

# **DETEKSI DAERAH TERCEMAR LUMPUR ASAM MENGGUNAKAN DATA LANDSAT 7 ETM BERDASARKAN SUHU PERMUKAAN TANAH (DETECTING CONTAMINATED AREA BY ACID SLUDGE USING LANDSAT 7 ETM DATA BASED ON LAND SURFACE TEMPERATURE)**

**Sayidah Sulma<sup>1</sup>, Junita Monika Pasaribu, Nanik Suryo Haryani**

Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

<sup>1</sup>e-mail: sulma\_sayidah@yahoo.co.id

Diterima 29 Januari 2014; Disetujui 28 September 2014

## **ABSTRACT**

The high human activity in the mining and industrial areas increases the potency for hazardous and toxic waste pollution. One form of hazardous and toxic waste is acid sludge, a mixture of hydrocarbons and sulfuric acid derived from the disposal of plant wax. This study aims is to detect and monitor the acid sludge contaminated area based on the Land Surface Temperature (LST) derived from Landsat 7 ETM multi-temporal data. The steps included data collection, development of LST algorithms for Landsat 7 ETM resulted from model regression of Terra-MODIS LST and Tb of Landsat data, calculation of LST using Landsat 7 ETM multi-temporal data and monitoring LST in polluted areas. The distribution of the MODIS LST value and Brightness Temperature (Tb) of Landsat have similar patterns so that MODIS model of LST can be used as a reference in determining the LST from Landsat 7 ETM by performing linear regression models with a coefficient determination of 0.84. Based on the analysis of LST, the contaminated areas have a higher temperature compare to the uncontaminated area. There is no significant relationship between the pattern of LST and land recovery process. This may indicate that the recovery process in that area did not significantly affect on the temperature of acid sludge.

Keywords: *Hazardous waste, Acid sludge, Land Surface Temperature, Landsat 7 ETM*

## **ABSTRAK**

Tingginya aktivitas manusia di bidang pertambangan dan industri meningkatkan potensi pencemaran limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Salah satu bentuk limbah B3 adalah lumpur asam (*acid sludge*) yang merupakan campuran hidrokarbon dan asam sulfat yang berasal dari proses pembuangan pabrik lilin. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi daerah tercemar lumpur asam berdasarkan suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature/LST*) dari data Landsat 7 ETM multi-temporal. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, penyusunan algoritma LST dari data Landsat 7 ETM berdasarkan hasil regresi dengan LST Terra-MODIS, perhitungan LST Landsat 7 ETM multitemporal dan pemantauan LST pada daerah tercemar. Sebaran nilai LST MODIS dan *Brightness Temperature*(Tb) Landsat memiliki kemiripan pola sehingga MODIS dapat dijadikan acuan dalam penentuan LST dari Landsat. Untuk penentuan LST dari Landsat telah dibuat model pendugaan dari regresi linier antara LST MODIS dan Tb Landsat dengan koefisien determinasi sebesar 0.84. Berdasarkan analisis LST deret waktu pada daerah tercemar lumpur asam diketahui bahwa daerah tercemar memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah tidak tercemar. Tidak terlihat adanya hubungan yang signifikan antara pola LST dengan proses pemulihan lahan yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemulihan lahan tercemar tidak terlalu berpengaruh terhadap suhu lumpur asam di wilayah tersebut.

Kata Kunci: *Limbah B3, Lumpur asam, Suhu permukaan tanah, Landsat-7 ETM*

## 1 PENDAHULUAN

Tingginya aktivitas manusia di bidang pertambangan dan industri meningkatkan potensi masukan bahan berbahaya ke lingkungan baik disengaja maupun tidak disengaja. Kontaminasi limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) ini dapat mengancam kualitas lingkungan, keberadaan tanaman dan hewan serta kelangsungan hidup manusia. Ketika suatu lingkungan telah dicemari oleh limbah B3, maka diperlukan upaya pemulihan lahan dan pemantauan kondisi lahan, sehingga pencemaran tidak semakin parah dan meluas hingga membahayakan lingkungan sekitarnya.

Salah satu bentuk limbah B3 yang mencemari lahan adalah limbah lumpur asam (*acid sludge*). Limbah lumpur asam berasal dari proses pengolahan lilin yang dibuang tanpa proses pengolahan limbah terlebih dahulu. Limbah ini merupakan campuran asam sulfat kuat, hidrokarbon dan air laut yang muncul sebagai limbah padat berwarna hitam (Pertamina, 2012). Limbah lumpur asam mencemari kawasan Pertamina Balikpapan sejak puluhan tahun yang lalu. Berdasarkan Laporan Pertamina RU-V Balikpapan (2011) bahwa pencemaran limbah lumpur asam di lokasi Pertamina RU-V terjadi akibat pembuangan limbah dari pabrik lilin sebagai sisa akhir minyak bumi. Secara fisik, lumpur asam berupa lumpur berwarna hitam, sering tercampur dengan tanah, kerikil, air dan bahan lainnya. Lumpur asam pada suhu di bawah 25°C mempunyai struktur keras, dan mulai meleleh pada temperatur di atas 35°C. Komposisi kimiawi dari lumpur asam mengandung hidrokarbon yang terdiri dari rangkaian karbon dan beberapa bahan lain yang bersifat beracun seperti logam berat dan senyawa sulfur, chlor, sulfida, dan senyawa lainnya. Oleh karena itu

