

Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika

Martinus Edwin Tjahjadi ¹⁾, Silverster Sari Sai ²⁾, Hery Purwanto ³⁾

¹²³⁾ Program Studi Teknik Geodesi, FTSP, ITN Malang

e-mail: ¹⁾edwin@ftsp.itn.ac.id, ²⁾sari_sly@yahoo.com, ³⁾herybandol@yahoo.com

ABSTRAK

Makalah ini akan memaparkan pengembangan sistem peringatan dini untuk pemantauan tanah longsor berbasis teknologi spasial kebumihutan. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan basis data spasial dan penginderaan berbasis optik untuk secara terus menerus memantau area yang dicurigai berpotensi longsor. Jika terjadi guguran massa tanah pada area longsor, sistem akan secara otomatis dan real time mengirimkan sinyal tanda bahaya ke perangkat handphone. Sistem ini memiliki dua komponen utama, komponen penginderaan berbasis optik dan komponen sistem informasi geografis sebagai penyedia basis data spasial area longsor. Komponen penginderaan kamera CCTV dan circuit terintegrasi yang diinjeksikan dengan program optical flow untuk mendeteksi pergerakan massa tanah. Jika pergerakan massa tanah yang terjadi dapat dideteksi, maka gambar yang terekam akan dianalisa secara spasial dengan komponen yang kedua yaitu sistem informasi geografis yang dibangun dengan pemotretan udara menggunakan UAV dan sistem ini yang akan menentukan apakah pergerakan tanah yang terdeteksi berpotensi pemicu tanah longsor atau tidak.

Kata kunci: Tanah longsor, SIG, CCTV, model 3D

ABSTRACT

This paper presents a preliminary result of ongoing research on spatially enabling an early warning system of landslide monitoring. This developed system utilizes a vision-based tool and a spatial database to provide a near real time technology which is able to continuously monitor a susceptible landslide area and sends a warning message to a mobile phone device if landslide is likely to occur. The vision based part comprises of a CCTV camera and pre-programmed optical flow codes into its internal vision sensor circuits. This part can detect a run-off soil masses movement. This movement can be spatially analyzed further using geographic information system (GIS) to judge whether that movement can trigger landslides. The GIS database is developed using an unmanned aerial vehicle (UAV) for an interactive 3D environmental monitoring and modeling. A small UAV can carry an embedded camera which can continuously take pictures of landscapes. A convenient way of monitoring landscape changes might be through accessing a sequence of images. However, since the camera's field of view is always smaller than human eye's field of view, the need to combine aerial pictures into a single mosaic is eminent. A fully automated program is used to stitch aerial photographs into a mosaic and fairly accurate 3D models of susceptible area. An initial attempt shows a promising result yet a position of the landslide is roughly determined.

Keywords : Landslide, unmanned aerial vehicle, CCTV camera, GIS, mosaic, 3D models

Pendahuluan

Indonesia secara geologis terletak dideret cincin api tektonik aktif dengan tipe tanah alluvial yang pada umumnya bersifat labil, dan secara geografis terletak di daerah lingkaran tropis dengan curah hujan yang tinggi (Lapan, 2010). Dengan kondisi rupa bumi yang sangat bervariasi dan memiliki paparan yang sangat intens terhadap bencana alam seperti:

banjir bandang, tanah longsor dan gempa bumi. Kawasan rawan bencana ini, dipandang sangat memerlukan data spasial yang terkini dalam jumlah masif untuk dapat memetakan daerah-daerah rawan paparan bencana tanah longsor, agar tindakan preventif dan aktisipatif dapat dilakukan secara tepat untuk meminimalisasi kerugian dan korban jiwa.

Bencana alam, menurut WHO dikategorikan menjadi 3 fase yaitu fase *preimpact*, fase *impact* dan fase *postimpact* (Cardona, 2011). Fase *preimpact* merupakan *warning phase*, atau tahap awal dari bencana, yang menurut WHO informasi mengenai potensi dan resiko bencana dapat diperoleh melalui desiminasi data spasial kebumian yang dapat dilakukan baik oleh pemerintah, lembaga, dan warga masyarakat secara terkoordinasi dan integratif.

