

EVALUASI PEMETAAN JALAN RAYA DENGAN VIDEO KAMERA STEREO

M. Edwin Tjahjadi

Dosen Teknik Geodesi FTSP ITN Malang

ABSTRAKSI

Jalan raya merupakan salah satu jalur angkutan darat yang sering digunakan oleh manusia dalam beraktivitas. Pada kenyataannya sangat banyak jalan raya di seluruh pelosok tanah air mengalami tingkat kerusakan yang parah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti bencana alam, pemakaian angkutan yang berlebihan, dan perawatan yang tidak memadai. Kondisi seperti ini sangat merugikan banyak pihak terutama pemakai jalan. Dampak yang ditimbulkannya sampai menelan korban jiwa dan kerugian material yang tak terhitung. Kondisi ini juga diperparah dengan keterbatasan dana perawatan dan tidak dimilikinya skala prioritas untuk perbaikan jalan. Disamping itu, para pihak yang berwenang tidak memiliki data spasial yang akurat, lengkap, dan terkini dari setiap kondisi jalan yang rusak. Oleh karena itu, proses perbaikan jalan yang ada terkesan hanya bersifat sementara.

Segala permasalahan ini akan dijawab dengan pengembangan sistem pemetaan cepat profil jalan yang efisien, ekonomis, tetapi dapat digunakan dalam pemetaan skala besar untuk pekerjaan survei rekayasa jalan raya. Sistem pemetaan ini menggunakan sepasang video kamera yang diintegrasikan dengan GPS dan ditempatkan pada wahana yang bergerak, seperti mobil. Selama mobil bergerak menyusuri jalan, gambar video koridor dan situasi jalan akan terekam pada video. Selanjutnya, pasangan foto-foto digital hasil ekstraksi dari video digunakan untuk pengukuran titik-titik detail jalan raya. Titik-titik detail hasil pengukuran dari pasangan foto ini memiliki level akurasi centimeter, sehingga koordinat tiga dimensi titik-titik ini dapat digunakan untuk penggambaran profil jalan raya dan memenuhi standar ketelitian survei dan pemetaan skala besar untuk pekerjaan rekayasa.

Kata Kunci: Data Spasial, Profil Jalan Raya, Video Kamera, GPS

PENDAHULUAN

Kerusakan fasilitas infrastruktur jalan raya yang diakibatkan oleh bencana banjir, tanah longsor, maupun gempa bumi sangat menggerus dana pembangunan. Belum lagi banyaknya korban jiwa dan kerugian material dari kecelakaan lalulintas karena ketidaknyamanan penggunaan jalan tersebut (Gambar 1). Kerusakan jalan ini biasanya semakin parah karena proses perbaikan dan perawatannya seringkali terlambat akibat

keterbatasan anggaran dana pembangunan Pemerintah Daerah dan belum adanya standarisasi skala prioritas. Pada umumnya perbaikan yang dilaksanakan hanya bersifat sementara dan terkesan tambal sulam. Skala prioritas, dengan kata lain jalan mana yang harus didahulukan perawatannya atau jika sudah rusak harus didahulukan perbaikannya, tidak ada. Artinya, proses perawatan dan perbaikan jalan raya itu tidak dilakukan secara berkesinambungan, terintegrasi, dan komprehensif.

Agar infrastruktur jalan raya dapat dipertahankan dalam kondisi optimal, walaupun berbagai bencana alam menerjang sewaktu-waktu, diperlukan suatu sistem pelaporan atau sistem informasi yang dapat menginformasikan kondisi jalan terkini, misalnya sesaat setelah bencana alam menerjang. Sistem ini harus responsif, dapat dioperasikan secara cepat, sewaktu-waktu, biaya yang murah, serta sistem pengoperasiannya tidak rumit; sehingga dapat dioperasikan oleh kalangan awam. Hingga akhirnya informasi tentang kondisi terkini jalan, seperti misalnya seberapa parah kerusakannya, berapa panjang dan lebar bagian jalan yang rusak, dan berapa taksiran biayanya jika dilakukan perbaikan, serta hal-hal lainnya dapat diinformasikan secara cepat dan akurat. Keuntungannya, para pembuat keputusan dapat melakukan tindakan yang optimal, tepat sasaran, dan segera berdasarkan informasi yang diperoleh.



