

Penerapan *Terrestrial Mobile Mapping* Menggunakan Kamera Aksi Untuk Pemetaan Model Tiga Dimensi Perkotaan

REGIANA ZALFA SALSABILA, SUMARNO

Program Studi Teknik Geodesi - FTSP Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: regiana.zalfa@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pemetaan tiga dimensi mendorong penggunaan Terrestrial Mobile Mapping System (TMMS) berbasis kamera aksi sebagai alternatif efisien dan terjangkau. Penelitian ini menerapkan TMMS menggunakan kamera aksi untuk pemodelan 3D perkotaan serta menganalisis kerapatan point cloud dan ketelitian geometrik. Lokasi penelitian di Jl. Layar dan Jl. Loncat Indah, Kec. Arcamanik menggunakan data video, titik kontrol (GCP) dan titik uji (ICP). Pengolahan menggunakan algoritma Structure from Motion (SfM) dan Multi-View Stereo (MVS), serta CloudCompare untuk pembersihan noise dan rekonstruksi mesh. Hasil menunjukkan TMMS berbasis kamera aksi dapat digunakan untuk pemodelan 3D dengan kerapatan point cloud 2.550,02/m³, namun terdapat kekosongan data akibat keterbatasan sudut pandang dan akuisisi satu lintasan. Uji ketelitian geometrik menunjukkan RMSE horizontal 0,063 meter dan RMSE vertikal 0,051 meter, memenuhi standar nasional pemetaan skala besar untuk aplikasi pemetaan 3D perkotaan.

Kata kunci: *Terrestrial Mobile Mapping System, Kamera Aksi, Pemodelan 3D, Point Cloud, RMSE*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat dalam pemetaan model tiga dimensi mendorong munculnya penggunaan *Terrestrial Mobile Mapping System* berbasis kamera aksi. Penggunaan metode ini menjadi pilihan yang baik dalam pemetaan model tiga dimensi karena keunggulannya dalam efisiensi, fleksibilitas, dan biaya yang lebih terjangkau (Cruz dkk., 2015). Kamera aksi seperti GoPro memungkinkan akuisisi data visual yang berkualitas tinggi dengan perangkat yang ringan dan mudah dioperasikan, menjadikannya solusi ideal untuk pemetaan 3D skala kecil hingga menengah (Aprianto dkk., 2018). Dengan menerapkan metode fotogrametri, data dari kamera aksi dapat diolah menjadi *point cloud* yang mendukung berbagai aplikasi geospasial. Oleh karena itu, penggunaan TMMS berbasis kamera aksi menjadi alternatif yang efektif dalam pemetaan 3D yang cepat, murah, dan akurat (Gonçalves & Pinhal, 2018).