lumpur asam dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

Upaya pemulihan lahan tercemar limbah B3 merupakan tahapan yang sangat kompleks. Terlebih ketika pencemaran terjadi di tanah, dimana tanah dapat dianggap sebagai sumber daya yang tidak terbarukan karena proses yang terlibat dalam pembentukan tanah sangat lambat dan strategi pemulihan yang sangat kompleks dan mahal (D'Emilio et al., 2012). Begitu pula pemantauan kondisi lahan tercemar sebelum dan sesudah pemulihan, banyak menggunakan teknik pengamatan lapangan dan analisis laboratorium yang memerlukan waktu dan biaya yang tinggi. Saat ini telah dikembangkan teknologi penginderaan jauh yang memungkinkan untuk pemantauan kondisi lahan tercemar tanpa harus menyentuh obyek yang di analisis. Keunggulan teknologi penginderaan jauh adalah cakupan wilayah yang luas, *real time*, data historis yang banyak, ketersediaan data dengan berbagai resolusi spektral, spasial dan temporal yang memungkinkan untuk pemantauan kondisi lahan tercemar limbah B3.

Penginderaan jauh dengan infra merah termal atau termografi telah banyak digunakan dalam berbagai studi tentang limbah berbahaya atau kandungan logam berat yang tergolong dalam limbah B3. Radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang inframerah dipantulkan oleh semua obyek berdasarkan hukum radiasi benda hitam *Planck*. Perbedaan intensitas panas berkaitan dengan jumlah radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda, sehingga termografi memungkinkan untuk melihat variasi suhu (Slonecker et al., 2010). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa citra *Thermal Infrared Multispectral* (TIMS) dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan

memetakan informasi mineral yang berpotensi untuk mengetahui keberadaan logam berat (Kahle *et al.*, 1983; Lang *et al.*, 1987; Hook *et al.*, 1998).

Penelitian ini bertujuan untuk memantau daerah tercemar lumpur asam berdasarkan kondisi *Land Surface Temperature* (LST) dari data deret waktu Landsat 7 ETM di kawasan Pertamina Balikpapan. Penggunaan data satelit Landsat 7 ETM dalam penelitian ini adalah karena data Landsat 7 ETM memiliki data historis yang cukup banyak tersedia, memiliki band inframerah thermal serta resolusi spasial yang cukup baik dibandingkan data satelit lainnya yang memiliki band inframerah termal seperti MODIS dan NOAA-AVHRR.

Penelitian ini diawali dengan pembuatan algoritma LST dari Landsat 7 ETM dengan pendekatan LST dari data MODIS. Algoritma yang telah berhasil dikembangkan dan memberikan hasil yang baik untuk estimasi LST dari kanal thermal adalah *Algorithm Theoretical Basis Document* (ATBD) yang diaplikasikan pada data MODIS, dan produk LST tersebut adalah produk MODIS No. 11 atau MOD11 (Wan, 1999). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menemukan algoritma yang baik untuk mengestimasi nilai LST dari kanal thermal Landsat 7 ETM (Oguro *et al.* 2011, Weng *et al.*, 2014) juga mengkaji LST dengan membandingkan *brightness temperature* data Landsat 7 ETM dengan nilai LST dari data Terra MODIS dan ditemukan hasil perbandingan linier yang baik. Weng *et al.* (2014) mengestimasi LST harian Landsat dengan menggabungkan data Landsat dan data MODIS. Weng mengusulkan penggunaan algoritma data fusi yaitu Spatio-temporal *Adaptive Data Fusion Algorithm for Temperature mapping* (SADFAT). Cristobal *et al.* (2009) juga mengestimasi LST dari data MODIS

Level 2 produk *water vapor* yang menggunakan basis data atmosferik *Thermodynamic Initial Guess Retrieval* (TIGR-1). Hasil yang diperoleh cukup baik dengan nilai RMSE sekitar 0.51 K. Estimasi nilai LST dari data Landsat-7 ETM dengan membandingkan dengan data LST MODIS dipandang mampu memberikan hasil yang baik. Pembuatan algoritma dengan pendekatan seperti ini juga pernah dilakukan untuk *Sea Surface Temperature* dari data Landsat 7 ETM dengan membandingkan dengan data NOAA-12 AVHRR (Trisakti *et al.* (2004).

## 2 DATA DAN METODE

### 2.1 Data

Lokasi penelitian adalah di Pertamina Refinery Unit V, Balikpapan, Kalimantan Timur (Gambar 2-1). Data yang digunakan adalah 18 dataset Landsat 7 ETM path/row 116/061 dan Terra MODIS dengan waktu akuisisi yang sama. Satelit Landsat 7 ETM dan Terra MODIS berada pada konfigurasi orbit yang sama dan hanya berjarak sekitar 15 menit. Satelit Landsat 7 ETM melintas khatulistiwa dari pukul 10.00 – 10.15 pagi dan Terra MODIS melintas sekitar pukul 10.30 pagi. Tanggal akuisisi data dapat dilihat pada Tabel 2-1. Kanal Landsat 7 ETM yang digunakan adalah kanal 61 dan kanal 62 yang bekerja pada panjang gelombang infra merah termal yaitu 10.40 – 12.50 nm, dengan resolusi spasial 30 meter. Resolusi spasial kanal infra merah termal Landsat 7 ETM diresampling dari 60 m menjadi 30 meter untuk menyamakan resolusi spasial dengan kanal *visible*. Sedangkan kanal infra merah termal dari data MODIS diperoleh dengan menggunakan kanal 31 dengan panjang gelombang 10.78 – 11.28 nm dan kanal 32 dengan panjang gelombang 11.77 – 12.27 nm.



