

**PERBANDINGAN HASIL KLASIFIKASI LIMBAH LUMPUR ASAM
DENGAN METODE SPECTRAL ANGLE MAPPER DAN SPECTRAL
MIXTURE ANALYSIS BERDASARKAN CITRA LANDSAT - 8
(THE COMPARISON OF CLASSIFICATION OF ACID SLUDGE WITH
SPECTRAL ANGLE MAPPER AND SPECTRAL MIXTURE ANALYSIS
METHOD BASED ON LANDSAT-8)**

Sayidah Sulma¹, Junita Monika Pasaribu, Hana Listi Fitriana, dan Nanik Suryo Haryani²

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Kalisari Lapan No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13710, Indonesia

¹e-mail: sayidah.sulma@lapan.go.id

²e-mail: naniksuryo@yahoo.com

Diterima 14 April 2015; Direvisi 23 Juni 2015; Disetujui 30 Juni 2015

ABSTRACT

The utilization of remote sensing data is an alternative way that could be used for rapid detection of large coverage hazardous waste area. This study aims to classify the acid sludge contaminated area using Landsat 8 by applying Spectral Angle Mapper (SAM) classification method with two spectral reference sources, namely field spectral measurement using a spectrometer and endmember spectral from the image, and then compare the classification results. The accuracy level of SAM classification result showed that classification using endmember spectral from the image as the reference spectral reached 66,7%, whereas classification using field spectral measurement as spectral reference only reached 33,3%. The accuracy level of Spectral Mixture Analysis (SMA) classification result showed that classification using endmember spectral from the image as the reference spectral reached 62,5%. The affecting factors for the low accuracy is the significant differences of the spectral profiles obtained from spectrometer with spectral Landsat-8 due to differences of spatial and altitude
Keywords: Acid sludge Waste, Spectral Angle Mapper, Spectral Mixture Analysis, Landsat-8

ABSTRAK

Pemanfaatan data penginderaan jauh merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk deteksi daerah tercemar limbah B3 secara cepat dengan wilayah yang luas. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi daerah tercemar lumpur asam menggunakan data Landsat 8 dengan metode *Spectral Angle Mapper* (SAM), kemudian membandingkan hasil klasifikasi SAM menggunakan spektral referensi berdasarkan pengukuran spektrometer dengan spektral yang diperoleh dari *endmember* citra. Tingkat akurasi klasifikasi SAM dengan spektral referensi berdasarkan *endmember* citra adalah sebesar 66,7 %, sedangkan dengan menggunakan referensi spektrometer hanya mencapai 33,3 %. Tingkat akurasi klasifikasi *Spectral Mixture Analysis* (SMA) dengan spektral referensi berdasarkan *endmember* citra adalah sebesar 62,5 %. Faktor yang mempengaruhi rendahnya akurasi adalah perbedaan yang signifikan antara profil spektral yang diperoleh dari spektrometer dengan spektral Landsat-8 akibat perbedaan spasial dan ketinggian.

Kata Kunci: *Limbah lumpur asam, Spectral Angle Mapper, Spectral Mixture Analysis, Landsat-8*

1 PENDAHULUAN

Terjadinya kontaminasi limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) di suatu daerah akan menyebabkan terancamnya kualitas lingkungan dan kelangsungan makhluk hidup di daerah yang terkontaminasi maupun lingkungan sekitarnya. Berdasarkan hal tersebut diperlukan deteksi dan pemantauan daerah tercemar secara cepat untuk mengurangi dampak yang akan ditimbulkannya. Deteksi dan pemantauan menggunakan pengecekan laboratorium membutuhkan biaya yang cukup besar, sehingga pemanfaatan data penginderaan jauh merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk deteksi daerah tercemar limbah B3 secara cepat dengan wilayah yang luas.

Pada penelitian ini akan dibahas limbah lumpur asam yang pencemarannya cukup sulit untuk dipulihkan, sehingga diperlukan pemantauan pencemaran lumpur asam ini secara terus menerus. Salah satu lokasi yang terkontaminasi oleh jenis pencemar ini adalah di kawasan *Pertamina Refinery Unit V* Balikpapan, yaitu limbah yang mencemari wilayah ini sejak puluhan tahun lalu yang berasal dari pembuangan limbah pabrik lilin sebagai sisa akhir dari produksi minyak bumi (Pertamina, 2011; Pertamina, 2012). Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk deteksi daerah tercemar limbah lumpur asam ini telah dilakukan beberapa penelitian,

diantaranya Haryani (2013) melakukan kajian untuk deteksi kontaminasi limbah berdasarkan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan Landsat 7 ETM, sedangkan Sulma (2014) melakukan kajian deteksi daerah tercemar di lokasi dan obyek yang sama berdasarkan suhu permukaan tanah atau *Land Surface Temperature* (LST), serta Haryani dkk., (2015) melakukan penelitian deteksi daerah tercemar limbah lumpur asam menggunakan metode *Spectral Mixture Analysis* (SMA) berbasis data landsat-8. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa data penginderaan jauh memiliki potensi untuk mendeteksi daerah tercemar limbah B3 khususnya lumpur asam.

Pada penelitian lainnya juga dilakukan oleh Haryani dkk., (2015) telah melakukan kajian dan pengumpulan data lapangan berupa pengukuran spektral menggunakan spektrometer pada obyek-obyek di dalam dan di luar daerah tercemar limbah lumpur asam. Pola spektral yang diperoleh di lapangan dapat dijadikan acuan dalam klasifikasi dan analisis citra untuk membedakan daerah tercemar dan tidak tercemar. Klasifikasi citra menggunakan spektrum referensi ini dapat dilakukan dengan metode *Spectral Angle Mapper* (SAM) yaitu metode yang memungkinkan pemetaan cepat kesamaan spektral pada spektrum citra dengan spektrum referensi yaitu dengan menghitung

sudut antara kedua spektrum tersebut (Kruse dkk.,1993). Metode SAM memiliki beberapa keunggulan yaitu (1) tidak dipengaruhi oleh faktor pencahayaan matahari, karena sudut antara vektor tidak tergantung pada panjang vektor, (2) metode mudah dan cepat untuk pemetaan kesamaan spektrum citra dengan spektrum referensi dan (3) tidak memerlukan asumsi pada distribusi statistik data masukan dalam melakukan klasifikasi (Petropoulos dkk., 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi daerah tercemar lumpur asam menggunakan data Landsat 8 dengan metode SAM, kemudian membandingkan hasil klasifikasi SAM berdasarkan spektrum hasil pengukuran spektrometer dengan spektrum yang diperoleh dari *endmember* citra sebagai spektrum referensi.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data dan Lokasi

Lokasi penelitian adalah di kawasan Pertamina *Refinery Unit V* dan sekitarnya, Balikpapan, Kalimantan Timur. Data yang digunakan adalah data Landsat-8 sensor OLI *path row* 116/061 tanggal perekaman 23 Februari 2014. Gambar 2-1 adalah citra RGB 653 Landsat-8 di lokasi penelitian.

