

DETEKSI LIMBAH ACID SLUDGE MENGGUNAKAN METODE RED EDGE BERBASIS DATA PENGINDERAAN JAUH (DETECTION OF ACID SLUDGE WASTE USING RED EDGE METHOD BASED ON REMOTE SENSING DATA)

Nanik Suryo Haryani¹, Hidayat, Sayidah Sulma, Junita Monika Pasaribu

Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

¹e-mail: naniksuryo@yahoo.com

Diterima 18 Februari 2014; Disetujui 11 Agustus 2014

ABSTRACT

In line with the growing industry and population, the contamination of hazardous and toxic waste material increased. The increases is triggered by inappropriate handling of household and industry sector. The monitoring or detection of contaminated area or zone is very crucial to identify the areas of dispersion of the hazardous waste material. Remote sensing is one of applicable tool for detecting purposes. Several research has utilized remote sensing data to detect the contaminated areas by vegetation index, surface temperature as well as other indexes. This research proposes the red edge method from Landsat TM data to detect the hazardous waste material contamination in Pertamina RU-V Balikpapan. Based on the executed review, it is acknowledged that red edge method has a potential to detect the existence of hazardous and toxic waste, in the case where the acid sludge waste detection is correlated with the land rehabilitation such as neutralization, bioremediation, solidification and non activation of acid sludge in the contaminated area which can be observed from its spectral displacement. The detection is related to bioremediation implementation and the inactivation of acid sludge in contaminated area. Based on the executed review, the red edge method is potentially applicable for this activity. The result of the research in the bioremediation treatment and inactivation blocks shows that red edge pattern has followed the pattern of treatment by PT Pertamina RU-V Balikpapan. Based on the obtained red edge pattern, this research concluded that the monitoring of condition of hazardous waste could be implemented to identify whether this hazardous waste has been treated or not.

Keywords: *Hazardous waste, Acid sludge, Red edge, Spectral, Infrared*

ABSTRAK

Seiring dengan penambahan penduduk dan industrialisasi, masalah pencemaran limbah berbahaya dan beracun (B3) semakin meningkat. Peningkatan didorong dengan penanganan tidak bijak baik dari sektor rumah tangga maupun industri. Pemantauan atau deteksi daerah atau zona yang terkena limbah adalah sangat krusial untuk mengetahui daerah mana saja yang masih terkontaminasi limbah B3. Penginderaan jauh merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk deteksi kegiatan tersebut. Beberapa penelitian telah memanfaatkan data penginderaan jauh untuk mendeteksi lokasi atau daerah terkontaminasi dengan beberapa indek vegetasi, suhu permukaan, maupun indek-indeks lainnya. Penelitian ini mengusulkan metode *red edge* dari data Landsat TM untuk mendeteksi pencemaran limbah B3 di Pertamina RU-V Balikpapan. Berdasarkan *review* yang dilakukan bahwa metode *red edge* potensial untuk mendeteksi limbah B3, dimana dalam hal ini deteksi limbah *acid sludge* dihubungkan dengan perlakuan pemulihan lahan seperti netralisasi,

bioremediasi, solidifikasi dan pematian *acid sludge* di daerah yang terkontaminasi dapat dilihat pergeseran spektralnya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa berdasarkan pola *red edge* yang dihasilkan, dapat dilakukan pemantauan kondisi limbah B3 yang sudah mengalami perlakuan atau belum.

Kata kunci: *Limbah B3, Acid Sludge, red edge, Spektral, Infra merah*

1 PENDAHULUAN

Acid sludge berupa limbah yang berbentuk lumpur padat sisa hasil pengolahan dari pabrik lilin yang merupakan hasil sampingan dari pengilangan minyak bumi. Limbah *acid sludge* ini mengandung logam berat yang berbahaya seperti Fe, Hg, Pb, Zn, Cu, dan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) yang dapat mencemari lingkungan. Limbah *acid sludge* ini termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

Permasalahan limbah B3 yang terjadi akhir-akhir ini banyak mengakibatkan terjadi pencemaran yang selanjutnya akan merusak lingkungan terutama lingkungan yang ada di sekitar pembuangan limbah B3 tersebut. Pembuangan limbah B3 tanpa adanya pengolahan limbah terlebih dahulu akan mengakibatkan pencemaran lingkungan, terutama wilayah daratan (tanah/lahan) dan wilayah perairan. Usaha pemulihan lahan atau tanah yang terkontaminasi limbah B3 dalam hal ini limbah *acid sludge* di lokasi penelitian yang telah dilakukan upaya pemulihan di tempat pembuangan limbah (*main flare*), antara lain berupa perlakuan: netralisasi, bioremediasi, solidifikasi, dan pematian pergerakan *acid sludge* (Pertamina, 2012).

