

Pemodelan 3D Eksterior Masjid Al-Syuro Menggunakan Teknologi TLS dan Fotogrametri Drone

Muhammad Haikal Rasyid, Gusti Ayu Jessy Kartini*

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Koresponden email: ayujessy@itenas.ac.id

Diterima: 30 Juni 2025

Disetujui: 06 Juli 2025

Abstract

Al-Syuro Mosque in Garut, designated as a National Cultural Heritage Site, features distinctive Art Deco architecture and requires detailed spatial documentation for preservation amid urban development threats. This study aims to produce a 3D exterior model of the mosque by integrating Terrestrial Laser Scanner (TLS) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry technologies. TLS data were acquired using a Leica RTC360, generating 18 scans registered with the cloud-to-cloud method (RMSE 0.003 m). UAV data were captured using a DJI Phantom 4 Pro V2 at a 40-meter altitude, resulting in 115 images and 3 Ground Control Points (GCPs). The images were processed with Agisoft Metashape for photo alignment and georeferencing. The two point clouds (totaling 655 million points) were integrated in Cyclone 3DR using N-point registration, followed by filtering to yield 274 million points. The 3D model was then generated using Scan-to-Mesh meshing and texturing techniques. Validation using 16 sample objects showed no significant difference between the 3D model and actual field measurements (t-test, 95% confidence interval). Despite limitations in certain areas due to obstructions and drone specs, the combined TLS-UAV approach proves effective for comprehensive 3D documentation to support conservation, restoration, and heritage management efforts.

Keywords: *al-syuro mosque, 3d model, terrestrial laser scanner, uav photogrammetry, cultural heritage preservation*

Abstrak

Masjid Al-Syuro di Garut, yang telah ditetapkan sebagai Situs Cagar Budaya Nasional, memiliki arsitektur Art Deco yang khas dan memerlukan dokumentasi spasial sebagai upaya pelestarian di tengah ancaman pembangunan kota. Penelitian ini bertujuan menghasilkan model 3D eksterior masjid dengan mengintegrasikan teknologi Terrestrial Laser Scanner (TLS) dan fotogrametri Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Data TLS dikumpulkan menggunakan Leica RTC360, menghasilkan 18 pemindaian yang diregistrasi menggunakan metode cloud-to-cloud (RMSE 0,003 m). Sementara itu, data UAV diperoleh dengan DJI Phantom 4 Pro V2 pada ketinggian 40 meter, menghasilkan 115 citra dengan 3 Ground Control Point (GCP). Pengolahan dilakukan menggunakan Agisoft Metashape untuk align photos dan georeferensi. Integrasi kedua point cloud (total 655 juta titik) dilakukan di Cyclone 3DR dengan metode N-point registration dan filtering, menghasilkan 274 juta titik. Model 3D dibentuk melalui proses meshing dan texturing menggunakan pendekatan Scan-to-Mesh. Validasi terhadap 16 sampel objek menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara model dan kondisi lapangan (uji t, 95% CI). Meski ada keterbatasan detail akibat hambatan visual, kombinasi TLS dan UAV terbukti efektif dalam menghasilkan dokumentasi 3D yang akurat untuk konservasi dan pengelolaan warisan budaya.

Kata Kunci: *masjid al-syuro, model 3d, terrestrial laser scanner, fotogrametri uav, pelestarian cagar budaya*

1. Pendahuluan

Masjid Al-Syuro merupakan sebuah masjid yang menjadi saksi bisu perjuangan di Indonesia. Masjid yang bergaya *Art Deco* ini berlokasi di Kampung Cipari, Desa Sukarasa, Kecamatan Pangatikan, Kabupaten Garut, Jawa Barat yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Masjid yang menjadi salah satu masjid tertua di Indonesia ini memiliki gaya arsitektur yang terkenal dengan keindahan geometris dan pola ornamen yang rumit [1]. Nilai sejarah yang kuat dan desain bangunan yang unik, menjadikan Masjid Al-Syuro sebagai salah kekayaan budaya yang harus dikelola secara tepat sehingga ditetapkan sebagai Situs Cagar Budaya Nasional pada tahun 2023 [2]. Pembangunan dan perluasan kawasan perkotaan seringkali mengakibatkan pengambilalihan serta merusak atau menghilangkan monumen dan wilayahnya, maka diperlukan adanya representasi objek 3D dalam upaya pemeliharaan dan pelestarian bangunan-bangunan bersejarah [3].