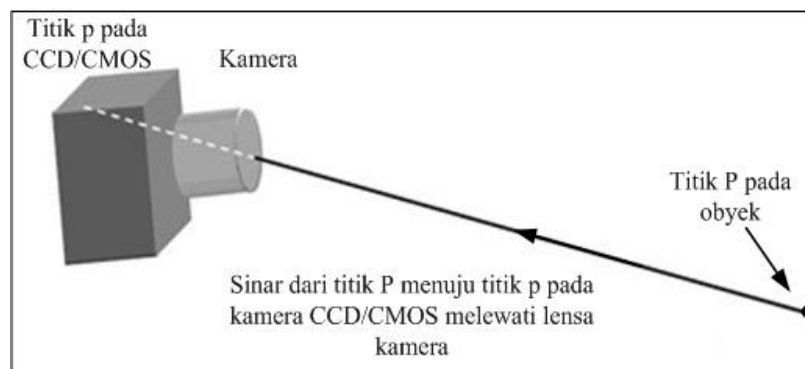
Oleh karena itu, untuk dapat memetakan, memodelkan, menganalisa dan mendesiminasikan informasi spasial yang terkait dengan daerah-daerah berpotensi dan berisiko rawan bencana tanah longsor (*landslide*) yang pada umumnya memiliki lokasi yang tersebar dan terkluster di berbagai penjuru wilayah tanah air (LAPAN, 2010), diseminasi Sistem Informasi Spasial seperti yang telah dilakukan oleh LAPAN (2010) dan Bakosurtnal (2007) belumlah memadai dikarenakan data yang digunakan bukanlah data yang terbaru dan dari resolusi spasialnya tidak memungkinkan untuk analisa data yang lebih komprehensif dan akurat. Untuk mensinergikan kepeloporan mereka dalam diseminasi informasi spasial daerah rawan dan berpotensi bencana tanah longsor diperlukan suatu terobosan teknologi akusisi dan diseminasi data spasial dimana teknologi ini dapat dioperasikan secara mudah dan ekonomis, dan teknologi ini dapat mendesiminasikan informasi secara cepat serta memiliki "*kepadatan*" informasi (resolusi) spasial yang tinggi. Agar akusisi data dapat dilakukan secara massal, ekonomis dan akurat, teknologi yang dikembangkan haruslah ramah pengguna (mudah pengoperasiannya). Lebih dari itu, untuk mengantisipasi sulitnya topografi lokasi longsor, diperlukan teknik akusisi data multi-platform (darat dan udara) serta perpaduannya; dan teknik diseminasi harus dapat dilakukan secara cepat dari multi sensor. Teknologi ini diperlukan sebagai pondasi dalam membangun sistem peringatan dini (*early warning system*) tanah longsor dan analisis potensi longsor (Fell, *et al.* 2008).

Menurut Subowo (2003), ada 6 (enam) jenis tanah longsor, yaitu: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Dari keenam jenis longsor tersebut, jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia, hal tersebut dikarenakan tingkat pelapukan batuan yang tinggi, sehingga tanah yang terbentuk cukup tebal. Sedangkan longsor yang paling banyak menelan korban harta, benda dan jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan, hal tersebut dikarenakan longsor jenis aliran bahan rombakan ini dapat menempuh jarak yang cukup jauh yaitu bisa mencapai ratusan bahkan ribuan meter, terutama pada daerah-daerah aliran sungai di daerah sekitar gunungapi. Kecepatan longsor jenis ini sangat dipengaruhi oleh kemiringan lereng, volume dan tekanan air, serta jenis materialnya.

Beragam metode pemetaan, pemantauan, dan prediksi kerawanan tanah longsor telah dilakukan diberbagai negara (Cardona, 2011). Pada umumnya teknik pemetaan dan pemantauan kawasan rawan longsor dilakukan dengan citra satelit (Nichol, *et al.* 2006), sinar laser (Glenn, *et al.* 2006; dan McKeana dan Roering, 2004) ataupun radar (Kimura dan Yamaguchi, 2000) untuk kawasan yang luas. Teknik prediksi yang umumnya dilakukan adalah dengan melibatkan basis data SIG yang diambil dari berbagai sumber kajian misalnya dari kajian unsur geologi, geomorfologi, cuaca dan curah hujan (Chau, *et al.* 2004; Lee dan Choi, 2003;), pengukuran GPS (Malet, *et al.* 2002), pengukuran dengan laser scanner (Mikos, *et al.* 2005), penggunaan model elevasi digital (Pesci, *et al.* 2004), bahkan ada yang menggunakan data seismic (Romeo, 2000). Disiplin ilmu Geodesi-Fotogrametri telah lama berkecimpung dalam teknik pengukuran teliti tiga dimensi untuk penentuan deformasi untuk berbagai keperluan seperti yang diuraikan oleh Fryer *et al.* (2007), Luhmann, *et al.* (2006), dan Tjahjadi (2010).

Didalam ilmu Geodesi-Fotogrametri, Peta foto (*orthophoto*) sebagai pengganti citra satelit dibuat dari sekumpulan foto-foto yang saling bertampalan (*overlap*) disusun dengan cara menyambung (*stiching*) daerah-daerah yang bertampalan tadi baik secara manual ataupun secara digital (Wolf, 2000). Wolf (2000) menyatakan bahwa, agar foto-foto ini dapat dibuat peta foto, salah satu prasyarat utamanya adalah foto-foto ini harus dipotret secara vertikal dengan ketinggian terbang yang seragam, dan memiliki prosentase pertampalan kemuka antar foto (*Forward overlap*) sebesar 60% dan pertampalan kesamping antar foto (*Side overlap*) sebesar 30%. Jika prasyarat ini tidak atau kurang terpenuhi maka perangkat lunak fotogrametri yang tersedia tidak mampu menghasilkan peta foto berkualitas baik.

Pemantauan pergerakan spasial massa tanah dilaksanakan untuk mengetahui pola pergerakan massa tanah yang meliputi frekuensi, kecepatan, dan volume massa tanah dengan mempelajari bentuk geometriaknya. Bentuk geometrik meliputi perubahan posisi, bentuk dan dimensi dari materi. Perubahan posisi dari materi yang mengalami deformasi dapat dihitung berdasarkan data multi epok (Tjahjadi, *et al.* 2009a; Tjahjadi dan Pantimena, 2008b). Fryer *et al.* (2007) dan Luhman *et al.* (2006) melaporkan bahwa survei deformasi dapat dilakukan secara efisien dan menghasilkan akurasi tinggi hanya dengan memanfaatkan kamera digital *Single Lens Reflector* (SLR), asalkan parameter distorsi lensa dapat ditentukan pada saat pemotretan, situasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar 1.



