

PENDUGAAN LAJU EROSI TANAH MENGGUNAKAN DATA SATELIT LANDSAT DAN SPOT (SOIL EROSION RATE ESTIMATION USING LANDSAT AND SPOT)

Bambang Trisakti

Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

e-mail: btris01@yahoo.com

Diterima 6 Februari 2014; Disetujui 26 Oktober 2014

ABSTRACT

The damage in catchment area (DTA) and the decrease of lake water quality have been happened in Indonesia, therefore Indonesian government has created a lake management and rescue program. This research aims to study soil erosion rate estimations using Landsat TM/ETM+ and SPOT-4 temporal data in the DTA of Kerinci Lake. Data standardization was carried out to maintain the consistency of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values from some disturbances caused by the differences of acquisition time, sensor and the effect of cloud cover. $NDVI_{min}$ and $NDVI_{max}$ were extracted from 19 Landsat TM / ETM + data in 2000-2009 period, slope was extracted from the Digital Elevation Model (DEM). Spatial distributions of soil erosion rate for 2009 and 2012 in the DTA were mapped using NDVI-slope method. The generated soil erosion rates in the DTA were analysed and verified by comparing the change of the soil erosion rate to the change of surface runoff coefficient. The results showed that the soil erosion rate in the DTA had a increasing trend, which was consistent with the increasing trend of surface runoff coefficient during 2009-2012 period. The soil erosion rate in the DTA of Lake Kerinci was estimated to increase from 0,39 mm /year in 2009 to be 0,46 mg/year in 2012.

Keywords: *Soil erosion rate, Lake ecosystem, Multi temporal satellite data, NDVI-slope method*

ABSTRAK

Kerusakan Daerah Tangkapan Air (DTA) dan penurunan kualitas perairan danau telah banyak terjadi di wilayah Indonesia sehingga Pemerintah Indonesia membuat program pengelolaan dan penyelamatan bersama ekosistem danau prioritas. Kegiatan ini mengkaji pendugaan laju erosi tanah di DTA Danau Kerinci menggunakan data satelit multi temporal Landsat TM/ETM+ dan SPOT-4. Standarisasi data dilakukan untuk menjaga konsistensi nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) karena pengaruh perbedaan waktu perekaman, sensor perekaman dan pengaruh tutupan awan. Informasi $NDVI_{min}$ dan $NDVI_{max}$ diekstrak dari 19 data Landsat TM/ETM+ periode 2000-2009, kemiringan lahan diekstrak dari data *Digital Elevation Model* (DEM). Sebaran spasial laju erosi tanah di DTA dipetakan dengan menggunakan metode *NDVI-slope* untuk tahun 2009 dan 2012. Laju erosi tanah di DTA yang dihasilkan dianalisis perubahannya dan diverifikasi dengan membandingkan perubahan laju erosi tanah dengan perubahan koefisien aliran permukaan. Hasil memperlihatkan bahwa laju erosi tanah di DTA mempunyai kecenderungan meningkat, yang sama dengan kecenderungan peningkatan koefisien aliran permukaan selama periode 2009-2012. DTA Danau Kerinci diperkirakan mengalami peningkatan laju erosi tanah, dari 0,39 mm/tahun pada tahun 2009 menjadi 0,46 mm/tahun pada tahun 2012.

Kata kunci: *Laju erosi tanah, Ekosistem danau, Data satelit multi temporal, Metode NDVI-slope*

1 PENDAHULUAN

Kerusakan di Daerah Tangkapan Air (DTA) pada umumnya disebabkan karena perubahan lahan yang tidak terkendali di bagian hulu DTA yang mengakibatkan terjadinya perubahan siklus hidrologi di DTA tersebut. Berkurangnya tutupan vegetasi (khususnya hutan dan tanaman keras) di DTA mengakibatkan hujan yang turun tidak dapat ditahan dan diserap oleh tanah, sehingga meningkatkan aliran air permukaan. Berkurangnya kemampuan resapan tanah dan peningkatan aliran permukaan ini berdampak pada berkurangnya air pada musim kemarau dan meningkatnya erosi tanah pada musim hujan. Erosi tanah yang tinggi di DTA yang dibawa oleh sungai ke danau atau waduk mengakibatkan tingginya tingkat kekeruhan perairan dan penurunan kualitas air danau atau waduk.

Permasalahan kerusakan DTA dan penurunan kualitas perairan danau telah banyak terjadi di wilayah Indonesia. Untuk menangani permasalahan ini, pemerintah Indonesia yang diwakili oleh Kementerian Lingkungan Hidup memprakarsai dilaksanakannya Konferensi Nasional Danau Indonesia (KNDI) ke satu. KNDI I telah menghasilkan suatu Kesepakatan Bali tentang Pengelolaan Danau Berkelanjutan yang ditandatangani oleh 9 menteri untuk mengelola dan menyelamatkan bersama ekosistem danau prioritas yang terbagi menjadi dua periode yaitu Danau Prioritas I periode 2009-2014 dan Danau Prioritas II periode 2015-2019 (KLH, 2012). Selanjutnya KNDI II dilaksanakan pada tanggal 13-14 Oktober 2011 di Semarang yang menegaskan kembali 15 danau prioritas periode 2010-2014 berdasarkan parahnya tingkat kerusakan dan dampaknya terhadap kehidupan masyarakat.

Kementerian Lingkungan Hidup telah mengeluarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau (KLH, 2008) yang menjelaskan bahwa status ekosistem

danau ditentukan oleh beberapa faktor, yang salah satunya adalah erosi lahan. Erosi merupakan suatu proses hilangnya lapisan tanah, baik disebabkan oleh pergerakan air maupun angin (Foth, 1995). Tingkat erosi yang tinggi dan melebihi batas toleransi mengakibatkan DTA suatu danau diberi status mengalami kerusakan. Metode pendugaan laju erosi tanah yang cukup populer adalah *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (Wischmeier dan Smith, 1978). USLE ini dapat diterapkan di daerah pertanian atau daerah non pertanian, tetapi tidak memprediksi pengendapan dan tidak menghitung hasil sedimen dari erosi parit, erosi tebing sungai dan erosi dasar sungai. Persamaan USLE sangat baik diterapkan di daerah yang faktor utama penyebab erosi adalah hujan dan aliran permukaan. Selanjutnya untuk meningkatkan akurasi pendugaan erosi, maka USLE diperbaharui menjadi *The Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). RUSLE dapat digunakan untuk menghitung kehilangan tanah pada daerah dengan aliran permukaan yang signifikan, dan tidak dirancang untuk daerah yang tidak terjadi aliran permukaan, seperti hutan primer yang belum terganggu (Jones et al., 1996). Kelemahan model ini adalah tidak dipertimbangkannya keragaman spasial dalam suatu DAS dimana nilai *input* parameter yang diperlukan merupakan nilai rata-rata yang dianggap homogen dalam suatu unit lahan, khususnya faktor erosivitas dan kelerengan (As-syakur, 2008).

