

TEHNIK MENDETEKSI LAHAN LONGSOR MENGGUNAKAN CITRA SPOT MULTIWAKTU: Studi Kasus di Teradomari, Tochio dan Shidata Mura, Niigata, Jepang

(Landslide Detection Technique using multivariate SPOT Imageries: A case study in Teradomari, Tochio and Shitada Mura, Niigata, Japan)

I NENGAH SURATI JAYA¹⁾

ABSTRACT

This study describes the use of multitemporal principal component analysis (MPCA), vegetation index differencing (VIDN) and conventional maximum likelihood classifier (MLC) for detecting landslides. The study found that the synthetic images derived from stable greenness, delta greenness and delta brightness of MPCA summarized the information of landslides effectively producing accuracy of 88% for Teradomari and 91% for Tochio and Shitada Mura. The VIDN provides relatively lower accuracies than those from MPCA, i.e., only 62.5% for Teradomari and 64% for Tochio and Shitada Mura. The MLC method also provided very low user's accuracy, i.e. 56.9% for Teradomari and 63.7% for Tochio and Shitada Mura but high producer's accuracies, i.e. 100% for Teradomari and 98.3% for Tochio and Shitada Mura. The study also found that the landslides that could be detected should be more than the size of spatial resolution of the SPOT imagery, i.e. 10 m x 10 m. Detecting landslides using SPOT imagery is more efficient than using only ground survey, providing an efficiency of 2.7.

Key words: Analisis komponen utama multiwaktu (*Multitemporal principal component analysis*), disparitas indeks vegetasi (*vegetation index differencing*), metode peluang maksimum (*maximum likelihood classifier*), kestabilan kehijauan (*stable greenness*), perubahan kehijauan (*delta greenness*), perubahan kecerahan (*delta brightness*) dan efisiensi relatif (*efficiency relative*)

PENDAHULUAN

Pada dasawarsa terakhir ini, bencana alam baik yang disebabkan oleh gempa bumi, angin taifun, letusan gunung berapi serta banjir dan tanah longsor melanda hampir seluruh belahan bumi. Negara Jepang adalah salah satu negara yang sering tertimpa bencana lama seperti taifun, gempa bumi dan banjir. Pada musim panas tahun 2004, telah terjadi bulan-bulan yang mempunyai curah hujan yang sangat ekstrim tinggi di beberapa wilayah di Jepang. Curah hujan yang tinggi telah menyebabkan bencana banjir yang merendam

¹⁾ Dosen senior dan peneliti pada Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Kampus IPB Darmaga, bogor (e-mail: ins-java@cbn.net.id)

wilayah Sanjo dan sekitarnya yang meliputi Teradomari, Shitada Mura, Tochio dan Nagaoka pada tanggal 13 Juli 2004. Bencana banjir tersebut telah mengakibatkan rusaknya beberapa tanggul pengendali banjir, menghanyutkan sebagian rumah-rumah penduduk yang ada di sekitar sungai dan merendam sebagian besar kota Sanjo dan lahan-lahan pertanian yang ada di sekitarnya. Curah hujan yang sangat tinggi ini menjadi pemicu terjadinya lahan-lahan longsor yang dilaporkan beberapa saat setelah bencana banjir ini. Studi ini memfokuskan pada areal bencana lahan longsor yang terjadi di Teradomari, Shitada Mura dan Tochio. Pemilihan ini berdasarkan pada laporan dari Pemerintah Daerah Niigata tentang terjadinya kejadian lahan longsor di beberapa tempat di sekitar lokasi penelitian.

Berkaitan dengan lahan longsor, ada dua hal yang sangat krusial, (1) pengumpulan informasi tentang kejadian lahan longsor (*landslide*) dan (2) pengendalian lahan longsor itu sendiri (Hervas *et al*, 2003). Pengumpulan informasi tentang lahan longsor diharapkan dapat digunakan untuk memprediksi kejadian-kejadian lahan longsor dimasa mendatang serta menentukan bagaimana cara pencegahan dan penanggulangannya. Sampai saat ini, pengamatan lahan longsor masih mengutamakan tehnik pengamatan lapangan karena dianggap cukup teliti. Akan tetapi hal ini tidak cukup karena informasi yang diperlukan tidak semata-mata harus teliti, tetapi harus juga akurat, tidak berbias dan tepat waktu (*timely*). Selain itu, informasi yang disediakan pada pengamatan lapangan ini hanya pengamatan berbasis pengamatan titik.

Dalam suatu analisis spasial, pembentukan suatu fitur dari bentuk-bentuk permukaan dengan berbasis pada titik lebih sering menghasilkan ketidakpastian (*uncertainty*) yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena tidak adanya acuan tentang bentuk permukaan bumi yang sebenarnya. Akan tetapi, kehadiran citra satelit dengan berbagai kelebihanannya akan mampu mengatasi ketidakpastian tersebut karena setiap titik yang membentuk suatu fitur permukaan dapat diukur. Kehadiran citra satelit baru beresolusi spasial tinggi seperti IKONOS, SPOT 5, IRS dan Quickbird telah banyak merubah orientasi pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, dari mulai sekedar sebagai pelengkap menjadi suatu alat utama. Kemampuan citra yang dapat mengkover areal secara berulang dalam periode waktu yang singkat, mempunyai cakupan luasan yang besar, resolusi spasial yang tinggi (0,6 m ~ 10 m) dan spektral yang tinggi (sinar tampak dan infra merah) telah menjadikannya sebagai sumber informasi handalan.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, penulis mencoba mengembangkan dan menguji coba suatu tehnik untuk melakukan pemantauan lahan longsor menggunakan citra satelit multi waktu. Pada studi ini, dikembangkan suatu metode pengolahan citra untuk memetakan dan memonitor kejadian-kejadian lahan longsor menggunakan citra SPOT multi waktu. Metode yang dikembangkan mencakup deteksi perubahan secara otomatis (dijital) yang meliputi proses registrasi/koreksi geometrik citra, membuat citra sintetis serta melakukan "thresholding" untuk menentukan piksel-piksel yang menyatakan adanya tanah longsor. Pada studi ini juga direkomendasikan beberapa tehnik filtering dan "masking" untuk melokalisasi piksel-piksel yang terkait dengan tanah longsor. Metode ini diujicobakan pada dua lokasi yaitu wilayah Teradomari, dan Tochio-Shitada Mura, Provinsi Niigata, Jepang, untuk mendeteksi lahan longsor yang terjadi pada pertengahan bulan Juli 2004. Citra yang digunakan untuk mendeteksi tanah longsor ini

adalah citra SPOT multi waktu rekaman sebelum dan sesudah bencana lahan longsor di lokasi penelitian.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menguji tehnik mendeteksi lahan longsor yang paling akurat menggunakan citra satelit. Tujuan tambahan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui kapabilitas data SPOT baik SPOT generasi tua (SPOT 2 – 4) maupun SPOT generasi terbaru (SPOT 5) dan (2) untuk mengetahui efisiensi relatif penggunaan SPOT; dalam mendeteksi lahan longsor yang terjadi setelah bencana hujan lebat dan banjir yang terjadi di Niigata pada tanggal 23 July 2004.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi areal penelitian ini adalah daerah Teradomari, Shitada Mura dan Tochio, Propinsi Niigata, Jepang. Lokasi daerah Teradomari terletak antara koordinat 128°43'31,07" BT dan 138°50'31,95" BT dan; antara 37°42'22,30" LU dan 37°34'01,09" LU, sedangkan lokasi daerah Shitada Mura dan Tochio terletak pada kisaran koordinat 138°54'54,54" BT dan 139°13' 37,80" BT dan antara 37°36'40,25" LU dan 37°21'54,71" LU. Secara umum, daerah Teradomari mempunyai topografi yang relatif landai sampai dengan sedang, sedangkan daerah Tochio dan Shitada Mura mempunyai topografi yang berkisar antara sedang dan berat.