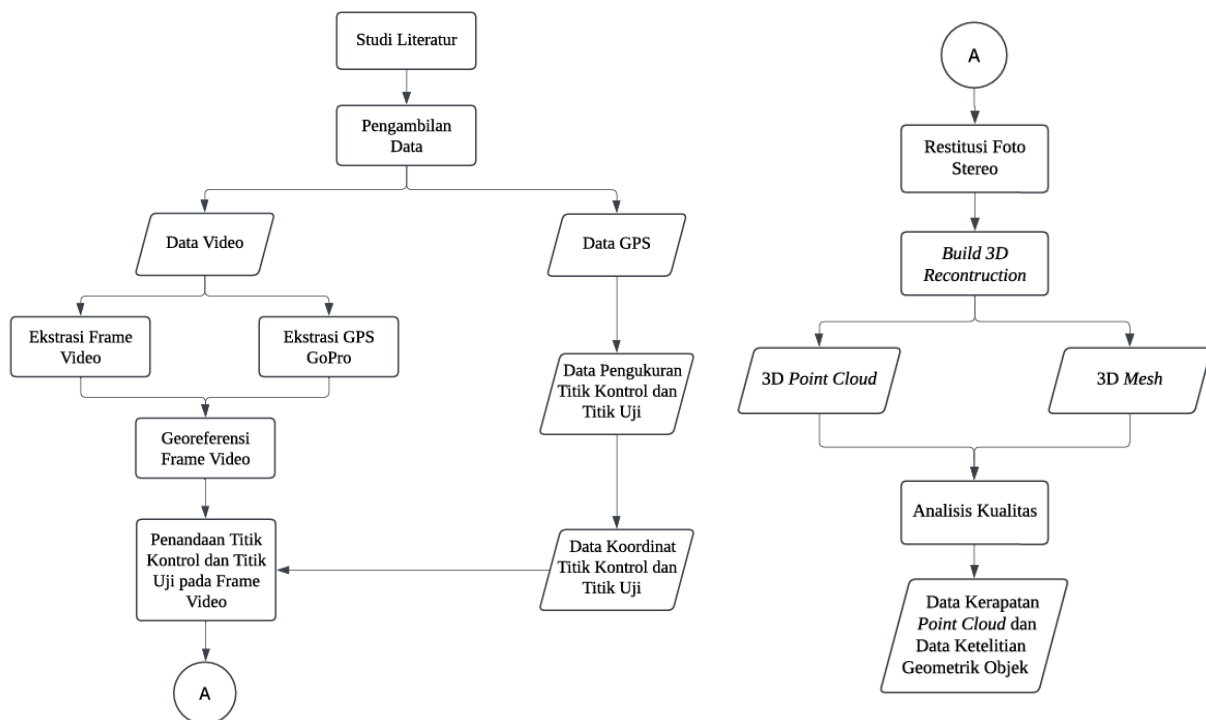
Berdasarkan jurnal berjudul "*Mobile Mapping System Based on Action Cameras*" yang ditulis oleh Gonçalves & Pinhal (2018), penelitian ini membahas sistem pemetaan bergerak (*mobile mapping system*) yang memanfaatkan kamera aksi sebagai sensor utama. Studi ini bertujuan untuk mengembangkan metode pemetaan yang efisien dan ekonomis dengan mengandalkan teknologi kamera aksi yang lebih ringan dan fleksibel dibandingkan sensor konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kamera aksi dalam sistem pemetaan dapat memberikan hasil yang cukup akurat. Jurnal tersebut menjadi rujukan dalam penelitian ini karena menawarkan pendekatan inovatif dalam sistem pemetaan, terutama dalam aspek biaya dan kemudahan pengoperasian.

Penelitian tersebut selanjutnya akan diimplementasikan pada area Kelurahan Sukamiskin, Kecamatan Arcamanik, Kota Bandung, untuk menguji keakuratan dan efektivitas metode pemetaan menggunakan kamera aksi. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik kawasan yang memiliki beragam jenis bangunan, vegetasi, serta infrastruktur jalan yang kompleks. Selanjutnya, penelitian ini memanfaatkan algoritma SFM (*Structure From Motion*) dan MVS (*Multi View Stereo*). Penggunaan algoritma SFM membantu rekonstruksi model 3D dari gambar 2D serta menghasilkan informasi untuk pengolahan lebih lanjut (Kholil dkk., 2021). Sementara itu, algoritma MVS akan menghasilkan *point cloud* yang sangat detail melalui kumpulan gambar serta memperkirakan *depth-map* pada gambar yang saling tumpang tindih (Hanbudi & Fauzi, 2022). Dengan kombinasi kedua algoritma tersebut diharapkan hasil yang diperoleh dapat sebanding dengan hasil yang telah dipaparkan dalam jurnal "*Mobile Mapping System Based on Action Cameras*", sehingga metode ini dapat diandalkan untuk pemetaan lingkungan perkotaan dengan biaya yang lebih efisien dan proses yang lebih cepat.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Metode tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

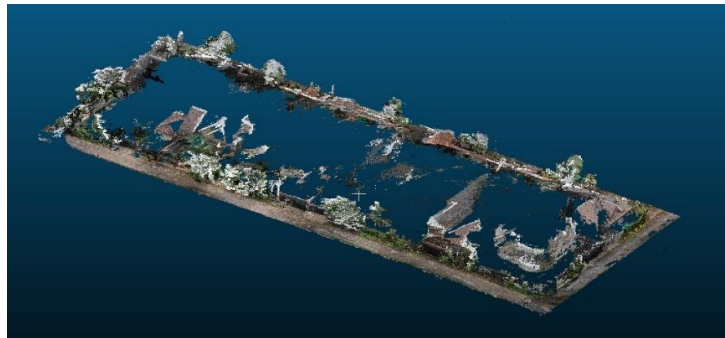
Penjelasan metode penelitian pada Gambar 1 sebagai berikut:

- a. Pengambilan data dilakukan melalui dua tahap menggunakan peralatan berbeda. Tahap pertama adalah perekaman video area penelitian menggunakan kamera aksi GoPro Hero 10 dengan resolusi 1920×1080 piksel pada kecepatan 30 fps, dipasang pada spion kendaraan dengan sudut 315° untuk menjaga stabilitas perekaman. Kamera diarahkan ke sisi jalan agar dapat merekam bangunan secara optimal saat kendaraan menyusuri jalur yang direncanakan di area permukiman Kelurahan Sukamiskin, Arcamanik, Bandung. Tahap kedua mengukur titik kontrol dan titik uji menggunakan GPS Hi-Target V-30 dengan metode RTK, dimana titik-titik ditempatkan secara merata pada sudut bangunan dan area terbuka yang mudah diidentifikasi. Proses ini diawali pengambilan titik kontrol dan titik uji yang tersebar di lokasi penelitian, kemudian dilanjutkan akuisisi data *base* selama 15 menit untuk memastikan akurasi georeferensi optimal dalam pemrosesan data menggunakan Pix4Dmapper.
- b. Pemrosesan data video menggunakan perangkat lunak Pix4D Mapper untuk mengekstraksi 4.572 frame menjadi foto individual serta pengolahan model 3D. Untuk meningkatkan akurasi hasil akhir, titik kontrol dan titik uji dalam sistem koordinat WGS 84 / UTM Zona 48S ditandai pada frame-frame relevan, yang digunakan untuk mengukur tingkat ketelitian model 3D dengan membandingkannya terhadap pengukuran lapangan sebenarnya. Tahap terakhir melakukan restitusi foto stereo menggunakan algoritma *Structure from Motion* (SfM) untuk mencocokkan titik dan fitur yang sama di setiap frame, menghasilkan *sparse point cloud*.
- c. Proses rekonstruksi 3D menggunakan algoritma *Multi-View Stereo* (MVS) untuk menghasilkan *dense point cloud* yang memberikan representasi spasial objek permukaan lebih detail dan padat dibandingkan *sparse point cloud*. Sebelum pembentukan *mesh*, dilakukan pembersihan *noise* menggunakan CloudCompare dengan fitur seleksi manual untuk menghilangkan data tidak relevan, sehingga *point cloud* hanya merepresentasikan permukaan bangunan, tanah, dan vegetasi. Pembentukan *mesh* menggunakan algoritma *Poisson Reconstruction* dengan *octree level* 12 yang dipilih untuk memberikan keseimbangan optimal antara kualitas detail *mesh* dan beban komputasi.
- d. Untuk mengevaluasi kualitas model, dilakukan uji ketelitian geometrik menggunakan metode RMSE yang membandingkan koordinat pada model 3D dengan koordinat titik uji dari pengukuran langsung di lapangan. Koordinat ICP yang dihasilkan dari model dibandingkan dengan koordinat ICP hasil pengukuran lapangan melalui perhitungan RMSE menggunakan Microsoft Excel, dimana prosedur perhitungan mengacu pada Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018 untuk memastikan standar evaluasi sesuai regulasi nasional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

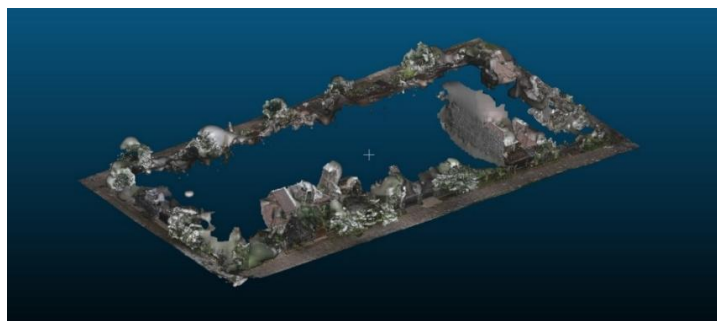
Pengolahan data menggunakan Pix4D Mapper dari 4.572 foto hasil ekstraksi video GoPro Hero 10 dan menggunakan delapan titik kontrol (GCP) serta sembilan titik uji (ICP), menghasilkan *point cloud* sebanyak 44.079.686 titik dengan kerapatan $2.550,02/m^3$ dalam sistem koordinat WGS 84 / UTM Zone 48S. Sebelum pembersihan *noise*, *point cloud* masih mengandung banyak titik tidak relevan dan beberapa objek terlihat miring akibat distribusi GCP yang kurang optimal. GCP memiliki peranan penting untuk georeferensi dan meningkatkan akurasi posisi titik dalam model 3D serta mengurangi distorsi pada bagian model yang tidak terkontrol dengan baik (Elhashash dkk., 2022). Pembersihan *noise* dilakukan menggunakan CloudCompare dengan seleksi manual untuk menghilangkan titik di luar objek sebenarnya, namun hasilnya menunjukkan banyak kekosongan (*hole*) pada bangunan karena perekaman hanya dilakukan satu kali perjalanan sehingga sisi-sisi tertentu tidak terekam dengan baik. Permasalahan ini terutama terjadi pada area belokan dimana jarak kamera-objek terlalu dekat dan arah pengambilan gambar

