

Integrasi Data *Point Cloud* dari Foto Udara dan *Terrestrial Mobile Mapping System* Untuk Optimalisasi Pemodelan 3D di Kawasan Perkotaan

AI SITI ROHMAH¹, SUMARNO²

1. Institut Teknologi Nasional Bandung¹
2. Institut Teknologi Nasional Bandung²

Email: ai.siti@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan kota memerlukan pemetaan tiga dimensi yang cepat, murah, dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan data point cloud dari foto udara berbasis Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Terrestrial Mobile Mapping System (TMMS) berbasis kamera aksi untuk membuat model tiga dimensi perkotaan secara utuh. Studi dilakukan di satu blok perumahan di Kelurahan Sukamiskin, Kota Bandung, dengan data meliputi point cloud dari foto udara, TMMS, titik uji posisi, dan titik uji dimensi. Integrasi data point cloud menggunakan metode target to target pada perangkat lunak Cloud Compare. Hasil integrasi berupa validasi posisi menghasilkan RMSE sebesar 0,127 meter, sedangkan validasi dimensi menghasilkan RMSE 0,050 meter. Bila dianalisis lebih lanjut, akurasi ini dapat memenuhi standar Level of Detail (LoD) kelas 4 berdasarkan CityGML. Meskipun demikian, beberapa area masih belum termodelkan dengan optimal. Oleh karena itu, diperlukan integrasi dengan teknologi pemetaan lain sehingga menghasilkan model tiga dimensi perkotaan secara utuh.

Kata kunci: *Point Cloud, Foto Udara, Terrestrial Mobile Mapping System, Integrasi Data Point Cloud*

1. PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan perkotaan menimbulkan tantangan besar dalam melakukan pemantauan, perencanaan tata ruang, dan manajemen perkotaan secara cepat dan akurat (Che Ku Abdullah dkk., 2017). Untuk itu, diperlukan data spasial tiga dimensi yang mampu merepresentasikan kondisi perkotaan secara detail, akurat, dan lengkap (Gruen dkk., 2013). Beberapa teknologi pemetaan telah dikembangkan untuk menyediakan data spasial tiga dimensi secara cepat dan akurat antara lain Unmanned Aerial Vehicles (UAV), (Light Detection and Ranging) LiDAR, citra satelit penginderaan jauh, dan Terrestrial Mobile Mapping System (TMMS) (Gruen dkk., 2013; Li dkk., 2020; Zhou dkk., 2024; Gonçalves & Pinhal, 2018). Foto udara dari UAV, LiDAR, dan citra satelit penginderaan jauh dapat mengakuisisi data pada area luas, tetapi tidak mampu menangkap detail objek secara vertikal (Wu dkk., 2018; Z. Li dkk., 2020; Zhou dkk., 2024). Sedangkan, TMMS mampu menangkap detail fasad bangunan, tetapi tidak dapat menjangkau tampak atas dari objek lainnya (Gonçalves & Pinhal, 2018).

Keterbatasan tersebut dapat diatasi melalui integrasi data *point cloud* dari berbagai teknologi pemetaan. Wu dkk. (2018) mengintegrasikan aerial oblique imagery dan terrestrial imagery. Penelitian tersebut membuktikan bahwa integrasi data aerial dan terrestrial menggunakan UAV dan TMMS mampu memodelkan bangunan dari tampak atas dan samping. Namun, teknologi yang digunakan memerlukan biaya yang sangat mahal.