Beberapa model untuk erosi untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berkaitan dengan hidrologi yang juga berdasarkan pada konsep USLE adalah *Areal Non-point Sources Watershed Environment Response Simulation* (ANSWERS) yang selanjutnya diperbaiki dengan model *Agricultural Non-Point Source Pollution Model* (AGNPS). Kelebihan dari AGNPS adalah dapat memprediksi DAS sampai mencapai luas

20 ribu ha dan hasil prediksi model dapat meliputi aliran permukaan, hasil sedimen, kehilangan N dan P serta kebutuhan oksigen kimiawi, tetapi model ini membutuhkan data *input* yang sangat banyak (Vadari et al., 2004). Model pendugaan laju erosi tanah juga dilakukan berbasis data spasial dari satelit penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG), seperti yang dilakukan oleh Bahadur (2009), Hazarika dan Honda (2001) dan As-syakur (2008). Pemanfaatan data satelit dapat membantu meningkatkan keakuratan beberapa parameter *input* seperti meningkatkan kedetilan informasi penutup lahan dan mendapatkan topografi wilayah yang komplek pada wilayah yang luas, seperti di DAS atau DTA. Selain itu berkurangnya data-data yang diperoleh dari lapangan dan kemudahan perolehan data multi temporal (berlainan waktu) untuk suatu wilayah membuat kajian mengenai erosi tanah menjadi lebih mudah dan dapat dilakukan pemantauan perubahan tingkat erosi tanah di suatu wilayah dalam cakupan yang luas.

Kelebihan-kelebihan yang diperoleh dari data penginderaan jauh satelit tersebut menjadi dasar semakin banyaknya data penginderaan jauh digunakan sebagai data *input* pada model pemetaan erosi tanah di suatu wilayah. As-Syakur (2009) menggunakan data penginderaan jauh satelit sebagai masukan model USLE untuk memprediksi erosi tanah di DTA Danau Buyan. Sedangkan Lu et al. (2004) menggunakan data penginderaan jauh satelit sebagai masukan model RUSLE di wilayah Amazon, Brasil, untuk memetakan resiko erosi tanah menjadi lima kelas (sangat rendah, rendah, menengah, menengah tinggi, dan tinggi) dan mengkorelasikan antara distribusi penutup lahan dengan tingkat resiko erosi, sehingga diperoleh bahwa hutan mempunyai resiko erosi rendah, sedangkan agroforestry dan padang rumput mempunyai resiko erosi

menengah sampai tinggi. Fulajtar (2001) memetakan pola erosi dengan menggunakan foto udara dan SPOT Pankromatik, akurasi pemetaan hampir seakurat data lapangan sehingga metode ini dioperasionalkan di Slovakia. Honda et al. (1998) mengembangkan metode *NDVI-slope* untuk pendugaan laju erosi tanah berbasis data satelit penginderaan jauh, yang menggunakan informasi spasial kemiringan lereng dan data *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk wilayah kajian DTA Siwalik di Nepal. Kedua parameter ini dihubungkan dengan laju erosi aktual yang dikumpulkan dari pengukuran lapangan, sehingga laju erosi dapat diduga dengan perubahan kerapatan vegetasi dan kemiringan lahan di DTA tersebut. Metode ini cukup menarik karena hanya menggunakan beberapa parameter dan dapat menduga laju dan besarnya erosi dengan cukup baik pada daerah pegunungan dengan topografi yang bervariasi, seperti: DTA Siwalik-Nepal (Honda et al. (1998), Hazaika dan Honda (2001), DTA Samanawewa-Srilangka Udayakumara et al. (2010) dan DTA Manjuntio di Bengkulu-Indonesia (Gunawan et al., 2011).

Faktor penting yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan akurasi dari informasi erosi menggunakan metode *NDVI-slope* adalah dibutuhkan informasi spasial mengenai kondisi maksimum/minimum tingkat kerapatan vegetasi yang akurat dan mewakili daerah kajian. Pada penelitian pendugaan laju erosi yang telah dijelaskan di atas, informasi mengenai kondisi maksimum/minimum tingkat kerapatan vegetasi dihasilkan hanya dengan menggunakan dua waktu perekaman data, sehingga hasil dirasakan belum optimal. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan metode dengan menggunakan data multi temporal selama periode tertentu sehingga diharapkan dapat diperoleh kondisi maksimum/minimum tingkat kerapatan vegetasi yang akurat dan

benar-benar menggambarkan perubahan kerapatan vegetasi di wilayah tersebut, yang selanjutnya akan menjadi *input* bagi pendugaan erosi yang lebih baik. Selain itu perlu dikaji juga kemampuan koefisien yang digunakan dalam model bila diterapkan pada wilayah DTA di Indonesia.

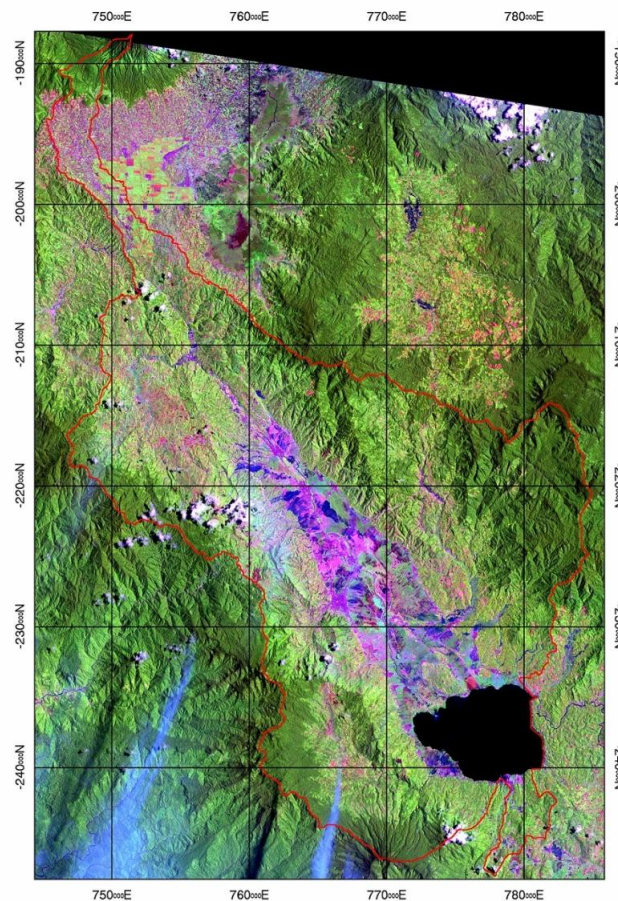
Kegiatan ini bertujuan untuk mengevaluasi metode pendugaan laju erosi tanah berbasis data satelit penginderaan jauh multi temporal untuk DTA Danau Kerinci yang termasuk dalam salah satu dari 15 danau prioritas dalam Program Nasional Penyelamatan Danau (KLH, 2012), dengan menggunakan metode *NDVI-slope* yang telah dikembangkan oleh Honda et al. (1998). Metode ini menggunakan informasi NDVI dan kemiringan lahan (*slope*) sebagai parameter utama. Pada riset ini perbaikan metode dilakukan dengan melakukan standarisasi data dan pembuatan NDVI minimum dan maksimum menggunakan citra multi