Data, Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

Citra utama yang digunakan dalam penelitian ini SPOT 2 dan SPOT 5 dengan karakteristik sebagai berikut:

- Citra SPOT 2 rekaman tgl 15 Agustus 2001 yang mewakili kondisi areal sebelum lahan longsor terjadi, dimana band-band multispektralnya mempunyai resolusi spasial 20 m x 20 m
- Citra SPOT 5 rekaman 24 Juli 2004, yang mewakili kondisi areal paska landslide. Band-band multispektralnya mempunyai resolusi spasial 10 m x 10 m.
- Peta kontur digital dengan interval kontur 50 m.
- Peta jalan guna mendapat informasi spasial tentang lokasi longsor dari jalan.
- Peta laporan titik-titik lahan longsor yang diperoleh dari Pemerintah Daerah Niigata.
- Hasil pemeriksaan lapangan.

Pengolahan dan analisis citra SPOT ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Erdas Imagine versi 8.7, ArcView versi 3.3 dan ArcInfo versi 7.2.1, yang diinstall pada perangkat keras komputer pribadi (PC) .

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian tahapan yang mencakup koreksi geometrik, registrasi, pemeriksaan lapangan terhadap laporan kejadian lahan longsor; pembuatan citra sintetis dengan analisis komponen utama dan perbedaan dua indeks vegetasi (*vegetation index differencing*), klasifikasi citra dengan metode klasifikasi terbimbing, evaluasi separabilitas, dan evaluasi ketelitian deteksi lahan longsor. Untuk mendapatkan distribusi dan kedalaman angin .

Analisis Komponen Utama

Pembuatan Citra Indeks Kehijauan dan Kecerahan dengan Analisis Komponen Utama

Untuk mendeteksi lahan longsor pada penelitian ini, penulis menggunakan pendekatan analisis simultan (*simultaneous analysis of multitemporal images*) (Singh, 1989). Citra sintetis dibuat menggunakan teknik kompresi Analisis Komponen Utama (Principal Component Analysis). Metode ini juga sering disebut dengan metode Hotelling Transformation atau Karhunen-Loeve (K-L) transformation yang bertujuan untuk memilih keragaman yang kombinasi linearnya tidak mempunyai korelasi yang cukup. Tiga band SPOT tahun 2001 yaitu band (hijau), (merah) dan (inframerah) digabungkan menjadi satu dengan tiga band lain dari citra SPOT 5 tahun 2004, dan selanjutnya dianggap sebagai satu set data multiwaktu. Agar citra SPOT tersebut dapat dianalisis sebagai satu set data, citra SPOT 2 tahun 2001 diresampling sehingga mempunyai resolusi spasial 10 m x 10 m. Selanjutnya dari 6 band multiwaktu tersebut diturunkan citra sintetis dengan analisis komponen utama terstandarisasi (*standardized principal component*). Kemudian, berdasarkan nilai *eigenvector* dari masing-masing komponen, dipilih komponen yang menyatakan kestabilan kecerahan dan kehijauan (*stable brightness* dan *stable greenness*) serta perubahan kecerahan dan kehijauan (*delta brightness* and *delta greenness*). Metode penilaian *eigenvector* ini sangat sederhana dengan melihat tanda aljabar pada band merah dan inframerah dari waktu yang berbeda. Citra sintetis yang diturunkan dari masing-masing komponen kemudian dianalisis lebih lanjut guna mendeteksi lahan longsor. Jaya dan Kobayashi (1995) telah membuktikan kehandalan metode ini dalam mendeteksi perubahan tutupan hutan. Singh dan Harrison (1985) merekomendasikan menggunakan analisis komponen utama terstandarisasi (*standardized principal component*) untuk mengurangi pengaruh variabilitas reflektansi pada tutupan lahan yang sama. Loughin (1991) mengatakan bahwa citra yang dihasilkan dari analisis komponen utama dievaluasi lebih akurat dibanding dengan yang lainnya. Secara matematis, suatu set variabel baru Y_1, Y_2, \dots, Y_N yang masing-masing disebut dengan komponen utama ke-1, ke-2 ke-N dinyatakan sebagai berikut:

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{Nj}X_N \\ = a_j^T X$$

dimana: T menyatakan matrik transposisi, $a_j^T = [a_{1j}, \dots, a_{Nj}]$ adalah vektorciri (*eigenvector*) yang dinormalisasi (yaitu $a_j^T a_j = 1$) dari matrik ragam peragam. Nilai akarciri (*eigenvalue*)

dari masing-masing komponen (λ_i) menyatakan proposi keragaman dari data, yang selalu diurutkan sebagai berikut:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots \lambda_N$$

$$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad \text{dan}$$

dimana σ^2 =keragaman dari variable asal. Selanjutnya dari *eigenvector* yang diturunkan dilakukan identifikasi indeks kecerahan dan kehijauannya berdasarkan besarnya dan tanda aljabar dari setiap nilai koefisien dari setiap band pada masing-masing komponen.

Dengan metode ini dilakukan evaluasi terhadap 4 macam indeks, yaitu:

- (1) *Stable brightness* didefinisikan apabila besarnya nilai *eigenvector* (*weight*) dari setiap band hampir sama dengan tanda aljabar yang positif. Indeks ini umumnya terdapat pada komponen utama ke satu.
- (2) *Stable greenness*, apabila band merah dari kedua waktu mempunyai tanda aljabar sama, tetapi berlawanan dengan tanda aljabar band inframerah dari kedua waktu. Sebagai contoh tanda aljabar kedua band merah positif pada kedua tahun yang berbeda, sedangkan tanda aljabar kedua band inframerahnya negatif, atau sebaliknya.
- (3) *Delta brightness*, dicirikan oleh adanya kesamaan tanda aljabar band merah dan inframerah dari waktu yang sama, tetapi bertentangan tanda aljabar dengan merah dan inframerah dari waktu yang berbeda. Sebagai contoh, tanda aljabar pada tahun sebelumnya untuk band merah dan inframerah adalah positif sedangkan untuk band merah dan inframerah pada tahun sesudahnya negatif, atau dapat juga sebaliknya.
- (4) *Delta greenness*, merupakan kebalikan dari *stable greenness*. Sebagai contoh, jika tanda aljabar band merah positif dan inframerah negatif untuk tahun sebelumnya maka tanda aljabar tahun sesudahnya untuk merah adalah negatif sedangkan inframerah adalah positif. Juga bisa sebaliknya, negatif (merah) dan positif (inframerah) untuk tahun sebelumnya dan positif (merah) dan negatif (inframerah) untuk tahun sesudahnya.

Disparitas Indeks Vegetasi (Vegetation Index Differencing).