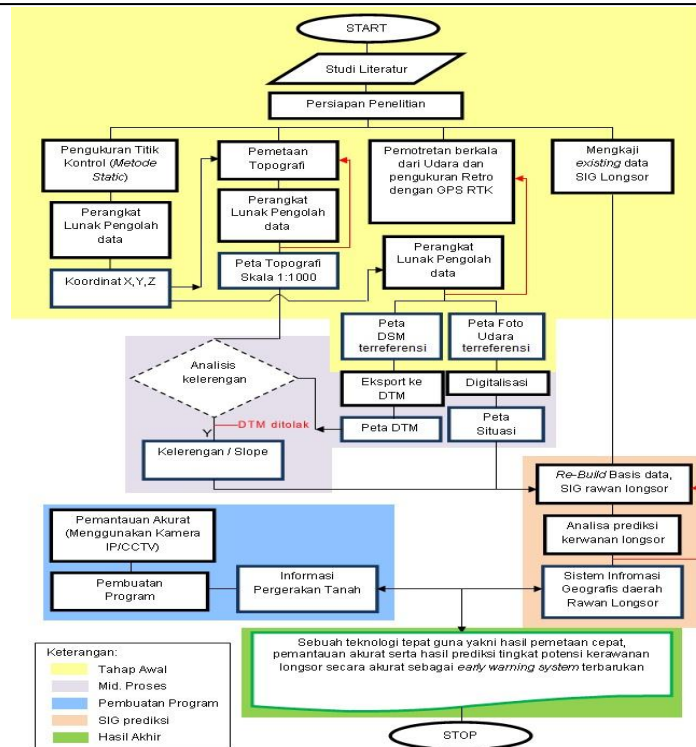
Gambar 1. Kondisi ideal berkas sinar yang memantul dari obyek ke lensa kamera (Tjahjadi, *et al.* 2011)

Hasil pemantauan dengan kamera SLR dari multi platform digunakan untuk mengevaluasi dan memperbaharui pola potensi kerawanan tanah longsor pada basis data SIG (Tjahjadi, *et al.* 2011). Dari setiap pemantauan dapat ditentukan kecepatan dan volume massa tanah yang berpindah. Berdasarkan informasi ini, metode regresi (Ayalew dan Yamagishi, 2005), metode probabilitas (Lee dan Pradhan, 2006), metode kemiringan lereng (Xie, *et al.* 2003), metode distribusi spasial dan temporal (Gorsevski, *et al.* 2006; dan Brenning, 2005) akan digunakan sebagai acuan untuk digunakan dalam penelitian ini mengingat model-model ini dapat memprediksi pola pergerakan tanah dengan presisi.

Basis data SIG yang terus menerus diperbaharui secara berkala ini akan dimanfaatkan sebagai model untuk mengevaluasi tingkat kerawanan bahaya tanah longsor (Tjahjadi, *et al.* 2011). Dalam mengevaluasi tingkat kerawanannya, terlebih dulu dilakukan klasifikasi daerah rawan bencana longsor (Safroni, 2009). Dalam penelitian ini, klasifikasi kawasan longsor menggunakan 4 parameter, yaitu : Kelerengan (topografi), Jenis tanah (geologi), curah hujan, dan penggunaan lahan.

Metode Penelitian

Dalam mengembangkan teknologi penelitian ini, diperlukan total waktu penelitian yang tidak sebentar mengingat tahapan kegiatan yang sangat banyak, volume pekerjaan yang tidak sedikit, alat dan bahan yang tidak sedikit dan tidak mudah, serta mempersiapkan pula teknologi tepat guna berupa perangkat lunak untuk pemetaan cepat, pemantauan akurat, analisa, dan sistem peringatan dini. Adapun diagram alir penelitian ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengukuran Titik Kontrol Tanah / *Ground Control Point* (GCP) dilakukan untuk mendapatkan koordinat 3D (x, y, dan z) dengan menggunakan GPS tipe geodetic dan menggunakan metode *static* yang ketelitiannya mencapai mm. Dalam hal ini, harus adanya Titik Kontrol Nasional yang digunakan sebagai referensi koordinat awal. Pengukuran ini dilaksanakan selama sehari penuh, dengan membuat beberapajaringan *non-trivial* dalam suatu skenario 2 alat *receiver*.

Pemetaan topografi dilakukan dengan teknik konvensional geodesi yaitu pengukuran dengan *Total Station* dan atau GPS RTK (*Real Time Kinematic*). Pengukuran dengan total station ini me-*record* data sudut Horizontal, Sudut Vertikal, dan Jarak, yang kemudian diproses menggunakan *Microsoft Excel* untuk mendapatkan nilai koordinat X,Y, dan elevasi dari sebaran titik yang diukur. Sedangkan, pengukuran menggunakan GPS RTK me-*record* data koordinat X, Y, dan Z secara *real time*.

Teknik pemetaan cepat menekankan pada aspek otomatisasi pembuatan peta foto resolusi tinggi dari UAV berbiaya murah dengan konfigurasi terbang yang tidak beraturan. Akibat dari konfigurasi terbang acak, foto-foto yang didapat akan memiliki kemiringan yang sangat bervariasi, mulai dari vertikal tegak lurus hingga sangat miring (*high oblique*) akan menyulitkan proses penyambungan antar foto jika prosentase pertampalannya terlalu kecil (Pesti, et al. 2008). Disini dibutuhkan suatu perangkat lunak untuk melakukan proses registrasi foto-foto udara dan penyesuaian warna pada daerah-daerah pertampalan.