2.2 Metode

2.2.1 Pengolahan awal data

Pengolahan awal data penginderaan jauh meliputi koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi geometrik bertujuan untuk memperbaiki kesalahan geometrik citra yang bersumber dari pengaruh topografi dan geometri sensor satelit dengan memasukkan titik kontrol tanah dan menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM). Koreksi radiometrik dilakukan dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai reflektansi yang bertujuan untuk mengurangi kesalahan nilai piksel akibat sudut matahari dan jarak

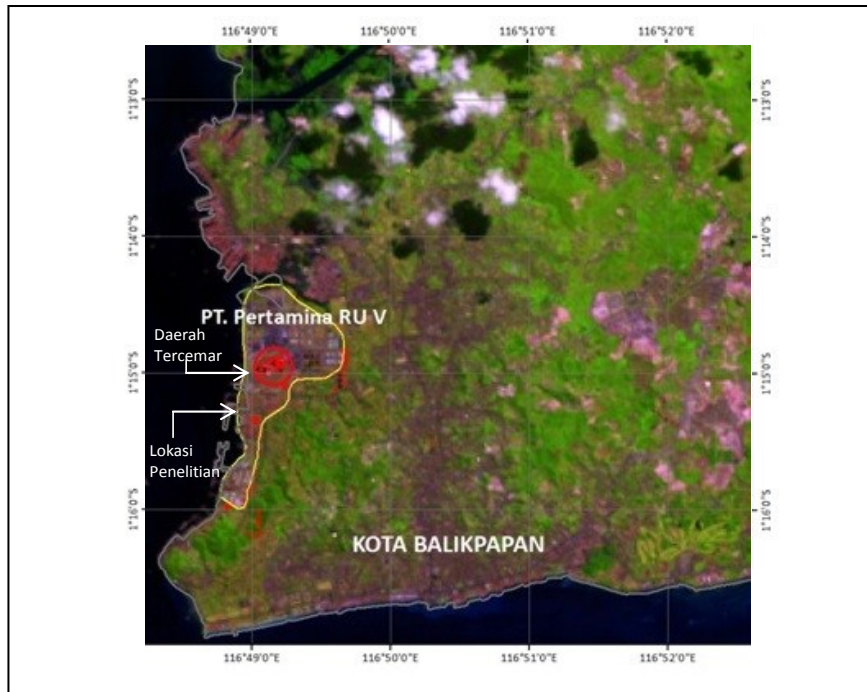
matahari bumi pada data yang berlainan waktu (Mumby and Clark, 2000). Hasil pengolahan awal ini telah tersedia dalam produk standar Landsat 8 dengan format 16, yaitu dikonversi menjadi nilai radiansi dan reflektansi *Top of Atmosphere* (ToA) menggunakan koefisien *rescaling* radiometrik yang tersedia dalam file metadata atau file MTL (USGS, 2014).

Dari produk data standar yang telah dikoreksi, kemudian dilakukan konversi nilai reflektansi dari tipe data 16 menjadi tipe 4 untuk mengembalikan nilai asli reflektansi dengan satuan mikrometer. Selanjutnya dilakukan pemisahan awan dengan menumpang-susunkan kanal hasil klasifikasi awan yang telah tersedia dalam produk standar dengan semua kanal pada data OLI dan TIRS.

2.2.2 Pengumpulan data spektral

Pada penelitian ini referensi spektral untuk klasifikasi citra diperoleh dari *endmember* yang diekstraksi dari citra itu sendiri dan dibandingkan dengan spektral pengukuran di lapangan menggunakan spektrometer.

Data spektral diperoleh dari pengukuran reflektansi di lapangan menggunakan spektrometer tipe HR 400 OCG. Panjang gelombang spektrometer yang digunakan terdiri dari gelombang *visible* dan *Near Infrared* (NIR) dengan kisaran panjang gelombang 200 nm sampai 1050 nm. Pengukuran spektral dilakukan pada obyek-obyek tercemar dan tidak tercemar dengan pengulangan 10 kali setiap pengukuran pada setiap obyek pada saat kondisi cerah pukul 10.00 – 15.00 WITA. Dengan *field of view* sensor sebesar 25°, dan ketinggian pengukuran 1 – 1,5 m maka luas obyek yang terukur sekitar 50 x 50 cm. Obyek yang diukur terdiri dari vegetasi dan pasir di daerah tercemar dan tidak tercemar serta obyek *sludge* (lumpur padat).



Gambar 2-1: Lokasi penelitian di Balikpapan, Kalimantan Timur yang ditumpang-susun dengan citra RGB 653 Landsat-8 pada 23 Februari 2014

2.2.3 Analisis spektral

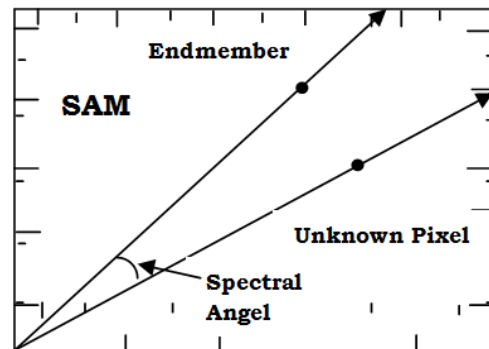
Analisis spektral untuk penentuan daerah tercemar dan tidak tercemar dilakukan menggunakan metode SAM. SAM adalah suatu alat yang memungkinkan pemetaan cepat kesamaan spektral pada spektrum citra dengan spektrum referensi. Algoritma SAM menentukan kesamaan spektral antara dua spektrum dengan menghitung sudut (*angle*) antara dua spektrum, memperlakukannya sebagai vektor dalam ruang dengan dimensi yang sama dengan jumlah kanal (Kruse dkk, 1993). Algoritma SAM dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{\|\vec{t}\| \|\vec{r}\|} \right) \quad (2-1)$$

α juga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{1/2}} \right) \quad (2-2)$$

Dalam persamaan ini, α adalah besar sudut, t adalah spektral, r adalah spektral referensi dan nb adalah jumlah kanal. *Spectral angle* dapat digambarkan seperti pada Gambar 2-2 semakin kecil sudut spektral menunjukkan kemiripan antara obyek dan referensi.