Penelitian yang terdahulu telah melakukan pengkajian dampak limbah terhadap tumbuhan yang menyebabkan adanya *stress* pada tumbuhan (melalui pembuangan limbah asam daerah pertambangan), akan memberikan respon dengan adanya perubahan reflektansi spektral (Gates et al., 1965, Collins, 1978., Horler et al., 1980, Collins et al., 1993, Singhroy et al., 1986). Perubahan ini telah diamati pada

puncak reflektansi pada band hijau dengan panjang gelombang mendekati 0.57 μm , maksimum penyerapan klorofil mendekati 0.68 μm , nilai reflektansi *infrared* untuk *shoulder* dan *plateau* antara 0.75 dan 1.1 μm . Hasil dari *stress* tanaman adalah *chlorosis* (*chlorophyll loss*). Fenomena ini disebut juga sebagai "*red-edge shift*", perubahan dalam posisi pada panjang gelombang antara 0.68 μm dan 0.75 μm untuk spektrum tumbuhan hijau.

Kajian mengenai *stress* yang mengakibatkan perubahan *red-edge* terjadi terhadap gelombang panjang (*red*) dan gelombang pendek (*blue*) yang dikaitkan dengan perubahan konsentrasi klorofil dan parameter tanaman lainnya termasuk kanopi tanaman (Horler et al., 1983, Rock, 1988, Cloutis et al., 1989).

Torrence Slonecker (2010), menjelaskan beberapa penelitian mengenai masalah lingkungan yang mempengaruhi kehidupan ekologi dan manusia yang disebabkan oleh pembuangan limbah B3 dari pertanian, industri, militer dan aktivitas pertambangan. Limbah B3 ini berupa logam berat, hidrokarbon dan bahan kimia lainnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode NDVI, *Red-Edge Shift*, *Edge Green First Derivative Normalized Difference* (EGFN) index, dan *thermal detection*. Nilai NDVI diperoleh dari *band red* dan *band NIR* dengan menggunakan citra Landsat TM. Nilai *red edge* dihitung dengan menggunakan citra Landsat TM dengan mengamati pergeseran panjang gelombang pada *band visible* dan *band near infrared* (NIR) yang diakibatkan oleh kontaminasi limbah B3.

Ray *et al.* (1993), mendefinisikan *Red Edge* sebagai transisi nilai spektral pada panjang gelombang *red* dan *near infrared*. 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.*, mendefinisikan *Red Edge* sebagai infleksi/perubahan dalam peningkatan secara tajam antara panjang gelombang 670 dan 760 nm.

Collins *et al.* (1983) mengamati pergeseran panjang gelombang biru pada pohon conifer dipengaruhi oleh logam sulfida pada selang 700 – 780 nm. Horler menemukan pergeseran selang panjang gelombang biru pada pohon disebabkan oleh konsentrasi logam sulfida dalam tanah. Rock *et al.*, menunjukkan pergeseran selang panjang gelombang biru sebesar 5 nm pada pohon cemara dan pohon fir di daerah Vermont dan Jerman sebagai hasil dari kontaminasi asam. Reusen (2003), memetakan daerah terkontaminasi logam berat dengan mengamati *stres vegetasi* dengan menggunakan sensor *hyperspectral* CASI dengan menghitung nilai indeks vegetasi *Edge Green First Derivative Normalized Difference* (EGFN). Deteksi kontaminasi limbah B3 diamati dengan menggunakan *band thermal* dan citra *hyperspectral*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan para peneliti tersebut, maka deteksi limbah B3 dalam hal ini limbah *acid sludge* memungkinkan dapat dideteksi menggunakan citra landsat menggunakan metode *red edge*, dimana citra landsat tersebut mempunyai band *red* dan *near infrared*.

Penelitian deteksi kawasan yang tercemar limbah B3 sebagian besar dilakukan dengan analisis lapangan di daerah tercemar dan analisis laboratorium, analisis tersebut memerlukan waktu dan biaya yang cukup besar. Saat ini, dengan adanya perkembangan teknologi memungkinkan untuk mendeteksi kondisi kawasan

yang tercemar limbah B3 tersebut dengan cara tanpa menyentuh obyek yang akan dianalisis, teknologi tersebut dikenal sebagai teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Keunggulan teknologi penginderaan jauh mempunyai cakupan yang luas, *real time (up to date)*, *historical* data yang baik, dan memiliki karakteristik spektral yang memungkinkan untuk mendeteksi kondisi kawasan yang tercemar limbah B3. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa data penginderaan jauh terutama dengan kanal inframerah termal mempunyai kemampuan untuk mendeteksi daerah yang tercemar limbah B3. Tujuan penelitian ini melakukan deteksi daerah tercemar limbah B3 dalam hal ini *acid sludge* menggunakan metode *red edge* berbasis data penginderaan jauh