Metode baku yang digunakan didalam fotogrametri adalah teknik hitung kuadrat terkecil (*Least Square Image Matching*) yang dibakukan oleh Gruen (1985, 2001). Bersamaan dengan proses ini, secara simultan dilakukan proses hitungan pendekatan untuk menentukan posisi dan kesendengan untuk setiap foto didalam jaringan pemotretan. Hasil dari proses ini adalah nilai pendekatan untuk parameter Orientasi Luar (*Exterior Orientation – EO*) yaitu posisi foto dalam sistem 3 dimenesi dan 3 sudut rotasi didalam sistem 3 dimensi tersebut. Teknik hitungan baku dijabarkan oleh Wolf (2000), Mikhail, et al. (2001), dan McGlone, et al. (2004); sedangkan untuk menetapkan nilai orientasi awal jaringan pemotretan dapat digunakan metode yang dijabarkan oleh Longuet-Higgins (1981). Setelah semua parameter EO pendekatan dapat ditentukan,

langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *final plus* akurasi untuk parameter-parameter EO pada setiap foto, nilai koordinat titik-titik obyek yang terekstraksi sebagai titik-titik *tie-point*, dan jikalau jaringan pemotretan memungkinkan (Fraser, 1997) parameter kalibrasi kamera juga dapat dihitung. Metode perhitungan ini disebut dengan *Bundle Adjustment* dan teknik perhitungannya dijabarkan secara lengkap di McGlone, et al. (2004), dan Luhmann, et al. (2006).

Suatu luasan obyek pada permukaan bumi hanya memiliki sebuah nilai reflektansi cahaya, namun warna yang tertangkap pada foto-foto yang berbeda dapat mengandung nilai yang berbeda. Untuk meminimalkan perbedaan ini dilakukan proses pencampuran warna (*image blending*) sehingga efek *seam* dan kesalahan geometrik dapat direduksi. Kesalahan geometrik lokal pada setiap foto tidak dapat sepenuhnya direduksi melalui proses *Bundle Adjustment*, oleh karena itu proses reduksi kesalahan geometrik lokal dilakukan bersamaan dengan proses *blending* dan dilakukan secara iteratif. Beberapa metode yang layak menjadi acuan dalam proses ini dapat dilihat pada Burt dan Adelson (1983), Duffin dan Barrett (1998), McLauchlan dan Jaenicke (2000), Uyttendaele, et al. (2001), Szeliski (2006, 2010), Turkbeyler, et al. (2008), dan Turkbeyler dan Harris (2009). Agar kamera digital SLR dapat dipakai untuk pengukuran dengan keakurasian sangat tinggi, tidak hanya sumber-sumber kesalahan ini yang harus dimodelkan untuk mengkompensasi distorsi, tetapi juga bagaimana mengembangkan teknik komputasi numerik yang efisien dan kompak didalam suatu program komputer jika melibatkan jumlah data perhitungan yang sangat besar.

Proses digitalisasi peta foto udara terreferensi pada *Auto Cad LD 2009* dimaksudkan untuk mendapatkan informasi jalan, bangunan, daerah sawah dan seluruh informasi spasial untuk mendukung pembuatan Sistem informasi kerwanan longsor. Dilakukannya kegiatan ini bertujuan untuk menghasilkan peta situasi yang informatif, sehingga tidak hanya menampilkan hasil peta foto mosaik terreferensi saja, tetapi juga lengkap dengan informasi spasial lainnya.

Filterisasi DSM yaitu proses dilakukannya pemotongan *surface* yang ada pada data DSM agar hanya didapat data *terrain*-nya saja. Proses ini menggunakan metode filterisasi berbasis kemiringan (*slope-based*) dimana proses filteringnya tergantung pada nilai radius dan nilai perkiraan kemiringan yang di inginkan. Proses ini menghasilkan *Bare Earth* yaitu penampilan DSM yang telah dipotong obyeknya dan *Removed Object* yaitu obyek yang dipotong dari DSM.

Gridding yaitu proses interpolasi untuk mengisi bagian *surface* yang kosong akibat dilakukannya proses filterisasi sehingga dapat dibangun DTM atau *terrain*-nya. Proses ini menggunakan metode *spline interpolation multilever B-spline interpolation (from grid)* dimana proses ini menghasilkan *Bare Earth interpolation multilever B-spline interpolation (from grid)* sebagai hasil interpolasi dengan metode *spline*.

Proses *Smoothing* yaitu proses penghalusan DTM hasil *gridding* agar lebih halus bentuk *terrain*-nya. Proses ini menggunakan metode *lee filter* yakni sebuah filter yang dirancang untuk menghaluskan daerah datar dan sekaligus mempertahankan fitur medan seperti tepi dan parit. *Lee filter* diimplementasikan sebagai “*multidirectional local statistics filter*” yang menggunakan 16 jendela *directional* (Lee et al. 1998).

Analisis kelerengan merupakan kegiatan menganalisis data DTM dengan data pemetaan topografi dengan cara di *overlay* menggunakan *software Global Mapper 13*. Proses ini sekaligus sebagai koreksi, apakah DTM yang telah dibuat sesuai dengan kondisi lapangan sebenarnya atau tidak. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data kelerengan lengkap dengan klasifikasinya yang nantinya dijadikan sebagai data spasial klasifikasi kelerengan (topografi) dalam pembangunan SIG prediksi kerwanan longsor.