temporal Landsat TM/ETM+ selama periode 2000-2009 (10 tahun). Hasil pendugaan laju erosi tanah yang diperoleh diverifikasi dengan membandingkan tren perubahan laju erosi tanah dengan tren perubahan koefisien aliran permukaan di DTA Danau Kerinci.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Lokasi kajian adalah DTA Danau Kerinci di Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi-Indonesia seperti diperlihatkan dengan citra SPOT-4 dengan komposit RGB 431 (Gambar 2-1), dimana garis merah menunjukkan batas dari DTA Danau Kerinci. Danau Kerinci merupakan salah satu dari 15 danau yang termasuk dalam program pengelolaan danau prioritas tahun 2010-2014 yang dikeluarkan oleh Badan Lingkungan Hidup dan Penelitian Pengembangan (BLHPP), KLH. Permasalahan yang terjadi di DTA Danau Kerinci (KLH, 2011) adalah:



Gambar 2-1: Danau Kerinci di Provinsi Jambi menggunakan data SPOT RGB 431

- Kerusakan DTA danau karena kegiatan *illegal logging*, dan konversi lahan hutan menjadi berbagai penutup lahan khususnya lahan pertanian yang mengakibatkan terjadinya erosi dan tinggi sedimentasi di perairan danau
- Kerusakan sempadan danau karena pesatnya pembangunan permukiman penduduk dan tingginya aktifitas pertanian

Data yang digunakan terdiri dari 19 data Landsat TM/ETM+ (Path/row: 126/062) multi temporal yang mewakili musim hujan dan kemarau selama

periode 2000-2009 (Tabel 2-1) untuk pembuatan NDVI minimum (NDVI_{min}) dan NDVI maksimum (NDVI_{max}). Pendugaan laju erosi dilakukan dengan menggunakan data Landsat TM tahun 2009 dan SPOT-4 tahun 2012. Data Satelit diperoleh dari Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lapan. Selain itu digunakan juga data Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission (DEM SRTM) X-C band resolusi 30 m untuk pembuatan batas DTA Danau Kerinci (Tabel 2-2).

Tabel 2-1: DATA SATELIT MULTI TEMPORAL UNTUK MENGHITUNG NDVI_{min} DAN NDVI_{max}

No.	Jenis data	Tanggal Perekaman, Path/row: 126/062
1.	Landsat TM	22 Januari 2000
2.	Landsat TM	5 Mei 2000
3.	Landsat TM	13 Mei 2000
4.	Landsat TM	3 Juli 2001
5.	Landsat TM	11 Juli 2001
6.	Landsat ETM+	24 Maret 2002
7.	Landsat ETM+	28 Juni 2002
8.	Landsat ETM+	15 Agustus 2002
9.	Landsat TM	6 Januari 2003
10.	Landsat ETM+	17 Juni 2004
11.	Landsat TM	13 September 2004
12.	Landsat TM	27 Mei 2005
13.	Landsat TM	30 Mei 2006
14.	Landsat TM	1 Juli 2006
15.	Landsat ETM+	11 September 2006
16.	Landsat TM	1 Mei 2007
17.	Landsat TM	19 Mei 2008
18.	Landsat TM	20 April 2009
19.	Landsat TM	22 Mei 2009

Tabel 2-2: DATA SATELIT UNTUK PENURUNAN DISTRIBUSI LAJU EROSI

No.	Citra satelit	Tanggal perekaman
1.	Landsat TM	22 Mei 2009
2.	SPOT 4	24 Maret 2012

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Standarisasi data

Data yang diterima telah dikoreksi geometrik (orthorektifikasi), koreksi matahari (merubah nilai digital menjadi reflektansi), dan sebagian data telah dilakukan koreksi Terrain. Sehingga tahap pertama adalah melakukan koreksi terrain untuk sebagian data lainya dengan menggunakan algoritma C correction (Wu et al. (2004), Trisakti et al. (2009)) sebagai berikut:

$$L_H = L_T \times \left(\frac{\cos sz + C}{\cos i + C} \right) \quad (2-1)$$

Dimana, L_H dan L_T adalah reflektansi yang sudah dikoreksi (pada permukaan datar) dan reflektansi belum dikoreksi (pada permukaan miring karena kondisi topografi), sz adalah sudut zenith matahari, i adalah sudut normal piksel yang dibentuk dari arah normal piksel dan arah matahari, dan c adalah koefisien pembatas yang merupakan rasio antara titik potong dan gradien (b/m) dari persamaan regresi $LT = m \cos I + b$

Selanjutnya proses penghilangan awan dan bayangan awan pada citra. Penghilangan awan dilakukan dengan menggunakan metode *threshold* secara bertahap menggunakan band biru (*Blue*) dan band inframerah dekat (NIR) dengan algoritma sebagai berikut:

if $Band_{NIR} > 0.23$ maka menjadi piksel awan,
if $Band_{Blue} > 0.19$ maka menjadi piksel awan,
 selain itu adalah piksel bukan awan

Dimana, $A_{cloud-thres}$ adalah nilai batas awan *band* inframerah dekat dan $B_{cloud-thres}$ adalah nilai batas awan *band* biru.

Penghilangan bayangan awan menggunakan *band* albedo (penjumlahan band *visible*) dan band inframerah dekat (band 4), algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

if $Band_{Blue} + Band_{Green} + Band_{Red} < 0.27$ maka menjadi piksel bayangan,

if $Band_{NIR} < 0.19$ maka menjadi piksel bayangan,
 selain itu adalah piksel bukan awan

Dimana, $A_{shadow-thres}$ adalah nilai batas bayangan *band* albedo dan $B_{shadow-thres}$ adalah nilai batas bayangan *band* inframerah. Selanjutnya piksel bayangan dikelompokan dan digabungkan menjadi piksel awan. Metode *threshold* secara bertahap digunakan karena metode ini terbukti akurat dalam menghilangkan awan dan bayangan di wilayah Indonesia seperti yang telah didemonstrasikan oleh Candra et al.(2014).