Gambar 1. Letak Masjid Al-Syuro berada diantara pemukiman warga dan dikelilingi oleh pesantren dengan titik koordinat $7^{\circ} 9' 10.296''$ LS dan $107^{\circ} 59' 40.812''$ BT
Sumber : Google Earth (2025)

Untuk melindungi Masjid Al-Syuro, maka data 3D dapat digunakan untuk kebutuhan inspeksi kondisi warisan budaya yang dibangun untuk menangani status pelestarian dan memahami masalah yang terjadi pada bangunan bersejarah [4]. Dengan adanya bentuk 3D dapat menjadi kebutuhan dalam hal visualisasi dan menjadi referensi dimasa depan jika ingin melakukan rekonstruksi dan pemeliharaan [5].

Penggunaan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) secara bersamaan menjadi pilihan, karena kombinasi ini menawarkan tingkat akurasi, cakupan data, dan detail visual yang dibutuhkan untuk melindungi bangunan cagar budaya [6]. Berdasarkan studi terpisah yang dilakukan sebelumnya [6], penggunaan teknologi TLS secara spesifik memberikan akurasi spasial yang lebih tinggi, utamanya disebabkan oleh proses pengukuran titik secara langsung. Akurasi ini menjadikan TLS sangat ideal untuk mengidentifikasi dan merekam elemen arsitektur yang memiliki kerumitan tinggi. Namun, terdapat batasan pada TLS, yaitu ketidakmampuannya untuk mencakup area bagian atas suatu bangunan secara efektif. Di sisi lain, UAV menunjukkan keunggulan signifikan dalam menyediakan data untuk cakupan bagian atas bangunan. Oleh karena itu, penggabungan teknologi UAV dan TLS memberikan keuntungan dalam upaya menciptakan model objek 3D yang komprehensif [6].

Penelitian ini akan mencoba untuk melakukan pemodelan 3D Masjid Al-Syuro menggunakan teknologi berupa TLS dan *Ortophoto* yang dihasilkan dari UAV. Integrasi kedua teknologi ini terbukti menjadi strategi paling efektif dalam dokumentasi dan penelitian situs cagar budaya, mengingat kemampuannya untuk saling melengkapi kelemahan masing-masing, sehingga menghasilkan data yang akurat dan komprehensif [6]. Dengan harapan penelitian ini akan menjadi dasar dalam pemeliharaan, pemugaran, dan pengembangan Masjid Al-Syuro secara terstruktur dan terencana.