Gambar 2-1: Lokasi penelitian di Balikpapan, Kalimantan Timur. Titik plot (daerah tercemar dalam lingkaran berwarna merah, daerah tidak tercemar berada diluar lingkaran berwarna merah) yang ditumpang susun dengan citra Landsat-7 ETM tanggal 5 Juli 2001

Tabel 2-1: TANGGAL AKUISI YANG SAMA UNTUK DATA LANDSAT 7 ETM DAN TERRA MODIS

Waktu Akuisi	
5 Juli 2001	4 Agustus 2005
6 Agustus 2001	5 November 2005
14 Februari 2002	7 Desember 2005
21 Mei 2002	8 November 2006
21 Maret 2003	16 Maret 2007
28 Agustus 2003	29 Desember 2007
2 Desember 2003	8 Mei 2009
2 November 2004	3 Juli 2012
16 Juli 2005	1 April 2013

Titik plot daerah tercemar lumpur asam berikut dengan *treatment* yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2-2. Penamaan titik plot tersebut mengikuti format yang dilakukan oleh Pertamina berdasarkan *treatment* pada titik-titik tersebut. Titik plot daerah yang tidak tercemar lumpur asam

sebagian diambil dari titik plot pengamatan Pertamina untuk Hi (daerah hilir *flare*) dan Hu (daerah hulu *flare*), dan T merupakan titik plot lainnya untuk daerah tidak tercemar yang ditentukan dalam penelitian (Tabel 2-3).

Tabel 2-2: TITIK PLOT DAERAH TERCEMAR LUMPUR ASAM DAN *TREATMENT* OLEH PERTAMINA

Plot	Treatment
A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8	Solidifikasi dan Perforasi
A8	Netralisasi, Solidifikasi dan perforasi
B1, B2, B3, B4, B5, B6	Perforasi, netralisasi, geo-oksidasi, solidifikasi dan bio-oksidasi
C1, C2, C3, D1, D2	Netralisasi, geo-oksidasi, perforasi dan solidifikasi
E1, E2	Perforasi, netralisasi dan geo-oksidasi
E3, E4, E5, E6, 7,F1,F2,F3,F4	Perforasi

Sumber: Laporan Pertamina RU-V, 2011

Tabel 2-3: TITIK PLOT DAERAH YANG TIDAK TERCEMAR LUMPUR ASAM

T1	T19	T3	T40	HU
T11	T2	T30	T5	HU 1
T12	T20	T31	T6	HU 2
T13	T21	T32	T7	
T14	T22	T36	T8	
T15	T26	T37	T9	
T16	T27	T38	HI	
T17	T28	T39	HI 1	
T18	T29	T4	HI 2	

## 2.2 Metode

Untuk mengetahui sebaran limbah lumpur asam, dilakukan pengamatan distribusi suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature/LST*) berdasarkan data Landsat 7 ETM multi temporal. Tahapan meliputi pengumpulan data, penyusunan algoritma LST data Landsat 7 ETM dari hasil regresi dengan LST Terra-MODIS, perhitungan LST Landsat 7 ETM multitemporal dan pemantauan LST pada daerah tercemar.

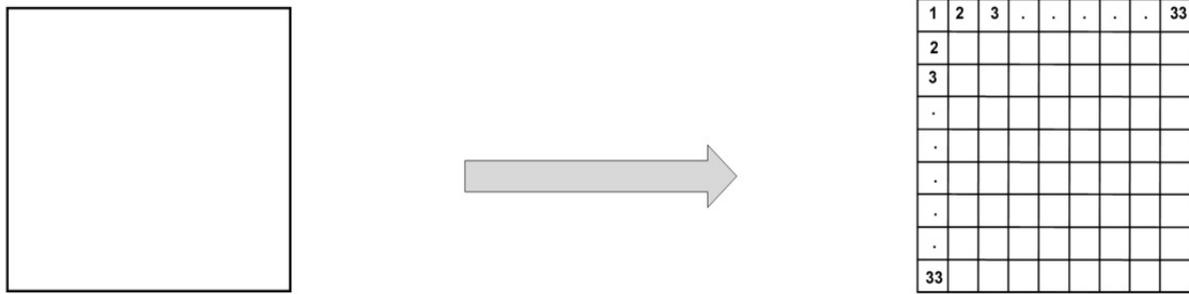
### 2.2.1 Penyusunan algoritma LST Landsat 7 ETM

LST dari data Landsat7 ETM diestimasi dengan membandingkan dengan LST dari data MODIS. Data yang digunakan adalah LST Terra MODIS

Level 2 yang telah dihitung berdasarkan algoritma MOD11 dan data Landsat 7 ETM kanal 61 dan 62. Data yang dipilih yang memiliki kesamaan waktu peliputan dan bebas awan.

