

METODE UNTUK DETEKSI KAWASAN YANG TERDAMPAK LIMBAH B3 BERBASIS DATA PENGINDERAAN JAUH

Nanik Suryo Haryani, Sayidah Sulma, Junita Monika Pasaribu, Hidayat

Abstract

Hazardous waste from industrial and mining activity which was discarded without any treatment has led to environmental pollution. The area which has affected by hazardous waste can detected by using remote sensing data. Several method for hazardous waste detection using remote sensing data has been analyzed based on spectral and thermal value. Spectral analysis is performed by using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) method and Red Edge Method, while thermal analysis is performed by using Land Surface Temperature method. Vegetation index using the NDVI method was applied to Landsat 7 ETM+, where the index was derived from the ratio of vegetation reflectance between red band and near infrared (NIR) band. Land Surface Temperature (LST) method was applied to Landsat 7 ETM+ thermal band, while the red edge method was applied also to Landsat 7 ETM+ data for visible and NIR band. The Red Edge phenomenon is characterized by the shifting of wavelength bands in red and NIR bands on the wave range of 680-760 nm.

Key word: Landsat, Hazardous waste, NDVI, LST, Red Edge

Abstrak

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang berasal dari aktivitas industri maupun pertambangan yang dibuang tanpa adanya pengelolaan terlebih dahulu, telah menyebabkan pencemaran lingkungan. Kawasan yang terdampak limbah B3 dapat dideteksi dengan menggunakan data penginderaan jauh. Beberapa metode untuk deteksi limbah B3 berbasis menggunakan data penginderaan jauh dianalisis berdasarkan spektral dan *thermal*. Analisis spektral dilakukan dengan menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan metode *red edge*, sedangkan analisis thermal dilakukan dengan menggunakan metode *Land Surface Temperatur* (LST). Indeks vegetasi dengan menggunakan metode NDVI yang diaplikasikan pada data Landsat 7 ETM+, diperoleh dari rasio reflektansi vegetasi antara kanal merah dan kanal inframerah dekat (NIR). Metode *Land Surface Temperatur* (LST) diaplikasikan pada kanal *thermal*, sedangkan metode *red edge* dengan menggunakan data Landsat 7 ETM+ untuk kanal *visible* dan NIR. Fenomena *red edged* ditandai dengan bergesernya nilai panjang gelombang *band red* dan *band NIR* pada kisaran gelombang 680 – 760 nm.

Kata kunci : landsat, limbah B3, NDVI, LST, *Red Edge*.

1. PENDAHULUAN

Limbah merupakan bahan buangan yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi yang berasal dari industri, pertambangan maupun domestik atau rumah tangga. Berdasarkan jenis bahan buangan atau limbahnya, apabila setiap materi yang karena konsentrasi dan atau sifat dan atau jumlahnya mengandung bahan berbahaya dan beracun dan membahayakan manusia, mahluk hidup dan lingkungan disebut limbah B3.

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan kesehatan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain (PP No 18 Tahun 1999). Kegiatan deteksi kawasan yang terdampak limbah B3 sangat penting dilakukan untukantisipasi dan penanganan dini agar dampak limbah B3 tersebut tidak meluas dan membahayakan lingkungan yang ada di sekitarnya.

Permasalahan limbah B3 dalam konteks lingkungan hidup di Indonesia menjadi fokus permasalahan lingkungan saat ini. Berbagai aktivitas industri maupun pertambangan telah menimbulkan kawasan yang terdampak oleh limbah B3. Kejadian tersebut salah satunya disebabkan oleh pembuangan limbah B3 ke lingkungan sekitarnya, walaupun sesungguhnya Peraturan Perundangan telah mengatur larangan membuang limbah B3 ke lingkungan. Beban biaya yang tinggi untuk mengelola limbah B3 sering menjadi alasan membuang limbah B3 ke lingkungan tanpa dilakukan pengolahan limbah terlebih dahulu.