2 METODOLOGI

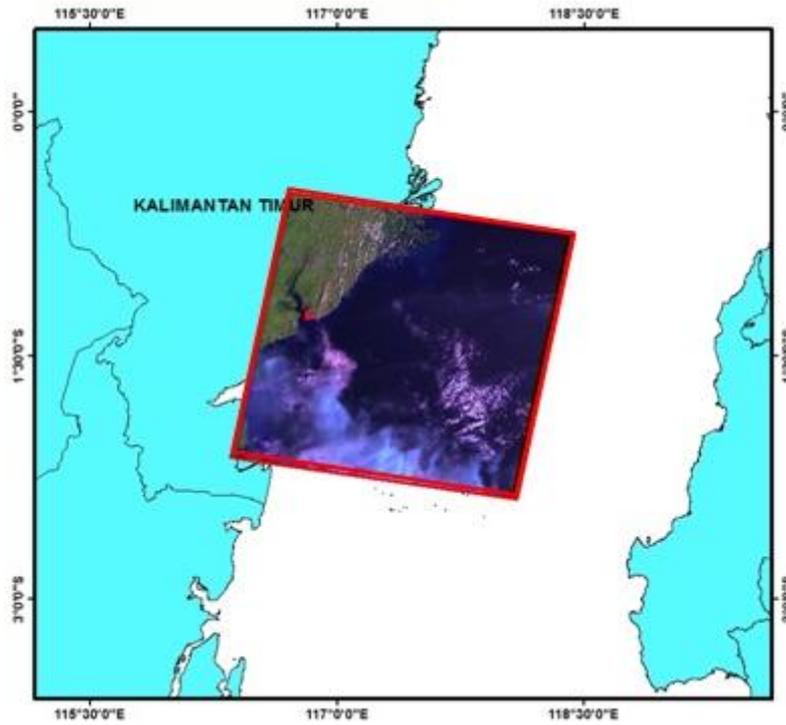
2.1 Lokasi dan Data

Lokasi penelitian dilakukan di *Main Flare* PT. Pertamina Refinery Unit-V yang berlokasi di Balikpapan, Kalimantan Timur. *Main flare* ini merupakan tempat pembuangan limbah *acid sludge* yang merupakan limbah lumpur padat yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3).

Adapun lokasi penelitian deteksi limbah *acid sludge* menggunakan metode *red edge* berbasis data penginderaan jauh, seperti pada Gambar 2-1.

Penelitian ini menggunakan data Landsat multi temporal yaitu data tahun 1995 hingga tahun 2012 yang seluruh datanya berjumlah 12 (dua belas) *scene* citra landsat, seperti pada Tabel 2-1.

Citra Landsat dengan path/row 116/061 (Wilayah Balikpapan) yang digunakan untuk penelitian deteksi limbah *acid sludge* menggunakan metode *red edge* berbasis data penginderaan jauh. Dimana pada Gambar 2-1 terdapat titik merah pada citra Landsat ini merupakan lokasi penelitian tempat pembuangan limbah *acid sludge* yang disebut *main flare*.



Gambar 2-1: Lokasi Penelitian di Balikpapan, Kalimantan Timur

Tabel 2-1: DATA LANDSAT YANG DIGUNAKAN UNTUK PENELITIAN

Tanggal	Path/Row	Lokasi
19 Desember 1995	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
30 Mei 1997	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
4 Juli 2001	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
5 Agustus 2001	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
20 Mei 2002	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
20 Maret, 2003	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
27 Agustus 2003	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
15 Juli 2005	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
17 September 2005	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
15 Maret 2007	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
7 Mei 2009	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur
3 Juli 2012	116/061	Balikpapan – Kalimantan Timur

2.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pengolahan data landsat, dimana langkah-langkah yang dilakukan menggunakan metode *red edge* dari citra landsat yang berbeda tanggal perekamannya (*multidate*) seperti diagram alir Gambar 2-2, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pengolahan awal citra satelit, meliputi koreksi data yang meliputi koreksi geometrik dan koreksi radiometrik. Setelah melakukan koreksi data selanjutnya dilakukan

normalisasi data yaitu dengan melakukan perhitungan persamaan untuk normalisasi data landsat *multidate*, tujuan koreksi data dan normalisasi data agar dapat mengurangi/menghilangkan kesalahan posisi dan perbedaan spektral obyek karena perbedaan waktu perekaman, sehingga diharapkan diperoleh hasil yang lebih akurat dan konsisten.

- b. Pengolahan lanjut dengan memasukkan formula *red edge* seperti pada formula (2-1), dimana nilai spektral yang digunakan adalah nilai

pada panjang gelombang *red* dan panjang gelombang *near infrared*, dimana *Red Edge* sebagai infleksi/ perubahan dalam peningkatan secara tajam antara panjang gelombang 670 dan 760 nm (Guyot *et al.*,1992).

- c. Selanjutnya hasil *red edge* diperoleh dari analisis multitemporal dan data base pencemaran *acid sludge* yang diperoleh dari PT. Pertamina RU-V Balikpapan serta data hasil survey lapangan.

Formula yang digunakan untuk perhitungan *Red Edge* adalah seperti pada formula berikut ini:

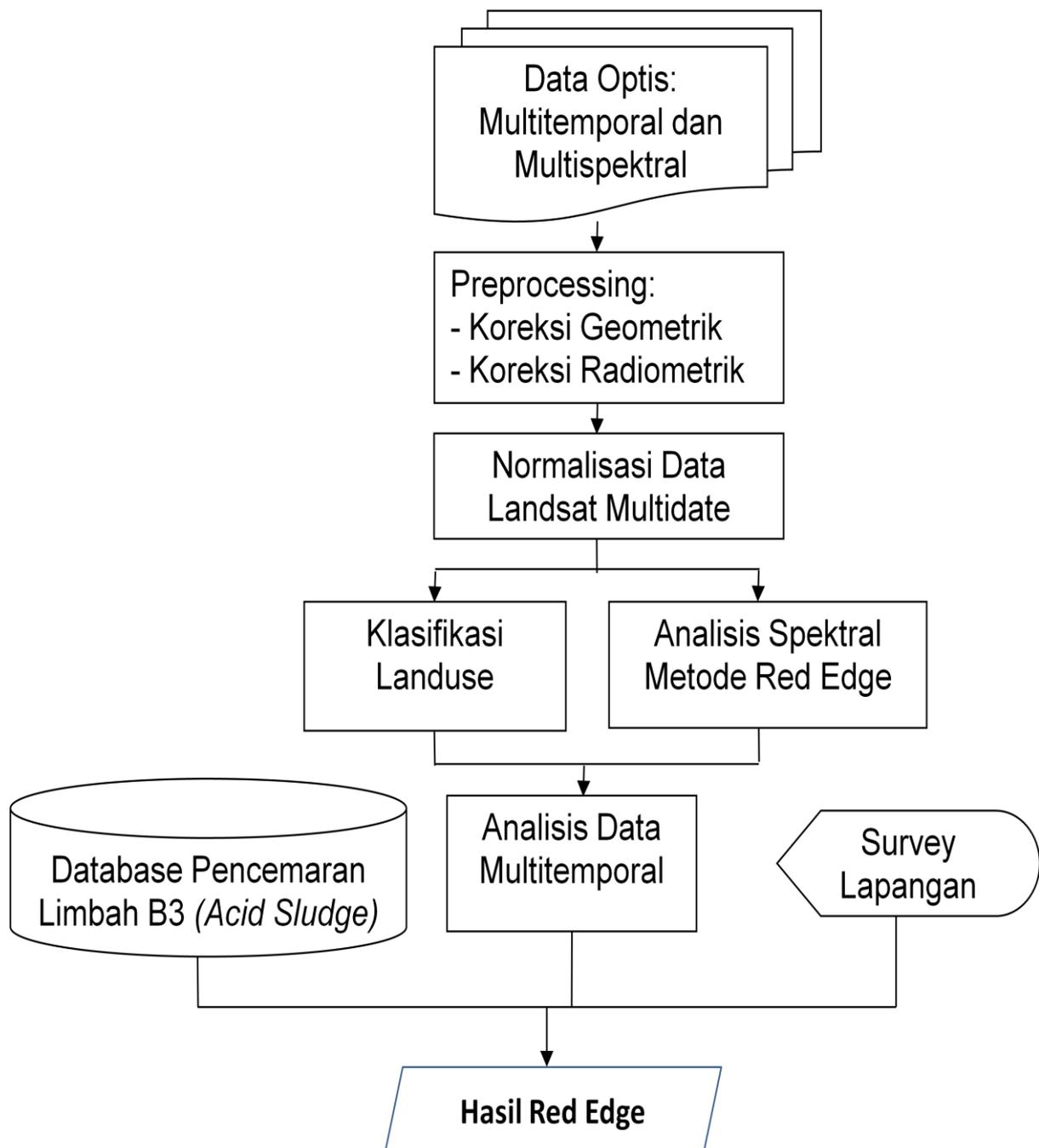
$$\lambda_{re} = \frac{\Delta R}{\Delta \lambda} \tag{2-1}$$

dimana:

λ_{re} = *Red Edge*

R = Reflektan (*Red* dan *Near Infrared*)

λ = Panjang Gelombang (670–760 nm)



Gambar 2-2: Diagram Alir Metode Penelitian

Pengolahan data untuk deteksi pencemaran *acid sludge* menggunakan data landsat multitemporal dari tahun 1995 sampai dengan tahun 2012. Pengolahan data untuk *red edge* pada Landsat 5 menggunakan *band red* dan *band near infrared*, dengan menggunakan formulasi perhitungan *Red Edge* seperti formula (2-1) tersebut di atas. Pengolahan data untuk perhitungan *red edge* disini dibedakan pengolahan data untuk musim kering (maret – Agustus) dan musim basah (September – Februari), hal ini dilakukan karena adanya perbedaan hasil pengolahan data pada kondisi lingkungan basah dan kondisi lingkungan kering pada lahan tercemar.

Titik lokasi pengamatan pencemaran *acid sludge* di lapangan berada pada 30 (tiga puluh) titik lokasi pengamatan. Hasil pengamatan di lapangan ternyata setelah dilakukan *plotting* titik tersebut hanya berjumlah menjadi 25 lokasi (poligon). Keadaan ini terjadi disebabkan oleh adanya titik lokasi yang menjadi satu poligon dengan titik yang lain, adapun titik lokasi tersebut antara lain: titik E7 satu poligon dengan titik F4, titik E6 satu poligon dengan titik F2 dan F3, titik E5 satu poligon dengan titik F1, dan titik A4 satu poligon dengan titik E3. Sedangkan lokasi titik A terdapat 8 titik (A1 s/d A8), lokasi titik B terdapat 6 lokasi (B1s/d B6), lokasi titik C terdapat 3 titik (C1 s/d C3), lokasi titik D