Pengolahan diawali dengan koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi radiometrik data Landsat 7 ETM dilakukan dengan mengkonversi nilai digital kanal 61 dan kanal 62 menjadi nilai radiansi dan konversi nilai radiansi menjadi nilai *brightness temperature* atau temperatur efektif. Metode konversi nilai digital menjadi nilai radiansi dan nilai *brightness temperature* mengacu pada Landsat-7 *Science data users handbook* (Irish, 2000). Persamaan konversi nilai digital menjadi nilai radiansi adalah sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = ((L_{max_{\lambda i}} - L_{min_{\lambda i}}) / (DN_{max} - DN_{min})) * (DN_i - DN_{min}) + L_{min_{\lambda i}} \quad (2-1)$$



1 piksel LST MODIS berukuran 1 km                      Rata-rata Tb Landsat 33x33 piksel ≈ 1 km  
 Gambar 2-2: Perbandingan ukuran piksel MODIS dan Landsat yang diekstraksi

Selanjutnya dilakukan ekstraksi nilai piksel pada semua dataset citra Tb Landsat dan LST MODIS yang bersamaan waktu. Pada tahap ini, piksel data Landsat berukuran 30 meter yang diekstraksi adalah rata-rata piksel pada jendela 33 x 33 piksel disesuaikan dengan 1 piksel data MODIS berukuran 1 km. Gambar 2-2 memperlihatkan perbandingan ukuran piksel yang diekstraksi. Piksel dipilih mewakili beberapa jenis tutupan lahan.

Kemudian dilakukan perhitungan statistik untuk mendapatkan nilai korelasi antara LST MODIS dan rata-rata nilai Tb Landsat yang telah diekstraksi. Persamaan regresi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung LST dari Landsat.

**2.2.2 Perhitungan dan analisis LST Landsat 7 ETM**

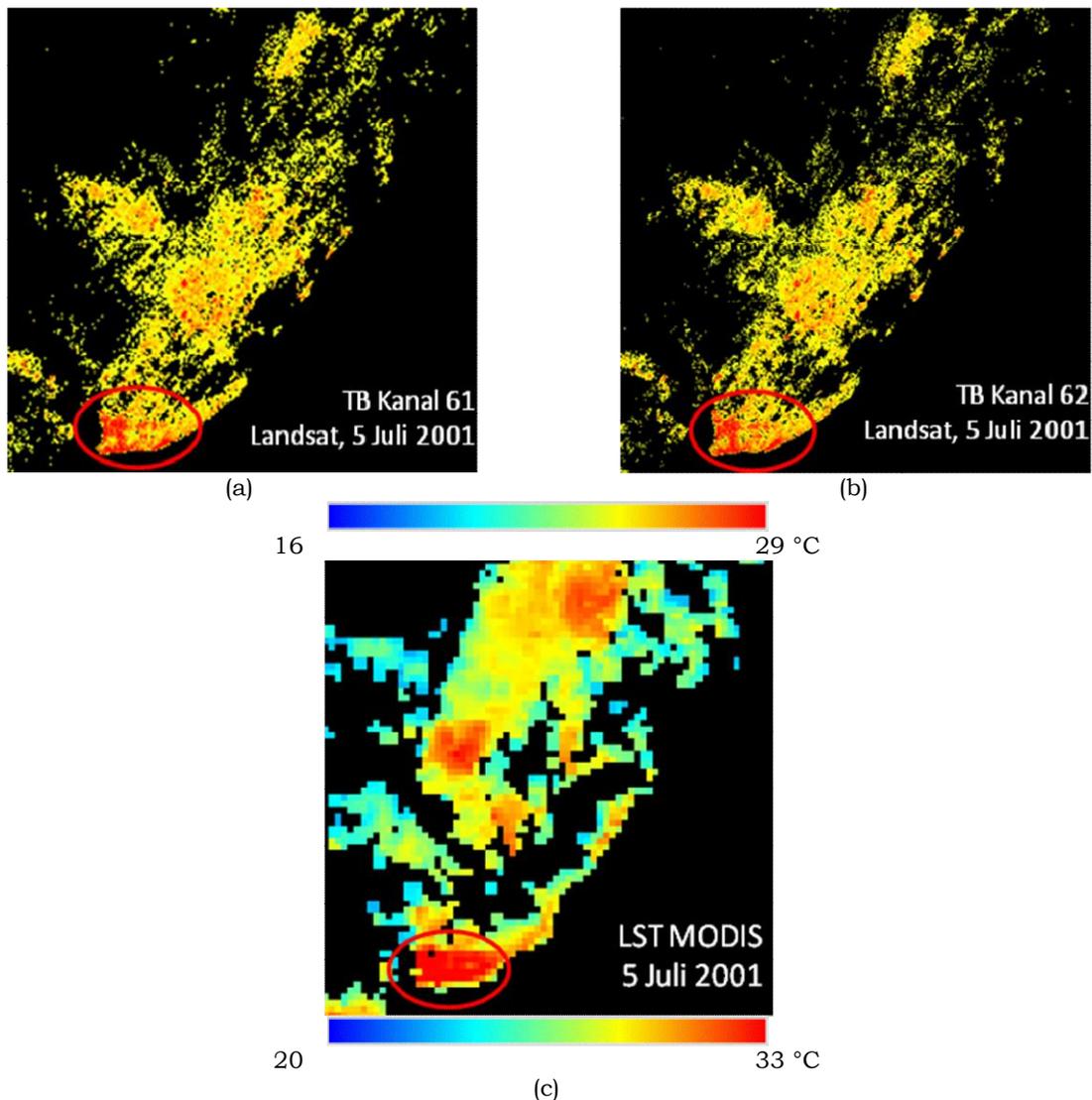
Perhitungan LST dari data Landsat 7 ETM menggunakan persamaan yang diperoleh dari korelasi antara Tb Landsat dan LST MODIS. Data Landsat yang digunakan dalam analisis termal untuk pemantauan limbah B3 meliputi data deret waktu tahun 2001 hingga 2013. Pemantauan LST berdasarkan data Landsat dilakukan pada daerah tercemar dan

tidak tercemar, kemudian dibandingkan pola LST antara kedua kondisi wilayah tersebut dan dibandingkan dengan perlakuan pemulihan lahan tercemar yang telah dilakukan.