2. Data and Metode

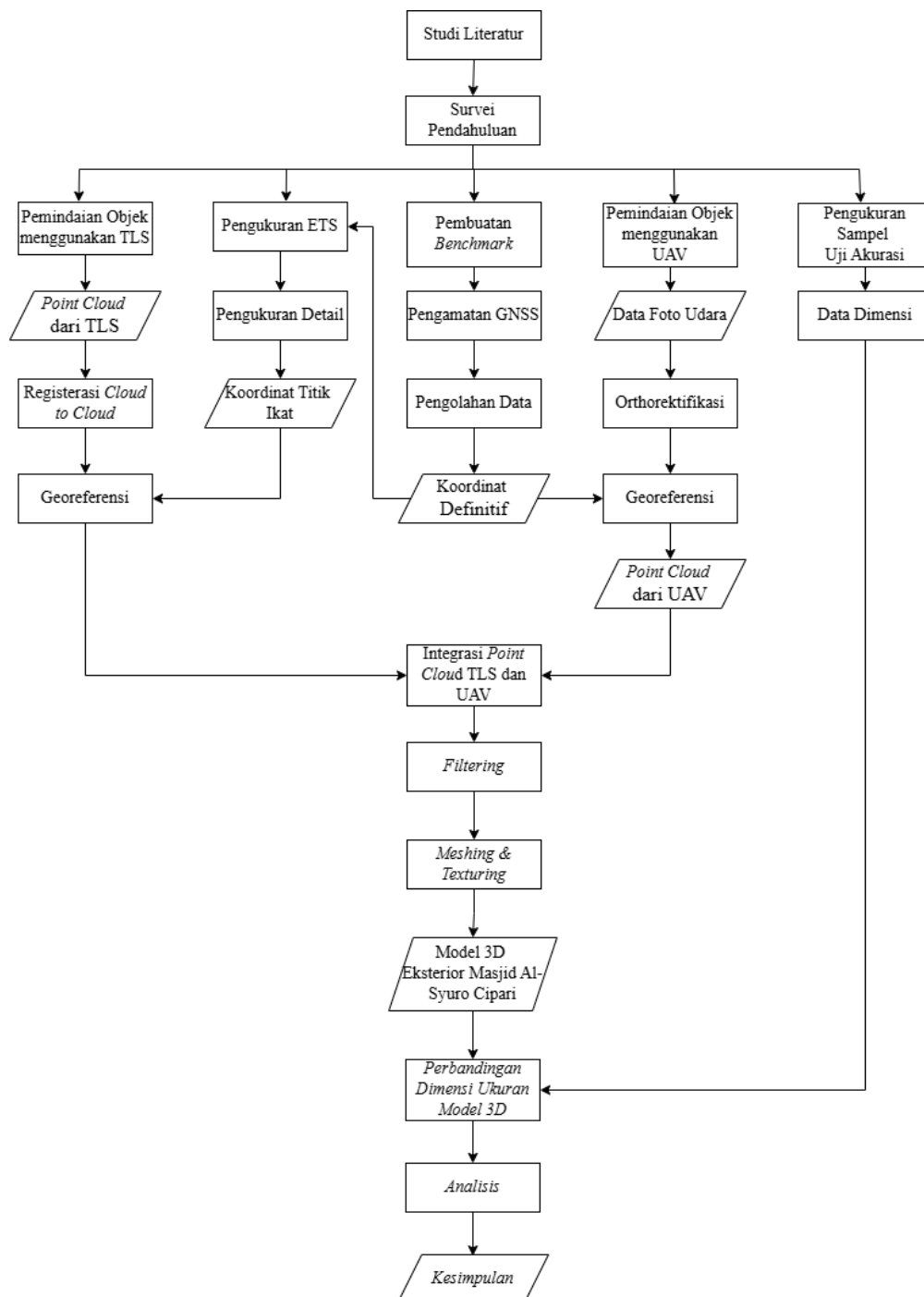
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan, dimulai dari studi literatur dan survei pendahuluan, pelaksanaan penelitian, pengolahan data, dan pemodelan 3D. Fase awal dimulai dari studi literatur dan survei lapangan untuk menyusun strategi akuisisi data. Pada fase pelaksanaan, proses diawali dengan pembuatan titik *benchmark* referensi koordinat. Setelah itu, dilanjutkan dengan pengukuran detail situasi untuk menentukan titik ikat yang nantinya akan digunakan pada proses georeferensi. Setelah itu, tahap inti pelaksanaan yang melibatkan pemindaian eksterior Masjid Al-syuro menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

Tahapan pengolahan data dimulai dengan mengintegrasikan *point cloud* yang berasal dari dua sumber utama. Pertama, data *point cloud* dari pengolahan *ortophoto* UAV, yang telah digeoreferensi, digunakan untuk menangkap detail atas masjid. Kedua, data *point cloud* dari hasil pengolahan TLS, yang telah diregistrasi dan digeoreferensi, digunakan untuk memodelkan eksterior bangunan masjid secara detail. Setelah kedua *point cloud* ini disatukan, dilakukan proses *filtering*. Tahap ini memfokuskan data pada bagian eksterior bangunan masjid yang dibutuhkan saja, serta menghilangkan *noise* atau objek yang tidak

relevan dengan penelitian. Kemudian, data yang telah bersih ini dilanjutkan ke proses *meshing*, di mana *point cloud* diubah menjadi jaring-jaring poligon atau model 3D. Bersamaan dengan itu, dilakukan proses *texturing*, yaitu pemberian detail warna dan tekstur permukaan agar model 3D Masjid Al-Syuro untuk menciptakan model 3D yang realistis dan imersif.