Gambar 2-2. Sudut *Spectral Angel Mapper* (SAM)

Spektrum referensi yang digunakan adalah berdasarkan hasil pengukuran spektrometer dan berdasarkan *endmember* citra, kemudian akan dibandingkan hasil antara kedua sumber referensi spektral tersebut.

Perhitungan akurasi dilakukan terhadap citra hasil klasifikasi daerah tercemar dan tidak tercemar berdasarkan analisis SAM dengan acuan hasil survei

lapangan. Perhitungan akurasi dihitung berdasarkan *confusion matrix* yaitu matrix berukuran $n \times n$ yang berisi informasi tentang klasifikasi aktual dan klasifikasi prediksi yang diperoleh dari suatu sistem klasifikasi, dimana n adalah jumlah kelas yang berbeda (Visa dkk., 2011).

Analisis spektral menggunakan metode SMA merupakan suatu alat analisis yaitu beberapa citra dikalibrasi menjadi reflektan dan piksel-piksel yang dimodelkan sebagai potensi pencampuran dari spektral lapangan atau laboratorium. Tahap-tahap yang dilakukan sebagai berikut: tahap pertama adalah pemilihan *endmember* citra, selanjutnya diperoleh referensi *endmember* setelah semua spektral kanal dikalibrasi menjadi reflektansi. Penggunaan metode SMA ini dapat memberikan solusi adanya piksel campuran, yaitu satu piksel terdapat lebih dari satu obyek. Kondisi limbah lumpur asam di daerah penelitian bahwa terjadinya pencampuran obyek dalam satu piksel disebabkan oleh sifat dari limbah *acid sludge* yang muncul di permukaan tanah yang bersifat tidak merata, meleleh, dan selanjutnya mengeras berwarna hitam seperti aspal. Sehingga kondisi di lapangan dalam ukuran satu piksel (30 m x 30 m) dapat terdiri atas beberapa obyek yaitu berupa *sludge*, pasir, lahan terbuka, dan vegetasi rumput.

Endmember adalah nilai spektra yang mewakili material di permukaan bumi (Adams & Gillespie, 2006). Pembuatan *endmember* menggunakan metode SMA menggunakan teknik *Principal Component Analysis* (PCA), dimana pertama membuat tampilan baru PCA *band* dari citra yang dihasilkan *scatter plot* kemudian dapat dipilih *endmember* yang dapat mewakili atau potensial *endmember* yang dipilih. *Scatter plot* yang dipilih sebagai kandidat *endmember* terletak di simpul atau ujung dari *scatter* tersebut (Jonson dkk., 1985). *Endmember* yang digunakan untuk masukan dalam klasifikasi SMA adalah

vegetasi, pasir *sludge*, dan lahan terbuka. Pada metode SMA hasil ekstraksi spektral *endmember* dari citra berdasarkan analisis PCA, yaitu *endmember* diperoleh dari ekstraksi PCA band 2 dan PCA band 3, PCA band 2 dan PCA band 4, dan PCA band 4 dan PCA band 5. Analisis rata-rata terhadap masing-masing spektral *endmember* digunakan untuk spektral referensi dalam proses klasifikasi berdasarkan metode SMA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spektral Obyek Dari Spektrometer

Pengukuran reflektansi terhadap obyek di daerah tercemar dan tidak tercemar menggunakan spektrometer (pengukuran di lapangan) dengan panjang gelombang *visible* dan NIR. Obyek yang diukur adalah yang mewakili obyek yang ada di daerah tercemar dibandingkan dengan obyek di luar daerah tercemar (tidak tercemar), yaitu vegetasi (rumput dan alang-alang), pasir putih dan pasir coklat serta obyek lumpur/*sludge*. Mengacu dari penelitian oleh Haryani dkk., (2015), mengenai karakteristik spektral pada daerah tercemar limbah B3, hasil pengukuran reflektansi dari spektrometer untuk lima jenis obyek di daerah tercemar dan tidak tercemar, dapat digambarkan dengan grafik profil spektral obyek.

Pada profil spektral obyek vegetasi terdapat perbedaan yang signifikan antara obyek vegetasi di daerah tercemar dengan obyek daerah tidak tercemar. Pada obyek pasir baik pasir putih maupun pasir kecoklatan menunjukkan reflektansi di daerah tercemar lebih tinggi dibandingkan daerah tidak tercemar dengan pola cenderung meningkat dari panjang gelombang biru hingga NIR. Sedangkan obyek *sludge* atau limbah lumpur menunjukkan pola datar dan meningkat dengan tajam pada panjang gelombang NIR. Profil spektral Obyek Tercemar dan Tidak Tercemar dari Spektrometer dapat ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Nilai rata-rata spektral masing-masing obyek selanjutnya dijadikan spektral referensi untuk klasifikasi SAM. Namun sebelum diaplikasikan dalam proses klasifikasi, dilakukan proses resampling data hasil spektrometer untuk menyamakan jumlah kanal dengan kanal pada citra Landsat 8. Resolusi spektral spektrometer yang digunakan terdiri dari kanal *visible* dan *Near Infrared* (NIR) yaitu panjang gelombang 0.2 – 1.05 μm , sehingga data Landsat 8 yang digunakan hanya terbatas pada Kanal 1 hingga Kanal 5 dengan panjang gelombang Kanal 1: 0.43 – 0.45 μm (*coastal aerosol*), Kanal 2: 0.45-0.51 μm (biru), Kanal 3: 0.53-0.59 μm (hijau), Kanal 4: 0.64-0.67 μm (merah) dan Kanal 5: 0.85-0.88 μm (NIR). Hasil resampling diplotkan pada *center wavelength* masing-masing kanal, yaitu kanal 1: 0.44 μm , kanal 2: 0.48 μm , kanal 3: 0.56 μm , kanal 4: 0.655 μm dan kanal 5: 0.865 μm .

Citra Landsat yang digunakan dalam penelitian ini belum melalui proses koreksi atmosferik. Tahap awal untuk mengaplikasikan data spektrometer ke citra Landsat adalah melakukan perbandingan nilai spektral pada piksel citra dengan rata-rata spektral dari spektrometer di lokasi yang sama, kemudian dilakukan normalisasi nilai spektral. Hal ini dilakukan untuk mengurangi adanya perbedaan kondisi atmosfer pada saat pengukuran spektrometer di lapangan dengan kondisi pada saat perekaman citra Landsat.