**3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Algoritma LST Landsat 7 ETM**

Penyusunan algoritma LST dari data Landsat menggunakan pendekatan antara Tb Landsat (*brightness temperature*) dengan LST MODIS. Gambar 3-1 memperlihatkan perbandingan antara citra Tb Landsat kanal 61, kanal 62 dan LST MODIS pada tanggal 5 Juli 2001. Nilai Tb Landsat baik kanal 61 (a) tatistic 62 (b) memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan LST dari MODIS (c) namun pada ketiga data tersebut dapat dilihat memiliki kemiripan pola sebaran suhu yaitu suhu yang lebih panas terutama di bagian selatan daerah kajian (Gambar 3-1 a, b, c). Untuk memperoleh persamaan LST Landsat maka dilakukan perhitungan tatistic korelasi antara Tb Landsat dan LST dari MODIS. Total jumlah sampel yang digunakan dalam analisis ini adalah 186 sampel yang diperoleh dari 18 pasang data Tb Landsat dan LST MODIS yang bersamaan waktu akusisinya.



Gambar 3-1: (a) Sebaran Tb (*brightness temperature*) Landsat kanal 61, (b) Sebaran Tb (*brightness temperature*) Landsat kanal 62, c. LST MODIS tanggal 5 Juli 2001

Piksel data Landsat 7 ETM berukuran 30 meter yang diekstraksi adalah rata-rata piksel pada jendela 33 x 33 piksel disesuaikan dengan 1 piksel data MODIS berukuran 1 km. Piksel dipilih pada beberapa jenis tutupan lahan yaitu lahan terbuka, vegetasi hutan dan non hutan, pemukiman/daerah tatistic. Hasil perhitungan tatistic korelasi antara Tb Landsat 61 dengan LST MODIS, dan antara Tb Landsat 7 ETM 62 dengan LST MODIS dapat dilihat pada Gambar 3-2. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa antara kedua data memiliki hubungan linier dengan  $R^2=0.84$ , sama untuk kedua data tersebut. Berdasarkan

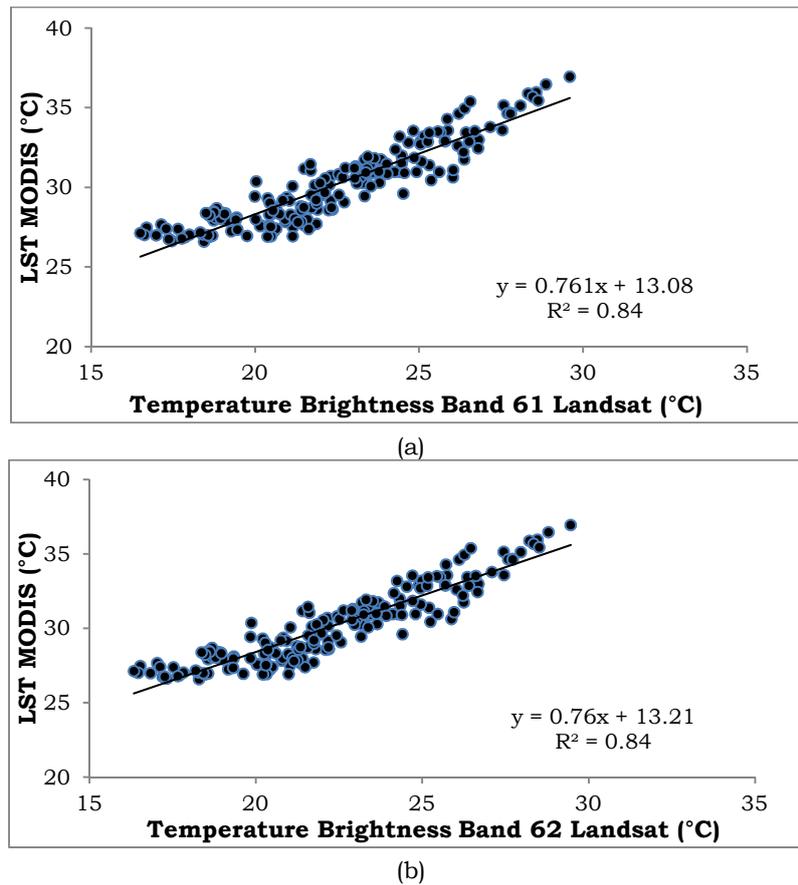
data sampel dapat diketahui bahwa Tb Landsat 61 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan Tb Landsat 62 dengan perbedaan sekitar  $0.13\text{ }^\circ\text{C}$ , dan lebih mendekati dengan nilai LST MODIS yang juga lebih tinggi dibandingkan Tb Landsat. Sehingga untuk perhitungan LST Landsat digunakan persamaan regresi untuk Landsat kanal 61. Algoritma untuk menghitung LST Landsat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{LST} = 0.761 \text{ Tb} + 13.08 \quad (3-1)$$

Dimana:

LST=LST Landsat ( $^\circ\text{C}$ )

Tb = *Brighthness Temperature* Landsat Kanal 61( $^\circ\text{C}$ )



Gambar 3-2: Korelasi antara Tb Landsat 61 dan LST MODIS (a) dan korelasi antara Tb Landsat 62 dan LST MODIS (b)

### 3.2 Analisis LST pada Lahan Tercemar

Analisis ini dilakukan dengan memantau nilai LST yang diturunkan dari data Landsat dibandingkan dengan nilai LST yang diperoleh dari pengukuran lapangan untuk daerah yang tercemar dan yang tidak tercemar lumpur asam. Selanjutnya dianalisis hubungan antara dampak dari dilakukannya tindakan pematian pergerakan lumpur asam dan pemulihan lahan terhadap nilai LST.