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyajian model 3D Masjid Al-Syuro yang merupakan hasil integrasi dari data TLS dan UAV. Pada tahap ini, dilakukan analisis komparatif terhadap model yang dihasilkan. Analisis ini mencakup beberapa aspek penting seperti tingkat ketelitian model 3D, kualitas geometri yang direpresentasikan, serta peranan dan potensi model 3D ini dalam mendukung pengembangan, pemeliharaan, dan pemanfaatan Masjid Al-Syuro sebagai bangunan cagar budaya. Dengan demikian, model 3D ini tidak hanya menjadi representasi visual, tetapi juga alat penting untuk keperluan dokumentasi, restorasi, perencanaan konservasi dan memungkinkan untuk kepentingan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi fisik dan historis bangunan. Keseluruhan alur kerja penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.

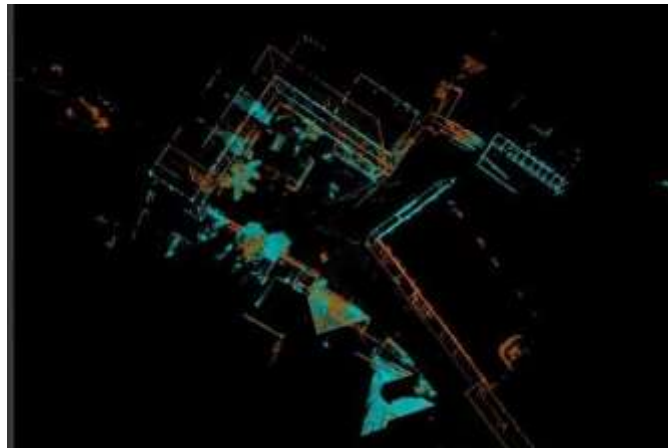


Gambar 2. Proses integrasi TLS dan UAV

2.2 Akuisisi data menggunakan TLS

Proses akuisisi data untuk pemodelan eksterior Masjid Al-Syuro dilakukan dengan menggunakan Leica RTC360. Dalam penelitian ini, total 18 pemindaian dilakukan di berbagai posisi di sekitar eksterior masjid. Hasil pemindaian ini menghasilkan *point cloud* dalam format data .rtc360, yang merupakan format dari Leica RTC360.

Tahapan selanjutnya adalah registrasi data *point cloud* menggunakan Leica Cyclone REGISTER 360. Proses registrasi data bertujuan untuk menyatukan 18 pemindaian yang terpisah menjadi satu kesatuan *point cloud* yang akurat. Metode yang digunakan pada proses registrasi ini adalah *Cloud-to-Cloud*. Proses ini dilakukan dengan mengidentifikasi dan memilih titik-titik pada *point cloud* yang saling berdekatan. Proses registrasi dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Proses registrasi *Cloud-to-Cloud*

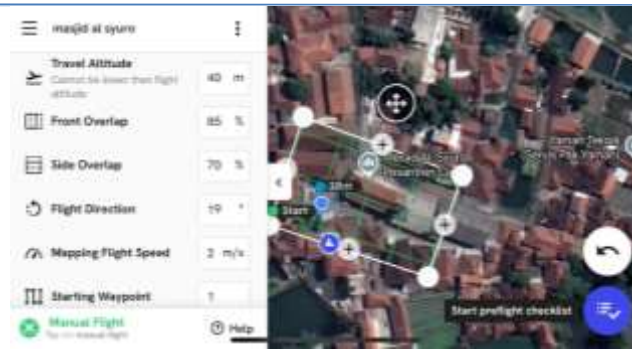
Hasil dari proses registrasi ini menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,003 meter, yang mengindikasikan akurasi penyesuaian yang tinggi. Selain itu, diperoleh nilai *overlap* sebesar 68%, yang menunjukkan cakupan tumpang tindih yang memadai antar pemindaian, serta nilai *strength* sebesar 80%, yang mengindikasikan stabilitas menyeluruh dari proses registrasi. Hasil dari proses registrasi dapat dilihat pada **Gambar 4**. Selanjutnya, *point cloud* yang telah diregistrasi melalui tahap georeferensi untuk menempatkannya pada sistem koordinat yang benar. Penentuan sistem koordinat ini dilakukan sesuai dengan lokasi penelitian di Garut, Jawa Barat, yaitu menggunakan sistem koordinat WGS84 UTM Zona 48S. Proses georeferensi ini menggunakan *software* Leica Cyclone 3DR.