2.2.2 Pendugaan laju erosi tanah

Pada penelitian ini metode pendugaan laju erosi tanah menggunakan model *NDVI-Slope* yang telah dikembangkan oleh Hazarika and Honda (2001) dengan algoritma pada Persamaan (2-4). Persamaan ini menduga besarnya laju erosi dengan melihat perubahan penutup lahan (khususnya tingkat kehijauan penutup lahan yang diperlihatkan dengan nilai NDVI) dan kondisi lahan (yang diperlihatkan dengan tingkat kemiringan lahan. Kedua parameter ini dihubungkan dengan laju erosi aktual yang dikumpulkan dari pengukuran lapangan, sehingga laju erosi dapat diduga dengan perubahan kerapatan vegetasi dan kemiringan lahan di DTA tersebut.

$$E = E_{30} \left(\frac{S}{S_{30}} \right)^{0.9} \quad (2-2)$$

$$E_{30} = \exp \left[\left(\frac{\log E_{min} - \log E_{max}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) (NDVI - NDVI_{min}) + \log E_{max} \right] \quad (2-3)$$

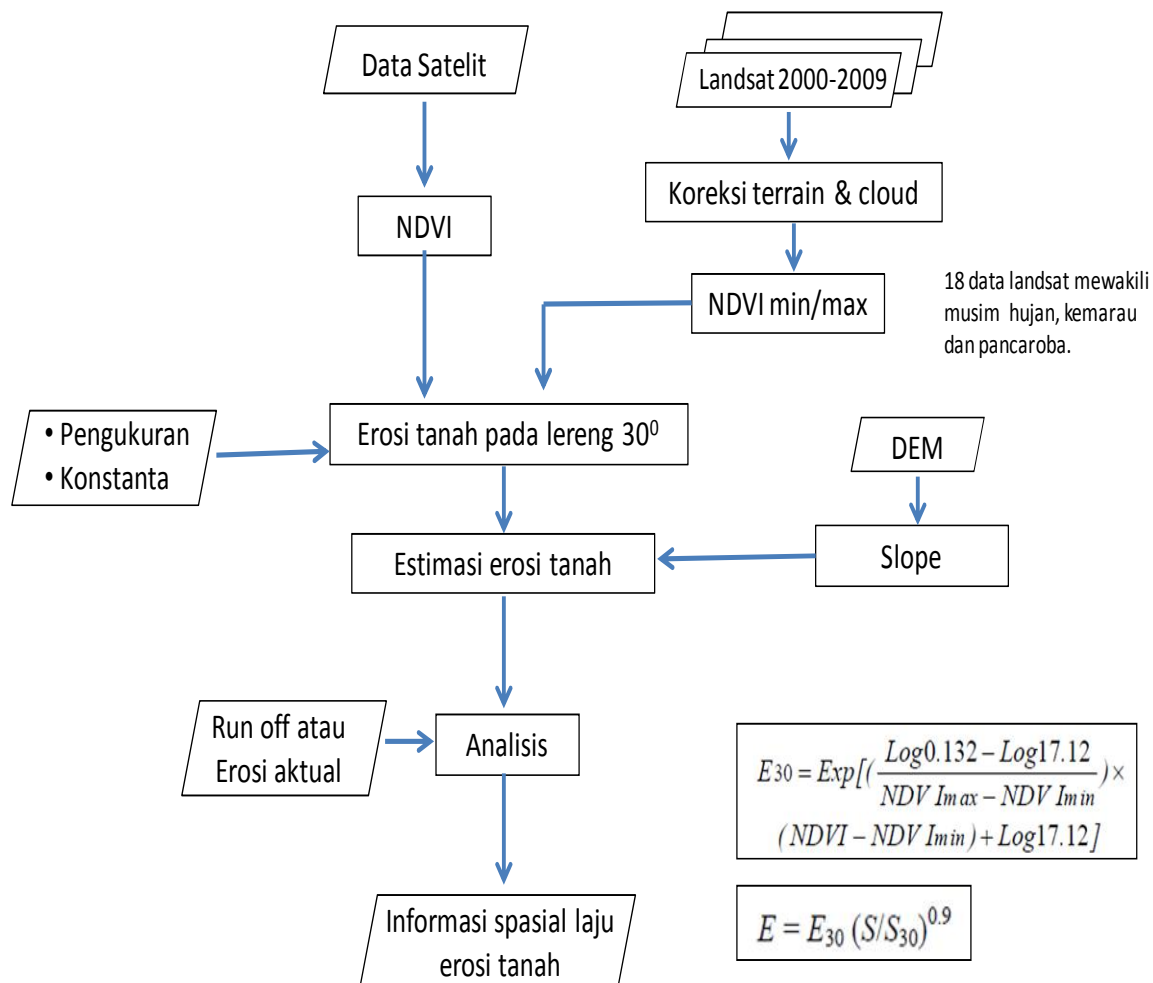
$$NDVI = \left[\left(\frac{Band_{NIR} - Band_{Red}}{Band_{NIR} + Band_{Red}} \right) + 1 \right] \times 100 \quad (2-4)$$

Persamaan (2-2), E adalah laju erosi tanah (mm/tahun), S adalah gradien atau kemiringan lahan (derajat), S_{30} adalah nilai Tangen 30° dan E_{30} adalah laju erosi tanah yang terjadi pada lereng 30° diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2-3). Nilai maksimum laju erosi (E_{max}) dan nilai

minimum laju erosi (E_{min}) diperoleh berdasarkan hasil pengukuran laju erosi yang dikumpulkan dari lapangan pada kemiringan lahan 30° , dengan nilai masing-masing adalah 17.12 mm/tahun dan 0.132 mm/year, sedangkan nilai maksimum kehijauan/kepadatan vegetasi ($NDVI_{max}$) dan nilai minimum kehijauan vegetasi ($NDVI_{min}$) dihitung dengan mencari nilai maksimum dan nilai minimum NDVI pada DTA dengan menggunakan Persamaan (2-4). Nilai NDVI dihitung dengan menggunakan band inframerah dekat (NIR) dan band merah (*Red*), kemudian dilakukan konversi sehingga interval nilai NDVI yang semula -1 sampai 1 berubah menjadi 0 sampai 200. Konversi dilakukan agar perhitungan dilakukan dalam bilangan bulat, tetapi *range* dari kisaran NDVI masih bisa dipertahankan.

Diagram alir pendugaan laju erosi tanah diperlihatkan pada Gambar 2-1.

Hal yang baru dilakukan untuk meningkatkan akurasi pendugaan laju erosi tanah adalah penggunaan data multi temporal selama periode yang cukup lama (10 tahun), sehingga dapat diperoleh informasi $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ yang benar-benar mewakili kondisi lokasi kajian. Pada kegiatan ini digunakan 18 data Landsat multi temporal (Tabel 2-2) yang mewakili musim hujan dan kemarau selama periode 2000-2009. Pada tahap awal dilakukan koreksi terrain dan penghilangan awan serta bayangan awan yang mempengaruhi nilai NDVI. Selanjutnya dilakukan ekstraksi sebaran NDVI untuk setiap data, penggabungan data NDVI selama periode 2000-2009 dan ekstraksi nilai NDVI maksimum dan minimum untuk wilayah DTA. Kajian lengkap mengenai penurunan $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$, telah dibahas pada paper publikasi sebelumnya (Trisakti, 2013).