Adapun beberapa tindakan pematian pergerakan lumpur asam yang telah dilakukan oleh Pertamina RU-V adalah sebagai berikut (Pertamina, 2012):

- **Metode perforasi**, dengan tujuan mengurangi pergerakan lumpur asam dengan mengurangi konsentrasi gas yang berfungsi sebagai penyebab/pendorong gerakan lumpur asam.
- **Pembuatan kanal**, yang berfungsi untuk membendung laju pergerakan

acid di permukaan sampai kedalaman 1 meter. Metode ini dikombinasikan dengan perforasi.

- **Pereaksian langsung lumpur asam (treatment)**, yang bertujuan untuk mengurangi potensi pergerakan lumpur asam dan atau mengurangi volume lumpur asam. Cara ketiga ini dibagi ke dalam 3 metode yaitu geo-netralisasi dan geo-oksidasi, solidifikasi dan bio-oksidasi.
  - Geo-netralisasi dan geo-oksidasi, bertujuan untuk menetralsir asam-asam yang terdapat dalam lumpur asam juga untuk menurunkan jumlah hidrokarbon,
  - Solidifikasi, yaitu proses pengerasan *acid sludge* untuk mematkan pergerakan lumpur asam,
  - Bio-oksidasi, dilakukan dengan menginjeksikan nutrisi dan mikroba pendegradasi hidrokarbon ke dalam tanah melalui lubang perforasi.

Ketiga jenis *treatment* ini dikombinasikan dengan metode perforasi.

Proses pematian lumpur asam telah dilakukan sejak tahun 1980 sampai tahun 2010 oleh Pertamina (Tabel 3-1). Berdasarkan laporan Pertamina tahun 2012 dikatakan bahwa dengan dilakukannya *treatment* tersebut pada akhirnya pergerakan lumpur asam berhenti, walaupun masih terdapat sisa *acid sludge*. Pengamatan berkelanjutan

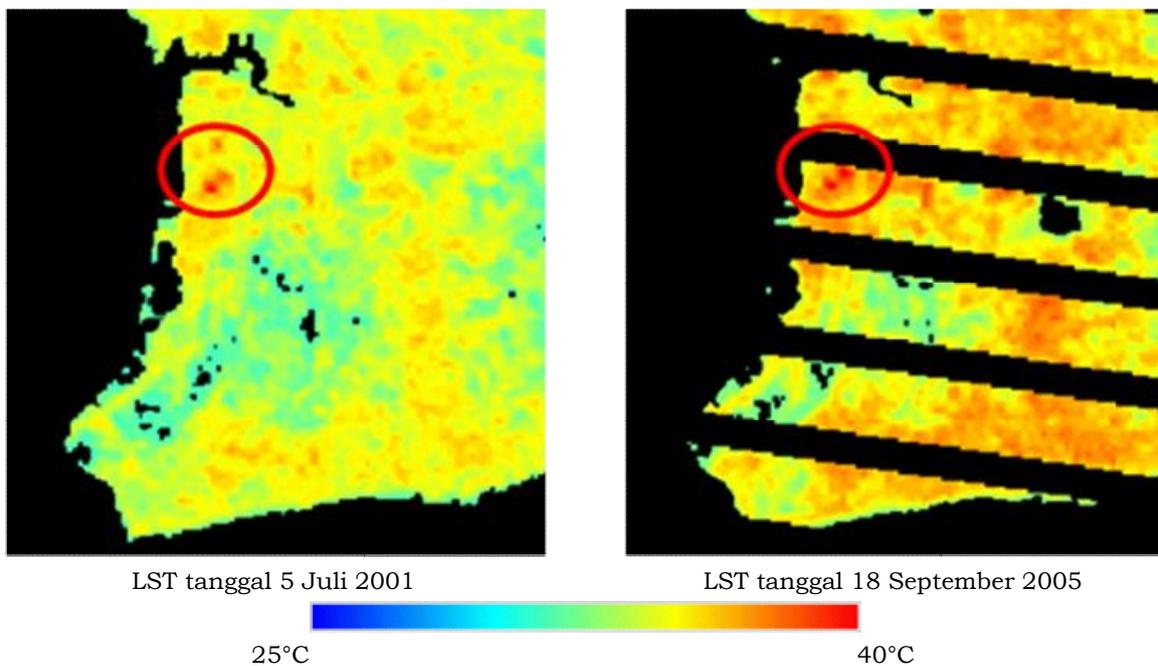
terhadap lumpur asam ini sangat perlu dilakukan.

Citra LST pada tanggal 5 Juli 2001 dan 18 September 2005 memperlihatkan bahwa lingkaran merah merupakan daerah tercemar limbah lumpur asam (Gambar 3-3). Pada daerah tercemar tersebut dapat dilihat bahwa LST cenderung lebih panas (warna merah) dibandingkan daerah sekitarnya yang memiliki jenis tutupan lahan yang sama yaitu lahan terbuka.