Gambar 4. Hasil registrasi *Cloud-to-Cloud*

2.3 Akuisisi data menggunakan UAV

Proses akuisisi data untuk bagian atap dan menara masjid dilakukan menggunakan *drone* DJI Phantom 4 Pro V2 dengan rencana tinggi terbang 40 meter, *front overlap* 85%, *side overlap* 70%, kecepatan terbang 2m/s dan mengaktifkan mode *Perimeter 3D* dan *Crosshatch 3D* untuk mendapatkan hasil yang detail yang dapat dilihat pada **Gambar 5**. Proses tersebut menghasilkan 115 gambar dalam format .JPEG. dan pengukuran koordinat *Ground Control Point* (GCP) yang menghasilkan 3 titik koordinat dalam sistem WGS 84/UTM Zone 48S



Gambar 5. Rencana terbang Drone

Selanjutnya, dilakukan pengolahan data fotogrametri yang dilakukan pada Agisoft Metashape. Proses awal pengolahan data UAV adalah dengan prosedur *Align Photos*, untuk mengidentifikasi titik-titik pada citra. Pada metode ini, titik-titik dari dua foto atau lebih akan dicocokkan untuk menghasilkan model 3D awal yang berguna dalam bentuk *sparse point cloud* untuk kemudian dilanjutkan dengan tahap selanjutnya yaitu penyelarasan foto. Setelah melakukan penyelarasan foto, dilakukan tahap georeferensi untuk mendapatkan koordinat 3D X, Y, dan Z untuk kebutuhan foto yang telah disejajarkan. Pada tahap ini juga dilakukan penandaan foto yang berguna untuk mengidentifikasi titik-titik GCP pada foto. Penanda pada lokasi ditentukan dengan titik yang diukur di lapangan menggunakan objek yang mudah diidentifikasi.

2.4 Integrasi data TLS dan UAV

Setelah melakukan tahapan pengolahan data UAV dan TLS, langkah berikutnya adalah mengintegrasikan data UAV dan TLS menjadi kesatuan *point cloud*. Proses integrasi ini dilakukan menggunakan Cyclone 3DR. Metode registrasi yang dilakukan untuk menyatukan *point cloud* UAV dan TLS adalah *N-point registration*. Metode ini melibatkan identifikasi dan pemilihan empat titik objek yang sama. Empat titik ini akan berfungsi sebagai titik kontrol untuk penyelarasan dan penggabungan kedua dataset.

Setelah melakukan proses integrasi, *point cloud* yang didapatkan dari penggabungan memiliki total 655.889.100 yang akan melalui tahapan *filtering*. Tujuan dari *filtering* ini untuk menghilangkan *noise* dari objek bangunan masjid agar dapat difokuskan pada area yang diinginkan dan objek yang tidak relevan, yang khususnya berasal dari objek di luar fokus utama, seperti bagian lain dari bangunan Masjid Al-Syuro yang tidak diinginkan serta objek bergerak yang mungkin tertangkap selama proses akuisisi data seperti kendaraan dan manusia seperti yang terlihat pada Gambar 6. Dengan melakukan *filtering*, *point cloud* akan lebih terfokus pada area yang spesifik dan siap untuk tahap pemodelan dan analisis lebih lanjut. Proses ini menghasilkan total 274.738.310 *point cloud* dan menghapus 381.150.790 *point cloud* yang tidak diinginkan.



(a)

(b)

(c)

Gambar 6. Hasil integrasi *point cloud* tampak atas, tampak samping, dan tampak depan

Setelah melalui proses registrasi dan *filtering point cloud*, langkah selanjutnya adalah pemodelan 3D melalui proses *meshing*. Tahap *meshing* bertujuan untuk mengikatkan atau menghubungkan titik *point cloud* menjadi model 3D. Dengan demikian, *point cloud* yang awalnya merupakan titik-titik akan bertransformasi menjadi model 3D.