Gambar 2-1: Diagram alir metode pendugaan laju erosi tanah

Pada tahap berikutnya, dilakukan pembuatan NDVI pada tahun yang diamati (tahun 2009 dan 2012) dan penurunan kemiringan lahan dengan menggunakan data DEM SRTM X-C band, sehingga dihasilkan informasi kemiringan lahan dalam satuan derajat. Selanjutnya data NDVI_{max}, NDVI_{min}, NDVI dan kemiringan lahan menjadi *input* untuk menghitung sebaran spasial laju erosi tanah dengan menggunakan algoritma persamaan (2, 3 dan 4). Perubahan laju erosi tanah dari tahun 2009 dan tahun 2012 di analisis secara kualitatif dengan melakukan pengamatan secara visual dan kuantitatif dengan menghitung nilai laju erosi tanah rata-rata DTA. Laju erosi tanah rata-rata DTA (\bar{E}) dihitung dengan menghitung rata-rata laju erosi tanah semua piksel yang terdapat di dalam DTA tersebut.

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n E_i \quad (2-5)$$

dimana, E_i adalah laju erosi tanah pada piksel ke i dan n adalah jumlah total piksel dalam DTA Danau Kerinci.

2.3.3 Perhitungan koefisien aliran permukaan untuk verifikasi

Verifikasi hasil pendugaan laju erosi tanah sulit dilakukan karena tidak diperolehnya data erosi dari dinas-dinas terkait, sehingga verifikasi dilakukan dengan cara membandingkan secara kualitatif korelasi antara perubahan laju

erosi dengan perubahan koefisien aliran permukaan di DTA Danau Kerinci.

Koefisien aliran permukaan umumnya dipetakan dengan menggunakan tiga parameter *input*, yaitu: penutup lahan, kemiringan lahan dan jenis tanah. Tetapi disebabkan tidak diperolehnya data mengenai jenis tanah, maka diasumsikan bahwa DTA Danau Kerinci mempunyai jenis tanah dengan laju infiltrasi yang tidak berbeda sehingga koefisien aliran permukaan hanya diturunkan dengan menggunakan data penutup lahan dan kemiringan lahan wilayah DTA. Hasil klasifikasi penutup lahan dan kemiringan lahan wilayah DTA dikonversi menjadi koefisien aliran permukaan menggunakan Tabel nilai C (Tabel 2-3 dan 2-4), dan dihitung koefisien aliran permukaan (C) menggunakan persamaan (2-6). Selanjutnya koefisien aliran permukaan rata-rata DTA (\bar{C}) dihitung dengan menghitung rata-rata nilai koefisien aliran permukaan semua piksel yang terdapat di dalam DTA tersebut. Penjelasan lengkap mengenai pembuatan koefisien aliran permukaan telah dibahas pada paper publikasi sebelumnya (Trisakti et al., 2013).

$$C = (C_{\text{penutup lahan}} + C_{\text{slope}}) / 2 \quad (2-6)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n C_i \quad (2-7)$$

dimana, C_i adalah koefisien aliran permukaan pada piksel ke i dan n adalah jumlah total piksel dalam DTA Danau Kerinci.

Tabel 2-3: NILAI C BERDASARKAN PENUTUP LAHAN

No.	Tutupan Lahan	Nilai C
1	Hutan Primer	0,01
2	Hutan Sekunder	0,05
3	Kebun Campuran	0,5
4	Ladang-Tegalan	0,5
5	Perkebunan	0,5
6	Semak Belukar	0,3
7	Sawah	0,2
8	Jalan Aspalt	0,7
9	Lahan Terbuka	0,95
10	Pemukiman	0,9

Sumber: Dune & Leopold, 1978; Subarkah, 1980; Wahyuningrum dan Pramono, 2007

Table 2-4: NILAI C BERDASARKAN SLOPE

No.	Slope Class (%)	Nilai C
1	0 – 3	0,3
2	3- 8	0,4
3	8 - 15	0,5
4	15 - 25	0,6
5	> 25	0,7

Sumber: Dune & Leopold, 1978; Subarkah, 1980; Wahyuningrum dan Pramono, 2007

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

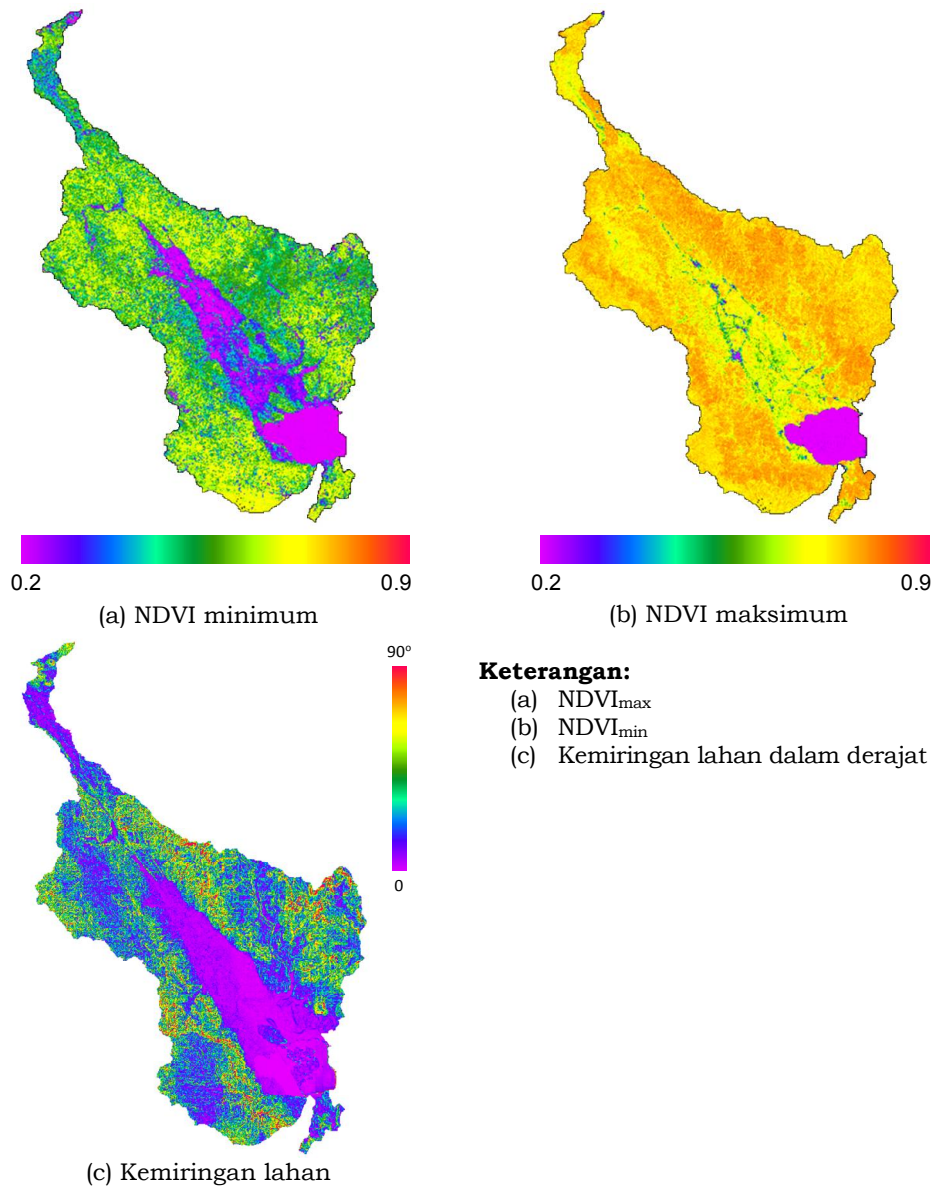
Pendugaan laju erosi tanah dimulai dengan memetakan sebaran $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ di DTA Danau Kerinci. NDVI diturunkan dengan menggunakan 19 data temporal Landsat TM/ETM+ selama periode 2000-2009. Data mewakili musim kemarau dan musim hujan sehingga sebaran $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ yang dihasilkan dapat mewakili kondisi kehijauan di DTA tersebut.