Pemilihan ini berlandaskan pada pendekatan perubahan biomasa (perubahan tutupan vegetasi), dengan membuat mencari suatu nilai disparitas indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) yang selanjutnya disebut dengan VIDN. Indeks tersebut dihitung menggunakan band merah dan inframerah dekat SPOT sebagai berikut:

$$VIDN = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} (\text{tahun 2004}) - \frac{NIR - RED}{NIR + RED} (\text{tahun 2001})$$

Dengan rumus ini, nilai VIDN akan berkisar antara -2 sampai dengan 2. Nilai yang negatif menyatakan adanya pengurangan biomasa atau vegetasi hijau dan merupakan salah

satu indikasi terjadinya lahan longsor. Metode ini pernah diujicobakan oleh Nelson (1983) untuk mendeteksi defoliiasi daun akibat serangan "gypsy moth". Banner dan Lynham (1982) dalam Singh (1989) pernah menggunakan metode ini untuk mendeteksi lokasi terjadinya tebang habis.

Thresholding

Dari masing-masing citra sintetis yang terpilih, selanjutnya dilakukan *thresholding* untuk menentukan areal-areal yang mengalami lahan longsor. Nilai ambang atas (T_u) dan ambang bawah (T_d) dari masing-masing *threshold* ditentukan berdasarkan nilai piksel contoh yang diambil dari areal-areal yang mengalami lahan longsor. Secara matematis, proses *thresholding* ini dilakukan dengan kaidah pengambilan keputusan sebagai berikut:

$$I(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } I(x, y) \geq T_d \text{ dan } I(x, y) \leq T_u \\ 0, & \text{selain itu} \end{cases}$$

dimana $I(x, y)$ adalah nilai piksel citra sintetis yang dibuat dari indeks terpilih. Untuk citra sintetis VIDN, juga dilakukan klasifikasi lahan longsor dan bukan lahan longsor menggunakan ambang atas dan ambang bawah.

Penghalusan (filtering) dan Masking

Hasil dari *thresholding* lahan longsor ini umumnya masih mengandung "noise" yang tampak seperti noktah-noktah ("*salt-and-pepper*") sebagai akibat dari kesalahan registrasi atau pengaruh kemiripan spektral, yang dapat mengurangi keakuratan hasil analisis lahan longsor. Untuk menghilangkan kesalahan-kesalahan ini maka selanjutnya dilakukan *filtering* menggunakan *lowpass filter* yaitu filter median. Setelah dilakukan penghalusan, selanjutnya dilakukan *masking* untuk melokalisasi areal-areal yang potensi kejadian lahan longsornya tinggi, dan mengeluarkan areal-areal yang dapat meningkatkan kesalahan analisis.

Dalam proses "*masking*", areal-areal yang dikeluarkan dari areal lahan longsor adalah wilayah persawahan, perumahan dan wilayah-wilayah yang arealnya datar. Dengan *masking* ini maka pembentukan lahan-lahan kosong di areal permukiman dan lahan-lahan persawahan tidak akan teridentifikasi sebagai lahan longsor. Agar deteksi ini menjadi logis, maka analisis difokuskan pada areal-areal perbukitan/pegunungan atau areal-areal yang slopenya lebih besar dari 15%. Dalam hal ini penulis membuat 2 kelas slope, yang masing-masing diberi skor 0 untuk slope < 15% dan skor 1 untuk slope > 15%. Selanjutnya dilakukan multiplikasi antar kelas slope dengan citra hasil deteksi lahan longsor berdasarkan nilai *threshold*.

Separabilitas dan Akurasi

Untuk mengetahui tingkat akurasi lahan longsor yang diamati maka dilakukan analisis separabilitas dan analisis akurasi. Analisis separabilitas dilakukan menggunakan

kriteria separabilitas *Transformed Divergence*. Sedangkan untuk akurasinya dilakukan pengambilan contoh lapangan dan dianalisis dengan pembuatan matrik konfusi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah Teradomari

Citra Komponen Utama dan Disparitas Indeks Vegetasi

Berdasarkan evaluasi *eigenvector* dari masing-masing komponen, dapat dikenali beberapa indeks sebagai berikut:

- a) Kestabilan kehijauan (*Stable greenness*) pada PC1 dengan keragaman 80%. Indeks ini merangkum semua informasi yang berhubungan dengan obyek tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan (*no change*)
- b) Kestabilan kecerahan (*stable brightness*) pada PC2 dengan keragaman 16,8%. Indeks ini merangkum sekitar 16,8% informasi yang berhubungan dengan kestabilan kehijauan.
- c) Perubahan kehijauan (*delta greenness*) pada PC3 dengan keragaman 1,6%. Indeks ini merangkum informasi perubahan khususnya yang terkait dengan perubahan kehijauan. Informasi tentang perubahan kehijauan akibat dari lahan longsor akan dirangkum pada indeks ini.
- d) Perubahan kecerahan (*delta brightness*), pada PC5 dengan keragaman hanya 0,4%. Indeks ini merangkum informasi perubahan kecerahan, misalnya dari tutupan vegetasi menjadi lahan longor

Berdasarkan konsep transformasi *eigenvector* yang membentuk sumbu baru yang saling orthogonal dan sekaligus mencari korelasi yang tinggi pada komponen-komponen di kelompok awal, maka sesungguhnya sumbu-sumbu komponen yang merekam adanya perubahan adalah pada komponen-komponen pada kelompok akhir, yaitu mulai komponen ke-3 dan seterusnya. Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1, perubahan kehijauan ditemukan pada komponen ke-3 sedangkan perubahan kecerahan ditemukan pada komponen ke-5.

Tabel 1. *Eigenvector* dari Komponen Utama Citra Multiwaktu SPOT 2 dan SPOT 5 untuk Daerah Teradomari.

Multi band	Komponen			
	PC1	PC2	PC3	PC5
Green-2001	0.5806	0.2618	-0.1965	0.6667
Red-2001	0.6157	0.3368	0.1703	-0.6727
NIR-2001	0.4134	-0.8142	-0.3824	-0.1349
Green-2004	0.1238	0.1234	-0.1449	0.1454
Red-2004	0.1790	0.2200	-0.1865	0.0021
NIR-2004	0.2559	-0.3024	0.8546	0.2521
Keragaman(%)	80.4088	16.3539	1.6078	0.3449
Indeks	<i>Stable brightness</i>	<i>Stable greenness</i>	<i>Delta greenness</i>	<i>Delta brightness</i>

Untuk mendeteksi lahan longsor, penulis selanjutnya membuat citra sintetik yang berasal dari indeks-indeks yang merangkum perubahan kehijauan, kecerahan dan kestabilan kehijauan (PC2, PC3 dan PC5) yang diturunkan dari analisis komponen utama, dan yang berasal dari disparitas indeks vegetasi (VIDN). Dari keempat citra sintetik tersebut, selanjutnya dibuat *training area* berdasarkan lokasi lahan longsor diambil berdasarkan indeks-indeks terpilih. Besarnya threshold dari masing-masing indeks disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Threshold PC2, PC3, PC5 dan VIDN citra SPOT untuk Daerah Teradomari