Kawasan yang terdampak limbah B3 biasanya dilakukan dengan analisis lapangan daerah tercemar dan analisis laboratorium memerlukan waktu dan biaya yang relatif mahal. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan untuk mendeteksi kawasan terdampak limbah B3 tersebut dengan cara tidak menyentuh objek yang di analisis. Teknologi ini disebut sebagai teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Keunggulan teknologi *remote sensing* adalah cakupan yang luas, *real time (up to date)*, historikal data yang baik, dan memiliki karakteristik spektral yang memungkinkan untuk mendeteksi kawasan terdampak limbah B3.

Penelitian ini bertujuan menganalisis beberapa metode yang digunakan untuk deteksi kawasan terdampak limbah B3 berbasis data penginderaan jauh satelit. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dari metode NDVI, LST dan *red edge* menunjukkan bahwa data penginderaan jauh satelit terutama dengan kanal merah, kanal inframerah dekat, serta kanal thermal mampu mendeteksi kawasan yang terdampak limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di suatu wilayah.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Data yang digunakan dalam mendeteksi adanya kawasan yang terdampak oleh limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dalam penelitian ini adalah data Landsat dari tahun 1995 – 2012, dengan path/row 116/061, dan lokasi penelitian di Balikpapan – Kalimantan Timur.

2.2 Metode

Metode yang digunakan untuk mendeteksi adanya kawasan yang terdampak oleh limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), antara lain: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperatur* (LST), dan *red edge*.

- a. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dimana nilai index NDVI ini mempunyai rentang dari -1.0 (minus 1) hingga 1.0 (positif 1). Nilai yang mewakili vegetasi berada pada rentang 0.1 hingga 0.7, diatas nilai ini menggambarkan tingkat kesehatan tutupan vegetasi. Data satelit yang dapat digunakan dalam formulasi ini, menggunakan data Landsat TM/ETM : band 3 (0.63-0.69 μm) dan band 4 (0.76-0.90 μm)
- b. *Land Surface Temperature* (LST), dimana dalam hal ini dilakukan pengamatan kondisi suhu permukaan lahan berdasarkan data Landsat 7 ETM+ multi temporal. Tahapan meliputi pengumpulan data, penyusunan algoritma LST data Landsat 7 ETM+ dari perbandingan dengan LST data Terra-MODIS kemudian dilakukan perhitungan statistik untuk mendapatkan korelasi antara LST MODIS dan rata-rata nilai Tb Landsat yang telah diekstraksi. Persamaan regresi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung LST dari Landsat. Selanjutnya dilakukan perhitungan LST Landsat 7 ETM+ multitemporal dan pemantauan LST pada daerah tercemar.
- c. *Red Edge*, metode ini dilakukan dengan langkah-langkah, antara lain: koreksi data Landsat untuk setiap tanggal data, setelah itu masukkan formula dengan rumus $\Delta R/\Delta \lambda$, selanjutnya lakukan ekstraksi reflektansi dan ekstraksi panjang gelombang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

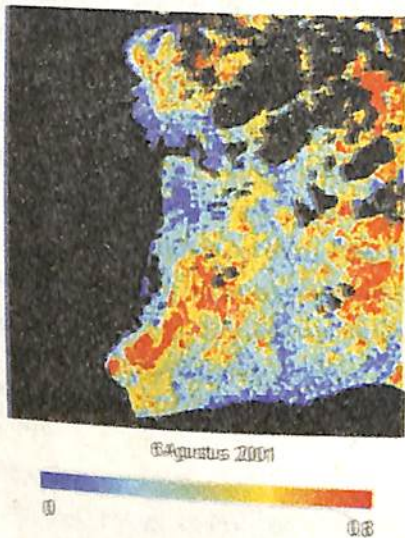
Metode yang digunakan untuk mendeteksi adanya kawasan yang terdampak oleh limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yaitu perbandingan antara spektral *Near Infra Red* (NIR) dikurangi *Red* (R) dibagi dengan jumlah spektral *Near Infra Red* (NIR) dan *Red* (R). *Band* spektral yang diproses memiliki data reflektan dan dari nilai ini dihitung NDVI. Rasio indeks ini bergantung pada perubahan reflektansi vegetasi antara panjang gelombang spektrum elektromagnetik merah dan

inframerah dekat. Perhitungan NDVI yang digunakan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

