. Kecamatan lainnya merupakan daerah yang padat terutama bagian selatan Kota Surakarta seperti Kecamatan Pasarkliwon dan Serengan. Estimasi pertambahan lahan terbangun disajikan pada Tabel 5.

Ekspansi lahan terbangun terjadi di daerah yang berbatasan secara langsung dengan Kota Surakarta. Di selatan daerah kajian, pertambahan luasan lahan terbangun tertinggi terjadi Kecamatan Grogol seluas 635,30 ha diikuti dengan Kecamatan Baki seluas 272,07 ha. Kecamatan Grogol merupakan kawasan perkotaan baru dikenal sebagai Solo Baru dengan pembangunan yang cukup pesat.

Di tenggara Kota Surakarta yaitu Kecamatan Mojolaban ekspansi yang terjadi cenderung rendah. Adapun perluasan yang terjadi di kecamatan ini selama periode waktu 13 tahun adalah 227,56 ha. Hal ini dikarenakan terdapat pembatas alami berupa Sungai Bengawan antara Kota Surakarta dengan Kecamatan Mojolaban yang menghalangi perkembangan Kota Surakarta ke arah tenggara. Demikian halnya dengan wilayah barat Kota Surakarta pertambahan luas tidak terjadi di perbatasan Kota Surakarta karena keberadaan Sungai Bengawan.

Ekspansi tertinggi terjadi di utara Kota Surakarta yaitu Kecamatan Gondangrejo seluas 731,16 ha diikuti oleh Kecamatan Ngemplak seluas

478,01 ha. Namun terdapat anomali pada peta yang dihasilkan. Perluasan lahan terbangun terjadi di daerah dengan penggunaan lahan yang dominan berupa lahan pertanian. Hal ini dikarenakan kesalahan estimasi lahan pertanian menjadi lahan terbangun pada klasifikasi LSMA sebelumnya. Oleh karena itu terdapat perembetan kesalahan pada peta perubahan yang dihasilkan sehingga mempengaruhi hasil analisis. Di bagian barat Kota Surakarta terjadi ekspansi lahan terbangun seluas 371,14 ha di Kecamatan Colomadu. Di Kecamatan Kartasura dapat diestimasi perluasan lahan terbangun seluas 424,17 ha.

Metode yang digunakan untuk uji akurasi adalah *binary error matrix*. Akurasi keseluruhan untuk peta perubahan fraksi lahan terbangun adalah 63,93%. Secara sederhana, akurasi keseluruhan peta perubahan fraksi lahan terbangun dapat diperkirakan dengan cara mengalikan kedua akurasi keseluruhan dari peta input (Congalton & Green, 1999; Lunetta & Elvidge, 1998; Burnicki, 2006). Berdasarkan teori tersebut, diperkirakan akurasi keseluruhan peta perubahan 71,4%. Akurasi peta perubahan dengan menggunakan metode *binary error matrix*, hampir sama dengan perkiraan akurasi menurut Congalton & Green (1999).

Berdasarkan hasil perhitungan peta ekspansi lahan terbangun diperkirakan kecepatan ekspansi yang terjadi di Kota Surakarta dan sekitarnya adalah 345,42 ha/ tahun. Dikarenakan beberapa eror yang ditemukan saat proses pengolahan citra satelit, maka nilai tersebut merupakan nilai indikatif yang tidak dapat ditafsirkan secara mutlak. Kecepatan ekspansi yang terjadi diuraikan pada Tabel 5 di bawah ini. Secara umum, data penginderaan jauh mampu menyajikan data dengan cakupan yang luas dan memperkirakan perubahan tutupan lahan dalam kurun waktu tertentu. Namun, estimasi perubahan lahan terbangun di wilayah perkotaan sangat tergantung pada resolusi spasial, spektral, dan tingkat akurasi.

Tabel 5. Indikasi Kecepatan Ekspansi di Kota Surakarta dan sekitarnya

Kabupaten	Kecamatan	Pertambahan Lahan Terbangun (ha)	Kecepatan (ha/tahun)
Boyolali	Ngemplak	478,01	36,77
	Colomadu	371,14	28,55
Karanganyar	Gondangrejo	731,16	56,24
	Jaten	361,99	27,85
	Baki	272,07	20,93
Sukoharjo	Grogol	635,30	48,87
	Kartasura	424,17	32,63
	Mojolaban	227,56	17,50
Kota Surakarta	Banjarsari	333,99	25,69
	Jebres	339,83	26,14
	Laweyan	193,01	14,85
	Pasarkliwon	72,44	5,57
	Serengan	49,71	3,82
Total		4.490,40	345,42

*Perhitungan didasarkan pada peta ekspansi lahan terbangun dengan akurasi 63,9%.