Teknologi pemetaan perkotaan tiga dimensi yang cepat, dan relatif murah dapat menggunakan UAV berupa foto udara dan TMMS menggunakan kamera aksi yang mampu mengekstraksi data *point cloud* dengan prinsip fotogrametri (Gonçalves & Pinhal, 2018). Metode yang dapat digunakan dalam proses pengintegrasian data *point cloud* yaitu *target to target* (Hidayat, 2022). Metode ini digunakan untuk memperoleh data *point cloud* pada area perkotaan secara menyeluruh.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penerapan integrasi foto udara dari wahana UAV dan TMMS menggunakan kamera aksi di Kota Bandung, lokasi ini dipilih karena hingga saat ini belum pernah dilakukan pemetaan tiga dimensi secara menyeluruh di wilayah tersebut. Dengan tingkat perkembangan perkotaan yang pesat, Kota Bandung menjadi studi kasus yang ideal untuk menguji efektivitas integrasi foto udara dan TMMS dalam menghasilkan data spasial tiga dimensi yang akurat. Hasil yang diperoleh berupa pemodelan bangunan beserta fasadnya dari data *point cloud* foto udara dan TMMS. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi ideal untuk pemetaan tiga dimensi yang seamless (tanpa hambatan), cepat, murah, dan cukup akurat di daerah perkotaan.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di satu blok area perumahan daerah Sukamiskin, Kecamatan Arcamanik, Kota Bandung. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dengan luasan area penelitian sebesar $\pm 10.383 \text{ m}^2$. Lokasi penelitian ini dipilih berdasarkan karakteristik kawasan yang beragam., yaitu bentuk dan ketinggian bangunan yang menjadikan wilayah ini representatif lingkungan perkotaan yang nyata.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Pengumpulan Data *Point Cloud*
Pengumpulan data *point cloud* dari foto udara dan TMMS. Data yang telah dikumpulkan akan diidentifikasi untuk mengetahui sistem koordinat yang digunakan, *noise* atau objek di luar fokus pemodelan, jumlah titik 3 dimensi, serta rata-rata densitas titik 3 dimensi.
- b. Integrasi Data *Point Cloud*
Integrasi data diawali dengan *filtering* data untuk menghilangkan *noise*. Data yang telah terbebas dari *noise* kemudian diintegrasikan menggunakan metode *target to target* yang tersedia pada perangkat lunak Cloud Compare.

c. Uji Akurasi Posisi dan Dimensi

Uji akurasi posisi dilakukan dengan melakukan pengukuran titik uji menggunakan metode *Real Time Kinematik* (RTK) sedangkan uji dimensi menggunakan alat distometer. Hasil pengukuran titik uji digunakan untuk menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) antara model dengan data pengukuran.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Hasil dan Analisis Integrasi Data *Point Cloud*

Hasil *point cloud* dari foto udara dan TMMS dilakukan filtering data terlebih dahulu secara manual untuk menghilangkan *point cloud* di luar objek utama, termasuk objek dinamis seperti pohon, dan kendaraan. Tahap ini dilakukan untuk menjaga kualitas data sebelum integrasi. Data *point cloud* mengalami penurunan dari jumlah titik awal. Setelah proses *filtering*, jumlah titik berkurang dari 62.422.859 menjadi 49.649.702 pada foto udara, dan dari 39.855.378 menjadi 21.582.103 pada TMMS. Perbedaan jumlah titik sebelum dan setelah filtering bergantung pada banyaknya noise yang terekam pada saat akuisisi data.

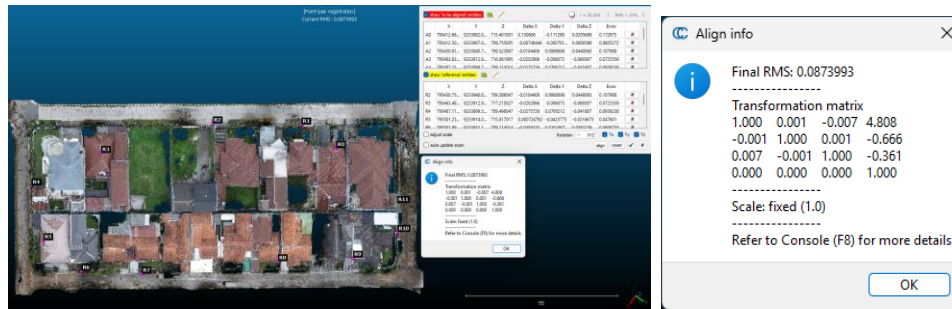


Gambar 2 *Point Cloud* Foto Udara Sebelum (a) dan Sesudah (b) Proses *Filtering*



Gambar 3 *Point Cloud* TMMS Sebelum (a) dan Sesudah (b) Proses *Filtering*

Setelah proses *filtering* data, integrasi *point cloud* foto udara dan TMMS dilakukan dengan metode *target to target* menggunakan fitur *align (point pairs picking)* pada perangkat Cloud Compare. Titik integrasi berupa *natural target* yaitu atap rumah, jalan, dan objek permanen di halaman depan bangunan yang sejalan dengan penelitian Che Ku Abdullah dkk. (2017) yang memanfaatkan objek identik dan permanen sebagai acuan pemilihan titik saat proses integrasi. Nilai RMSE *point cloud* TMMS lebih kecil dibandingkan *point cloud* foto udara menjadikan data *point cloud* TMMS sebagai *reference* dan data *point cloud* foto udara sebagai *moving cloud* yang disesuaikan posisinya mengikuti data referensi. Integrasi menggunakan 12 titik acuan serta menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,087 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4.