Bertepatan dengan dilakukannya proses *meshing*, dilakukan juga pemberian *texturing* pada hasil model 3D. Proses *texturing* ini berguna untuk memberikan warna dan detail visual yang akurat pada model, sehingga tampilan model benar-benar menyerupai kondisi objek aslinya. Untuk mendapatkan model yang menyerupai objek aslinya ini, digunakan metode *Scan-to-Mesh*. Di mana metode ini secara otomatis menghasilkan *mesh* dan menerapkan tekstur langsung dari data warna yang diperoleh oleh UAV dan TLS saat proses akuisisi data.

Penulis menggunakan teknologi TLS untuk mendapatkan data bangunan eksterior Masjid Al-Syuro. Sedangkan untuk mendapatkan data model 3D secara utuh pada bagian atap dan menara Masjid Al-Syuro dibutuhkan metode lain yang dapat memfasilitasi bagian tersebut yaitu menggunakan teknologi UAV. Teknologi UAV diperkirakan mampu untuk memenuhi pemodelan bagian atap dan menara [7]. Foto-foto yang dihasilkan dari UAV diolah menggunakan fotogrametri yang kemudian menjadi *point cloud* [8].

Setelah kedua data dari TLS dan UAV diperoleh, kemudian kedua data tersebut dikombinasikan. TLS dan UAV dapat saling melengkapi untuk menentukan bentuk bangunan secara lengkap [2]. Penggabungan kedua teknologi TLS dan UAV dilakukan dikarenakan TLS tidak bisa untuk memperoleh data atap dan menara [2]. Pengkombinasian tersebut juga dilakukan untuk mengetahui ketelitian dimensi dan tingkat *Level of Detail* (LoD) dalam pemodelan 3D Masjid Al-Syuro.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Integrasi data TLS dan UAV

Setelah melalui serangkaian proses mulai dari integrasi data TLS dan UAV, dilanjutkan dengan proses *filtering*, *meshing*, hingga *texturing*, didapatkan model 3D eksterior Masjid Al-Syuro. Meskipun berasal dari 2 metode yang berbeda yang terlihat dari warna yang dihasilkan, namun model eksterior masjid terbentuk dengan baik seperti yang terlihat pada **Gambar 7**.



(a) (b) (c)
Gambar 7 Hasil model 3D integrasi UAV dan TLS tampak atas, tampak samping, dan tampak depan

Selanjutnya, untuk mengevaluasi kualitas geometris dari model 3D yang dihasilkan, dilakukan serangkaian pengukuran pada beberapa objek di area masjid Al-Syuro. Pengukuran ini bertujuan untuk membandingkan seberapa signifikan perubahan dimensi antara model 3D *point cloud* yang telah diintegrasikan dengan objek sebenarnya dilapangan.

Untuk analisis perbandingan ini menggunakan metode *t-distribution* yang diterapkan pada keseluruhan area masjid. Sebanyak 16 sampel objek diukur secara manual menggunakan pita ukur untuk mendapatkan data aktual, seperti tertera pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil uji statistik *t-distribution* dengan selang kepercayaan 95%, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara data ukuran sebenarnya di lapangan dengan data yang diperoleh dari model hasil integrasi UAV dan TLS. Ini menunjukkan bahwa model 3D yang telah dibuat memiliki akurasi yang tinggi dan dapat digunakan untuk representasi objek.