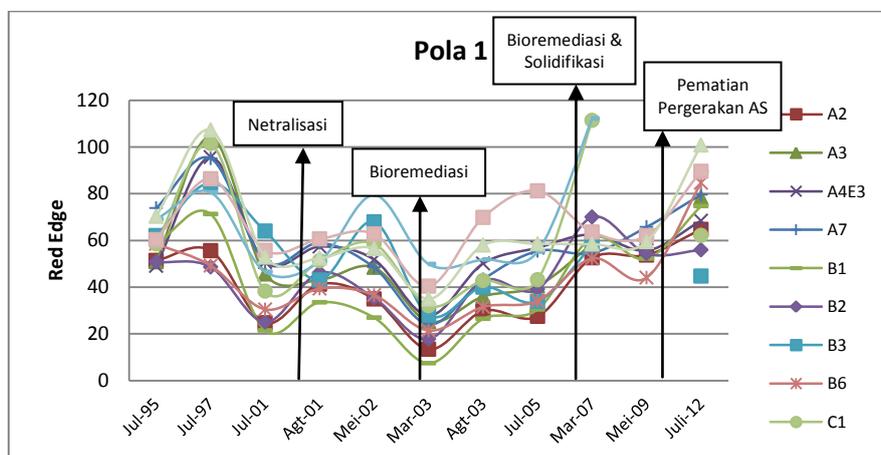
terdapat 2 titik (D1 s/d D2), lokasi titik E terdapat 7 titik (E1 s/d E7), lokasi titik F terdapat 4 titik (F1 s/d F4).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengolahan Red Edge pada Musim Kering

Pada pengolahan data Landsat, reflektan ΔR menggunakan band 4 dan band 3, sedangkan panjang gelombang $\Delta \lambda$ menggunakan selisih panjang gelombang, yang besarnya berkisar antara 670 – 760 nm. Hasil Pengolahan *Red Edge* dari citra landsat seperti pada Gambar 3-1 dan Gambar 3-2.

Pengolahan *red edge* pada musim kering (maret – Agustus) di bedakan menjadi 2 pola, dimana pola 1 mencakup 11(sebelas) titik lokasi pengamatan di lapangan yang meliputi titik, antara lain: A2, A3, A4, A7, B1, B2, B3, B6, C1, C2, dan E3. Sedangkan pada pola 2 mencakup 7 titik lokasi pengamatan di lapangan yang meliputi titik, antara lain: A1, B5, B6, C2, E4, E5, dan F1. Pada Grafik pola 1 dan pola 2 terlihat adanya perlakuan pemulihan lahan yang tercemar limbah *acid sludge*, dimana pada tahun 2001 dilakukan pemulihan lahan berupa Netralisasi, pada tahun 2003 dilakukan pemulihan lahan berupa Bioremediasi, pada tahun 2006 dilakukan pemulihan lahan berupa Bioremediasi dan Solidifikasi, dan pada tahun 2009 dilakukan pemulihan lahan berupa pematian pergerakan *acid sludge*.



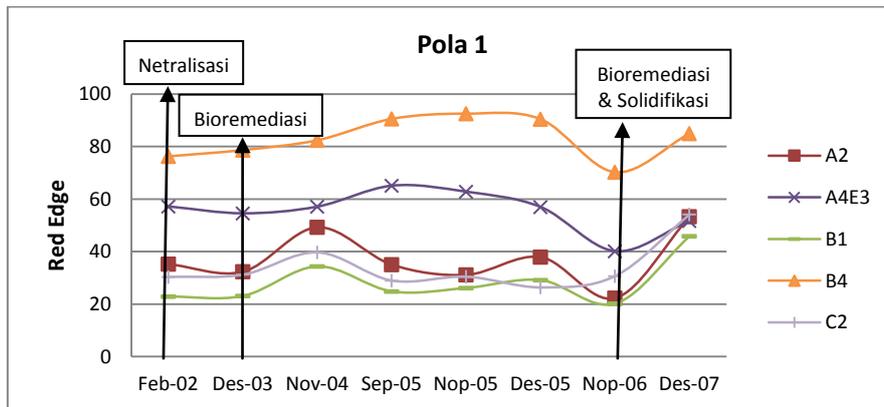
Gambar 3-1: Red Edge Pola 1 dari hasil pengolahan data citra Landsat

Hasil pengolahan *red edge* pada musim kering dari Gambar 3-2 pada pola 2 dari tahun 1995 nilai *red edge* berkisar antara 50 hingga 90, selanjutnya nilai *red edge* mengalami penurunan pada bulan Agustus tahun 2003 berkisar antara 10 hingga 50. Sedangkan di 2005 meningkat dan terus meningkat di tahun 2007 hingga nilai *red edge* berkisar antara 50 hingga 70, selanjutnya nilai *red edge* masih terus meningkat di bulan Juli 2012 berkisar antara 50 hingga 100.