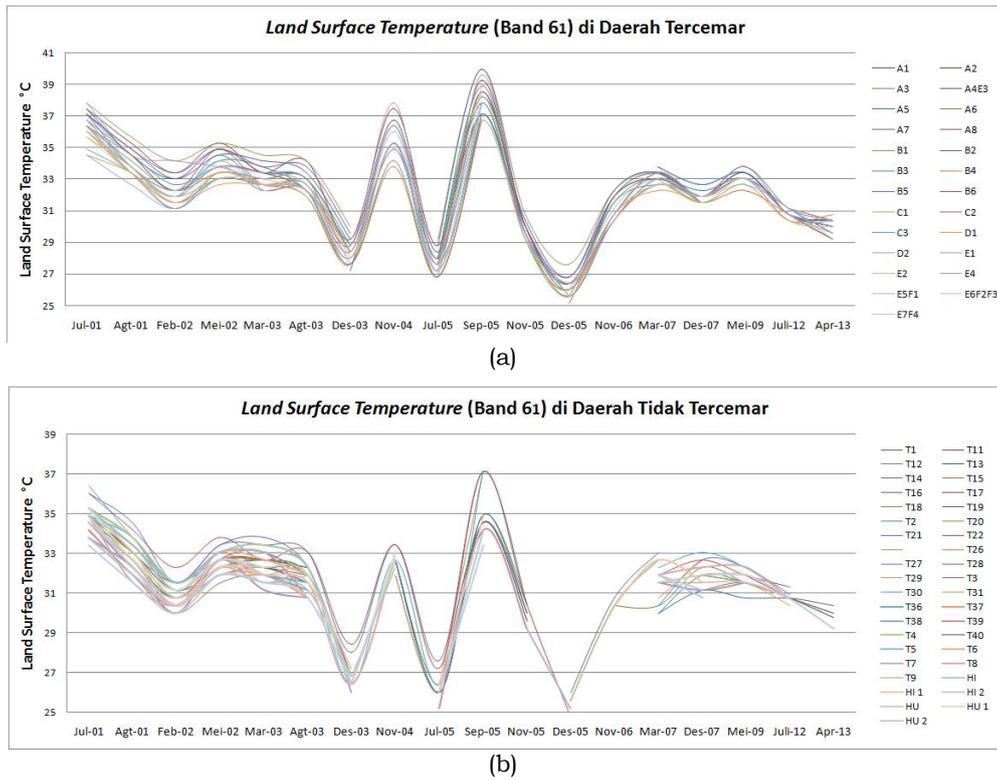
Tabel 3-1: PROSES PEMULIHAN LAHAN

Tahun	Metode Penanggulangan
1980	Netralisasi <i>acid sludge</i> , pengerukan sedalam 6 meter dan kemudian ditimbun tanah
2002	Netralisasi dengan CaCO <sub>3</sub>
2003	Ujicoba bioremediasi 300 m <sup>3</sup> UP-V (tidak berhasil)
2004	Solidifikasi dijadikan uji coba batako (tidak berhasil)
2005	Uji coba solidifikasi (aspal jalan) 60 m <sup>3</sup>
2006	Bioremediasi 3950 m <sup>3</sup>
2006	Solidifikasi (dijadikan aspal) 750 m <sup>3</sup>
2009-2010	Pematian penyebaran <i>acid sludge</i> secara insitu

Sumber: Laporan Pertamina RU-V, 2012



Gambar 3-3: Citra *Land Surface Temperature* (LST) di lokasi penelitian



Gambar 3-4: Nilai LST Tahun 2001-2013 pada (a) daerah tercemar dan (b) daerah tidak tercemar

Pada Gambar 3-4 dapat dilihat pola LST pada beberapa lokasi daerah tercemar dan tidak tercemar dari tahun 2001 hingga 2013. Pada kedua daerah terlihat pola nilai LST yang cenderung sama. LST terendah terlihat pada Desember 2005 sedangkan tertinggi pada September 2005. Di daerah tercemar, nilai LST tertinggi dapat dilihat pada plot C2 (di dalam lingkaran merah) yaitu mencapai 39.9°C pada September 2005. Sedangkan pada daerah tidak tercemar, nilai LST tertinggi ditemukan pada plot T28 yaitu mencapai 37.1°C (di luar lingkaran merah). Dari kedua sebaran nilai LST pada daerah tercemar dan tidak tercemar ini dapat dilihat bahwa pada daerah tercemar lumpur asam memiliki nilai LST yang lebih tinggi dibandingkan daerah tidak tercemar, dengan rata-rata selisih nilai LST daerah tercemar dan tidak tercemar mencapai 3°C.

Hasil yang diharapkan dengan adanya tindakan *treatment* akan mengurangi jumlah lumpur asam di lokasi tercemar, kemudian suhu diduga

akan menurun dengan berkurangnya jumlah lumpur asam. Akan tetapi, jika pola LST lahan yang tercemar dibandingkan tahapan proses pemulihan seperti pada Tabel 2-2, maka dapat dilihat bahwa pola LST di daerah tercemar tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan langkah *treatment* yang telah dilakukan. Hal ini dapat terjadi karena *treatment* yang dilakukan tidak mempengaruhi kandungan senyawa yang menimbulkan panas di daerah tercemar misalnya hidrokarbon atau asam sulfat. Di samping itu, jika membandingkan dengan pola di daerah tercemar dan tidak tercemar maka dapat dilihat bahwa pola LST kedua daerah sama dari waktu ke waktu. Sehingga dapat dilihat bahwa pola peningkatan dan penurunan nilai LST lebih banyak dipengaruhi oleh faktor lain misalnya musim, pemanasan matahari, dan lain-lain. Namun nilai LST pada daerah tercemar tetap lebih tinggi dibandingkan dengan daerah tidak tercemar.