Pengembangan sistem peringatan dini dengan mengintegrasikan antara jaringan video kamera CCTV, pemantau dengan Server basis data SIG melalui koneksitas *telemetry*, misalnya dengan radio *link*. Program untuk mendeteksi pergerakan guguran massa tanah akan ditanam kedalam *micro-chip* dan *micro-chip* ini ditempatkan dan diintegrasikan pada video kamera

CCTV. Hanya jika terjadi pergerakan guguran massa tanah program akan mengirimkan gambar-gambar tersebut ke server SIG melalui koneksitas *telemetry*.

Didalam Server, dikembangkan program untuk menganalisa potongan-potongan gambar ini menjadi informasi perubahan koordinat dari pergerakan massa tanah. Program ini akan dirancang untuk bekerja secara otomatis apabila gambar-gambar tersebut tiba di server. Program ini selanjutnya akan membandingkan informasi yang didapat dengan model prediksi dari basis data SIG yang telah ada untuk menentukan tingkat kerawanan potensi longsor dari guguran massa tanah yang baru saja terjadi dengan mengirimkan informasi tersebut ke sistem *android* secara *offline*.

Re-Build Sistem Informasi Geografis kawasan potensi rawan longsor merupakan tahap akhir dari rangkaian kegiatan penelitian, dengan menyempurnakan beberapa penelitian sebelumnya. Dalam pembangunan sistem informasi geografis beberapa klasifikasi seperti curah hujan dan jenis tanah perlu dikaji kembali Adapun tiap kriteria pengharkatan daerah potensi longsor sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi dan pengharkatan kelerengan (Sumber : Van Zuindan (1978) dengan modifikasi)

No.	Kemiringan Lereng (%)	Klasifikasi	Skoring
1.	0-2%	Rendah	10
2.	2-15%	Sedang	20
3.	15-25%	Tinggi	30
4.	>25%	Sangat Tinggi	40

Tabel 2. Klasifikasi dan pengharkatan Jenis Tanah (Sumber : SK Mentri Nomor 837/KPTS/UM/11/1980)

No.	Jenis Tanah	Klasifikasi	Skoring
1.	Asosiasi Alluvial Kelabu Alluvial Coklat Kelabu Alluvial Kelabu Alluvial Kelabu Tua	Rendah	10
2.	Komplek Latosol Coklat Kemerahan Latosol Coklat Asosiasi Latosol Coklat Kemerahan Latosol Coklat Kemerahan	Sedang	20
3.	Komplek Andosol Coklat Asosiasi Andosol Coklat Andosol Coklat Brown Forest Soil	Tinggi	30
4.	Komplek Litosol, Regosol Mediteran Regosol Kelabu Coklat	Sangat Tinggi	40

Tabel 3. Klasifikasi dan pengharakatan curah hujan Sumber (BMKG Kota Malang dalam Safroni (2009))

No.	Curah Hujan (mm/tahun)	Klasifikasi	Skoring
1.	< 1500 mm/th	Rendah	10
2.	1500-2000 mm/th	Sedang	20
3.	2000-2500 mm/th	Tinggi	30
4.	>2500 mm/th	Sangat Tinggi	40

Tabel 4. Klasifikasi dan pengharakatan penggunaan lahan (Deputi Penginderaan Jauh – 1997) dalam Safroni (2009)

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Klasifikasi	Skoring
1.	Hutan, Air	Rendah	10
2.	Sawah, Kebun	Sedang	20
3.	Pemukiman, Tanah Ladang	Tinggi	30
4.	Lahan Kosong	Sangat Tinggi	40

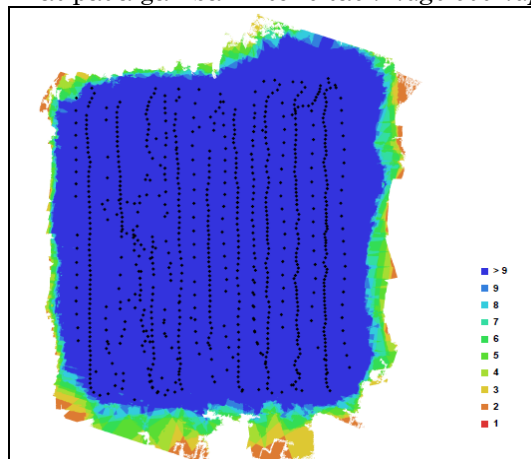
Hasil dan Pembahasan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, diperoleh hasil yang sebagian besar memenuhi hipotesa yang telah di rencanakan. Berikut merupakan hasil dari pemetaan secara cepat dengan menggunakan UAV jenis *fixed wing*.



Gambar 3. Mosaic lokasi penelitian

Gambar 3, merupakan susunan ratusan gambar yang diproses dengan perangkat lunak pengolah data menjadi sebuah foto mosaik yang mengandung informasi kenampakan lokasi penelitian terbaharui (*up to date*) didalam proses pembuatannya dilakukan beberapa metode seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya. Inti dari pelaksanaan ini adalah mendapatkan citra foto udara yang nantinya digunakan sebagai data spasial terbaharui. Frekuensi pemotretan dan posisi kamera dapat dilihat pada gambar intensitas *image overlap* berikut.



Gambar 4. Lokasi kamera dan *image overlap*

Pada gambar 4 diatas, menunjukkan bahwa warna biru (skor = >9) merupakan daerah penampalan terbaik karena foto yang diambil saling bertampalan dan menghasilkan suatu komposisi citra yang teliti. Dari gambar tersebut, juga dapat dilihat mekanisme jalur terbang dari UAV untuk mengambil foto-foto kenampakan lokasi penelitian.