Gambar 3-1a dan 3-1b memperlihatkan sebaran spasial $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ di DTA Danau Kerinci selama periode 2000-2009. Sebaran $NDVI_{min}$ terpantau pada air danau, sawah (dalam fase air) di dataran rendah, dan daerah lahan terbuka di bagian hulu DTA (puncak Gunung Kerinci). Sedangkan sebaran $NDVI_{max}$ teridentifikasi di daerah hutan pada bagian perbukitan. Sebaran $NDVI_{max}$ pada area sawah di bagian tengah DTA adalah kondisi sawah dalam fase vegetatif. Perubahan NDVI yang tinggi (tinggi pada $NDVI_{max}$ dan rendah pada $NDVI_{min}$) terdapat pada daerah sawah dan ladang yang mengalami perubahan kondisi fase tanam atau perubahan tutupan vegetasi, dimana NDVI mempunyai nilai tinggi pada saat lahan ditutupi oleh vegetasi dan NDVI mempunyai nilai rendah saat lahan tidak bervegetasi. Pada saat kondisi tanah tidak bervegetasi maka tanah

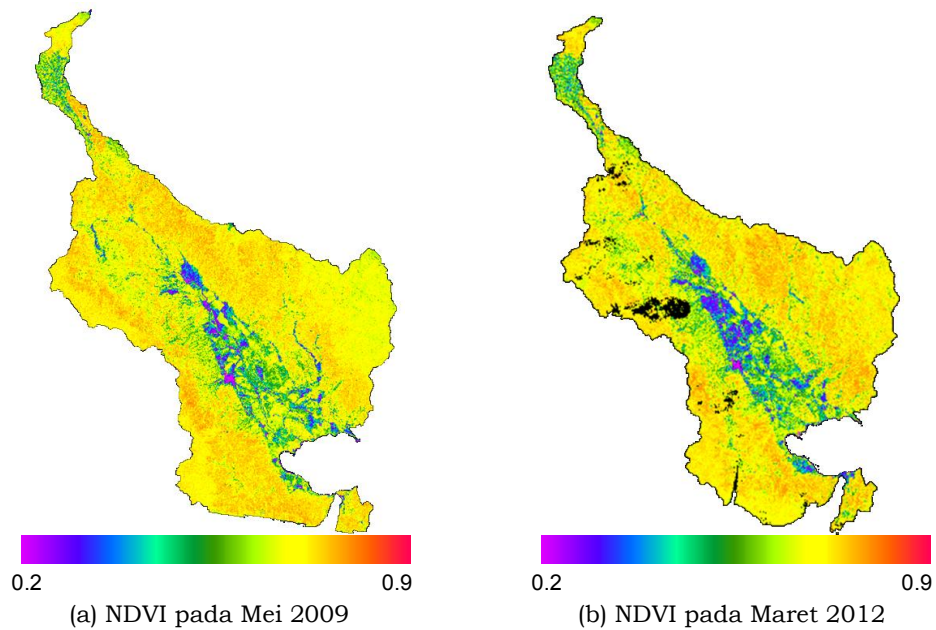
akan mudah tererosi, sehingga semakin rendah nilai NDVI pada suatu wilayah berkorelasi dengan semakin tinggi laju erosi yang akan terjadi pada wilayah tersebut.

Kemiringan lahan DTA Danau Kerinci yang diturunkan dengan menggunakan data DEM diperlihatkan pada Gambar 3-1c. Kondisi topografi yang relatif datar dengan kemiringan lahan kurang dari 10° terdapat pada bagian tengah DTA yang penutup lahannya didominasi oleh pertanian (sawah) dan permukiman, dan dibagian hulu DTA yang merupakan kaki lereng Gunung Kerinci. Sedangkan kemiringan lahan diatas 50° terdapat pada bagian pinggir DTA yang merupakan pegunungan.