terbatas dapat menyebabkan ketidaktercapaian detail tertentu pada sisi bangunan (Teo, 2015). Untuk hasil yang lebih optimal diperlukan perekaman dua kali jalan untuk memastikan semua sisi bangunan terekam dengan baik (El-Sheimy, 2005).



Gambar 2. Point Cloud Setelah Pembersihan Noise

Pembuatan *mesh* dilakukan menggunakan CloudCompare dengan algoritma *Poisson Reconstruction* pada data *point cloud* yang telah dibersihkan dari *noise*. Sebelumnya dilakukan proses *compute normals* menggunakan metode *quadric* dengan radius 0.5 m dan *minimum spanning tree knn-6* untuk menghitung orientasi permukaan pada setiap titik. Hasil pengamatan visual menunjukkan kualitas rekonstruksi bervariasi tergantung kompleksitas objek. Objek sederhana seperti jalan, infrastruktur keras, pagar, dan tanaman hias berhasil direkonstruksi dengan baik dan mudah diidentifikasi sesuai kondisi lapangan. Namun pada objek kompleks seperti bangunan rumah, meskipun bentuk dasar dan lokasi masih dapat dikenali dengan cukup jelas, detail seperti atap dan dinding tampak kurang tajam. Bangunan bertingkat dengan struktur rumit hanya menunjukkan bentuk dasar yang memadai. Keterbatasan ini disebabkan oleh kepadatan *point cloud* yang tidak merata, kesulitan triangulasi pada geometri rumit seperti vegetasi dan struktur bangunan bersudut tidak beraturan, serta adanya *noise* atau *outlier* yang belum sepenuhnya terbersihkan terutama pada area dengan tekstur tidak beraturan dan keterbatasan sudut pengambilan data.



Gambar 3. Hasil Rekonstruksi Mesh

Uji ketelitian geometrik dilakukan berdasarkan Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018 dengan membandingkan koordinat (X,Y,Z) model 3D terhadap koordinat referensi yang diukur langsung menggunakan titik uji (ICP) dengan peralatan GNSS. Hasil evaluasi menunjukkan performa yang baik dengan RMSE horizontal 0,063 meter dan RMSE vertikal 0,051 meter. Kedua nilai tersebut berada di bawah ambang batas standar nasional untuk pemetaan skala besar dan membuktikan bahwa model 3D memiliki kualitas geometrik yang memadai. Tingkat akurasi ini menunjukkan

metode rekonstruksi 3D yang digunakan berhasil mempertahankan akurasi geometrik objek dengan baik, sehingga menghasilkan representasi 3D yang andal dan dapat dipercaya untuk aplikasi lapangan dengan deviasi yang relatif kecil pada kedua komponen koordinat.

Tabel 1. Koordinat ICP Pada Model dan Pengukuran di Lapangan

Koordinat ICP Pada Model dan Lapangan						
No Titik	Koordinat Pada Model (m)			Koordinat Hasil Pengukuran ICP (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
ICP 2	795410.247	9233971.384	711.4400024	795410.2614	9233971.356	711.4231
ICP 3	795431.272	9233941.627	711.1640015	795431.2928	9233941.724	711.1561
ICP 4	795464.11	9233895.798	709.7930298	795464.1109	9233895.809	709.7751
ICP 5	795486.923	9233898.436	709.3649902	795486.9837	9233898.507	709.3531
ICP 6	795502.866	9233930.91	709.1550293	795502.8063	9233930.871	709.1581
ICP 7	795473.153	9233974.594	709.5109863	795473.1328	9233974.593	709.4981
ICP 8	795453.561	9233999.625	711.3889771	795453.5351	9233999.652	711.2621
ICP 9	795439.309	9234020.652	709.8569946	795439.318	9234020.614	709.8201
ICP 26	795412.817	9234010.167	710.2579956	795412.7763	9234010.092	710.1901
Jumlah Titik	=			9		