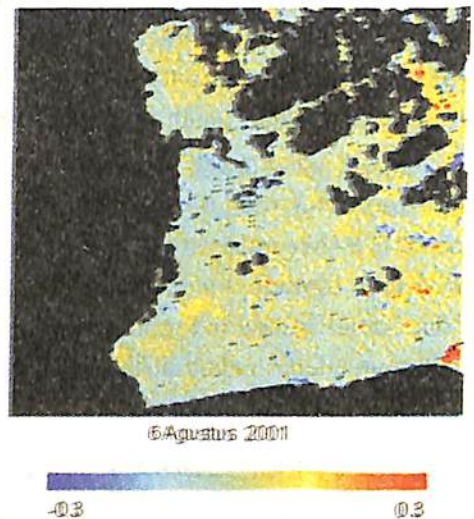
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana NIR adalah nilai reflektan kanal inframerah dekat (*Band 4*) dan Red adalah nilai reflektan kanal merah (*Band 3*). Reflektan kanal merah akan berkurang dengan meningkatnya penyerapan klorofil, dimana reflektan kanal inframerah dekat bergantung pada struktur daun dan akan meningkat dengan meningkatnya biomasa tanaman hijau, jadi NDVI sangat sensitif terhadap jenis, densitas dan kondisi tutupan vegetasi. Nilai NDVI yang tinggi dapat menunjukkan kesehatan atau ketebalan daun dan rendahnya nilai NDVI menunjukkan stres vegetasi dan vegetasi yang jarang. Untuk menghitung nilai NDVI pada semua musim dicari nilai rata-rata NDVI pada musim kering dan musim basah. Hasil perhitungan rata-rata NDVI setiap musim, selanjutnya dihitung anomali NDVI. Nilai NDVI dan anomali NDVI kemudian dibandingkan dengan proses pemulihan lahan yang telah dilakukan di kawasan yang terdampak limbah B3 tersebut.

Sebagai contoh hasil pengolahan NDVI melalui citra Landsat tanggal 6 Agustus 2001 seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. NDVI dari citra landsat



Gambar 2. Anomali NDVI dari citra landsat

Pada Gambar 1 yang merupakan hasil pengolahan dari citra landsat tanggal 6 Agustus 2001 dapat dilihat bahwa nilai NDVI (*Normalize Defference Vegetation Index*) berkisar antara 0 hingga 0,8 dimana lingkaran merah menunjukkan lokasi daerah penelitian *acid sludge* di Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur (Haryani, et.al, 2013). Hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada lokasi yang terdampak limbah B3, menggunakan data Landsat dari

tahun 1997 - 2012 pada musim penghujan (musim basah), sedangkan pengolahan data pada musim kemarau (musim kering) dari tahun 1995 - 2007. Hasil pengolahan NDVI pada musim kering berkisar antara -0,15 hingga 0,39, sedangkan hasil pengolahan NDVI pada musim basah berkisar antara -0,05 hingga 0,35. Hasil pengolahan nilai NDVI rendah, hal ini menunjukkan adanya *stress* vegetasi dan vegetasi yang jarang.

Hasil pengolahan data untuk anomali NDVI dihitung berdasarkan perhitungan nilai NDVI dikurangi dengan mean NDVI (Gambar 2). Hasil pengolahan data untuk anomali NDVI yang telah dilakukan pada lokasi yang terdampak limbah B3, untuk data pada musim penghujan (musim basah) berkisar antara -0,20 hingga 0,19, sedangkan hasil pengolahan anomali NDVI pada musim kering berkisar antara -0,12 hingga 0,13. Nilai anomali NDVI positif menunjukkan adanya aktivitas vegetasi yang tinggi, sebaliknya nilai anomali NDVI negatif menunjukkan adanya aktivitas vegetasi yang rendah.