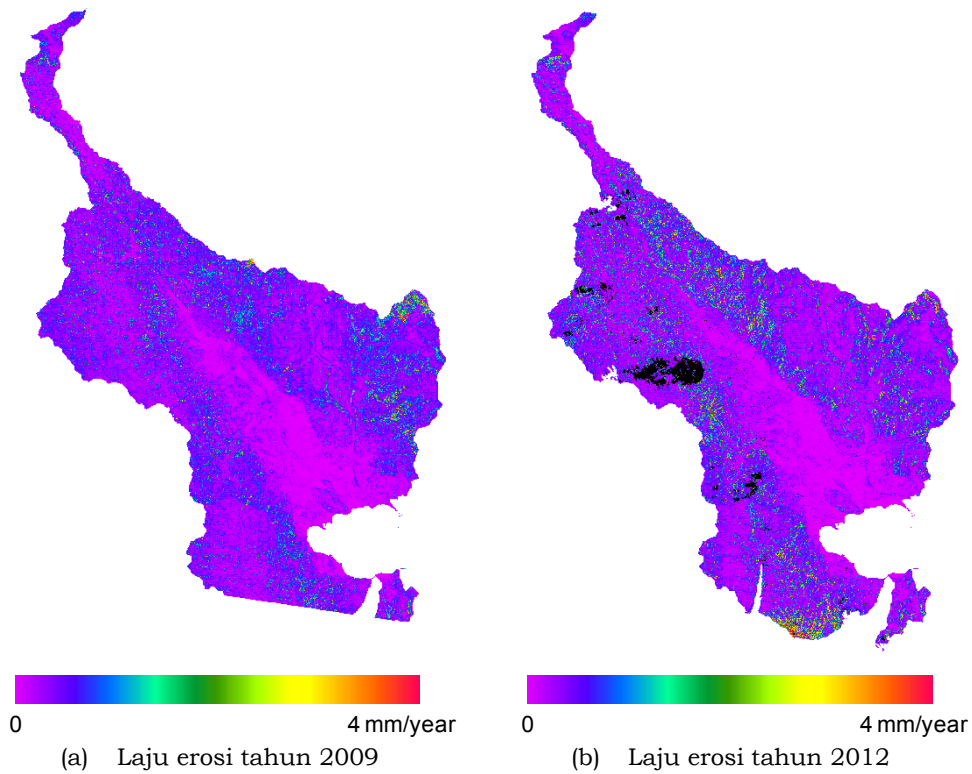
Input lain untuk memetakan laju erosi berdasarkan model *NDVI – Slope* (Hazarika and Honda, 2001) adalah kondisi NDVI eksisting pada tahun yang ingin dipetakan. Gambar 3-2 memperlihatkan sebaran spasial NDVI pada bulan Mei 2009 dan Maret 2012. Adanya sedikit tutupan awan pada citra satelit SPOT-4 perekaman bulan Maret 2012, mengakibatkan adanya nilai NDVI yang kosong (*null pixel*) dengan warna hitam pada bagian tengah DTA. NDVI bernilai rendah terlihat pada hulu Gunung Kerinci dan bagian tengah DTA yang didominasi penutup lahan pertanian dan ladang.



Gambar 3-1: Sebaran $NDVI_{max}$, $NDVI_{min}$ dan kemiringan lahan di DTA



Gambar 3-2: Sebaran NDVI pada 2009 dan 2012 di DTA Danau Kerinci



Gambar 3-3: Sebaran laju erosi tanah tahun 2009 dan 2012 di DTA Danau Kerinci

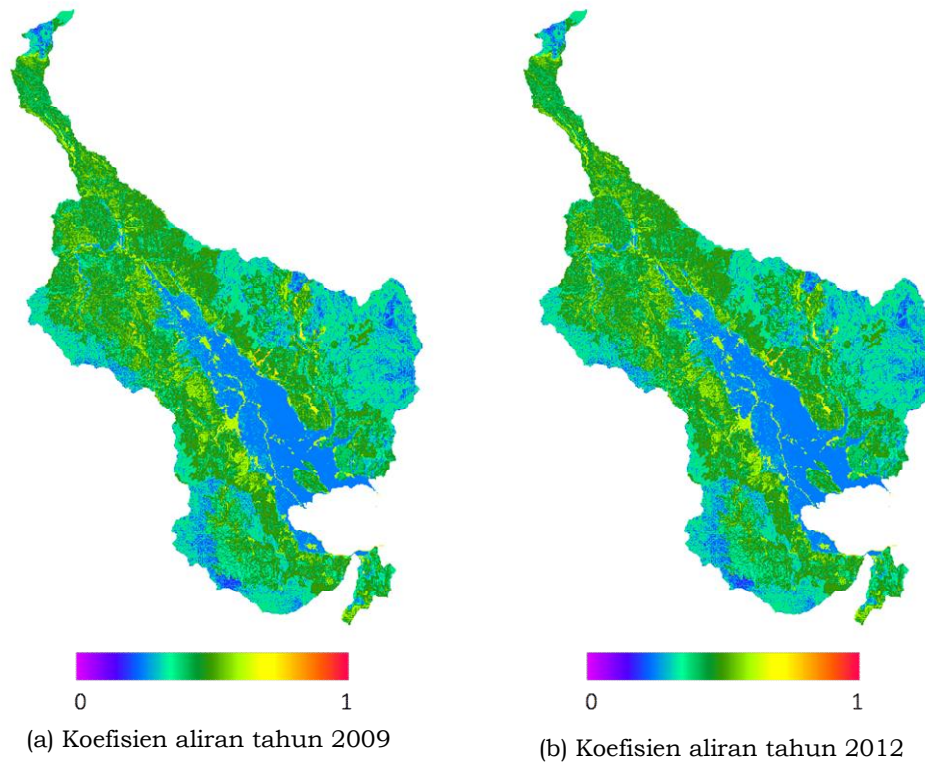
Tabel 3-1: LAJU EROSI TANAH RATA-RATA DUGAAN DI DTA DANAU KERINCI TAHUN 2009-2012

Tahun	2009	2012	Tren
Laju erosi tanah (mm/tahun)	0,39	0,46	Meningkat

Laju erosi tanah pada tahun 2009 hanya terdistribusi pada sisi kanan DTA, sedangkan laju erosi tanah pada tahun 2012 terdistribusi merata dengan nilai lebih bervariasi mencapai 4 mm/tahun. Hasil perhitungan laju erosi tanah rata-rata DTA untuk tahun 2009 dan 2012 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan laju erosi tanah dari 0,39 mm/tahun pada tahun 2009 menjadi 0,46 mm/tahun pada tahun 2012, seperti diperlihatkan pada Tabel 3-1.

Verifikasi terhadap laju erosi tanah dilakukan dengan cara membandingkan secara kualitatif korelasi antara laju erosi dengan koefisien aliran permukaan, dengan membuat hipotesis bahwa peningkatan aliran permukaan di suatu wilayah DTA akan berdampak pada meningkatnya erosi tanah. Gambar 3-4 memperlihatkan sebaran spasial koefisien

aliran permukaan di DTA Danau Kerinci pada tahun 2009 dan 2012. Hasil perhitungan koefisien aliran permukaan rata-rata DTA untuk tahun 2009 dan 2012 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan koefisien aliran permukaan dari 0,40 pada tahun 2009 menjadi 0,41 pada tahun 2012, seperti diperlihatkan pada Tabel 3-2. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa laju erosi tanah mengalami peningkatan sejalan dengan peningkatan koefisien aliran permukaan di DTA Danau Kerinci. Hasil perbandingan ini sesuai dengan hipotesis yang dibuat, sehingga model pendugaan laju erosi tanah berbasis data satelit penginderaan jauh yang digunakan pada kegiatan ini mampu untuk memberikan gambaran kondisi perubahan tingkat erosi yang terjadi di DTA kajian.