<i>Indeks</i>	Ambang bawah (Td)	Ambang atas (Tu)
<i>Stable greenness</i> (PC2)	- 106.6	-34.3
<i>Delta greenness</i> (PC3)	- 49.4	-19.3
<i>Delta brightness</i> (PC5)	33.9	42.2
VIDN	- 1.0239	-0.3517

Pada citra sintetik PC2 terlihat bahwa lahan longsor mempunyai negatif yang sangat dipengaruhi oleh bobot (*eigenvector*) dari band inframerah NIR-2001 dan NIR-2004, yaitu -0.8142 dan -0.3024. Demikian pula nilai piksel lahan longsor pada citra sintetik PC3, nilai piksel juga berada pada kisaran yang negatif (-49,4 ~ -19.3). Berdasarkan besaran nilai *eigenvector* pada PC3, yaitu bobot Red-2001, NIR-2001, Red-2004 dan NIR-2004 maka dapat dikatakan bahwa terjadi peningkatan kehijauan secara umum. Bobot NIR pada tahun 2001 sebesar -0,3824, berubah menjadi 0,8546 pada tahun 2004, sebaliknya Red pada tahun 2001 dari 0.1703 menjadi -0,1865 pada tahun 2004. Sebagaimana yang diperlihatkan oleh *eigenvector* pada PC5, terjadi peningkatan kontras dimana Red dan NIR pada tahun 2001 yang negatif berubah menjadi positif pada tahun 2004. Pada citra sintetik PC5, nilai lahan longsornya berkisar antara 33,9 dan 42,2.

Berdasarkan nilai ambang atas dan ambang bawah dari 3 komponen utama terpilih (SG, DG dan DB), selanjutnya dibuat citra lahan longsor menggunakan penghubung (*logical connector*) logika AND. Hasil evaluasi visual menunjukkan bahwa hampir semua lahan longsor yang mempunyai luas lebih besar dari 10 m x 10 m dapat terdeteksi. Konfusi yang cukup signifikan terjadi pada daerah-daerah pertanian dan

permukiman/perkotaan. Pada lahan-lahan pertanian yang umumnya ditanami dengan tanaman semusim, perubahan tutupan vegetasi karena perubahan jenis tanaman dan masa pengolahan lahan. Perubahan dari tanaman semusim menjadi lahan yang pada kondisi sedang diolah akan terdeteksi sebagai lahan longsor. Hal ini disebabkan karena lahan-lahan yang sedang diolah mempunyai kemiripan spektral dengan lahan longsor. Konfusi terjadi juga di wilayah-wilayah perdesaan khususnya areal-areal yang pemanfatannya dirubah dari vegetasi hijau menjadi lahan-lahan non vegetasi seperti pembukaan jalan dan atau pembangunan perumahan.

Untuk menghilangkan konfusi atau kesalahan semacam ini, selanjutnya dilakukan *masking* dan *filtering*. Di wilayah Teradomari, sebagian besar wilayah studi adalah areal datar dan bergelombang, hanya sebagian kecil saja yang mempunyai topografi berat. Penggunaan lahan di wilayah yang landai adalah lahan pertanian irigasi, tanaman semusim dan permukiman. Oleh karena pada saat pembuatan komponen utama melibatkan semua nilai piksel dari citra, maka secara perubahan tutupan pada lahan pertanian yang menyerupai lahan longsor akan mengalami "konfusi" dengan lahan longsor yang sebenarnya. Hasil akhir dari deteksi lahan longsor menggunakan metode komponen utama di daerah Teradomari dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk mendeteksi lahan longsor dengan metode VIDN, dari citra sintetiknya diperoleh ambang bawah dan ambang atas nilai piksel lahan longsornya antara -1.0239 dan -0.3517 . Sama halnya dengan metode analisis komponen utama, citra sebaran lahan longsor yang diperoleh perlu dilakukan filtering dan masking.

Akurasi Metode Komponen Utama dan Disparitas Indeks Vegetasi (VIDN)

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi dari metode komponen utama dan VIDN ini, penulis melakukan pengecekan kejadian lahan longsor berdasarkan kenampakan hasil deteksi pada citra. Untuk daerah Teradomari ini dilakukan pemeriksaan terhadap 13 lokasi berdasarkan peta laporan yang dibuat oleh Pemerintah Daerah Niigata. Dari ke 13 lokasi tersebut 5 diantaranya termasuk lahan longsor kecil yang ukurannya lebih kecil dari $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ dan/atau keberadaannya masih tertutup tajuk-tajuk pohon, sedangkan 8 lokasi termasuk lahan longsor besar, dengan ukuran lebih besar dari $10\text{ m} \times 10\text{ m}$. Dari hasil pengujian akurasi ini dapat diketahui bahwa lahan longsor yang berukuran lebih kecil dari ukuran spasial citra ($10\text{ m} \times 10\text{ m}$) tidak mampu dideteksi dengan metode komponen utama maupun dengan metode VIDN. Akan tetapi, untuk lahan longsor yang mempunyai ukuran lebih besar dari $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, sebanyak 7 lokasi (88%) terdeteksi dengan tepat, sedangkan 2 mengalami misklasifikasi karena ternyata adalah pembukaan tanah galian (disekitar gunung/tebing) sedangkan satunya lagi berada di bawah tajuk. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa kesalahan klasifikasi akan terjadi untuk pembukaan wilayah di daerah-daerah yang dekat dengan perbukitan atau dekat tebing.

Pada deteksi lahan longsor dengan metode VIDN (disparitas indeks vegetasi), akurasi pendeteksiannya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan metode komponen utama. Dengan metode ini, lahan longsor yang berukuran besar (lebih besar dari $10\text{ m} \times 10\text{ m}$) yang tidak terdeteksi ada 4 lokasi, dan hanya 5 lokasi (62,5%) yang terdeteksi dengan jelas. Dengan metode ini, ada sedikit konfusi dengan perubahan lainnya, di antaranya adalah konfusi dengan perubahan kondisi tutupan tajuk rapat menjadi tutupan

tajuk rendah. Hasil akurasi ini menunjukkan bahwa metode VIDN ini tidak mampu merangkum informasi lahan longsor secara memadai. Secara teoritis, metode ini hanya merangkum perubahan kehijauan saja, sedangkan perubahan kecerahan tanah sebagai akibat lahan longsor tidak dapat dirangkum pada VIDN. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa perlu kehati-hatian menggunakan metode ini untuk deteksi lahan longsor. Satu alasan yang cukup rasional adalah bahwa indeks yang direkam pada komponen utama mencakup perubahan kecerahan dan kehijauan, sedangkan disparitas indeks vegetasi lebih banyak merangkum perubahan vegetasi hijaunya, dengan sedikit atau tanpa menghiraukan perubahan adanya perubahan kecerahan, karena longsor tidak hanya terjadi pada daerah-daerah yang bervegetasi.

Citra Hasil Klasifikasi Terbimbing Daerah Teradomari

Sebagai pembanding dengan dua metode terdahulu, pada penelitian ini juga dilakukan klasifikasi menggunakan metode konvensional, yaitu metode klasifikasi terbimbing dengan algoritme peluang maksimum (*maximum likelihood method*). Pada klasifikasi ini dibuat tujuh kelas tutupan lahan yaitu tutupan air, perubahan dari tanaman pertanian ke lahan longsor (tanah kosong), lahan kosong ke bentuk tanaman, areal perdesaan, sawah irigasi dan lahan kosong. Hasil analisis separabilitas menunjukkan bahwa lahan longsor dengan mudah dipisahkan dengan tutupan-tutupan lainnya, dengan nilai TD berkisar antara 1976 dan 2000. Ini berarti bahwa, secara statistik ini berarti bahwa lahan longsor sangat mudah dibedakan dengan tutupan-tutupan lainnya.