Tabel 3-2: LST HASIL PENGUKURAN LAPANGAN

Tutupan Lahan	Suhu Permukaan (°C)	
	Daerah Tidak Tercemar	Daerah Tercemar
Rumput	29.4 - 36.4	33.0 - 39.3
Lahan Terbuka	31.4 - 32.2	39.2 - 43.3
Lahan Terbuka (Lumpur/Aspal Hitam)	-	40.4 - 55.0

Sumber: Hasil survei lapangan, 2013

Berdasarkan pengukuran lapangan menggunakan termometer *infrared* yang dilakukan pada bulan Oktober 2013 (Tabel 3-2), dapat dilihat perbedaan suhu permukaan pada beberapa jenis tutupan lahan baik di daerah tercemar maupun tidak tercemar lumpur asam. Pada tutupan bervegetasi rumput terlihat pada daerah tercemar memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan daerah tidak tercemar. Begitu pula pada lahan terbuka yang pada daerah penelitian berupa tanah berpasir terlihat suhu yang lebih tinggi pada daerah tercemar dibandingkan daerah tidak tercemar. Kemudian di daerah tercemar khususnya pada obyek padatan lumpur asam berwarna kehitaman memiliki suhu yang sangat tinggi hingga mencapai 55°C.

#### 4 KESIMPULAN

Deteksi dan pemantauan daerah tercemar limbah lumpur asam dapat dilakukan menggunakan LST dari data Landsat. Sebaran nilai LST MODIS dan *Brightness Temperature* Landsat memiliki kemiripan pola, sehingga MODIS dapat dijadikan acuan dalam penentuan LST dari Landsat. Untuk penentuan LST dari Landsat telah dibuat model pendugaan dari regresi linier antara LST MODIS dan Tb Landsat dengan koefisien determinasi sebesar 0.84.

Diketahui bahwa daerah tercemar memiliki suhu yang lebih tinggi

dibandingkan daerah tidak tercemar. Namun secara temporal pola LST pada daerah yang tercemar lumpur asam yang telah mengalami *treatment* pematian pergerakan lumpur asam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan LST di daerah tidak tercemar. Hal ini dapat menunjukkan bahwa proses pemulihan tidak terlalu berpengaruh terhadap senyawa yang menghasilkan panas pada wilayah tercemar tersebut.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Cristobal, J.; J.C. Jimenez-Munoz; J.A. Sobrino; M. Ninyerola; and X. Pons, 2009. *Improvements in Land Surface Temperature Retrieval from the Landsat Series Thermal Band using Water Vapor and Air Temperature*, Journal of Geophysical Research, 114, D08103, doi: 10.1029/2008JD010616.
- D'Emilio, M.; M. Macchiato; M. Ragosta; and T. Simoniello, 2012. *A Methode for the Integration of Satellite Vegetation Activities Observation and Magnetic Susceptibility Measurement for Monitoring Heavy Metals in Soil*, Journal of Hazardous Materials 241-242:118-126.
- Hook, S.J.; T.J. Cudahy; A.B. Kahle; and L.B. Whitbourn, 1998. *Synergy of Active and Passive Airborne Thermal Infrared System for Surface Compositional Mapping*,

- J. Geophys. Res.*103:18,269-18, 276.
- Irish, R.R., 2000. *Landsat 7 Science Data users Handbook*, National Aeronautics Space Administration, Report,430-15.
- Kahle, A. B. and A. F. H. Goetz, 1983. *Mineralogic Information from a New Airborne Thermal Infrared Multispectral Scanner*, *Science*, 222:24-27.s.
- Lang, H; S. Adams; J. Conel; B. McGuffie; E. Paylor; and R. Walker, 1987. *Multispectral Remote Sensing as Stratigraphic And Structural Tool, Wind River Basin and Big Horn Basin Areas*, Wyoming. AAPG Bulletin, 71: 389-402.
- Oguro, Y.; S. Ito; and K. Tsuchiya, 2011. *Comparison of Brightness Temperature of Landsat-7/ETM+ and Terra/MODIS Around Hotein Oasis in the Taklimakan Desert*, *Applied and Environmental Soil Science*, doi: 10.1155/2011/948 135.
- 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.
- Slonecker, T.; G.B. Fisher; D.P. Aiello; and B. Haack, 2010. *Visible and Infrared Remote Imaging of Hazardous Waste : A Review*, *Journal of Remote Sensing*, 2:2,474-2,508; doi: 10.3390/rs 2112474.
- Trisakti, B.; S. Sulma; and S. Budhiman, 2004. *Study of Sea Surface Temperature (SST) using Landsat-7 ETM (In Comparison with Sea Surface Temperature of NOAA-12 AVHRR)*, Proceedings The Thirteenth Workshop of OMISAR (WOM-13) on Validation and Application of Satellite Data for Marine Resources Conservation, October 5-9, 2004, Bali, Indonesia.
- 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.
- Weng, Q.; P. Fu; and F. Gao, 2014. *Generating Daily Land Surface Temperature at Landsat Resolution by Fusing Landsat and MODIS data*, *Remote Sensing of Environment*, 145:55-67.