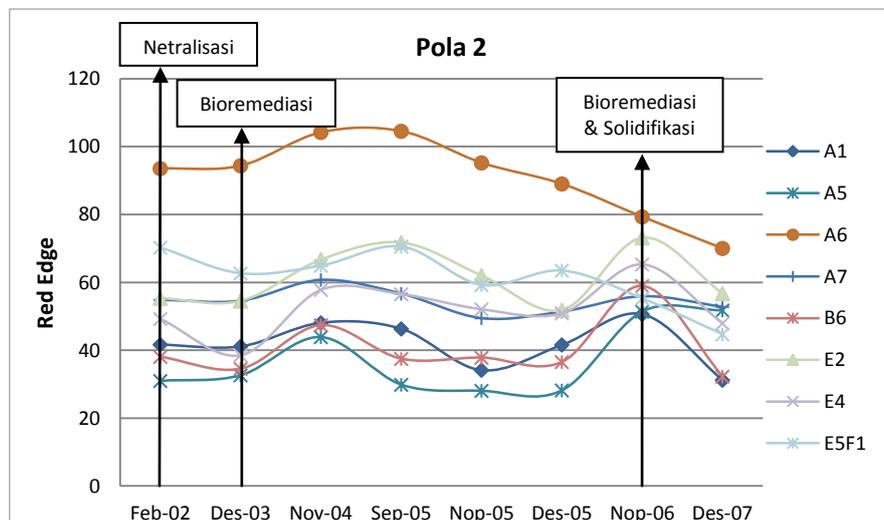
3.2 Pengolahan Red Edge pada Musim Basah

Pengolahan *Red Edge* dari citra Landsat pada musim basah yaitu bulan September hingga bulan Februari, dihasilkan nilai *red edge* yang dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) pola seperti pada Gambar 3-4, Gambar 3-5, Gambar 3-6.

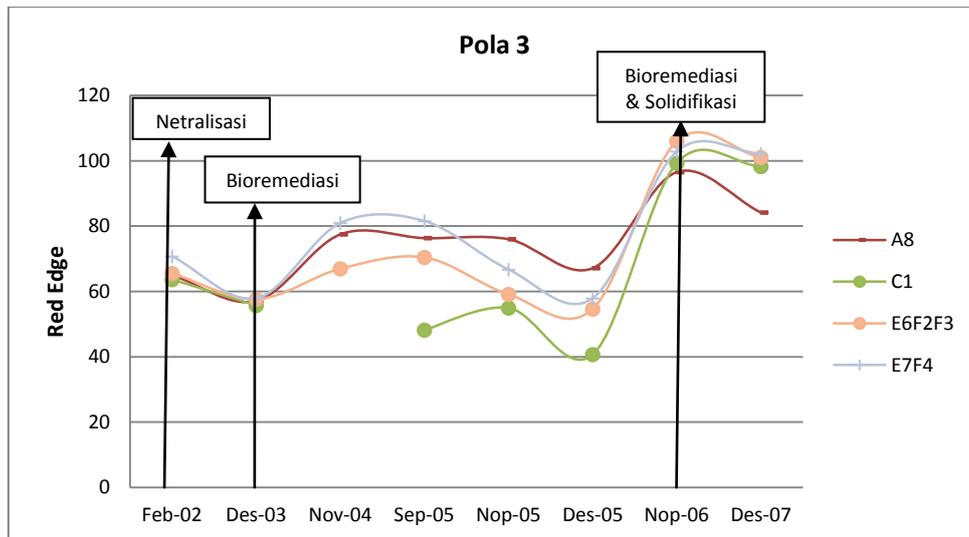
Pengolahan *red edge* pada musim basah (September – Februari) di bedakan menjadi 3 pola, dimana pola 1 terdiri dari 6 (enam) titik lokasi pengamatan di lapangan yang meliputi titik, antara lain: A2, A4, B1, B4, C2, dan E3. Pada pola 2 mencakup 9 (sembilan) titik lokasi pengamatan di lapangan yang meliputi titik, antara lain: A1, A5, A6, A7, B6, E2, E4, E5, dan F1. Sedangkan pola 3 terdiri dari 7 (tujuh) titik lokasi pengamatan di lapangan yang meliputi titik, antara lain: A8, C1, E6, E7, F2, F3, dan F4. Pada Grafik pola 1, pola 2, dan pola 3 terlihat adanya perlakuan pemulihan lahan yang tercemar limbah *acid sludge*, dimana pada tahun 2002 dilakukan pemulihan lahan berupa Netralisasi, pada tahun 2003 dilakukan pemulihan lahan berupa Bioremediasi, dan pada tahun 2006 dilakukan pemulihan lahan berupa Bioremediasi dan Solidifikasi.