Akan tetapi, dilihat dari akurasi klasifikasinya, akurasi pengguna (*user's accuracy*), akurasi dari lahan longsor ini hanya 57% (Tabel 3), hal ini disebabkan karena lahan longsor mempunyai banyak kemiripan dengan kelas perubahan dari tutupan tanaman pertanian ke tanah kosong, areal perdesaan dan perkotaan dan tutupan hutan.

Table 3. Matrik Konfusi Klasifikasi Menggunakan PC1, PC2, PC3, PC5 dan PC6 untuk Daerah Teradomari.

Terklasifikasi ke Tutupan lahan	Data referensi								
	AIR	PRTN-LK	LK-PRTN	KOTDS	SW-HIR	VG/NV-LNGSR	HTN	Total	UA
AIR	5678	0	0	0	0	0	0	5678	100
PRTN-LK	0	1275	0	0	145	0	0	1420	89.8
LK-PRTN	0	0	1509	5	0	0	0	1514	99.7
KOTDS	2	0	6	1141	0	0	0	1149	99.3
SWHIR	2	45	0	0	2435	0	0	2482	98.1
VG/NV-LNGSR	0	9	1	8	0	41	13	72	56.9
HTN	1	0	0	0	0	0	2224	2225	100
Total	5683	1329	1516	1154	2580	41	2237	14540	
PA	99.9	95.9	99.5	98.9	94.4	100.0	99.4		

Keterangan PA = *producer's accuracy* dan UA = *user's accuracy*; AIR = Badan Air; PRTN-LK = Perubahan dari Tanaman Pertanian ke lahan kosong; LK-PRTN= Perubahan dari lahan kosong ke pertanian; KOTDS= Perkotaan/perdesaan; SWHIR= Lahan persawahan irigasi; VG/NV-LNGSR=Perubahan dari vegetasi / non-vegetasi ke Lahan longsor; HTN= Tutupan hutan

Wilayah Tochio dan Shitada Mura

Citra Komponen Utama dan Disparitas Indeks Vegetasi

Hasil transformasi citra di lokasi Tochio dan Shitada Mura, maka diperoleh nilai *eigenvector* sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan ciri-ciri indeksinya, maka pada analisis komponen utama daerah Tochio-Shitada Mura diperoleh 3 indeks, yaitu indeks *stable greenness* pada PC2, *delta greenness* pada PC3 dan *delta brightness* pada PC6. PC2 mencakup keragaman data sebesar 26,24%, PC3 mencakup sebanyak 5,12% dan PC6 sebesar 0,1%. Berdasarkan nilai piksel *training area* tempat terjadinya lahan-lahan longsor di lapangan, diperoleh nilai ambang bawah dan ambang atas masing-masing indeks sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. *Eigenvector* dari Komponen Utama Citra Multiwaktu SPOT 2 dan SPOT 5 untuk Daerah Teradomari.

Multi band	Komponen		
	PC2	PC3	PC6
Green-2001	0.1642	0.0862	0.0592
Red-2001	0.2038	0.2310	-0.0698
NIR-2001	-0.8876	-0.2865	-0.0018
Green-2004	0.1686	-0.5360	-0.8064
Red-2004	0.2594	-0.7394	0.5817
NIR-2004	-0.2192	0.1523	0.0552
Keragaman (%)	26.24	5.12	0.08
Indeks	<i>Stable greenness</i>	<i>Delta greenness</i>	<i>Delta brightness</i>

Tabel 5. Nilai Threshold PC2, PC3, PC5 dan VIDN citra SPOT untuk Daerah Tochio dan Shitada Mura

Indeks	Ambang bawah (Td)	Ambang atas (Tu)
<i>Stable greenness (PC2)</i>	-137.99	-55.64
<i>Delta greenness PC3</i>	-196.99	-150.21
<i>Delta brightness PC6 (DB)</i>	-41.24	-31.90
VIDN	-0.4564	-0.2799

Akurasi Metode Komponen Utama dan Disparitas Indeks Vegetasi (VIDN)

Untuk daerah penelitian Tochio dan Shitada Mura, juga dilakukan pengujian akurasi deteksi lahan longsor dengan melakukan pengecekan di 13 lokasi (2 lokasi berupa lahan longsor kecil dan 11 longsor besar). Dengan metode komponen utama diketahui bahwa untuk lahan longsor besar (yang luasnya lebih besar dari 100 m²), sebanyak 10 lokasi atau sekitar 91% dapat dideteksi dengan akurat, hanya 1 lokasi yang tidak terdeteksi karena areal tertetak pada areal miring yang terkena pengaruh bayangan topografi . Untuk 2 lokasi longsor yang kecil juga tidak dapat terdeteksi .

Dengan metode VIDN, sama halnya dengan yang ditemukan di Teradomari, sebagian besar yang terdeteksi dengan metode komponen utama tidak terdeteksi dengan

metode VIDN. Dari 11 titik pengamatan lahan longsor besar, hanya 7 lokasi (64%) yang terdeteksi dengan baik, sisanya sebanyak 5 titik tidak terdeteksi. Demikian pula lokasi lahan longsor kecil tidak dapat dideteksi dengan metode VIDN ini. Dari perbandingan akurasi kedua metode ini, dapat dikatakan bahwa metode komponen utama mempunyai kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan metode VIDN dalam mendeteksi lahan longsor.

Citra Hasil Klasifikasi Terbimbing Daerah Tochio dan Shitada Mura

Berdasarkan evaluasi separabilitasnya, juga diketahui bahwa deteksi lahan longsor (VG/NV-LNGSR) mempunyai separabilitas yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 1958 (kriteria *good*) sampai dengan 2000 (kriteria *excellent*). Ini berarti bahwa lahan longsor secara spektral dapat dibedakan dengan tutupan lainnya. Lebih lanjut, hasil klasifikasi dengan metode terbimbing menggunakan PC2, PC3 dan PC6 dapat diperoleh matrik kesalahan sebagaimana disajikan pada Tabel 6. Pada Tabel 6 tersebut dapat diketahui bahwa *user's accuracy* adalah 63,7% dan *producer's accuracy* sebesar 98,3%. Pada klasifikasi ini diketahui bahwa tutupan lahan yang memberikan kontribusi besar dalam kesalahan dalam mendeteksi lahan longsor adalah perubahan dari tanaman pertanian ke lahan kosong. Hal ini tidak dapat dipungkiri bahwa sifat-sifat spektral dari lahan kosong sama dengan lahan longsor.