Sumber: Pengolahan data, 2017

Rendahnya akurasi hasil klasifikasi LSMA mendorong pada semakin rendahnya validitas hasil analisis akibat terjadinya perembetan kesalahan. Kurang akuratnya hasil klasifikasi LSMA dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kesalahan dalam pengolahan citra dan pemilihan *endmember* yang kurang representatif. Pantulan objek pada suatu *scene* citra dipengaruhi oleh kondisi cuaca pada saat perekaman citra. Pada penelitian ini, belum dilakukan koreksi atmosfer yang mumpuni untuk meminimalkan pengaruh atmosfer.

Penggunaan metode LSMA untuk ekstraksi fraksi lahan terbangun terbangun multitemporal menghasilkan akurasi yang lebih rendah dibandingkan penutup lahan lainnya. Dengan demikian, penggunaan metode *subtractive* pada peta fraksi lahan terbangun multitemporal untuk menghitung ekspansi lahan terbangun menghasilkan informasi yang tidak cukup memuaskan. *Endmember* yang digunakan dalam penelitian ini belum representatif untuk mewakili heterogenitas tutupan lahan terbangun di daerah penelitian.

Lahan terbangun memiliki pantulan spektral yang bervariasi berdasarkan material, warna, dan kondisinya. Kondisi ini berpengaruh terhadap karakteristik interaksi antara gelombang elektromagnetik dengan jenis lahan terbangun. Misalnya, pada objek gelap seperti aspal, atap seng berkarat, atap genteng, energi yang datang cenderung diserap sehingga pantulan spektral yang

direkam sensor rendah. Sedangkan pada objek yang cerah seperti bangunan dengan atap seng menyerap sedikit energi yang datang sehingga pantulan spektral yang tertangkap sensor lebih tinggi.

Pemilihan *endmember* yang kurang representatif mengakibatkan rendahnya akurasi hasil estimasi nilai fraksi. Contohnya, *endmember* lahan terbangun albedo rendah memiliki pantulan spektral yang lebih tinggi dibandingkan objek aspal. Akibatnya, pada penelitian ini hasil klasifikasi objek aspal cenderung *underestimated*. Pada dasarnya, metode LSMA bertumpu pada nilai piksel dan *endmember* untuk menurunkan informasi nilai fraksi. Namun nilai piksel tidak hanya dipengaruhi oleh persentase lahan terbangun pada suatu piksel tapi juga dipengaruhi oleh jenis dan kondisi tutupan lahan terbangun.

Di sisi lain, pantulan spektral yang terekam pada citra dipengaruhi oleh cuaca pada saat perekaman. Citra yang digunakan dalam penelitian ini direkam pada Bulan Juni tahun 2002 dan tahun 2015. Bulan Juni merupakan awal musim kemarau dimana kecenderungan lahan terkena kekeringan meningkat. Kondisi cuaca yang kering mempengaruhi kondisi tutupan lahan seperti sawah yang berada pada masa bero atau masa istirahat. Lahan yang gundul ini cenderung kering akibat musim kemarau. Akibatnya, tanah kering memantulkan energi yang lebih tinggi. Kelembapan air yang menurun mengakibatkan semakin tingginya pantulan spektral di saluran inframerah. Pantulan spektral tanah kering ini menyerupai lahan terbangun terutama bangunan yang memiliki atap terbuat dari lempung.

Perbedaan spektral yang tidak cukup tajam antara lahan terbangun dan tanah kering mengakibatkan terjadi kebingungan pada saat klasifikasi LSMA. Pada penelitian ini, lahan terbuka berupa sawah pada masa bero diestimasi memiliki proporsi lahan terbangun mencapai 50%. Permasalahan ini sama-sama terjadi baik pada hasil klasifikasi LSMA pada Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Landsat 8 OLI. Metode LSMA mampu menghasilkan informasi pada level subpiksel namun tidak akurat digunakan untuk estimasi ekspansi lahan terbangun di perkotaan. Penelitian kedepannya terkait aplikasi LSMA untuk kajian perkotaan, memerlukan kombinasi metode LSMA dengan metode lainnya untuk mengatasi kelemahan pada metode LSMA terutama untuk pemilihan *endmember* yang representatif.