Gambar 1.
Kerusakan Jalan Akibat Bencana Alam
(sumber: Kompas)

PEMETAAN JALAN RAYA

Sistem Pemetaan

Sistem pemetaan cepat jalan raya adalah sistem pengukuran yang dilakukan melalui pengintegrasian dua atau lebih kamera digital yang telah memiliki koordinat pemetaan (geo-referensi) melalui sensor posisi seperti Global Positioning System (GPS), dan/ataupun dengan Inertial Positioning System (INS) (Geem dan Gautama, 2006; Homainejad, 2008; Toth dan Brzezinska, 2008). Maksud dan tujuan pengintegrasian ini adalah untuk mempercepat proses akusisi data (survei), sehingga biaya survei dapat ditekan tetapi keakurasian data yang dikumpulkan dapat diandalkan untuk pemetaan skala besar, untuk pekerjaan rekayasa, maupun untuk memonitor aset jalan raya dan perawatan berkala dengan memberikan informasi yang relevan, cepat dan terkini. Uraian selengkapnya tentang sistem ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2.

- (kiri-atas): Sistem pemetaan cepat yang terpasang pada mobil
(kanan-atas): Komponen sistem yang terdiri dari sepasang video kamera dan GPS
(kanan-bawah): Stasiun DGPS
(kiri-bawah): Laptop didalam mobil sebagai penghubung antara CCTV dan GPS

Sepasang video kamera dipasang diatas atap mobil secara sejajar dan 1 unit GPS juga dipasang di atas mobil di antara kedua video kamera tersebut. Jarak antarkamera diukur secara teliti untuk mendapatkan panjang *baseline* dengan akurasi yang tinggi. Demikian pula jarak *offset* antara

kamera dan GPS juga diukur secara teliti untuk mendapatkan sistem koordinat dalam sistem GPS (WGS-84). Ketiga komponen ini terhubung melalui laptop untuk menghimpun informasi dari masing-masing sensor.



Gambar 3.
Ilustrasi foto-foto yang direkam dari kamera kiri dan kanan

Ketika mobil berjalan untuk pemotretan, masing-masing kamera akan menangkap gambar detail jalan raya, seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Dari sepasang foto ini, melalui teknik fotogrametri, berbagai informasi spasial dapat diekstraksi dengan cepat dan akurat, seperti misalnya lebar jalan, koordinat as jalan, bagian-bagian jalan yang rusak, koordinat rambu-rambu lalulintas, profil memanjang dan profil melintang, serta informasi-informasi lainnya yang relevan. Salah satu kelebihan sistem ini adalah informasi spasial yang didapatkan selalu disertai foto-foto digital yang terkini; sehingga berdasarkan bukti-bukti visual ini skala prioritas perbaikan jalan dapat diputuskan dengan bijak.

Untuk mendapatkan koordinat 3D titik-titik obyek yang seakurat mungkin, sebelum dilakukan pemotretan, sepasang video kamera tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu. Teknik untuk mendapatkan parameter kalibrasi dan alasan mengapa kalibrasi diperlukan dijelaskan berikut ini.