Gambar 5. Lokasi GCP

Dilakukannya pengukuran titik kontrol dengan GPS tidak lain bertujuan sebagai koreksi geometrik dari citra foto yang dibangun, agar citra yang dihasilkan dapat memiliki koordinat bumi dan bukan hanya koodinat foto yang ter-*geotagging*. Perlu diketahui pula bahwa dalam pemrosesan hasil foto udara, foto-foto yang diperoleh harus memiliki referensi koordinat pula, maka biasanya dalam pemotretan digunakan kamera yang mimiliki *GPS sensor* didalamnya agar memudahkan dalam memproses fotO-foto tersebut ataupun memudahkan dalam menentukan parameter-parameter EO-nya. Berikut merupakan tabel kesalahan dari titik-titik kontrol pada gambar 5.

Tabel 5. GCP error

Label	X error (m)	Y Error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projection	Error (pix)
a61	0.085634	0.136263	0.400981	0.432072	24	5.505203
b61	-0.065246	0.124384	0.273873	0.30779	28	2.623751
bm1	-0.347236	-0.041236	0.10939	0.366387	28	3.199676
bm2	0.027472	0.086486	-0.283703	0.297862	28	1.397013
c7	0.128031	-0.057531	-0.548353	0.566032	18	7.257089
d61	0.006341	-0.225895	0.044686	0.23036	30	5.083406
d7	-0.070148	-0.088646	-0.165945	0.20079	31	2.526164
d8a	-0.297391	-0.002433	0.327131	0.442111	33	3.959297
e6	0.181239	2.327209	-0.636067	2.419365	41	4.848336
e61	-0.081552	-0.204044	0.109927	0.2457	31	5.365536
e7	-0.051744	-0.097658	0.048601	0.120734	26	1.661108
e71	0.186279	-0.016281	-0.598209	0.626753	30	1.406263
e8a	0.262655	-0.336994	0.249092	0.49457	32	1.97624
f7	-0.116481	-0.054146	0.413806	0.433284	34	2.07127
f71	0.037039	-0.076316	-0.525082	0.53189	36	1.698579
f8a	0.002663	0.120025	-0.119714	0.169542	31	1.964744
g61	0.389884	-0.306694	-0.385273	0.628097	44	5.846393
g7	-0.30252	0.127302	0.329553	0.465112	47	3.519027
h61	0.217508	-0.019204	-0.054813	0.225128	45	4.97614
h7	0.024374	-0.206803	-0.50258	0.544011	39	2.60061
h71	-0.301424	-0.169974	-0.203769	0.401584	39	1.768826
i61	0.058104	0.089693	0.184527	0.21324	57	4.403357
j61	0.26128	-0.007633	0.521974	0.583766	58	4.93956

Tabel diatas menunjukkan bahwa kesalahan koordinat yang terjadi sangat kecil, sedangkan kesalahan rata-rata pixel sebesar 3.65 dan toleransi *Ground sample Distance* diperoleh sebesar 5 cm, artinya nilai koreksi kesalahan dari pixel adalah sebesar $3.65 \times 5(\text{cm}) = 18.25 \text{ cm}$, sehingga citra yang dihasilkan sangat teliti dan dapat diproses ke tahap pembuatan petas situasi lokasi penelitian yang nantinya digunakan sebagai data klasifikasi penggunaan lahan terbaharui.

Selain memperoleh foto udara / citra udara terreferensi, didalam perangkat lunak juga dilakukan pembuatan DEM dari citra tersebut. DEM yang dihasilkan kemudian dianalisis kelerengannya dengan data topografi yang diukur sebelumnya. Didalam proses analisisnya

digunakan beberapa tahap *filtering*, sehingga DEM yang dihasilkan sesuai dengan kenampakan alam lokasi penelitian. Hal ini bertujuan agar DEM yang dihasilkan dapat digunakan sebagai data klasifikasi kelerengan terbaharui dalam pembangunan SIG rawan longsor. Dari kegiatan analisis tersebut, DEM yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai data kelerengan dari lokasi penelitian, sehingga dapat diproses lebih lanjut.

Untuk dapat memonitoring dan memantau secara akurat dari guguran tanah / longsor tersebut, maka dibangun sebuah program pendeteksi guguran tanah atau longsor sebagai penyempurnaan kegiatan peringatan dini. Kinerja dari program yang telah ditanam kedalam sebuah chip pada tubuh alatnya, yakni mengintegrasikan antara kamera CCTV dengan server untuk mengambil foto ketika terjadi guguran atau pergeseran massa tanah tanpa harus menyentuh obyek (*non contact measurement*) yang dapat terekam oleh kamera CCTV. Sehingga apabila ada gerakan, kamera CCTV tersebut langsung mengabadikan momen tersebut dan mengirimnya melalui *e-mail* secara *realtime*. Kamera CCTV tersebut sangat sensitif terhadap gerakan yang terjadi dideluruk bagian yang dijangkaunya. Dari hasil foto yang dikirim ke *e-mail* akan dianalisa lokasi dan volume gugurannya.