Tabel 2. Perhitungan RMSE dan Hasil RMSE

Uji Ketelitian Horizontal dan Vertikal						
Horizontal					Vertikal	
DX	DX ²	DY	DY ²	(DX) ² +(DY) ²	DZ	DZ ²
-0.014	0.000	0.028	0.001	0.001	0.017	0.000
-0.021	0.000	-0.097	0.009	0.010	0.008	0.000
-0.001	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.018	0.000
-0.061	0.004	-0.071	0.005	0.009	0.012	0.000
0.060	0.004	0.039	0.001	0.005	-0.003	0.000
0.020	0.000	0.001	0.000	0.000	0.013	0.000
0.026	0.001	-0.027	0.001	0.001	0.127	0.016
-0.009	0.000	0.038	0.001	0.002	0.037	0.001
0.041	0.002	0.075	0.006	0.007	0.068	0.005
Jumlah				0.035	Jumlah	0.023
Mean				0.004	Mean	0.003
RMSE				0.063	RMSE	0.051

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa metode TMMS berbasis kamera aksi dapat diterapkan secara efektif untuk pemodelan tiga dimensi kawasan perkotaan, meskipun menggunakan peralatan non-metrik yang berpotensi menghasilkan distorsi cukup besar. Keunggulan utama metode ini terletak pada fleksibilitas operasional, efisiensi waktu pelaksanaan, dan biaya yang relatif terjangkau dibandingkan metode konvensional, sehingga menjadi alternatif menarik untuk akuisisi data geospasial. Dari segi teknis, kerapatan *point cloud* yang dihasilkan mencapai 2.550,02/m³, dimana nilai ini dapat dioptimalkan melalui penambahan jumlah citra, peningkatan kualitas proses pengambilan data, dan penyesuaian parameter kamera yang lebih baik. Evaluasi ketelitian geometrik menunjukkan hasil yang memuaskan dengan RMSE horizontal 0,063 meter dan RMSE vertikal 0,051 meter berdasarkan perhitungan ICP sesuai Peraturan BIG Nomor 6 Tahun

2018, dimana kedua nilai tersebut berada di bawah ambang batas standar nasional untuk pemetaan skala besar dan membuktikan bahwa proses rekonstruksi 3D mampu mempertahankan akurasi geometrik dengan baik. Namun demikian, tantangan terkait akurasi dan kelengkapan model masih perlu mendapat perhatian khusus, terutama untuk objek dengan geometri kompleks dan area yang memiliki keterbatasan sudut pandang pengamatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada PT Efort Digital Multi Solution yang telah membantu menyediakan data untuk penelitian ini.

CONTOH PENULISAN DAFTAR RUJUKAN

- Aprianto, R., Tjahjadi, M. E., & Yulianandha M, A. (2018). Analisis Ketelitian Hasil Pemodelan Tiga Dimensi Menggunakan Action Camera Dengan Metode Fotogrametri Jarak Dekat (Studi Kasus: Malang, Jawa Timur). *Http://Eprints.Itn.Ac.Id/*, 1(6), 11–21.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Badan Informasi Geospasial.
- Cruz Patricia, , Kristen, D., Sueden, M., Magtalas, L., & Principe, J. (2015). *3D Model Generation Using Photogrammetric Analysis of Paired GoPro™ Video*. July 2015, 1–2.
- El-Sheimy, N. (2005). An overview of mobile mapping systems. *FIG Working Week, January 2005*, 1–24.
- Elhashash, M., Albanwan, H., & Qin, R. (2022). A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications. *Sensors*, 22(11), 1–26. <https://doi.org/10.3390/s22114262>
- Hanbudi, G., & Fauzi, E. (2022). Rekonstruksi Model 3D dari Set Citra Menggunakan Metode SFM-MVS dan Algoritma Poisson. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(3), 1304. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i3.4126>
- Kholil, M., Ismanto, I., & Fu'ad, M. N. (2021). 3D reconstruction using Structure From Motion (SFM) algorithm and Multi View Stereo (MVS) based on computer vision. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1073(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1073/1/012066>
- Teo, T. (2015). Video-Based Point Cloud Generation Using Multiple Action Cameras. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(4W5), 55–60. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-W5-55-2015>