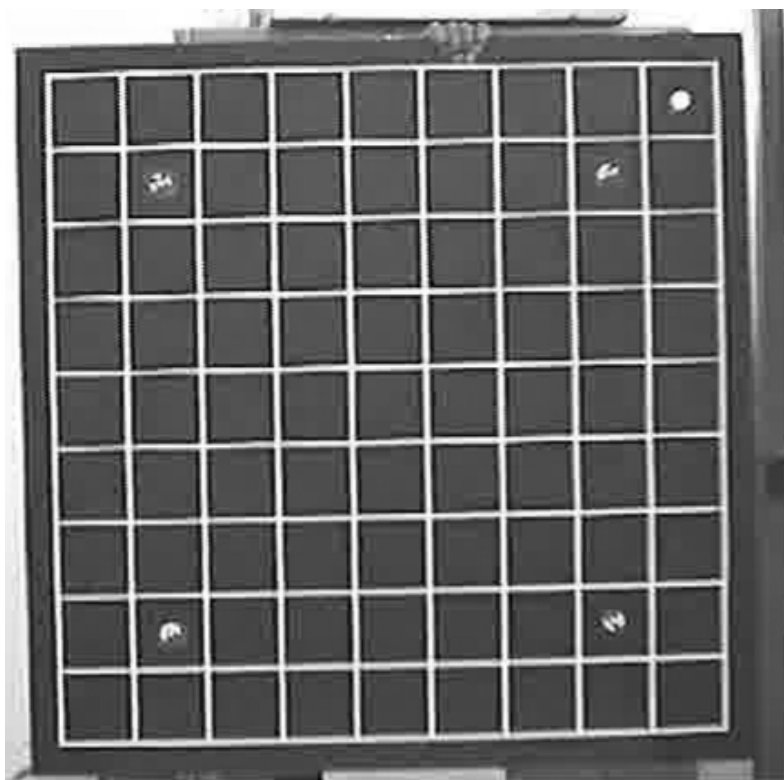
Metode Kalibrasi Kamera

Video kamera bukanlah kamera metrik, sehingga susunan lensa dan posisi sensor CCD di dalam badan kamera tidaklah stabil. Sebagai contoh, pada Gambar 4 menunjukkan efek dari distorsi radial dari foto salah satu video kamera. Untuk meminimalkan dampak ini dan dapat mengekstraksi koordinat 3D mutlak diperlukan parameter kalibrasi untuk masing-masing kamera.

Proses kalibrasi dilakukan untuk mengeliminasi kesalahan sistematis dari video kamera. Proses kalibrasi bertujuan untuk memperoleh parameter orientasi dalam, yaitu koordinat *principal point* dan panjang fokus

terkalibrasi, serta parameter kalibrasi lensa, misalnya parameter *distorsi radial* dan *decentering*. Parameter kalibrasi kamera memegang peranan kunci untuk mendapatkan keakurasian tinggi titik-titik koordinat dari obyek-obyek yang terekam/diukur melalui video kamera. Indikasi ketelitian adalah jarak dan bentuk (*shape*) yang benar jika dibandingkan dengan data ukuran lapangan. Untuk menghitung parameter kalibrasi yang dibutuhkan, dipakai metode kalibrasi seperti yang diuraikan oleh Clarke dan Fryer (1998) dan Fryer (1989, 2001).

Kemudian, untuk mendapatkan *parameter relative orientation* dari sepasang kamera ini dilakukan teknik konstrain terhadap terhadap panjang *baseline* dan jarak antar dua kamera dalam hitungan *bundle adjustment*. Akan tetapi, sebelum proses hitungan ini dilakukan, nilai pendekatan awal orientasi luar (*External Orientation atau EO*) dihitung terlebih dahulu dengan teknik seperti yang dijelaskan oleh Rampal (1979) atau Zeng dan Wang (1992). Jika parameter EO “relatif” antar kedua kamera tersebut dapat diketahui, maka apabila salah satu dari posisi kamera tersebut diberikan koordinat GPS, akan dengan mudah dihitung posisi kamera yang satunya lagi didalam sistem koordinat GPS.