3.2 Spektral dari *Endmember* Citra

Selain berdasarkan pengukuran spektrometer, spektral asli juga diperoleh dari *endmember* citra yaitu dari ekstraksi antara citra *Principal Component Analysis* (PCA) kanal 2 - kanal 3, PCA kanal 2 - kanal 4 dan PCA kanal 4 - kanal 5. Pada penelitian ini *endmember* citra mengacu dari penelitian Haryani dkk (2015), mengenai profil spektral obyek tercemar dan tidak tercemar dari *endmember* citra landsat.

Endmember yang diperoleh dari citra terdiri dari *endmember* vegetasi dan lahan terbuka di daerah tidak tercemar, serta pasir dan *sludge* di daerah tercemar. Pada daerah tercemar tidak diperoleh *endmember* vegetasi karena lokasi obyek vegetasi di daerah tercemar yang terlalu sempit sehingga kurang mewakili dari luas piksel citra landsat. Pola spektral untuk masing-masing *endmember* pada kanal 1 – kanal 7 dari data Landsat 8 dengan mengacu dari penelitian yang dilakukan oleh Haryani dkk (2015).

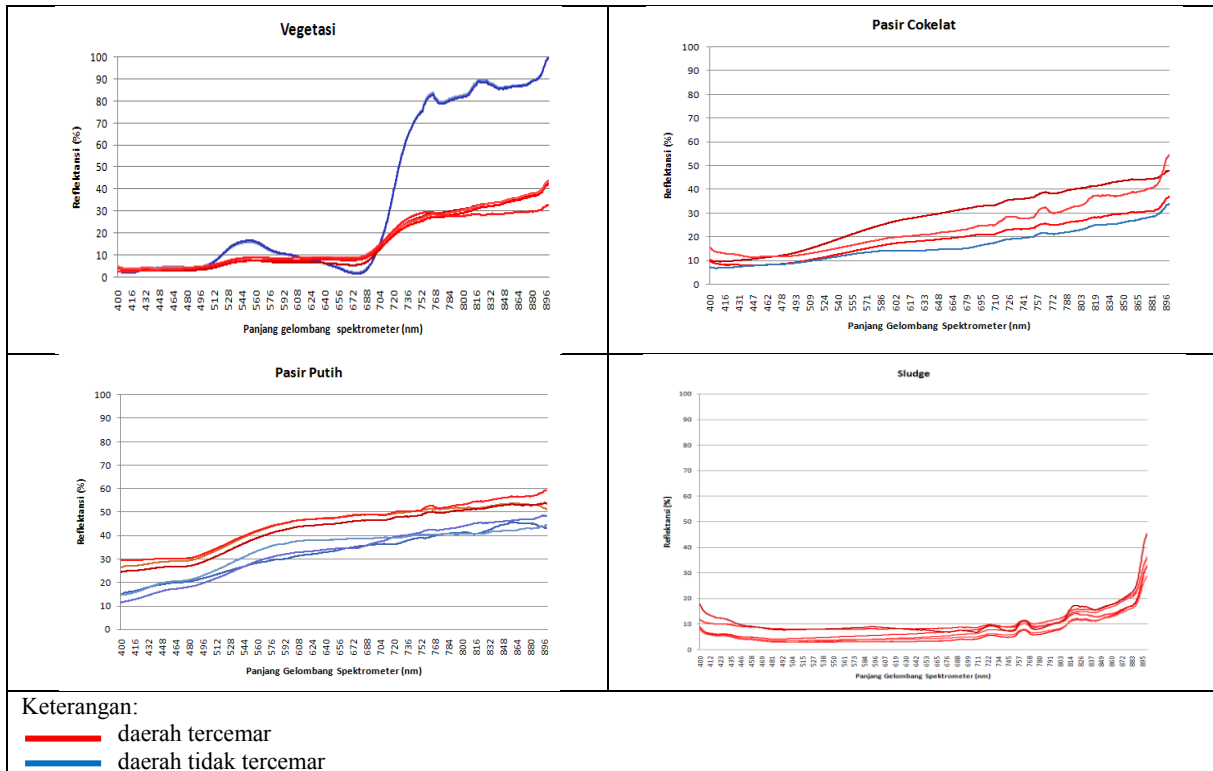
Berdasarkan pola spektral dapat dikatakan bahwa obyek vegetasi memiliki pola berfluktuasi dengan nilai puncak pada panjang gelombang merah (kanal 5). Obyek pasir dan *sludge* di daerah tercemar serta lahan terbuka lainnya memiliki pola yang hampir sama yaitu puncak reflektansi pada panjang gelombang SWIR 1 yaitu kanal 6 kemudian menurun kembali pada kanal SWIR 2 atau kanal 7, sedangkan perbedaan pasir *sludge* memiliki reflektansi yang lebih tinggi dibandingkan lahan terbuka lainnya terutama pada panjang gelombang merah, NIR dan SWIR 1. Profil spektral obyek tercemar dan tidak tercemar dari *endmember* citra Landsat dapat ditunjukkan pada Gambar 3-2. Nilai rata-rata spektral *endmember* dari citra Landsat 8 tersebut untuk masing-masing obyek (vegetasi, pasir *sludge* dan lahan terbuka) selanjutnya dijadikan spektral referensi dalam proses klasifikasi berdasarkan metode SAM.