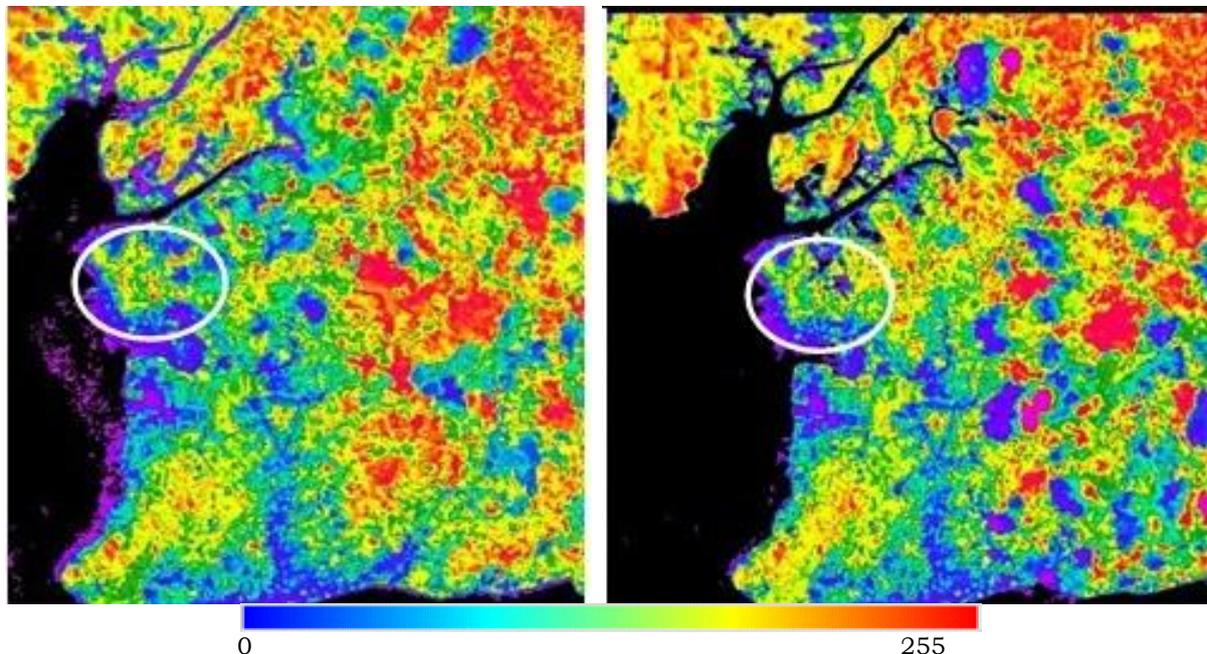
Gambar 3-4: Red Edge Pola 1 dari hasil pengolahan data citra Landsat



Gambar 3-5: Red Edge Pola 2 dari hasil pengolahan data citra Landsat



Gambar 3-6: Red Edge Pola 3 dari hasil pengolahan data citra Landsat



Gambar 3-7: Hasil pengolahan citra Landsat Tahun 2002 dan 2003

Contoh hasil pengolahan citra landsat dengan menggunakan metode *red edge* seperti pada Gambar 3-7.

Hasil pengolahan *red edge* dari data citra landsat tahun 2002 hingga tahun 2007 pada musim basah (September - Februari) kondisinya berfluktuasi, pada Gambar 3-4 dapat dilihat pada pola 1 dari tahun 2002 nilai *red edge* berkisar antara 23 hingga 75, selanjutnya nilai *red edge* sedikit mengalami peningkatan di tahun 2003 dan tahun 2004, dimana di tahun 2004 nilai *red edge* berkisar antara 35 hingga 110

83. Sedangkan di tahun 2005 mengalami peningkatan lagi hingga nilai *red edge* berkisar antara 25 hingga 90, selanjutnya di tahun 2006 mengalami penurunan hingga nilai *red edge* berkisar antara 20 hingga 70. Nilai *red edge* mengalami peningkatan kembali yang cukup tajam berkisar antara 45 hingga 75, hal ini disebabkan adanya perlakuan pemulihan di tahun 2006 dengan cara bioremediasi dan solidifikasi (Pertamina, 2006).

Nilai *red edge* hasil pengolahan dari citra landsat pada Gambar 3-5

pada pola 2 dapat dilihat bahwa tahun 2002 hingga tahun 2007 kondisinya juga berfluktuasi. Pada tahun 2002 nilai *red edge* berkisar antara 20 hingga 90, selanjutnya di tahun 2003 hasil pengolahan nilai *red edge*-nya hampir sama dengan kondisi pada tahun 2002. Sedangkan pada tahun 2004 nilai *red edge* mengalami peningkatan hingga nilai *red edge* berkisar antara 45 hingga 105. Selanjutnya di tahun 2005 sedikit mengalami penurunan dengan nilai *red edge* berkisar antara 30 hingga 105, sedangkan di akhir tahun 2005 nilai *red edge* mengalami penurunan lagi berkisar antara 30 hingga 90. Pada tahun 2006 seiring dilakukannya perlakuan pemulihan kondisi lingkungan berupa bioremediasi dan solidifikasi (Pertamina, 2006), nilai *red edge* mengalami sedikit peningkatan mencapai 50 hingga 80, selanjutnya pada tahun 2007 mengalami penurunan kembali dengan nilai *red edge* berkisar antara 30 hingga 70.