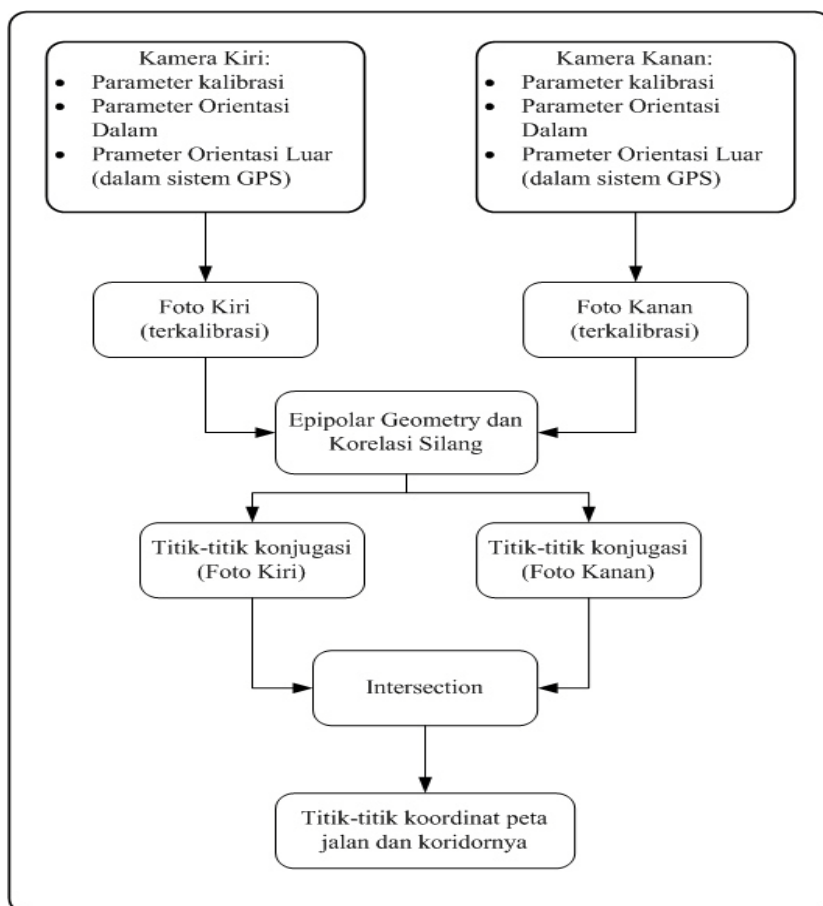
Gambar 4.
Efek distorsi radial: garis lurus akan nampak melengkung pada foto.

Teknik Ekstraksi Fitur Jalan

Kalau posisi kedua kamera dapat dikonversikan kedalam sistem kartesian 3D (sistem GPS), maka titik-titik konjugasi (titik obyek yang sama dan terlihat dari kedua foto) dapat dihitung nilai koordinat 3D-nya dengan teknik triangulasi atau *intersection* (Mikhail et al., 2001; Wolf dan Dewitt, 2000). Namun, sebelum proses triangulasi atau proses kalibrasi dapat dilakukan, terlebih dahulu haruslah dipilih titik-titik konjugasi. Kualitas ketelitian pengukuran koordinat titik-titik ini berpengaruh terhadap kualitas parameter kalibrasi dan koordinat 3D titik-titik obyek hasil proses triangulasi. Untuk menghasilkan ketelitian yang optimum, teknik *Image Matching* (Schenk, 1999) digunakan untuk mendijitasi koordinat titik-titik konjugasi pada kedua foto stereo tersebut. Teknik *Image Matching* yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *Area-based Matching* yang terdiri dari dua metode, yaitu *Normalized Cross Correlation (NCC)* dan *Least Square Matching (LSM)* (Schenk, 1999).

Keunggulan teknik NCC adalah kecepatan komputasinya, tetapi hanya menghasilkan ketelitian 1 piksel (Mikhail et al., 2001). Sebaliknya, dengan metode LSM, karena menerapkan hitung kuadrat terkecil pada nilai keabuan, relatif lebih lambat untuk konvergen, namun mampu menghasilkan ketelitian hingga 0,01 piksel (Luhmann et al., 2006). Disamping itu, kelemahan lain dari LSM adalah membutuhkan nilai pendekatan posisi yang cukup dekat terhadap nilai sebenarnya agar perhitungan iterasinya dapat konvergen (Gruen, 2001).