3.3 Klasifikasi *Spectral Angel Mapper* (SAM)

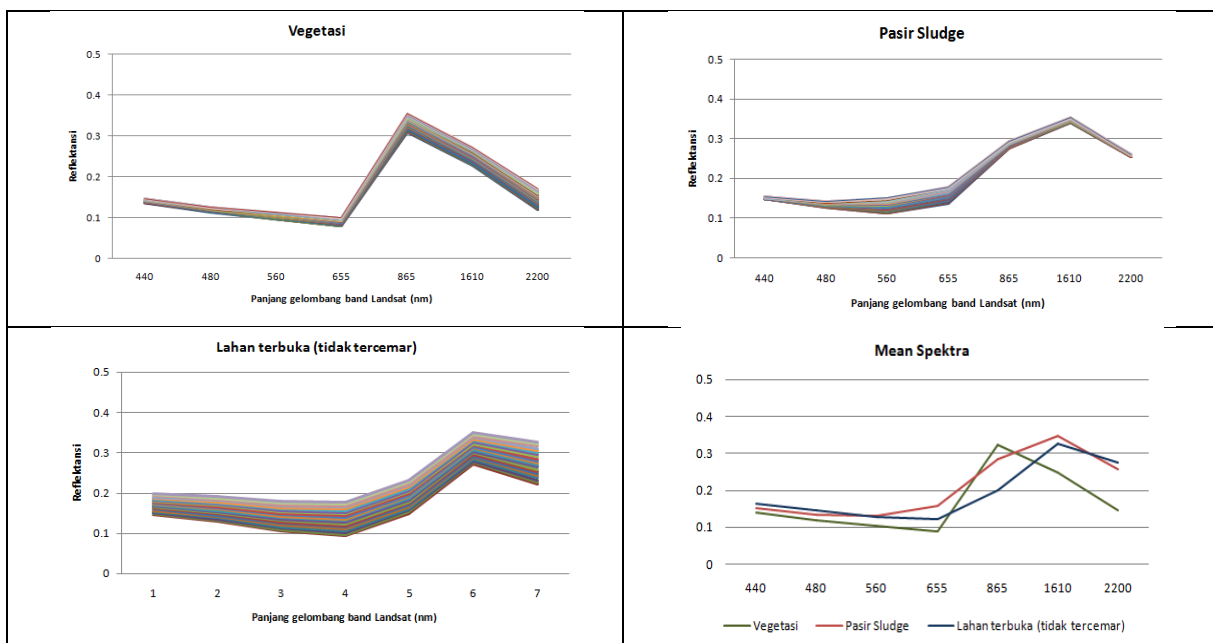
Klasifikasi SAM dilakukan dengan spektral referensi berasal dari spektrometer dan *endmember* dari citra Landsat 8. Berdasarkan klasifikasi dengan dua jenis referensi spektral tersebut kemudian dibandingkan metode yang memberikan hasil lebih baik. Sebelum dilakukan klasifikasi, citra Landsat yang dianalisis dibatasi hanya

pada daerah dengan tutupan lahan terbuka dan vegetasi rendah, sehingga untuk tutupan lahan jenis lainnya seperti hutan dan permukiman dipisahkan atau dihilangkan dari citra. Hal ini dilakukan untuk membatasi analisis sesuai dengan spektral referensi yang digunakan baik berdasarkan data spektrometer (pengukuran di lapangan)

maupun *endmember*. Gambar 3-3 memperlihatkan data citra Landsat 8 RGB 653 yang sudah dibatasi sesuai dengan jenis tutupan lahan, yaitu area yang berwarna hitam adalah daerah analisis yang dihilangkan, dan daerah dengan lingkaran merah merupakan daerah tercemar limbah.



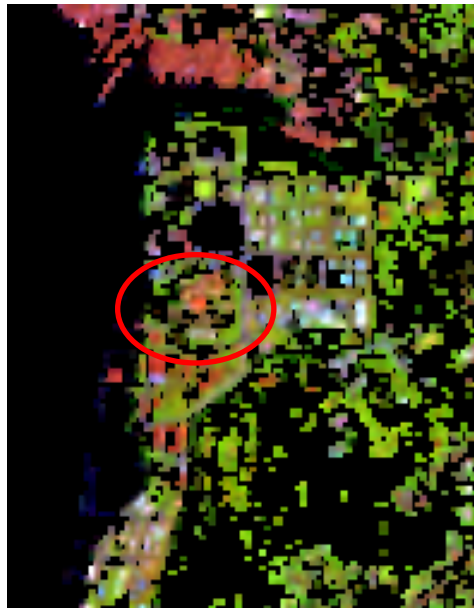
Gambar 3-1: Profil Spektral Obyek Tercemar dan Tidak Tercemar dari Spektrometer (Haryani dkk, 2015)



Gambar 3-2: Profil spektral obyek tercemar dan tidak tercemar dari *endmember* citra Landsat (Haryani dkk., 2015)

Proses awal klasifikasi menggunakan SAM diperlukan pengaturan besar sudut antara dua spektrum sebagai spektrum ambang batas. Pada Gambar 3-4 diperlihatkan perbandingan sudut yang digunakan dalam proses klasifikasi. Pada proses klasifikasi dengan menggunakan sudut 0,1 terlihat masih terdapat beberapa piksel yang belum terklasifikasi artinya penggunaan sudut 0,1 belum bisa mengelaskan

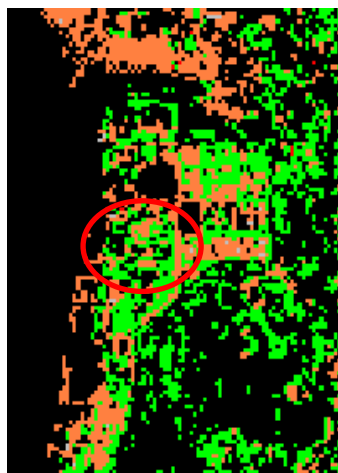
semua piksel yang ada pada citra. Ketika menggunakan sudut 0,2 maka semua piksel sudah terklasifikasi, dan ketika menggunakan sudut lebih besar dari 0,2 menunjukkan hasil yang sama dengan sudut 0,2 yaitu semua piksel sudah terklasifikasi. Oleh karena itu, maka pada penelitian ini sudut (radian) yang digunakan dalam proses klasifikasi SAM adalah sebesar 0,2.



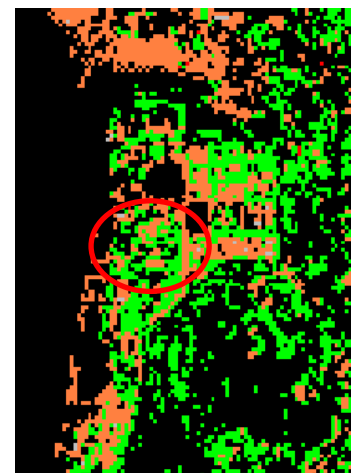
Gambar 3-3: Citra Landsat 8 RGB 653 yang sudah dibatasi daerah analisisnya