Gambar 3-4: Sebaran koefisien aliran tahun 2009 dan 2012 di DTA Danau Kerinci

Tabel 3-2: KOEFISIEN ALIRAN PERMUKAAN RATA-RATA DUGAAN DI DTA DANAU KERINCI TAHUN 2009-2012

Tahun	2009	2012	Tren
Koefisien aliran permukaan	0,40	0,41	Meningkat

Tidak diperolehnya data erosi hasil pengukuran lapangan yang dapat digunakan untuk melakukan verifikasi nilai laju erosi yang dihasilkan dari metode ini memang menjadi kendala untuk mengetahui seberapa besar kemampuan koefisien yang digunakan dalam model dapat diterapkan wilayah DTA di Indonesia. Walaupun begitu berdasarkan hasil perbandingan antara perubahan laju erosi dengan perubahan koefisien aliran permukaan di daerah kajian, metode pendugaan laju erosi ini memiliki kemampuan untuk digunakan di wilayah Indonesia.

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Pendugaan laju erosi tanah berbasis data satelit penginderaan jauh multi temporal Landsat TM/ETM+ dan SPOT-4 telah dilakukan di DTA Danau Kerinci menggunakan model *NDVI-slope*,

beberapa hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Metode *NDVI-slope* dapat digunakan untuk pendugaan laju erosi tanah sehingga menghasilkan informasi sebaran spasial laju erosi tanah di DTA,
- Pemanfaatan data citra multi temporal dapat menghasilkan sebaran spasial $NDVI_{min}$ dan $NDVI_{max}$ yang bebas dari pengaruh awan/*haze* dan dapat menggambarkan secara lebih akurat kondisi kehijauan/kepadatan vegetasi di lokasi kajian (DTA Danau Kerinci),
- Verifikasi secara kualitatif terhadap laju erosi tanah dari model *NDVI-slope* di DTA Danau Kerinci memperlihatkan bahwa peningkatan laju erosi tanah (0.36 menjadi 0.46 mm/tahun) sejalan dengan peningkatan koefisien aliran permukaan (0.40 menjadi 0.41) selama periode 2009-2012. Hasil ini masih perlu diverifikasi secara kuantitatif

dengan erosi hasil pengukuran lapangan untuk menghitung tingkat akurasi metode *NDVI-slope* dalam menduga laju erosi tanah di wilayah Indonesia.

- Berdasarkan hasil yang diperoleh, ekosistem DTA Danau Kerinci diperkirakan mengalami penurunan kualitas yang diindikasikan dengan terjadinya peningkatan laju erosi tanah, dari 0,39 mm/tahun pada tahun 2009 menjadi 0,46 mm/tahun pada tahun 2012.

DAFTAR RUJUKAN

- As-syakur A. R., 2008. *Prediksi Erosi Dengan Menggunakan Metode USLE dan Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis Piksel di Daerah Tangkapan Air Danau Buyan*, PIT MAPIN XVII, Bandung.
- Bahadur K. C. K., 2009. *Mapping Soil Erosion Susceptibility using Remote Sensing and GIS: a Case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand*, Environ Geol, 57:695–705.
- Candra D. S., Kustiyo, Ismaya H., 2014. *Cloud Masking Data SPOT-6 dengan Menggunakan Pendekatan Nilai Reflektansi dan Geometri*, Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh, 2014.
- Dunne T. dan Leopold L.B., 1978. *Water in Environment Planning*, W.H. Freeman and Company, New York.
- Foth H. D., 1995. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Fulajtar E., 2001. *Identification of Severely Eroded Soils from Remote Sensing Data Tested in Risnovce – Slovakia*, the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, 24-29 Mei 1999, Pages 1075-1081, in: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds), 2011.
- Gunawan G., Sutjningsih D., dan Soeryantono H., 2011. *Evaluation of Erosion Based on GIS and Remote Sensing for Supporting Integrated Water Resources Conservation Management Case Study: Manjuntio Watershed, Bengkulu Province-Indonesia*, Dinamika Teknik Sipil, Vol.11, No.3, September 2011.
- Hazarika M. K. dan Honda K., 2001. *Estimation of Soil Erosion using Remote Sensing and GIS, its Valuation and Economic Implications on Agricultural Production*, Proceeding, The 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Honda K., Samarakoon L., dan Ishibashi A., 1998. *Erosion Control Engineering and Geoinformatics: River Planform Change and Sediment Yield Estimation in a Watershed of Siwalik, Nepal*, p.63-70, In R.B. Singh et al. (ed) Space Informatics for Sustainable Development, Oxford & IBH Publishing Co.Pvt. Ltd., New Delhi.
- Jones, D. S., D. G. Kowalski, dan R. B. Shaw. 1996. *Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U. S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps*, Center for Ecological Management of Military Lands Technical Publication Series 96–8. 9 pages.
- KLH, 2012. *Grand Design Penyelamatan Ekosistem Danau Indonesia*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLH, 2011. *Profil 15 Danau Prioritas Nasional 2010-2014*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLH, 2008. *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- Lu D., Li G., Valladares G.S. dan Batistella M., 2004. *Mapping Soil Erosion Risk In Rondonia*,

- Brazilian Amazonia: Using Rusle, Remote Sensing And GIS*, Land Degrad. Develop. 15: 499–512, 2004.
- Subarkah I., 1980. *Hidrologi Air*, Edisi kedua, Idea Dharma, Bandung.
- Trisakti B., Kartasasmita M., Kustiyo dan Kartika T., 2009. *Kajian Koreksi Terrain pada Citra Landsat Thematic Mapper*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital, Vol.6, 2009.
- Trisakti B., Carolita I., dan Susanto, 2013. *Pemetaan Run-off dan Debit Aliran Permukaan di Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Singkarak*, Prosiding Nasional Sains Geoinformasi 2013, Yogyakarta 25-26 September 2013.
- Trisakti B., 2013. *Pembuatan Sebaran Spasial NDVI Minimum dan Maksimum Berbasis Data Landsat TM/ETM+ Periode 2000-2009*, Buku Ilmiah Bunga Rampai Penginderaan Jauh Indonesia Edisi 2013, Submitted.
- Udayakumara E. P. N., Shrestha R. P., Samarakoon L., dan Schmidt-Vogt D., 2010. *People's Perception and Socioeconomic Determinants of Soil Erosion: A Case Study of Samanalawewa Watershed*, Sri Lanka, International Journal of Sediment Research, Vol. 25, No. 4, 2010, pp.323-339.
- Vadari T., Subagyono K dan Sutrisno N., 2004. *Model Prediksi Erosi: Prinsip, Keunggulan dan Keterbatasan*, Buku Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng, P. 71-102, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian-Deptan.
- Wahyuningrum N. dan Promono I.B., 2007. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan di Sub DAS Ngunut I Jawa Tengah*, Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, Vol.IV, No.6: 561-571, 2007.
- Wischmeier W.H. dan Smith D.D., 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*, US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.537, December 1978.
- Wu X., Furby S. dan Wallace J., 2004. *An Approach for Terrain Illumination Correction*, Proceeding, The 12th Australasian Remote Sensing and Photogrametry Association Conference, held in Fremantle, Western Australia 18-22 October 2004.