Tabel 6. Matrik Kesalahan Klasifikasi menggunakan PC 2, PC 3 dan PC 6 untuk Areal Tochio dan Shitada Mura

Klasifikasi data	HTN	SWHIR	AIR	KOTDS	VG/NV-LNGSR	PRTN-LK	LK-PRTN	AWN	UA
HTN	13294	161	0	0	0	0	20	6599	66.2
SWHIR	88	4385	0	0	0	0	1	25	97.5
AiR	0	0	1724	5	0	32	0	0	97.9
KOTDS	0	0	15	581	0	165	13	13	73.8
VG/NV-LNGSR	19	0	0	0	452	239	0	0	63.7
PRTN-LK	19	3	6	1	6	429	0	231	61.7
LK-PRTN	55	0	0	0	0	0	1121	28	93.1
AWN	337	32	0	20	2	37	6	13335	96.8
PA	96.2	95.7	98.8	95.7	98.3	47.6	96.6	65.9	

Keterangan: HTN = Hutan; SWHIR = Sawah irigasi; AIR = Badan Air; KOTDS = Perkotaan/ perdesaan; VG/NV-LNGSR = Perubahan dari vegetasi /non-vegetasi ke Lahan longsor; PRTN-LK = Perubahan dari Pertanian ke lahan kosong; LK-PRTN Perubahan dari Lahan kosong ke pertanian; AWN = Awan; PA=*producer's accuracy* dan UA=*user's accuracy*.

Pada Gambar 1 diperlihatkan sebaran lahan-lahan longsor yang terdeteksi menggunakan analisis komponen utama dan metode VIDN di wilayah studi (disajikan dengan warna merah yang dioverlaykan dengan salah satu band dari SPOT 5). Pada Gambar ini tampak ada perbedaan yang cukup signifikan antara lahan longsor yang terdeteksi dengan metode komponen utama dan VIDN. Pada metode komponen utama, lahan longsor yang terdeteksi lebih kompak dan jelas, sedangkan pada metode VIDN,

lahan longsor yang terdeteksi tampak seperti “noise”. Pada Gambar 1 ini terlihat juga bahwa kemiripan dengan lahan longsor banyak ditemukan di sepanjang sungai dan pinggir sungai. Beberapa contoh kondisi lapangan yang terdeteksi pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2. Dengan gambar tiga dimensi sebagaimana disajikan pada Gambar 3, akan terlihat jelas bahwa lahan longsor banyak terjadi di daerah-daerah bertopografi berat dan/atau daerah-daerah tebing di tepi sungai. Pada saat terjadi banjir, aliran air yang deras telah menyebabkan terjadinya 2 hal, (1) di satu pihak terjadi erosi misalnya di sekitar hulu sungai dan (2) di tempat lain terjadi penumpukan sedimen pasir/tanah, misalnya di bagian hilir dan atau di bagian tepi sungai lainnya. Dari penemuan pada penelitian ini, dapat dirangkum beberapa hal:

- a) Lahan longsor yang luasannya relatif luas (lebih luas dari 100 m²) dan terletak di luar areal pemukiman relatif lebih mudah dideteksi
- b) Perlu melakukan *filtering* untuk menghilangkan atau mengurangi kesalahan deteksi lahan longsor sebagai akibat kesalahan registrasi.
- c) Untuk mengurangi konfusi dengan pembukaan lahan-lahan kosong, perlu dilakukan isolasi kejadian lahan longsor, yaitu melalui masking (*mask out*) areal-areal yang kemungkinan terjadinya longsor yang relatif kecil, misalnya areal permukiman, areal persawahan irigasi atau areal-areal yang topografinya datar sampai dengan landai. Jika tidak dilakukan masking maka pembangunan jalan-jalan baru, pembangunan bangunan baru (perumahan dan perkantoran) akan teridentifikasi sebagai lahan longsor
- d) Pada wilayah-wilayah sungai, erosi akibat banjir dan pembentukan sedimentasi baru di sekitar sungai cukup menjadi sumber kesalahan yang tidak bisa dihindari.
- e) Citra sintetik yang diperoleh dari kestabilan indeks kehijauan, perubahan indeks kehijauan dan perubahan indeks kecerahan pada metode dengan komponen utama memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode VIDN.
- f) Metode deteksi lahan longsor dengan komponen utama juga diketahui menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode klasifikasi konvensional dengan algoritme peluang maksimum.

Efisiensi Relatif (ER)

Dengan memperhatikan komponen-komponen biaya pengamatan, pengolahan dan pengadaan citra, maka dapat dibuat kajian efisiensi sebagai berikut: (asumsi 1 US \$ = Rp. 9500)

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Biaya analisis lahan longsor dengan citra (C _c) | |
| 1.1. Pengadaan citra multi waktu (2 waktu), 2 x 4000 US \$/Scene | = Rp. 211,0/Ha |
| 1.2. Pengolahan citra 7 hr x 100 US \$ | = Rp. 18,47/Ha |
| 1.3. Sewa hardware/software pengolah citra 1000 US \$ | = Rp. 26,4/Ha |
| 1.4. Pengecekan lapangan 40 lokasi 6 x 2 or x 100 US \$ | = Rp. 31,67/Ha |
| | Rp. 287.54/Ha |

2. Biaya analisis lahan longsor tanpa citra (Cf)	
2.1. Jumlah pengecekan seluruh kejadian longsor	= Rp. 633,4/Ha
2.2. Pemetaan seluruh kejadian longsor, 12 hr x 100 US \$	= Rp. 31,7/Ha
2.3. Sewa hardware/software pemetaan 1000 US \$	= Rp. 26,4/Ha
	<hr/>
	Rp. 691,5/Ha

Diketahui bahwa luas cakupan 1 scene citra SPOT adalah 60 km x 60 km atau sekitar 360.000 Ha dan jumlah pengamatan lapangan untuk analisis citra hanya sekitar 5% dari seluruh kejadian longsor. Dari komponen biaya tersebut selanjutnya dapat diketahui bahwa efisiensi relatif (ER) penggunaan citra SPOT2-5 dengan tanpa citra adalah sebagai berikut :

$$ER = \frac{691,5}{255,87} = 2,7$$

Ini berarti biaya pengamatan/inventarisasi longsor tanpa menggunakan SPOT (hanya dengan pengamatan lapangan) memerlukan biaya 2,7 kali lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan kombinasi analisis citra SPOT dan lapangan. Beberapa keunggulan lainnya dari menggunakan kombinasi citra SPOT dan lapangan adalah sebagai berikut :

- Deteksi lahan longsor dapat diketahui secara cepat dan akurat (90%) dalam waktu yang relatif singkat
- Dapat memetakan luas, bentuk dan sebaran longsor secara lebih akurat
- Dapat digunakan sebagai basis dalam menentukan tingkat kerawanan dan prediksi kejadian longsor di masa mendatang
- Dapat mengetahui kondisi spasial tutupan lahan sebelum dan sesudah kejadian longsor

KESIMPULAN

Sebagaimana dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini, yaitu:

- Metode yang paling efektif dalam mendeteksi lahan longsor menggunakan citra SPOT multiwaktu adalah metode komponen utama dengan melakukan *thresholding* citra sintetik kestabilan kehijauan (*stable greenness*), perubahan kehijauan (*delta greenness*) dan perubahan kecerahan (*delta brightness*) yang diperoleh dari identifikasi *eigenvektor*nya; Metode ini menghasilkan akurasi 88% untuk daerah Teradomari dan 91% untuk daerah Tochio dan Shitada Mura.
- Metode Disparitas Indeks Vegetasi (VIDN) relatif kurang akurat dibandingkan Metode Komponen Utama, yaitu hanya menghasilkan akurasi sebesar 62.5% untuk daerah Teradomari dan 64% untuk Tochio dan Shitada Mura.
- Metode klasifikasi konvensional dengan Algoritme Peluang Maksimum menghasilkan akurasi pengguna (*user's accuracy*) deteksi lahan longsor hanya 56,9% di Teradomari, sementara akurasi pembuatnya (*producer's accuracy*) cukup besar yaitu 100%.