Berdasarkan karakteristik masing-masing metode yang saling melengkapi, pada penelitian ini menggunakan metode NCC untuk mendapatkan nilai awal titik konjugasi yang dicari, lalu posisi dan ketelitian titik konjugasi ini dihitung ulang dengan teknik LSM untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dalam penelitian ini pula dilakukan dua macam pendekatan berbeda dalam mengekstraksi titik-titik 3D antara proses kalibrasi dan triangulasi titik-titik obyek jalan raya. Dalam proses kalibrasi, karena parameter EO untuk tiap-tiap kamera belum ditentukan, maka proses pendijitian titik-titik konjugasi dilakukan secara manual pada masing-masing foto kiri dan kanan. Akan tetapi, pada proses ekstraksi titik-titik obyek jalan, parameter EO untuk sepasang kamera telah dihitung nilainya, sehingga proses pencarian titik konjugasi di salah satu foto dapat dipercepat dengan bantuan garis *epipolar* (Luhmann et al., 2006). Proses pada tahapan ini dapat disarikan pada Gambar 5.

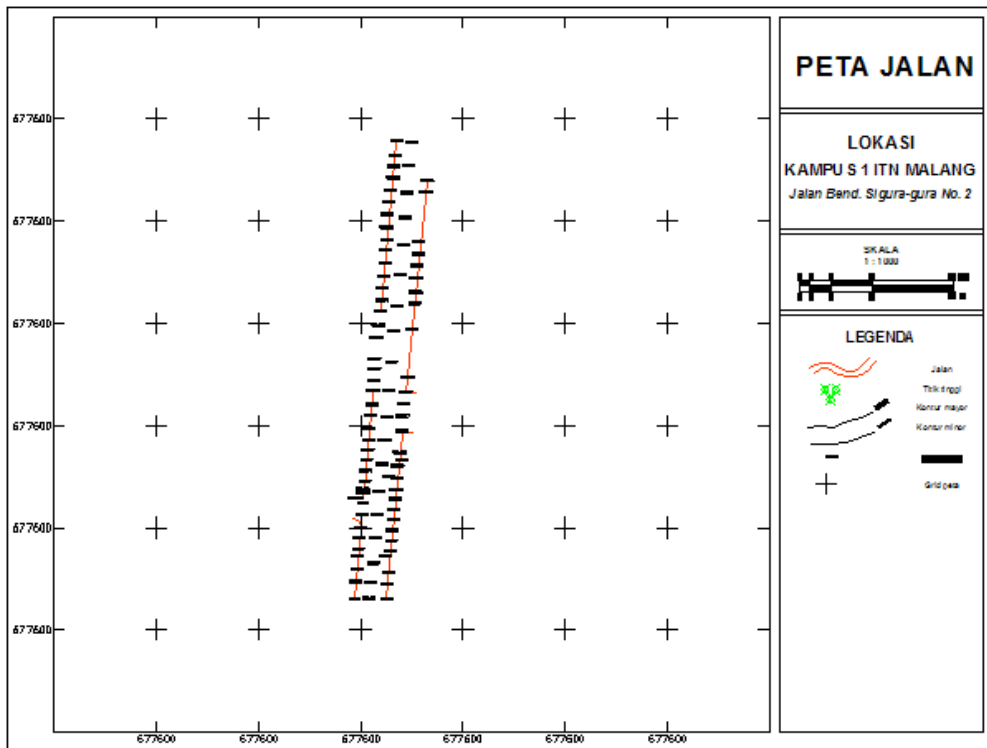


Gambar 5.
Teknik ekstraksi informasi spasial dengan metode Fotogrametri

PROSES ANALISIS PETA

Sistem ini bekerja dengan pengintegrasian sepasang video kamera dan DGPS. Data yang diperoleh berupa data rekaman video dengan obyek utama adalah jalan. Data rekaman video tersebut dikonversi menjadi data foto, lalu diproses berdasarkan prinsip fotogrametri stereo untuk menghasilkan koordinat 3D titik-titik profil jalan. Dari koordinat tersebut dapat diperoleh detail jalan raya untuk keperluan pemetaan.