KESIMPULAN

1. Hasil klasifikasi menggunakan metode LSMA menghasilkan peta fraksi penutup lahan multi waktu. Penerapan metode LSMA berhasil memetakan penutup lahan tahun 2002 yaitu lahan terbangun seluas 7.661 ha, vegetasi seluas 15.040 ha, lahan terbuka seluas 4.122 ha, dan tubuh air seluas 3.887 ha. Berdasarkan hasil klasifikasi LSMA diperoleh penutup lahan tahun 2015 yaitu lahan terbangun, vegetasi, lahan terbuka dan tubuh air secara berturut-turut dapat diestimasi dengan luas 9.089 ha, 13.816 ha, 4.328 ha, dan 3.427 ha.
2. Nilai akurasi menunjukkan seberapa baik hasil klasifikasi. Secara keseluruhan, diperoleh nilai rerata RMSE sebesar 14% untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2002 dan 12,44% untuk peta fraksi penutup lahan tahun 2015.
3. Berdasarkan peta perubahan fraksi lahan terbangun diperoleh indikasi kecepatan ekspansi lahan terbangun yang terjadi di Kota Surakarta dan sekitarnya senilai 345,42 ha/tahun. Nilai ini merupakan nilai indikatif sehingga tidak dapat ditafsirkan secara mutlak. Indikasi ekspansi terjadi di selatan Kota Surakarta yaitu Kecamatan Grogol.

SARAN

1. Jika melakukan analisis multitemporal perlu dilakukan penyesuaian citra untuk meminimalisir efek temporal yang dapat mengakibatkan kesalahan dalam analisis citra.
2. Pemilihan *endmember* dari citra harus piksel murni dan representatif karena *endmember* yang digunakan sangat menentukan keberhasilan dari klasifikasi LSMA.
3. Pantulan spektral lahan terbangun sulit dibedakan dengan beberapa penutup lahan. Upaya peningkatkan akurasi ekstraksi lahan terbangun dan analisis perkembangan perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan *masking* pada kawasan perkotaan saja.
4. Lahan terbangun memiliki pantulan yang bervariasi sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap *endmember* tersebut. Penggunaan dua *endmember* lahan terbangun albedo tinggi dan albedo rendah belum representatif untuk mewakili heterogenitas pantulan spektral lahan terbangun yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

Bhatta, Basudeb. (2012). *Urban growth analysis and remote sensing a case study of kolkata, india 1980 – 2010*. New York: Springer.

Burnicki, A.C., Brown, D.G., dan Goovaerts P. 2006. Simulating error propagation in land cover change analysis: the implications of temporal dependence. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 282-302.

Dutta, Dipanwita, Rahman, Atiqur, Kundu, Arnab. (2015). Growth of dehradun city: an application of linear spectral unmixing (lsu) technique using multi-temporal landsat satellite data sets. *Remote Sensing Application: Society and Environment*, 1, 98 – 111.

Liu,J., Liu,M., Tian,H., Zhuang,D., Zhang,Z., Zhang,W., dkk. (2005) . Spatial and temporal patterns of china's crop land during 1990 – 2000: analysis based on landsat tm data. *Remote Sensing Environment*, 98, 442 – 456.

Putri, Stella Swastika. (2016). Pemetaan fraksi penutup lahan kota yogyakarta menggunakan teknik nmesma pada citra landsat 8 oli. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Schowengerdt, Robert A. (2007). *Remote sensing models and methodes for image processing*. United Kingdom : Elsevier, Inc.

Suharyadi. (2011). Interpretasi hibrida citra satelit resolusi spasial menengah untuk kajian densifikasi bangunan daerah perkotaan di daerah perkotaan yogyakarta. *Disertasi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.

Weng, Fenqing dan Pu, Ruiliang. (2013). Mapping and assessing of urban impervious areas using multiple *endmember* spectral mixture analysis: a case study in the city of tampa, florida. *Geocarto International*, 28 (7), 594-615.

Wilson, Emily Hoffhine, Hurd, James D, Civco, Daniel L, Prisloe Michael P, dan Arnold Chester. (2003). Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. *Remote Sensing Environment*, 86(3), 275–285.

Yunus, Hadi Sabari. (2005). *Manajemen kota perspektif spasial*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.