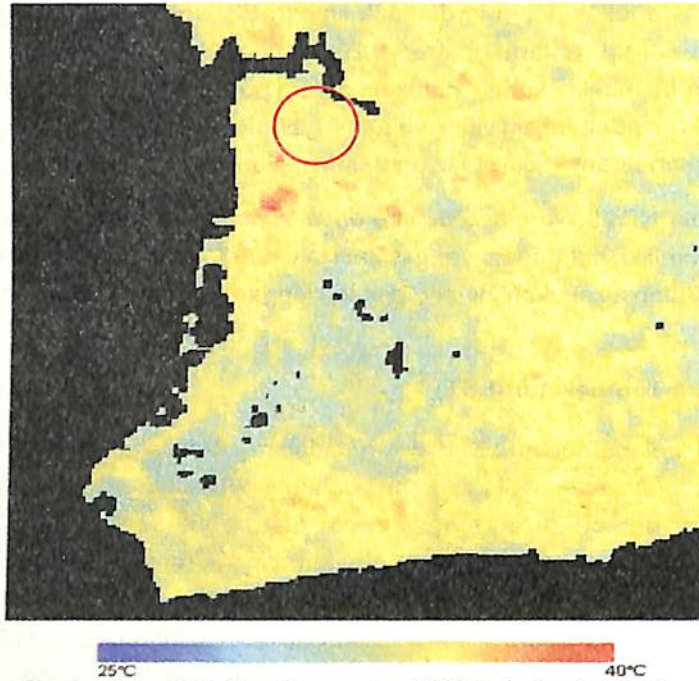
Secara umum pola NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan anomali NDVI pada musim kering memiliki hubungan yang signifikan dengan pemulihan lahan terkontaminasi limbah B3 yang telah dilakukan dibandingkan dengan pola NDVI dan anomali NDVI pada musim basah.

3.2 Land Surface Temperatur (LST)

Aplikasi panjang gelombang *thermal infrared* dalam citra satelit penginderaan jauh dapat digunakan untuk pemantauan lingkungan, dalam aplikasinya untuk penelitian limbah B3, dimana perbedaan temperatur merupakan ciri atau tanda yang penting untuk penentuan karakteristik permukaan dari obyek. Pemanfaatan band inframerah termal untuk pemantauan daerah terdampak limbah B3 juga telah dilakukan pada beberapa penelitian. Faisal *et al* (2012) melakukan kajian untuk pemantauan lokasi pembuangan limbah atau Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di beberapa TPA di antaranya di Canada dan Kuwait. Penelitian yang dilakukan dengan cara pemantauan *Land Surface Temperature* (LST) atau suhu permukaan tanah menggunakan data Landsat Multi Temporal. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa LST di lokasi penimbunan limbah memiliki nilai yang lebih tinggi rata-rata 10° C dibandingkan lingkungan sekitarnya. Hasil penelitian ini juga ditemukan beberapa daerah yang dicurigai menjadi tempat pembuangan limbah.

Jauh sebelum penelitian di atas, potensi pemanfaatan panjang gelombang inframerah termal jauh juga telah dikaji oleh banyak peneliti diantaranya Mansor *et al* (1994) untuk memantau pembakaran batubara di bawah permukaan tanah. Pada penelitiannya menggunakan data multispektral NOAA 9-AVHRR dan data Landsat 5-TM untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci. Hasil penelitian ini menunjukkan daerah dengan anomali *Brightness Temperature* yang tinggi diduga sebagai daerah terjadinya pembakaran batubara. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa *band thermal* baik dari sensor AVHRR maupun TM dapat digunakan untuk mendeteksi sumber suhu tinggi akibat pembakaran batubara di bawah permukaan tanah.