Sedangkan akurasi pengguna di Tochio dan Shitada Mura hanya 63,7% sedangkan akurasi pembuatnya 98,3%.

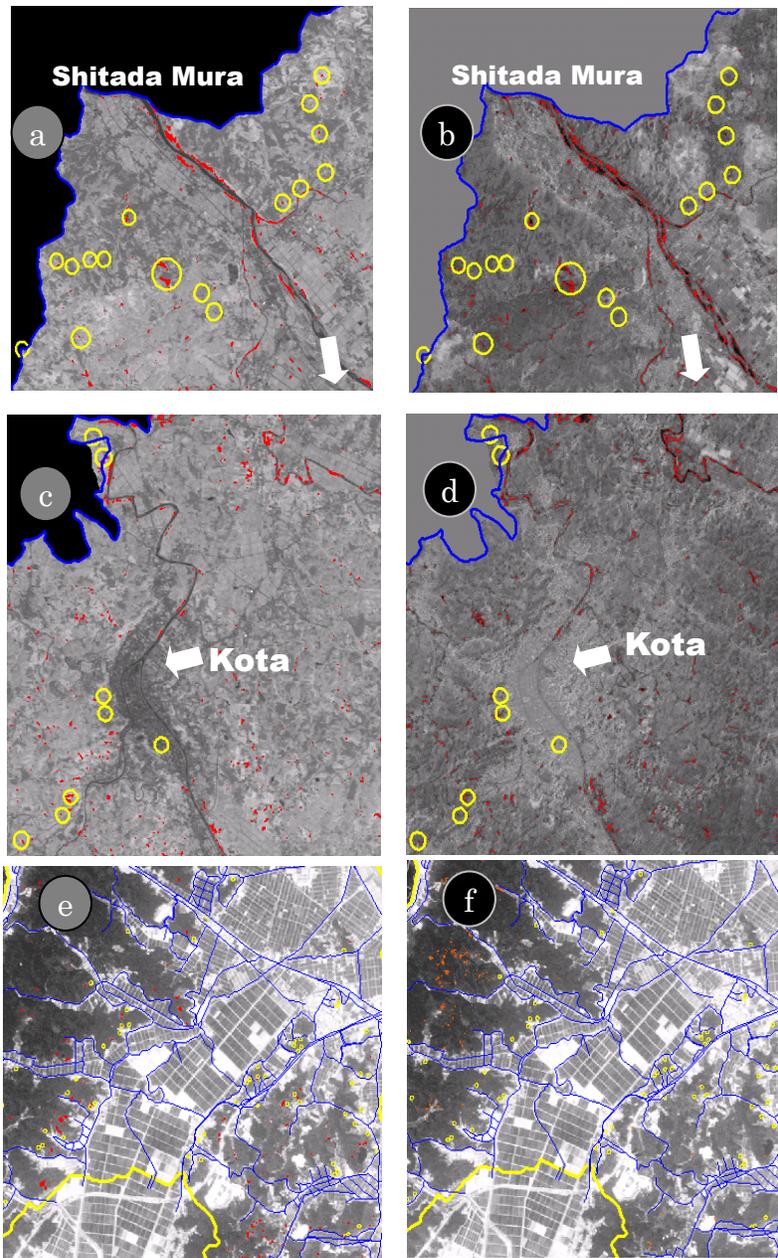
- d) Karena sifat-sifat spektral dan spasialnya, citra multiwaktu SPOT 2 dan SPOT 5 cukup layak digunakan untuk mendeteksi lahan longsor, khususnya yang mempunyai luasan lebih besar dari 100 m².
- e) Deteksi longsor menggunakan citra satelit SPOT lebih efisien 1/2,7 kali lipat dibandingkan hanya menggunakan survei lapangan

UCAPAN TERIMA KASIH

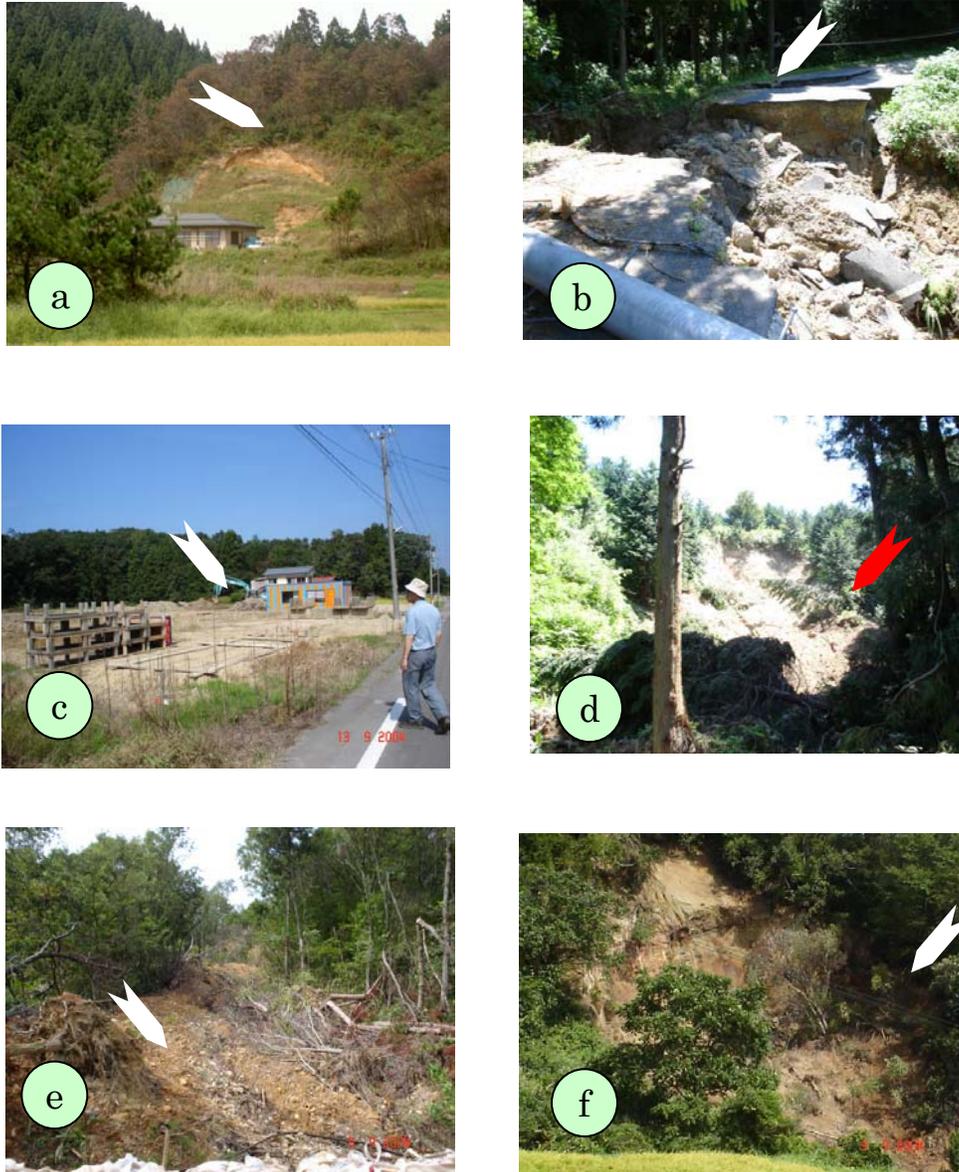
Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Jepang melalui program JASSO *fellowship* yang mendanai kunjungan penulis sebagai “*visiting scientist*” ke Jepang mulai bulan Juli sampai dengan Oktober 2004 sekaligus mendanai riset dengan topik ini. Kepada Prof. Nobuyuki Abe, guru besar kami di Universitas Niigata Jepang disampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya atas kesempatan yang diberikan serta dukungan moril, materiil dan kerjasamanya baik selama melakukan kunjungan maupun saran-sarannya sampai dengan selesainya tulisan ini. Kepada penelaah karya ilmiah ini juga disampaikan penghargaan yang mendalam atas segala koreksi, komentar, saran-saran dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