Untuk memferifikasi hasil yang diperoleh, pada proses uji coba lapangan, patok-patok dan tanda lain yang dapat diidentifikasi dari foto disebarakan di sepanjang jalan dengan interval tertentu. Kemudian, jarak antar patok dan tanda tersebut diukur dengan *Total Station* dan *levelling*. Hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6.
Hasil *prosesing* data titik-titik *Spot Height* dari digitasi foto yang bertampalan

KESIMPULAN

Pengintegrasian perangkat video kamera dengan GPS memiliki potensi untuk dapat melakukan inventarisasi dan pemetaan profil jalan secara ekonomis, cepat, dan akurat. Dengan sistem ini, diseminasi data geospasial dapat dilakukan dengan mudah dan efisien.

Sebagai informasi, Program Studi Teknik Geodesi ITN Malang telah mengembangkan sistem pemetaan cepat ini beserta perangkat lunak pendukungnya dan telah sukses uji coba tahap akhir. Cetak biru konsep pemetaan dengan video kamera tengah diimplementasikan kedalam perangkat lunak yang akan diberi nama merek dagang "*Photometric Road Mapper*". Perangkat lunaknya dapat dioperasikan oleh kalangan awam sekalipun, bahkan yang tidak memiliki latar belakang fotogrametri. Akurasi koordinat 3D yang dihasilkan sangat bergantung pada kualitas video kamera yang digunakan. Secara umum, kriteria akurasi peta yang dihasilkan sesuai dengan standar ketelitian pemetaan skala besar untuk pekerjaan survei rekayasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Clarke, T.A. and Fryer, J.G. 1998. *The Development of Camera Calibration Methods and Models*. Photogrammetric Record. 16 (91): 51-66.
- Fryer, J.G. 1989. *Camera Calibration in Non-Topographic Photogrammetry*. In: H.M. Karara (Editor). *Non-Topographic Photogrammetry*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Virginia: Falls Church. pp. 59-69.
- Fryer, J.G. 2001. *Camera Calibration*. In: K.B. Atkinson (Editor). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing. pp. 156-179.
- Geem, C.V. and Gautama, S. 2006. *Mobile Mapping with a Stereo-Camera for Road Assessment in the frame of Road Network Management*.
- Gruen, A.W. 2001. *Least Square Matching: A Fundamental Measurement Algorithm*. In: K.B. Atkinson (Editor). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing. pp. 217-255.
- Homainejad, A.S. 2008. *Developing a Navigation System to Provide a Robust Real Time Positioning for Mobile Mapping Application*. ISPRS Congress. Beijing: ISPRS. pp. 891-896.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Harley, I. 2006. *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*. Scotland, UK: Whittles Publishing. 510 pp.
- Mikhail, E.M., Bethel, J.S. and McGlone, C.J. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 479 pp.
- Rampal, K.K. 1979. *A Closed Solution for Space Resection*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 45 (9): 1255-1261.
- Schenk, T. 1999. *Digital Photogrammetry*. Volume 1. TerraScience. USA: Ohio. 422 pp.
- Toth, C.K. and Brzezinska, D.A.G. 2008. *Modern Mobile Mapping: On-The-Fly Image Processing*.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. 2000. *Elements of Photogrammetry: with Applications in G/S*. New York: Mc Graw-Hill Companies Inc. 608 pp.
- Zeng, Z. and Wang, X. 1992. *A General Solution of a Closed-Form Space Resection*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 58 (3): 327-338.