Hasil penelitian yang telah dilakukan LAPAN tahun 2013 menunjukkan kemampuan panjang gelombang inframerah termal dalam mendeteksi limbah akibat pencemaran limbah *acid sludge*. Pada penelitian tersebut digunakan citra Landsat 7-ETM multitemporal untuk memantau daerah yang terkena limbah, dan selanjutnya dibandingkan dengan lingkungan yang ada di sekitarnya. Pada Gambar 3 memperlihatkan contoh hasil pengolahan *Land Surface Temperature*, dimana pada daerah tercemar limbah pada lingkaran merah mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan lingkungan yang berada di sekitarnya.



Gambar 3. Land Surface Temperatur (LST) dari citra Landsat

3.3 Red Edge

Red Edge (λ_{re}) didefinisikan sebagai selang/daerah dengan peningkatan tajam nilai reflektansi antara panjang gelombang 680-760 nm, yang dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi klorofil sebagai ukuran kondisi tanaman. *Red edge* dalam pengolahan data pada landsat 5, reflaktan ΔR menggunakan band 4 (*near infrared*) dan band 3 (*infrared*), sedangkan panjang gelombang $\Delta \lambda$ menggunakan selisih panjang gelombang antara 680 – 760 nm, dengan menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\lambda_{re} = \frac{\Delta R}{\Delta \lambda} \dots \dots \dots \text{Guyot et. al, 1992}$$

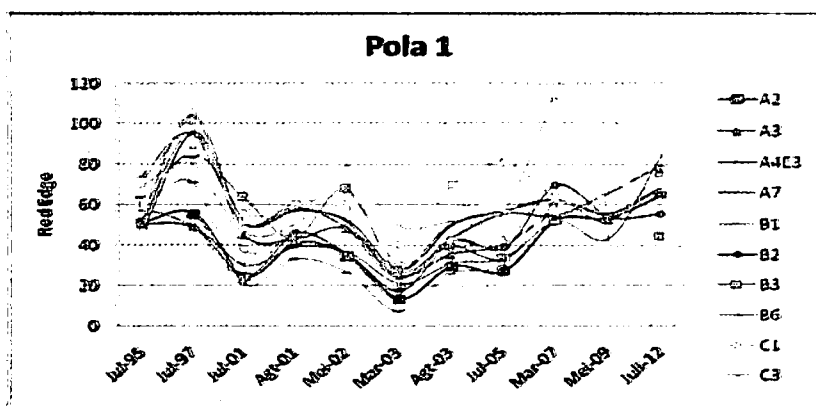
- dimana:
- λ_{re} = Red Edge
 - R = Reflektan
 - λ = Panjang Gelombang

Konsep dasar yang telah dikembangkan dalam analisis spektral vegetasi menjadi *Red Edge*, dimana untuk analisis spektral vegetasi tersebut biasanya menggunakan panjang gelombang yang berada pada nilai reflektan 720 nm. Panjang gelombang tersebut diwakili dengan kenaikan tajam pada nilai reflektan dari vegetasi antara 680 – 760 nm. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gates *et. al.*, dan Guyot *et al.* mengemukakan bahwa semua vegetasi hijau menunjukkan pola reflektansi spektral yang serupa pada nilai reflektansi kanal *visible* dan kanal *infrared*. Pola reflektansi *bimodal* disebabkan oleh penyerapan klorofil pada panjang gelombang biru sebesar 450 nm dan panjang gelombang merah sebesar 680 nm, reflektansi klorofil pada panjang gelombang hijau menyebabkan puncak panjang gelombang sekitar 550 nm. Puncak reflektansi terbesar kedua adalah pada nilai reflektan 780 nm yang disebabkan struktur daun yang memiliki jumlah energi yang signifikan pada kanal *near infrared*.