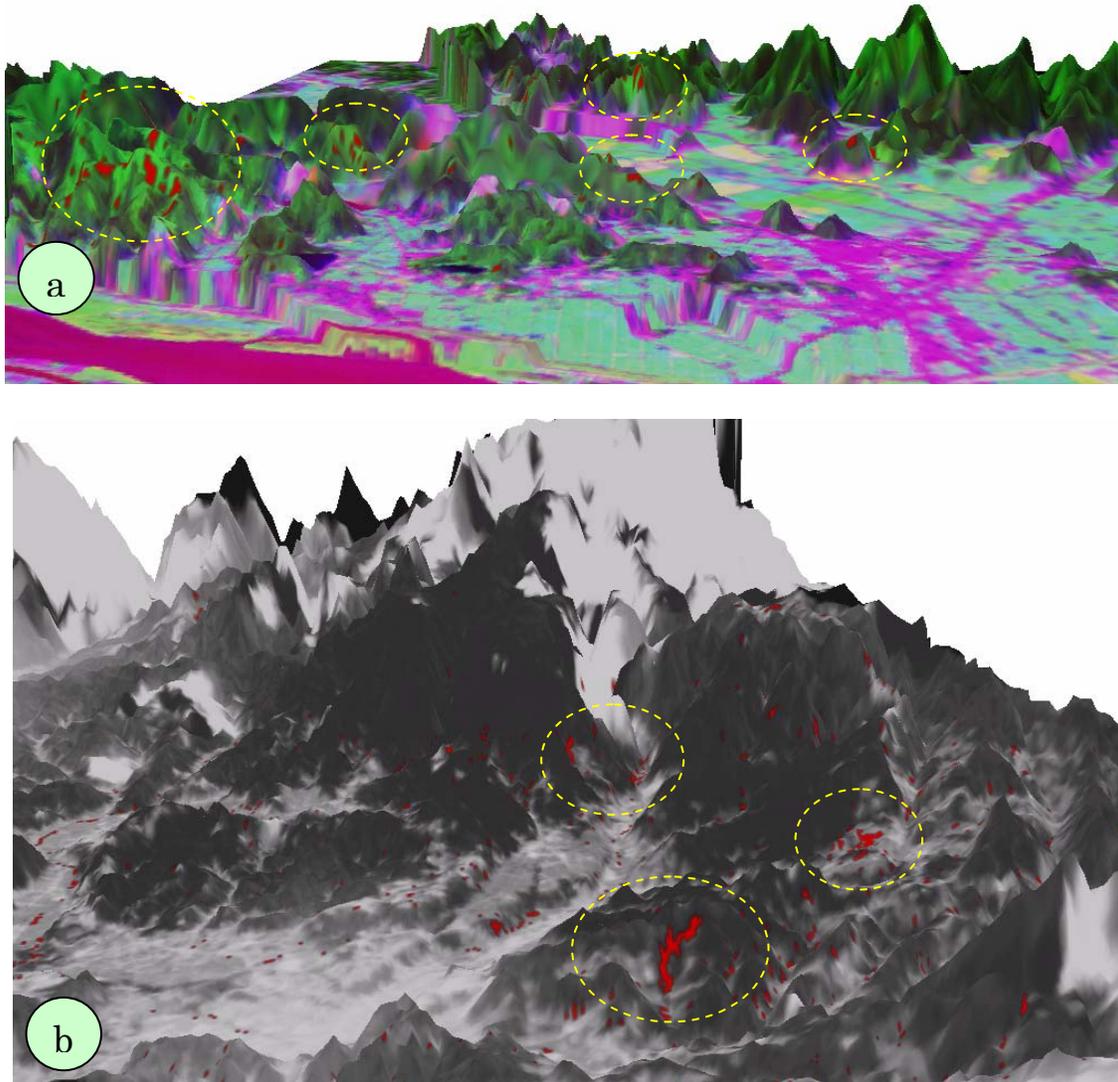
- Hervas, J., JI Barredo, PL Rosin, A Pasuto, F Mantovani, S Silvano. 2003. Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide, Italy. *Geomorphology* 54(2003) 63 – 75. www.sciencedirect.com, September 5th, 2004
- Jaya, I N S and S. Kobayashi. 1995 . Change Detection of Forest Vegetation using multi-temporal Landsat TM Data. *Journal of Forest Planning*, 1(1) 23-38.
- Loughin, W. P. 1991. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59 (9), pp 1163 – 1169.
- Nelson, R. F. 1983. Detecting Forest Canopy Change Due to Insect Activity Using Landsat MSS, *Photogrammetric engineering and Remote Sensing*, 49 (9): 1303-1314
- Singh, A and Harrison, A. 1985. Standardized Principal Component. *International Journal of Remote Sensing* 6 (6), pp. 883 – 896.
- Singh, A. 1989. Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data. *International Journal of Remote Sensing*, 10 (6): 989 – 1003.



Gambar 1. Citra Hasil deteksi lahan longsor (warna merah) dengan metode komponen utama (a, c, e) dan metode VIDN (b, d dan f). di daerah Shitada Mura, Tochio dan Teradomari. Lingkaran kuning menyatakan lokasi pemeriksaan lapangan



Gambar 2. Kondisi lapangan lahan longsor dan yang bukan lahan longsor di daerah Teradomari (a) lahan longsor berukuran sekitar 10 m x 10 m (terdeteksi), (b) kondisi jalan longsor (tidak terdeteksi), (c) pembukaan lahan untuk permukiman (terdeteksi); (d) lahan longsor berukuran besar berukuran sekitar 15 m x 100 m (terdeteksi); dan lahan longsor daerah Tochio-Sitada Mura: (e) Lahan longsor berukuran sekitar 15 m x 100 m (terdeteksi) dan (f) Tebing longsor berukuran sekitar 60 x 45 m (terdeteksi).



Gambar 3. Sebaran lokasi lahan longsor (warna merah diberi lingkaran kuning) (a) untuk daerah Teradomari dioverlaykan dengan citra asli dari SPOT multiwaktu band Green-2004, NIR-2001 dan Red-2001; dan (b) untuk daerah Tochio dan Shitada Mura dioverlaykan dengan band tunggal Red-2004.