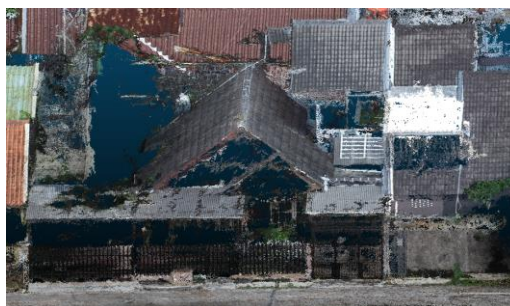


Gambar 4. Integrasi *Point Cloud* Metode *Target to Target* (kiri) dan RMSE Proses Integrasi *Point Cloud* (kanan)

Integrasi data *point cloud* dari berbagai *platform*, seperti UAV dan TMMS dapat dioptimalkan dengan memastikan area *overlap* yang memadai sehingga perbedaan densitas titik dan sudut pandang tidak menjadi hambatan signifikan (Liu dkk., 2020). Keunggulan masing-masing *platform* dapat saling melengkapi, seperti UAV yang mampu memodelkan atap bangunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5a dan TMMS yang mampu memberikan detail pada tampak depan bangunan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5b, sehingga dapat menghasilkan model 3D yang lebih lengkap, dan representatif terhadap kondisi sebenarnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Tampilan *Point Cloud* Foto Udara (a) dan TTMMS (b) Sebelum Integrasi



Gambar 6. Tampilan *Point Cloud* Setelah Integrasi

3.2 Hasil dan Analisis Uji Akurasi

Point cloud hasil integrasi kemudian dievaluasi kualitas posisi dan dimensi melalui proses validasi. Sebanyak 13 titik digunakan sebagai titik uji akurasi posisi dan 10 titik akurasi dimensi dengan persebaran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Persebaran Titik Uji Validasi Posisi (a) dan Validasi Dimensi (b)

Titik uji untuk validasi posisi dan validasi dimensi pada model dibandingkan dengan data hasil pengukuran di lapangan untuk memperoleh *root mean square error* (RMSE) horizontal dan vertikal. Perhitungan RMSE mengacu pada SNI 8202:2019 tentang Ketelitian Peta Dasar. Hasil perhitungan RMSE validasi posisi setelah proses integrasi ditunjukkan pada Gambar 9, serta RMSE validasi dimensi setelah proses integrasi dapat dilihat pada Gambar 10.

Uji Ketelitian Horizontal dan Vertikal Setelah Integrasi Data Point Cloud								
No Titik	Koordinat Pada Citra (m)			Koordinat Hasil Pengukuran ICP (m)			Horizontal	Vertikal
	X	Y	Z	X	Y	Z	$(DX)^2 + (DY)^2$	DZ^2
ICP 2	795410,270	9233971,373	711,533	795410,261	9233971,356	711,423	0,000	0,012
ICP 3	795431,262	9233941,645	711,171	795431,293	9233941,724	711,156	0,007	0,000
ICP 4	795464,110	9233895,798	709,793	795464,111	9233895,809	709,775	0,000	0,000
ICP 5	795486,964	9233898,478	709,375	795486,984	9233898,507	709,353	0,001	0,000
ICP 6	795502,756	9233930,903	709,128	795502,806	9233930,871	709,158	0,004	0,001
ICP 7	795473,129	9233974,603	709,536	795473,133	9233974,593	709,498	0,000	0,001
ICP 8	795453,420	9233999,684	711,404	795453,535	9233999,652	711,262	0,014	0,020
ICP 9	795439,294	9234020,638	709,868	795439,318	9234020,614	709,820	0,001	0,002
ICP 26	795412,814	9234010,156	710,278	795412,776	9234010,092	710,190	0,006	0,008
ICP 37	795431,333	9233946,481	709,467	795431,354	9233946,439	709,360	0,002	0,011
ICP 38	795430,853	9233962,300	717,541	795431,093	9233962,250	717,392	0,060	0,022
ICP 39	795427,084	9233964,289	717,521	795427,097	9233964,246	717,396	0,002	0,016
ICP 40	795431,665	9233972,261	717,028	795431,644	9233972,211	716,907	0,003	0,015
Jumlah Titik = 13							RMSE	0,088
							RMSE TOTAL	0,127

Gambar 9. Uji Akurasi Posisi Setelah Integrasi Data *Point Cloud* dari Foto Udara dan TMMS