Menurut Horler *et al.*, mendefinisikan *Red Edge* (λ_{re}) sebagai panjang gelombang maksimum ($\Delta R/\Delta \lambda$), dimana R adalah reflektan dan λ adalah panjang gelombang tertentu. Guyot *et al.*, juga mendefinisikan *Red Edge* sebagai infleksi/perubahan dalam peningkatan secara tajam antara panjang gelombang 670 dan 760 nm. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Collins *et al.* mengamati pergeseran panjang gelombang biru pada pohon *conifer* yang dipengaruhi oleh logam sulfida pada panjang gelombang antara 700 – 780 nm. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Horler menemukan pergeseran panjang gelombang biru pada pohon yang disebabkan oleh konsentrasi logam sulfida dalam tanah. Lebih lanjut penelitian yang dilakukan oleh Rock *et al.*, menunjukkan pergeseran panjang gelombang biru sebesar 5 nm pada pohon cemara dan pohon *fir* di daerah *Vermont* dan *Germani* sebagai hasil dari kontaminasi asam. Penelitian yang dilakukan oleh Reusen (2003), melakukan pemetaan daerah yang terkontaminasi logam berat dengan mengamati *stres* vegetasi dengan menggunakan sensor *hyperspectral* CASI dengan cara menghitung nilai indeks vegetasi *Edge Green First Derivative Normalized Difference* (EGFN). Deteksi kontaminasi limbah B3 diamati dengan menggunakan *band thermal* dari citra *hyperspectral*.

Vern Singroy (1996), penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan teknik penginderaan jauh untuk pemantauan limbah B3 dan untuk membedakan karakteristik *landfill* dan limbah dikawasan pertambangan. Data penginderaan jauh yang digunakan adalah citra multispektral CASI dan Landsat TM. Penelitian ini mengamati fenomena *Red Edge* yang disebabkan oleh perubahan tingkat kehijauan vegetasi akibat kontaminasi limbah B3 yang menyebabkan berkurangnya tingkat klorofil atau *chlorosis/chlorophyll loss*. Fenomena berkurangnya klorofil pada tanaman ditandai dengan bergesernya nilai panjang gelombang *band red* dan *band Near Infrared* (NIR) pada kisaran gelombang 0.68 – 0.75 nm. Penelitian ini juga mengamati perbedaan temperatur daerah yang tercemar limbah B3 dan tidak tercemar. Hal ini dapat diamati dengan menggunakan *band thermal* citra Landsat. Citra *infrared thermal* digunakan untuk deteksi material dimana dekomposisi yang terjadi menghasilkan temperatur yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya.

Hasil penelitian yang telah dilakukan Haryani dkk. (2014), dimana penggunaan metode *Red Edge* untuk data resolusi spektral rendah hingga menengah seperti Landsat masih sulit diterapkan. Pergeseran nilai spektral dengan metode *red edge* menggunakan data Landsat belum dapat dibedakan secara jelas pergeseran spektralnya. Pada Gambar 4, merupakan contoh hasil pengolahan citra landsat tahun 1995 - 2012 menggunakan metode *red edge*. Hasil pengolahan menggunakan metode *red edge* ini hasilnya berfluktuasi dengan nilai *red edge* berkisar antara 10 sampai dengan 110. Nilai *red edge* tinggi mencapai nilai lebih besar dari 100, dicapai pada tahun 1997, tahun 2007 dan tahun 2012. Nilai *red edge* tinggi menunjukkan bahwa lokasi tersebut masih adanya kontaminasi logam berat atau limbah B3.



Gambar 4. *Red Edge* dari citra landsat

Berdasarkan ketiga metode deteksi yang telah disampaikan pada bab sebelumnya bahwa pada dasarnya data penginderaan jauh dapat digunakan untuk mendeteksi adanya pencemaran limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), dengan menggunakan analisis spektral dan analisis *thermal*. Analisis spektral dengan menggunakan *band* merah dan infra merah, sedangkan analisis *thermal* menggunakan perbedaan suhu pada permukaan tanah yang disebut *Land Surface Temperatur* (LST).