Pada Gambar 3-6 hasil pengolahan Landsat diperoleh nilai *red edge* pada pola 3, dapat dilihat bahwa tahun 2002 seiring dilakukannya perlakuan pemulihan lahan terkontaminasi berupa netralisasi nilai *red edge* berkisar antara 65 hingga 70, sedangkan pada tahun 2003 sedikit mengalami penurunan nilai *red edge* berkisar antara 55 hingga 58. Pada tahun 2003 bersamaan dilakukannya pemulihan lahan terkontaminasi limbah B3 diperoleh hasil pengolahan nilai *red edge* pada tahun 2004 mengalami peningkatan dengan nilai *red edge* berkisar antara 65 hingga 80, kondisi ini bertahan hingga sampai pada pertengahan tahun 2005 (bulan September 2005), sedangkan pada akhir tahun 2005 (November hingga Desember 2005) nilai *red edge* berkisar antara 40 hingga 70. Pada tahun 2006 seiring dilakukannya perlakuan pemulihan kondisi lingkungan berupa bioremediasi dan solidifikasi (Pertamina, 2006), nilai *red edge* meningkat mencapai 95 hingga 110, selanjutnya pada akhir tahun 2007

sedikit mengalami penurunan kembali dengan nilai *red edge* berkisar antara 85 hingga 100.

Pengolahan data landsat untuk deteksi limbah *acid sludge* dihasilkan perbedaan bentuk pola *red edge*, kejadian ini disebabkan adanya perlakuan pemulihan lahan di lokasi pada setiap blok/petak berbeda, sehingga dimungkinkan hasil *red edge* dari pengolahan citra landsat akan seiring dengan perlakuan pemulihan lahan yang terkontaminasi limbah B3 tersebut.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Hasil pengolahan citra landsat dengan metode *red edge* pada musim kering dan musim basah terlihat adanya pergeseran spektral sehingga menunjukkan adanya perubahan nilai *red edge*, hal ini menunjukkan bahwa citra landsat dapat digunakan untuk deteksi adanya *acid sludge*.
- Beberapa bentuk pola yang berbeda pada grafik *red edge* yang dihasilkan dari pengolahan data hal ini dimungkinkan seiring adanya beberapa perlakuan pemulihan lahan yang telah dilakukan dalam tiap blok atau petak yang berbeda, seperti: netralisasi, bioremediasi, solidifikasi dan pematian *acid sludge*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Ketut Wikantika, M.Eng., Dr. Bambang Trisakti, dan Dr. M. Rokhis Khomarudin, M. Si., yang telah memberikan masukan dalam penulisan naskah ilmiah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Agatsiva, J., and OR Oda, 2002. *RS & GIS in the Development of Decision Support System for Sustainable Management of the Drylands of Eastern Africa*, A Case study of the Kenyan dryland, International

- Archives of the Photogrammetry, RS & Spatial Information Sciences, 34: 42-49.
- Collins, W., Chang, S.H., Raines, G.L. Canney, F., Ashley, R. 1983. *Airborne Biogeophysical Mapping of Hidden Mineral Deposits*, Econ, Geol. 78, 737-749.
- Cloutis, E. A., 1989. *Spectral Reflectance Properties of Hydrocarbons: Remote Sensing implications Science*, 245, 165-168.
- Gates, D.M.; Keegan, H.J.; Schleiter, J. C.; Weidner, V.R., 1965. *Spectral Properties of Plants*, *Appl. Opt.*, 4, 11-20.
- Guyot, G., Baret, F. Jacquemoud, S., 1992. *Imaging Spectroscopy for Vegetation Studies*, In *Imaging Spectroscopy: Fundamentals and Prospective Applications*; Toselli, F., Boodechtel, J., Eds.; Kluwer Academic Publishers: Norwell, MA, USA, Volume 2, pp. 145-165.
- Horler D.N.H., Barber, J., Barringer, A.R., 1980. *Effects of Heavy Metals on the Absorbance and Reflectance Spectra of Plants*, *Int. J. Remote Sensing I*: 121 – 136.
- Horler D.N.H., Dockray, M., Barber, J., 1983. *The Red Edge of Plant Leaf Reflectance*, *Int. J. Remote Sensing*, 4, 273-288.
- Pertamina, 2012. *Laporan Progress Pemulihan Lahan Terkontaminasi Acid Sludge di Main Flare*, Pertamina Refinery Unit V, Balikpapan.
- Ray, T.W., Murray, B.C., Chehbouni, A., Njoku, E., 1993. *The Red Edge in Arid Region Vegetation: 340-1060 Nm Spectra*, In *Summaries of the Fourth Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 93-26; Jet Propulsion Laboratory: Pasadena, CA, USA, pp. 149-52.
- Reusen, I.; Bertels, L.; Debruyne, W.; Deronde, B.; Franssaer, D.; Sterckx, S., 2003. *Species Identification and Stress Detection of Heavy-Metal Contaminated Trees*, In *Proceedings of U.S. EPA Spectral Remote Sensing of Vegetation Conference*, March 12-14. 2003. Las Vegas, NV, USA.
- Rock, B.N.; Hoshizaki, T.; Miller, J.R., 1988. *Comparison of in Situ and Airborne Spectral Measurements of The Blue Shift Associated with Forest Decline*, *Remote Sens. Environ*, 24, 109-127.
- Singhroy V., F. Kuhn, 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., and Haack B., 2010. *Visible and Infrared Remote Imaging of Hazardous Waste: A Review*, *Remote Sensing*, 2010, 2, 2474-2508; doi: 10.3390/rs2112474.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA), 1998. *Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States*, report no. EPA530-R-98-010, U.S., Environmental Protection Agency Municipal and Industrial Solid Waste Division Office of Solid Waste.