Gambar 6. Pengujian alat CCTV

Pembangunan kembali suatu sistem informasi sebagai media teknologi terapan yang berisi informasi spesifik mengenai daerah potensi longsor merupakan suatu teknologi peringatan dini yang berbasis masyarakat, artinya hasil dari pemetaan ini dapat digunakan langsung sebagai bahan kajian untuk *self-controlling* terhadap lingkungan sekitar yang sangat berpotensi terjadinya longsor secara tiba-tiba. Selain itu, dapat dijadikan sebagai bahan *impact assesment* dalam mengambil langkah evaluasi sebelum dan sesudah terjadinya longsor dan yang paling utama dapat digunakan sebagai media *early warning system*.

Dalam penyempurnaannya, hasil analisis dari foto-foto yang dikirim melalui *e-mail* sebagai hasil pemantauan akurat, selanjutnya diintegrasikan dengan hasil foto udara dan juga sistem informasi geografis potensi rawan longsor tersebut menjadi sebuah teknologi akuisisi dan diseminasi data spasial untuk dijadikan sebagai sistem peringatan dini terpadu.

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yakni : (1) ketika terjadi suatu bencana tanah longsor, untuk memetakan secara cepat dan akurat, direalisasikan dengan menggunakan kamera digital SLR yang akan digunakan untuk memotret baik dari darat maupun dari udara. (2) Pemotretan udara dilakukan dengan menempatkan kamera pada wahana udara tak berawak (*Unmanned Aerial Vehicle* atau UAV) dan pemotretan dikendalikan dari jarak jauh. (3) Foto-foto yang didapat akan diproses dengan Teknik Fotogrametri dan Geodesi terpadu untuk mendapatkan data spasial. (4) Dalam hal memonitor secara teliti pola pergerakan tanah, termasuk volume perpindahan massa tanah tanpa harus menyentuh obyek (*non contact measurement*), akan memanfaatkan kamera IP (CCTV). (5) Dikembangkannya teknik khusus untuk mengolah foto-foto menjadi informasi spasial yang menggambarkan pola pergerakan massa tanah dengan mengirim informasi tersebut melalui *E-mail* secara *realtime*, yang selanjutnya akan dimanfaatkan untuk analisa potensi longsor. (6) Pembangunan Sistem informasi geografis potensi rawan longsor merupakan hasil analisa dari paduan informasi spasial termasuk pola pergerakan tanah secara berkala digunakan sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) terpadu yang dapat memprediksi terjadinya tanah longsor secara *realtime*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak baik yang secara langsung dan tidak langsung terlibat dalam proses pelaksanaan penelitian ini terutama kepada DIKTI sebagai donatur dana penelitian hibah bersaing, dengan nomor kontrak penelitian 064/SP2H/PDSTR/L/K7/KL/III/2014, tertanggal 8 Maret 2014.

Daftar Pustaka

- Ayalew, L., and H. Yamagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* (65):15-31
- Bakosurtanal, 2007. *Sistem Informasi Spasial Multirawan Bencana Alam*, Pusat Survei Sumberdaya Alam darat, <http://www.bakosurtanal.go.id/multihazard/>, Tanggal Akses: 17 April 2014, Last Update: 2007.
- Brenning, A. 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2005 (5):853–862.
- Burt, P.J. and Adelson, E.H., 1983. A Multiresolution Spline With Application to Image Mosaics. *ACM Transactions on Graphics*, 2(4): 217-236.
- Cardona, O.D., 2011. Disaster Risk and Vulnerability: Concepts and Measurement of Human and Environmental Insecurity. In: H.G. Brauch et al. (Editors), *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 107-121.
- Chau, K. T., Y. L. Sze, M. K. Fung, W. Y. Wong, E. L. Fong, and L. C. P. Chan. 2004. Landslide hazard analysis for HongKong using landslide inventory and GIS. *Computers & Geosciences* 2004 (30):429–443.
- Duffin, K. L., dan Barrett, W. A., 1998. Globally Optimal Image Mosaics, *GRAPHICS INTERFACE (1998)*: 217-222.
- Fell, R., J. Corominas, C. Bonnard, L. Cascini, E. Leroi, and W. Z. Savage. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 2008 (102):99–111.
- Fraser, C. S., 1997. Digital camera self-calibration, *ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(4): 149-159.
- Fryer, J., Mitchell, H., dan Chandler, J., 2007. *Applications of 3D Measurements from Images*. Whittles Publishing, Scotland, UK, 304 halaman.
- Glenn, N. F., D. R. Streutker, D. J. Chadwick, G. D. Thackray, and S. J. Dorsch. 2006. Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology* 2006 (73):131–148.
- Gorsevski, P. V., P. E. Gessler, J. Boll, W. J. Elliot, and R. B. Foltz. 2006. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility. *Geomorphology* 2006 (80):178–198.
- Gruen, A.W., 1985. Adaptive Least Square Correlation: A Powerful Image Matching Technique. *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 14(3): 175-187.
- Gruen, A.W., 2001. Least Square Matching: A Fundamental Measurment Algorithm, In: *K.B. Atkinson (Editor), Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, Scotland, UK, halaman: 217-255.
- Harris, C., dan Stephens, M., 1988. A combined corner and edge detector. *Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference*, Manchester, 15(50): 147–151.
- Kimura, H., and Y. Yamaguchi. 2000. Detection of Landslide Areas Using Satellite Radar Interferometry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66 (3):337-344.
- LAPAN, 2010. *Sistem Informasi untuk Mitigasi Bencana Alam Menggunakan Data Penginderaan Jauh (SIMBA - LAPAN)*, <http://www.lapanrs.com/SIMBA/simba.php>, Tanggal Akses: 17 April 2010, Last Update April 2010.
- Lee, S. and Choi, U., 2003. Development of GIS-based geological hazard information system and its application for landslide analysis in Korea. *Geosciences Journal*, 7(3): 243-252.
- Lee, S. and Pradhan, B., 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *J. Earth Syst. Sci.*, 115(6): 661–672.
- Longuet-Higgins, H.C., 1981. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. *Nature*, 293: 133-135.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. dan Harley, I., 2006. *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*. Whittles Publishing, Scotland, UK., 510 halaman.
- Malet, J. P., O. Maquaire, and E. Calais. 2002. The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Geomorphology* 2002 (43):33– 54.
- McGlone, J.C., Mikhail, E. M., Bethel, J., dan Mullen, R., 2004. *Manual of Photogrammetry 5th Edition*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, 1151 halaman.
- McKeana, J., and J. Roering. 2004. Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology* 2004 (57):331–351.
- McLauchlan, P. F. dan Jaenicke, A., 2000. Image Mosaicing using Sequential Bundle Adjustment, *Workshop On Biologically Motivated Computer Vision*, 10 halaman.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., dan McGlone, J. C., 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley and Sons Inc., NewYork, USA, 479 halaman.
- Mikos, M., Vidmar, A. and Brilly, M., 2005. Using a laser measurement system for monitoring morphological changes on the Strug rock fall, Slovenia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2005(5): 143–153.
- Nichol, J. E., A. Shaker, and M.-S. Wong. 2006. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. *Geomorphology* 2006 (76):68– 75