Torrence Slonecker (2010), penelitian mengenai masalah lingkungan menggunakan data penginderaan jauh untuk mendeteksi limbah B3 dengan menggunakan metode *Normalize Defference Vegetation Index* (NDVI). Perhitungan NDVI menggunakan nilai reflektan *band near infrared* (Band 4) dan *band red* yang merupakan nilai reflektan *band merah* (Band 3).

Horler et al. (1983), mendefinisikan *Red Edge* (λ_{re}) sebagai panjang gelombang maksimum ($\Delta R/\Delta \lambda$), dimana R adalah reflektan dan λ adalah panjang gelombang tertentu, dimana panjang gelombang untuk deteksi logam berat menggunakan metode *Red Edge* menggunakan panjang gelombang antara 670 dan 760 nm.

Vern Singroy (1996), melakukan penelitian dengan memanfaatkan teknik penginderaan jauh untuk pemantauan limbah B3 untuk membedakan karakteristik *landfill* dan limbah di kawasan

pertambahan. Penelitian ini mengamati fenomena *Red Edge* yang disebabkan oleh perubahan tingkat kehijauan vegetasi akibat kontaminasi limbah B3 yang menyebabkan berkurangnya tingkat klorofil atau *chlorosis (chlorophyll loss)*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan beberapa metode yang telah disampaikan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Metode yang telah disampaikan bahwa dari ketiga metode deteksi limbah bahan berbahaya beracun (B3) dapat dideteksi melalui data penginderaan jauh dari resolusi menengah hingga tinggi, dengan pendekatan analisis spektral dan analisis thermal.
- b. Metode NDVI (*Normalize Defference Vegetation Index*) yang menggunakan data musim kemarau hasilnya menunjukkan hubungan yang lebih signifikan dibandingkan penggunaan data pada musim basah (penghujan), dimana hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa setelah proses pemulihan lingkungan nilai NDVI semakin meningkat dan anomali NDVI menjadi positif.
- c. Metode Land Surface Temperatur (LST) dengan pendekatan thermal infrared dalam citra satelit penginderaan jauh baik digunakan untuk pemantauan lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian secara umum suhu di daerah tercemar cenderung lebih tinggi dibandingkan daerah tidak tercemar.
- d. Penggunaan metode *Red Edge* masih sulit diterapkan untuk deteksi daerah yang tercemar limbah B3 dengan menggunakan data resolusi spektral rendah hingga menengah seperti citra Landsat, karena kurang terlihat adanya pergeseran spektral sehingga akan berpengaruh terhadap perubahan nilai *red edge*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dr. Bidawi Hasyim, M.Si. dan Ir. Wawan K. Harsanugraha, M.Si., yang telah memberikan masukan dan koreksinya dalam paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bapedal, 1995. Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No.: KEP-04/BAPEDAL/09/1995 tentang Tata Cara Persyaratan Penimbunan, Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengelolaan dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Bapedal. Jakarta.
- Baret, F., dan Guyot, G., 1991. *Potentials and limits of vegetation indexes for LAI and APAR assessment*. Remote Sensing Environ 35: 161-173.
- Carlson, T. N., dan Ripley, D. A., 1997. *On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index*. Remote Sensing Environ. 62(3): 241-252.