$\alpha = 0,1$



$\alpha = 0,2$

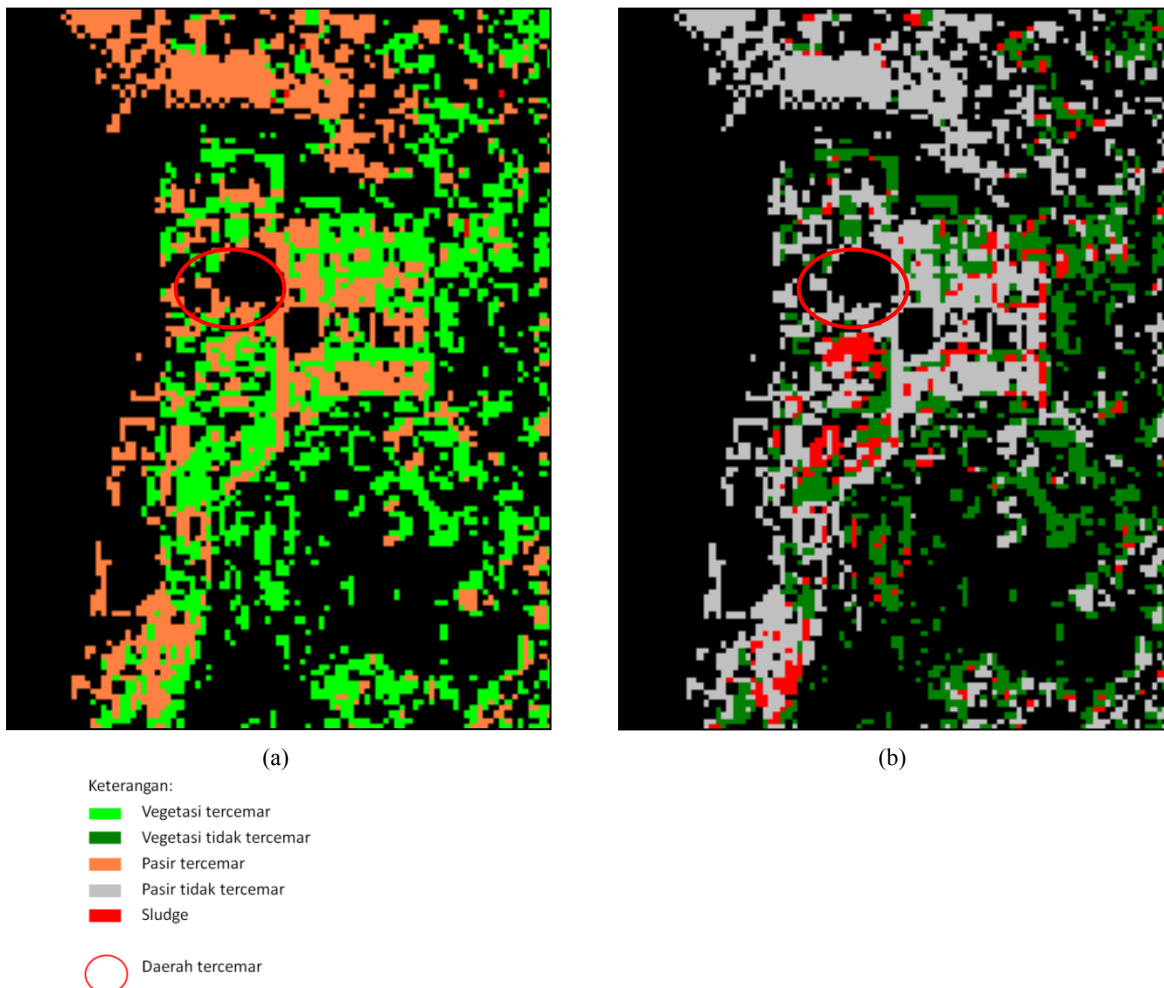


$\alpha > 0,2$

Gambar 3-4: Perbandingan hasil klasifikasi dengan perbedaan besar sudut radian (α)

Tahap pertama klasifikasi SAM dilakukan menggunakan referensi berdasarkan spektrum yang diperoleh dari pengukuran spektrometer di lapangan. Hasil klasifikasi SAM menggunakan referensi dari spektrometer dapat dilihat pada Gambar 3-5a, yaitu daerah tercemar ditandai dengan lingkaran berwarna merah. Pada hasil SAM tersebut dapat dilihat proses klasifikasi hanya berhasil mengelaskan dua kelas dominan yaitu kelas vegetasi tercemar dan pasir tercemar di seluruh wilayah baik tercemar maupun tidak tercemar. Berdasarkan perhitungan akurasi menggunakan data pengecekan

di lapangan, diperoleh hasil klasifikasi SAM menggunakan spektral referensi dari data spektrometer hanya memperoleh tingkat akurasi sebesar 33,3 %. Perhitungan akurasi dapat dilihat pada Tabel 3-1. Faktor yang dapat mempengaruhi rendahnya nilai akurasi tersebut diantaranya adalah tidak digunakannya panjang gelombang SWIR, karena resolusi spektral spektrometer yang digunakan terbatas pada panjang gelombang *visible* dan NIR. Pengujian penggunaan panjang gelombang SWIR dapat dilihat pada bagian analisis selanjutnya.



Gambar 3-5: Hasil klasifikasi SAM menggunakan spektral referensi dari spektrometer (a) dan *endmember* dari citra (b)

Metode klasifikasi yang berikutnya adalah klasifikasi SAM dengan spektral referensi dari *endmember* citra Landsat 8. Hasil klasifikasi SAM menggunakan referensi dari *endmember* yang diekstraksi dari citra landsat dapat dilihat pada Gambar 3-5b. Pada hasil SAM dengan spektral referensi citra itu sendiri dapat dilihat bahwa kelas yang terbentuk terdiri dari 3 kelas sesuai dengan *endmember* yang digunakan. Klasifikasi memberikan hasil yang lebih baik yaitu pada daerah tercemar (lingkaran merah) secara umum terklasifikasi sebagai kelas tercemar yaitu pasir dan *sludge*, sedangkan di luar daerah tercemar dominan terkelaskan sebagai vegetasi dan lahan terbuka tidak tercemar. Berdasarkan perhitungan akurasi menggunakan data pengecekan lapangan, diketahui bahwa hasil klasifikasi SAM menggunakan spektral referensi dari *endmember* citra memiliki tingkat akurasi 66,7%. Perhitungan akurasi dapat ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Klasifikasi dengan spektral referensi *endmember* citra memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan spektral dari spektrometer, hal ini dapat terjadi karena telah digunakannya kanal dengan panjang gelombang SWIR yaitu kanal 6 dan kanal 7 pada Landsat 8. Pada Gambar 3-6 dapat dilihat perbandingan hasil klasifikasi SAM menggunakan spektral referensi *endmember* ketika menggunakan kanal SWIR dan tidak menggunakan kanal SWIR. Ketika menggunakan kanal SWIR dapat dilihat bahwa obyek tercemar (pasir *sludge*) dominan terdapat pada daerah tercemar, sedangkan ketika tidak menggunakan kanal SWIR kelas pasir *sludge* masih banyak terlihat di luar daerah tercemar. Sehingga penggunaan kanal SWIR dalam klasifikasi lahan tercemar memberikan hasil yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa kanal SWIR cukup sensitif dalam mengelaskan lahan tercemar dan tidak tercemar.