UJI VALIDASI DIMENSI				
No Titik	Jarak Model 3D (m)	Jarak di Lapangan (m)	Selisih Jarak (m)	Selisih Jarak ² (m)
D1	0,351	0,337	0,014	0,000
D2	2,612	2,615	-0,003	0,000
D3	0,778	0,753	0,025	0,001
D4	0,998	1,147	-0,149	0,022
D5	1,161	1,199	-0,038	0,001
D6	1,849	1,829	0,020	0,000
D7	0,158	0,163	-0,005	0,000
D8	0,764	0,760	0,004	0,000
D9	1,233	1,257	-0,024	0,001
D10	1,208	1,209	-0,001	0,000
Jumlah Titik	10			
			Jumlah	0,025
			Mean	0,003
			RMSE	0,050

Gambar 10. Uji Akurasi Dimensi

Berdasarkan perhitungan uji akurasi model 3 dimensi diperoleh nilai RMSE setelah integrasi sebesar 0,127 meter. Nilai RMSE validasi dimensi yang diperoleh yaitu 0,050 meter. Kesalahan posisi yang terbesar teridentifikasi pada ICP 38 yang terletak di atas bangunan. Bila dianalisis lebih lanjut, akurasi yang diperoleh dapat memenuhi LoD 4 dengan mengacu pada CityGML karena nilai akurasi posisinya kurang dari 0,2 meter (OGC, 2012). Akan tetapi, masih terdapat beberapa area yang belum termodelkan dengan baik terutama bagian dalam bangunan, serta area yang terhalang oleh pepohonan dan objek dinamis lainnya. Keterbatasan ini menyebabkan model yang terbentuk belum menyeluruh karena akuisisi data TMMS hanya dilakukan satu kali dengan satu arah pemotretan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian mengenai integrasi data *point cloud* dari foto udara dan *Terrestrial Mobile Mapping System* adalah sebagai berikut:

1. Data *point cloud* dari foto udara dan *Terrestrial Mobile Mapping System* dapat diintegrasikan menggunakan metode *target to target*.
2. Ketelitian posisi yang diperoleh dari hasil integrasi data *point cloud* foto udara dan *terrestrial mobile mapping system* berdasarkan uji akurasi posisi 3 dimensi adalah RMSE yang diperoleh sebesar 0,127 meter. Selain itu, ketelitian dimensi yang diperoleh sebesar 0,050 meter. Bila dianalisis lebih lanjut, nilai akurasi tersebut dapat memenuhi *Level of Detail* (LoD) pada tingkat 4.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT EFORT Digital Multisolution yang telah menyediakan data bagi penelitian penulis.

DAFTAR RUJUKAN

- Che Ku Abdullah, C. K. A. F., Baharuddin, N. Z. S., Ariff, M. F. M., Majid, Z., Lau, C. L., Yusoff, A. R., Idris, K. M., & Aspuri, A. (2017). Integration of point clouds dataset from different sensors. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W3), 9–15. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-9-2017>
- Gonçalves, J. A., & Pinhal, A. (2018). *Terrestrial Mobile Mapping System* based on action cameras. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(1), 167–171. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-167-2018>
- Gruen, A., Huang, X., Qin, R., Du, T., Fang, W., Boavida, J., & Oliveira, A. (2013). Joint Processing of Uav Imagery and Terrestrial *Terrestrial Mobile Mapping System* Data for Very High Resolution City Modeling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W2(September), 175–182. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-1-w2-175-2013>
- Hidayat, R. (2022). *Tugas Akhir Analisis Ketelitian Model 3 Dimensi Hasil Kombinasi Terrestrial Laser Scanner dan Unmanned Aerial Vehicle*. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.
- Li, Z., Wu, B., & Li, Y. (2020). Integration Of Aerial, Tmms, And Backpack Images For Seamless 3d Mapping In Urban Areas. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2), 443–449. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-443-2020>
- Liu, H., Zhang, X., Xu, Y., & Chen, X. (2020). Efficient coarse registration of pairwise TLS point clouds using ortho projected feature images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi9040255>
- OGC. (2012). *Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) En- coding Standard*.
- Wu, B., Xie, L., Hu, H., Zhu, Q., & Yau, E. (2018). Integration of aerial oblique imagery and terrestrial imagery for optimized 3D modeling in urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.03.004>
- Zhou, X., Wang, Y., Lin, D., Cao, Z., Li, B., & Liu, J. (2024). SatelliteRF: Accelerating 3D Reconstruction in Multi-View Satellite Images with Efficient Neural Radiance Fields.

Applied Sciences (Switzerland), 14(7). <https://doi.org/10.3390/app14072729>