- D'Emilio, M., Machianto, M., Ragosta, M., dan Simoniello, T., 2012. *A Method for the Integration of Satellite Vegetation Observations and Magnetic Susceptibility Measurements for Monitoring Heavy Metals in Soil*. *Journal of Hazardous Materials* 241-242 (2012) 118-126.
- Faisal, K., Al Ahmad, M., dan Shaker, A, 2012. *Remote Sensing Techniques as a Tool for Environmental Monitoring*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
- Guyot, G., Baret, F., dan Jacquemoud, S. 1992. Imaging Spectroscopy for vegetation studies. *In Imaging Spectroscopy*: Toselli, F., Bodechtel, J., Eds.; Kluwer Academic Publisher: Nowell, MA, USA, 1992; Volume 2, pp. 145-165.
- Haryani, N.S., Sulma, S., dan Pasaribu, J.M. 2013. *Detection of Acid Sludge Contaminated Area Based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Value*. *Proceeding ACRS (Asean Conference on Remote Sensing)*. 20-24 Oktober 2013. Bali.
- Horler, D.N.H., Barber, J., dan Barringer, A.R., 1980. *Effects of heavy metals on the absorbance and reflectance spectra of plants*. *Int. J. Remote Sensing* 1: 121 – 136.
- Horler, D.N.H., Dockray, M., dan Barber, J. 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sensing*. 4, 273-288.
- Mansor, S.B., Cracknell, A.P., Shilin, B.V., dan Gornyi, V.I., 1994. Monitoring of underground coal fires using thermal infrared data. *Int. J. Remote Sensing*, 15, 1675-1685.
- Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Lembaran Sekneg. Jakarta.
- Singhroy, V., dan Kuhn, F., 1996. *Remote Sensing for characterizing and Monitoring of Hazardous Waste Sites – Case Studies in Canada and Germany*. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol XXXI. Part B7. Vienna.
- Slonecker, T., Fisher, G. B., Aiello, D. P., dan Haack B., 2010. *Visible and Infrared Remote Imaging of Hazardous Waste : A Review*. *Remote Sensing*. 2010, 2, 2474-2508; doi : 10.3390/rs2112474
- Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), 2013. *Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Limbah B3*. Laporan Akhir Kegiatan Penelitian T.A. 2013. Jakarta.
- Wan, Z. 1997. *MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3*. Institute for Computational Earth System Science, University of California.

BIOGRAFI PENULIS

Dra. Nanik Suryo Haryani, M.Si



Email : nanik.suryo@lapan.go.id; naniksuryo@yahoo.com

Pendidikan:

- Magister Sains (M.Si.) pada program studi Ilmu Lingkungan, Program Paskasarjana Universitas Indonesia (UI), 1997
- Sarjana (Dra.) Jurusan Penginderaan Jauh (Remote Sensing), Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada (UGM). 1983.

Nanik Suryo Haryani telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 1992. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan (hutan dan perkebunan) dan potensinya terhadap kebencanaan (banjir, longsor, kekeringan, kebakaran hutan). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).

Sayidah Sulma, S.Pi, M.Si



Email : sayidah.sulma@lapan.go.id; sulma_sayidah@yahoo.co.id

Pendidikan:

- **Magister Sains (M.Si)** pada program studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. 2012
- **Sarjana Perikanan (S.Pi.)** pada program studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (IPB). 2000

Sayidah Sulma telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2003. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk analisis sumberdaya pesisir dan laut, mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan dan potensinya terhadap kebencanaan, dan analisis pencemaran lingkungan. Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).

Junita Monika Pasaribu, S.Si



Email : junita.monika@lapan.go.id

Pendidikan:

- Sarjana Sains (S.Si.) program studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB).

Junita Monika Pasaribu telah bekerja di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2011. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk bencana banjir, kekeringan dan penurunan muka tanah. Saat ini mengikuti kegiatan penelitian mengenai aplikasi penginderaan jauh untuk deteksi limbah B3.

Ir.Hidayat, MT.



Email : hidayat@lapan.go.id; hid_lpn06@yahoo.com

Pendidikan:

- Program Pasca Sarjana (S2) Jurusan Kimia, Universitas Indonesia, 1995
- Sarjana Teknik (S1.) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Univ. Muhammadiyah Jakarta), 1985,

Hidayat telah bekerja honorer di sejak 1972, dan diangkat CPNS tahun 1975 sebagai Teknisi Proyek TELSA LAPAN sampai Tahun 1985. Staf Peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 1985. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk pemanfaatan data satelit sumber daya alam lahan dan mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu serta interaksinya dan potensinya terhadap sumber daya alam lahan dan kebencanaan (pangan, banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).