Tabel 3-1: PERHITUNGAN AKURASI SAM DENGAN REFERENSI SPEKTROMETER

Overall Accuracy: 33.3333% from 36 observations

Kappa statistic: 0.085

	Vegetasi tercemar	Vegetasi tidak tercemar	Pasir Tercemar	Pasir Tidak Tercemar	Sludge
Vegetasi tercemar	6	12	2	1	0
Vegetasi tidak tercemar	0	0	0	0	0
Pasir Tercemar	5	1	6	1	2
Pasir Tidak Tercemar	0	0	0	0	0
Sludge	0	0	0	0	0

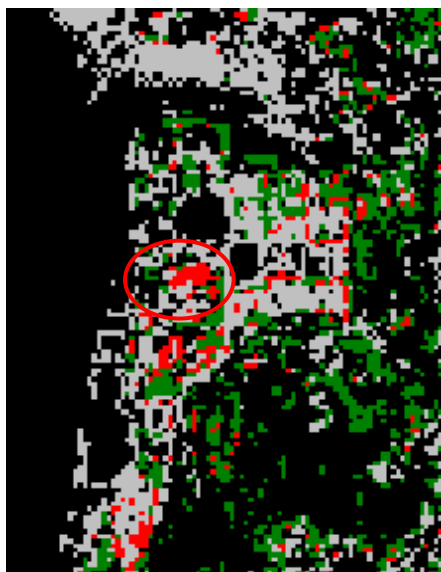
Tabel 3-2: PERHITUNGAN AKURASI SAM DENGAN REFERENSI *ENDMEMBER* LANDSAT

Overall Accuracy: 66.6667% from 36 observations

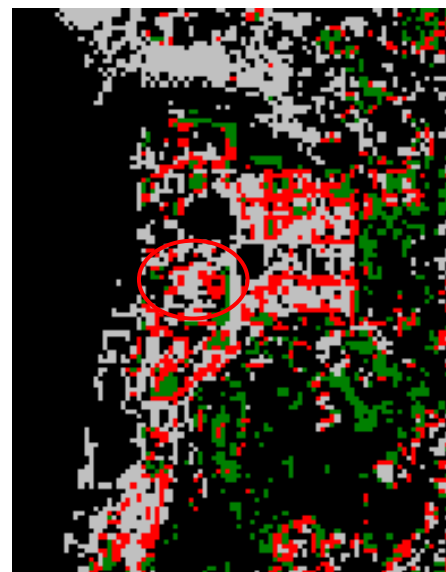
Kappa statistic: 0.502

Classified File\Reference File

	Vegetasi	Lahan terbuka tidak tercemar	Pasir dan <i>sludge</i>
Vegetasi	10	0	0
Lahan terbuka tidak tercemar	2	2	9
Pasir dan <i>sludge</i>	1	0	12



(a)



(b)

Keterangan:

- Vegetasi
- Lahan terbuka tidak tercemar
- Pasir Sludge
- Daerah tercemar

Gambar 3-6: Perbandingan hasil klasifikasi SAM menggunakan kanal SWIR (a) dan tidak menggunakan kanal SWIR (b)

3.4 Perbandingan Klasifikasi *Spectral Angel Mapper (SAM)* dengan *Spectral Mixture Analysis (SMA)*

Penelitian yang telah dilakukan (Haryani et al, 2015) dengan menggunakan klasifikasi *Spectral Mixture Analysis (SMA)* dapat diuraikan sebagai berikut: bahwa klasifikasi SMA menggunakan spektral dari data pengukuran spektrometer di lapangan, menunjukkan bahwa untuk fraksi vegetasi masih sesuai dengan kondisi di lapangan, tetapi untuk fraksi pasir tercemar, pasir tidak tercemar dan fraksi *sludge*

terdapat perbedaan yaitu pasir tercemar dan *sludge* yang seharusnya bernilai tinggi di lokasi tercemar tetapi terlihat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kisaran panjang gelombang pada spektrometer menunjukkan kurang sensitif untuk pengukuran obyek terkena limbah *acid sludge*. Sedangkan hasil klasifikasi metode SMA menggunakan *endmember* dari citra ini menunjukkan hasil yang lebih baik yaitu pada daerah tercemar memiliki fraksi vegetasi rendah dan fraksi pasir *sludge* yang tinggi.

Secara ringkas perbandingan klasifikasi SAM dan SMA untuk daerah tercemar limbah

Klasifikasi SAM	Klasifikasi SMA
1. Menggunakan spektral referensi <i>endmember</i> citra landsat 8 (mempunyai panjang gelombang <i>Visible, Near Infrared</i> dan <i>SWIR</i>)	
<ul style="list-style-type: none"> - dapat mengelaskan obyek tercemar pasir dan <i>sludge</i> - dapat mengelaskan obyek tidak tercemar vegetasi dan lahan terbuka - tingkat akurasi sebesar 66,7 % 	<ul style="list-style-type: none"> - mengelaskan vegetasi, lahan terbuka tidak tercemar dan <i>sludge</i> - tidak dapat membedakan vegetasi tercemar, pasir tercemar dan pasir tidak tercemar, yang seharusnya terlihat spektralnya tinggi, disini terlihat rendah - tingkat akurasi sebesar 62,5 %
2. Menggunakan spektral referensi pengukuran spektrometer di lapangan (panjang gelombang <i>visible</i> dan <i>near infrared</i>), tidak menggunakan panjang gelombang <i>SWIR</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - mengelaskan vegetasi tercemar dan pasir tercemar - tidak dapat membedakan pasir tercemar dan pasir tidak tercemar - tingkat akurasi sebesar 33,3 % 	<ul style="list-style-type: none"> - mengelaskan vegetasi tercemar dan vegetasi tidak tercemar - kelas pasir tercemar dan pasir tidak tercemar, serta <i>sludge</i> yang harusnya spektralnya tinggi tetapi terlihat rendah
3. Keunggulan	
<ul style="list-style-type: none"> - tidak dipengaruhi faktor pencahayaan matahari, karena sudut antara vektor tidak tergantung pada panjang vector - metode mudah dan cepat untuk pemetaan kesamaan spektrum citra dengan spektrum referensi - tidak perlu asumsi pada distribusi statistik data masukan dalam melakukan klasifikasi (Petropoulos dkk., 2010). 	<ul style="list-style-type: none"> - memberikan informasi tutupan lahan hingga tingkat subpiksel secara kuantitatif sehingga dapat memecahkan permasalahan keberadaan piksel campuran atau satu piksel dimungkinkan terdapat lebih dari satu obyek (Pascari dkk, 2013).