- Pesci, A., P. Baldi, A. Bedin, G. Casula, N. Cenni, M. Fabris, F. Loddo, P. Mora, and M. Bacchetti. 2004. Digital elevation models for landslide evolution monitoring: application on two areas located in the Reno River Valley (Italy). *ANNALS OF GEOPHYSICS* 47 (4):1339-1353.
- Pesti, P., Elson, J., dan Howell, J., 2008. Low-Cost Orthographic Imagery, *ACM GIS 08*, Irvine, CA, USA, 8 halaman.
- Romeo, R. 2000. Seismically induced landslide displacements: a predictive model. *Engineering Geology* 2000 (58):337–351.
- Safroni Imam, 2009. *Pemanfaatan Citra Landsat 7 ETM dan Sistem Informasi Geografis untuk memprediksi Daerah Rawan Tanah Longsor*. Skripsi; Tidak di terbitkan.
- Subowo, E. 2003. *Pengenalan Gerakan Tanah*. Pusat Volkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral; Bandung
- Subroto, dkk. 1981. *Gerakan Tanah di Indonesia*. Ditjen Pertambangan Umum, Dept. Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Surat Keputusan Menteri Pertanian Nomor 837/KPTS/UM/11/1980 tentang *Kriteria dan Tata Cara Penetapan Kawasan Lindung dan Kawasan Budidaya*, Departemen Pertanian; Jakarta.
- Szeliski, R., 2006. Image Alignment and Stitching: A Tutorial, *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 2 (1):1-104.
- Szeliski, R. 2010, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, e-book, <http://www.cs.washington.edu/education/courses/cse576/08sp/>, Tanggal Akses: 17 April 2010, Last Update: February 2010.
- Tjahjadi, M., E., 2010. *NURBS Reconstruction In Object Space from Stereo Images: A Photogrammetric Approach*, Lambert Academic Publishing, Germany, 163 halaman.
- Tjahjadi, M. E., dan Pantimena, L., 2008a. Desain Operasional Pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* untuk Pembuatan Peta Tematik Berskala Besar Dengan Teknik Fotogrametri, *Prosiding Kongres XIII dan Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia: Peta Tematik Menjawab Krisis Pangan, Energi dan Lingkungan*, Banten, 9 halaman.
- Tjahjadi, M. E., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., 2009a. Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan Kamera Dijital di Kota Malang, *Prosiding Forum Ilmiah tahunan Ikatan Surveyor Indonesia dan Seminar Nasional: Peran Informasi Geospasial untuk Pembangunan yang Berkelanjutan*, Semarang, halaman E-27-E38.
- Tjahjadi, et al. 2011. *Pengembangan Teknologi Terintegrasi dan Multi Platform Untuk Pemetaan Cepat, Pemantauan Akurat, Sistem Peringatan Dini Dan Analisis Potensi Tanah Longsor*, Penelitian Fundamental.
- Turkbeyler, E., Harris, C. and Evans, R., 2008. Building Aerial Mosaics for Visual MTI, *5th EMRS DTC Technical Conference*, Edinburgh, 7 halaman.
- Turkbeyler, E. and Harris, C., 2009. Building Aerial Mosaics II: Metadata, Feature Matching, Loop Closure, *6th EMRS DTC Technical Conference*, Edinburgh, 7 halaman.
- Uyttendaele, M., Eden, A. and Skeliski, R., 2001. Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics, *Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society, Conference on*, vol.2: II-509-II-516.
- Van Zuidam, R.W. 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. The Hague Martinus Nijhoff; Netherland
- Xie, M., Esaki, T., Zhou, G. and Mitani, Y., 2003. Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment. *Journal of Geotechnical and GeoEnvironmental Engineering*, 12(129): 1109-1118.
- Wolf, P. R., dan Dewitt, B. A., 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd Edition*, McGraw-Hill Inc., NewYork, USA, 608 halaman.