Perhitungan akurasi dilakukan terhadap citra hasil klasifikasi daerah tercemar dan tidak tercemar berdasarkan metode SMA dengan acuan hasil survey lapangan. Perhitungan akurasi dihitung berdasarkan *confusion matrix* yaitu *matrix* berukuran $n \times n$ yang berisi informasi tentang klasifikasi aktual dan klasifikasi prediksi yang diperoleh dari suatu sistem klasifikasi, dimana n adalah jumlah kelas yang berbeda (Visa *et al*, 2011). Hasil yang diperoleh tingkat akurasi pengkelasan berdasarkan indeks ini sebesar 62,5%, meskipun hasil akurasi belum cukup tinggi tetapi indeks ini sudah mampu mengklasifikasikan obyek tercemar dan tidak tercemar.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis spektral menggunakan metode *Spectral Angel Mapper* (SAM) dengan spektral referensi berdasarkan *endmember* citra menunjukkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan spektral referensi berdasarkan pengukuran spektrometer di lapangan. Tingkat akurasi klasifikasi SAM dengan spektral referensi berdasarkan *endmember* citra landsat adalah sebesar 66,7%, sedangkan dengan menggunakan referensi pengukuran spektrometer di lapangan hanya mencapai 33,3%. Faktor yang mempengaruhi rendahnya akurasi adalah perbedaan yang signifikan antara profil spektral yang

diperoleh dari spektrometer dengan spektral Landsat-8 akibat perbedaan spasial dan ketinggian. Sedangkan analisis spektral menggunakan metode *Spectral Mixture Analysis* (SMA) dengan spektral referensi berdasarkan *endmember* citra menggunakan citra Landsat 8 yang mempunyai kisaran panjang gelombang *Visible, Near Infrared*, dan *SWIR* memberikan hasil yang lebih sesuai dengan kondisi di lapangan.

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai deteksi daerah tercemar lumpur asam disarankan untuk menggunakan data penginderaan jauh resolusi spektral dan spasial yang tinggi sehingga diharapkan dapat memberikan hasil klasifikasi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada LAPAN yang telah memberikan biaya dalam pelaksanaan penelitian ini hingga selesai. Penelitian ini merupakan salah satu hasil penelitian di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh- LAPAN.

DAFTAR RUJUKAN

- Adams, J. B., & Gillespie, A. R., 2006. *Remote Sensing of Landscapes with Spectral Images: A Physical Modeling Approach*, Cambridge, UK: Cambridge University Press 362 pp.
- Boardman, J., 1993. *Automatic Spectral Unmixing of AVIRIS Data Using Convex Geometry Concepts*, In: Annual JPL Airborne Geosciences Workshop, 4, Pasadena, CA. *Summaries, JPL Publication*, pp.93-26.
- Haryani, N.S., S. Sulma, and J.M. Pasaribu, 2013. *Detection of Acid Sludge Contaminated Area Based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Value*, Proceeding of The 34th ACRS (Asean Conference on Remote Sensing), Bridging Sustainable Asia, 20-24 Oktober 2013, Bali.
- Haryani, N.S., S. Sulma, J.M. Pasaribu, dan H.L. Fitriana, 2015. *Karakteristik Pola Spektral pada Daerah Tercemar Limbah B3*, Prosiding PIT MAPIN 2015. Bogor.
- Haryani, N.S., S. Sulma, J.M. Pasaribu, dan H.L. Fitriana, 2015. *Klasifikasi Daerah Tercemar Limbah Acid Sludge Menggunakan Metode Spectral Mixture Analysis Berbasis Data Landsat 8*. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan data Citra Digital*, Vol.12, No.1, Juni 2015, pp. 13-28.
- Johnson, R.W. and Tothill, J.C., 1985. *Definition and Broad Geographic Outline of Savanna Lands, in Ecology and Management of the World's Savannas*, Edited by J.C. Tothill, J.J.Mott, Australian Academia of Science, Canberra.
- Kruse, F.A., 1993. *The Effects of AVIRIS Atmosfer Calibration Methodology on Identification and Quantitative Mapping of Surface Mineralogy*, Drums Mountains, Utah, in *Summaries of the Fourth Airborne Geoscience Workshop*, pp.101-104.
- Mumby, P.J., and C.D. Clark, 2000. *Radiometric Correction of Satellite and Airborne Images*, In: Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J. and Clark, C.D. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris, 109 –120.
- Pertamina, 2011. *Laporan progres tindak lanjut pengelolaan acid sludge*, Pertamina Refinery Unit V, Balikpapan.
- Pertamina, 2012. *Laporan progress pemulihan lahan terkontaminasi acid sludge di Main Flare*, Pertamina Refinery Unit V, Balikpapan.
- Petropoulos, G. P., K. P. Vadrevu, G. Xanthopoulos, G. Karantounias, and M. Scholze, 2010. *A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping*, *Sensors* (Basel, Switzerland), 10(3), 1967–1985. doi:10.3390/s100301967.
- Sulma, S., J.M. Pasaribu, dan N.S. Haryani, 2014. *Deteksi Daerah Tercemar Lumpur Asam Menggunakan data Landsat 7 ETM Berdasarkan Suhu Permukaan Tanah*, *Jurnal Penginderaan Jauh dan*

- Pengolahan data Citra Digital, Vol.11, No.2, pp. 76-87.
- USGS, 2015. *Using the USGS Landsat 8 Product*, http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. [Akses Februari 2015]
- Visa, S., B. Ramsay, A. Ralescu, and E. VanDerKnaap, 2011. *Confusion Matrix-Based Feature Selection*. Proceedings of The 22nd Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference, pp. 120-127.