Tabel 1. Hasil uji statistik *t-distribution* integrasi TLS dan UAV

Tampak Bangunan	Objek	Ukuran(m)				t	s	Selang Kepercayaan 95% (t)		Keterangan
		Sebenarnya (xi)	Integrasi TLS+UAV (yi)	xi-yi	(xi-yi) ²			Batas Bawah	Batas Atas	
Bagian depan	Panjang tembok bawah tulisan Masjid Al-syuro	0.081	0.082	-0.001	0.000001	0.0815	0.001	0.0751	0.0879	DITERIMA
	Tinggi lengkungan tembok	0.252	0.255	-0.003	0.000009	0.2535	0.002	0.2344	0.2726	DITERIMA
	Lebar lengkungan tembok	0.573	0.578	-0.005	0.000025	0.5755	0.004	0.5437	0.6073	DITERIMA
Samping asrama putri	Lebar jendela masjid	0.773	0.777	-0.004	0.000016	0.7750	0.003	0.7496	0.8004	DITERIMA
	Lebar pintu masuk	1.272	1.267	0.005	0.000025	1.2695	0.004	1.2377	1.3013	DITERIMA
	Lebar pilar atas	0.220	0.218	0.002	0.000004	0.2190	0.001	0.2063	0.2317	DITERIMA
	Lebar pilar bawah	0.94	0.94	0	0.000000	0.9400	0.000	0.9400	0.9400	DITERIMA
	Tinggi dari pilar lantai	1.573	1.572	0.001	0.000001	1.5725	0.001	1.5661	1.5789	DITERIMA
Samping asrama putra	Lebar jendela Wc	0.372	0.371	0.001	0.000001	0.3715	0.001	0.3651	0.3779	DITERIMA
	Lebar gerbang masuk wc	0.850	0.850	0	0.000000	0.8500	0.000	0.8500	0.8500	DITERIMA
	Lebar tembok wc	0.632	0.633	-0.001	0.000001	0.6325	0.001	0.6261	0.6389	DITERIMA
	Lebar tangga ke 3	2.172	2.173	-0.001	0.000001	2.1725	0.001	2.1661	2.1789	DITERIMA
	Lebar atap wc	1.100	1.102	-0.002	0.000004	1.1010	0.001	1.0883	1.1137	DITERIMA
Bagian Dalam Berbatasan Aula Tengah	Lebar pilar abu	0.312	0.316	-0.004	0.000016	0.3140	0.003	0.2886	0.3394	DITERIMA
	Lebar pintu menuju aula tengah	1.290	1.287	0.003	0.000009	1.2885	0.002	1.2694	1.3076	DITERIMA
	Lebar pilar putih	0.700	0.702	-0.002	0.000004	0.7010	0.001	0.6883	0.7137	DITERIMA

3.2 Keterbatasan Model 3D dari Integrasi TLS dan UAV

Model 3D yang dihasilkan dari data TLS menunjukkan detail eksterior masjid dengan baik, terutama pada bagian-bagian yang tidak terhalang. Namun, ada beberapa area pada eksterior masjid yang detailnya tidak terekam secara optimal oleh alat TLS. Hal ini umumnya disebabkan oleh keterbatasan jangkauan di mana terdapat penghalang berupa bangunan lain atau struktur sekitar yang menghalangi pandangan langsung sensor TLS ke objek.

Meskipun demikian, peran UAV menjadi pendukung dalam menangkap detail bagian atap dan menara masjid, area-area yang secara sulit dijangkau atau tidak dapat terekam secara optimal oleh TLS karena keterbatasan jarak pandang dan objek penghalang. Namun data yang dihasilkan oleh UAV pada beberapa bagian dengan detail masih menunjukkan beberapa keterbatasan.

Keterbatasan ini disebabkan oleh lokasi Masjid Al-Syuro yang berada pada wilayah dengan kepadatan penduduk, sehingga membatasi kemampuan UAV untuk terbang pada ketinggian yang lebih rendah guna untuk mendapatkan resolusi detail yang lebih baik. Selain itu, *drone* yang digunakan merupakan seri lama, yang secara teknologi sudah tertinggal dibandingkan dengan drone keluaran terbaru yang memiliki kemampuan sensor dan stabilitas terbang yang jauh lebih canggih. Keterbatasan ini selaras dengan temuan penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa pada ketinggian penerbangan 40 meter, menjadi hampir mustahil untuk merekam partikel atau detail objek dalam ukuran yang cukup [9]. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut berkontribusi pada adanya beberapa bagian model yang meskipun tercakup, namun tidak menunjukkan detail sesuai yang diharapkan. Keterbatasan yang dihasilkan oleh TLS dan UAV dapat terlihat pada Gambar 8.



(a) (b) (c)
Gambar 8. Area yang tidak terekam dengan baik oleh TLS dan UAV

Model 3D ini berada pada tingkat LoD 2 karena hasil 3D ini sudah memiliki struktur atap [10], meskipun nilai integrasi RMSE yang dihasilkan 0,003m karena masih terdapat beberapa bangunan yang tidak terekam dengan baik.

4. Kesimpulan

Pemodelan eksterior Masjid Al-Syuro melalui integrasi data TLS dan UAV telah menghasilkan model 3D yang akurat dan sesuai dengan tujuan. Keberhasilan ini ditunjukkan dari hasil model 3D yang menghasilkan detail visual sesuai yang dibutuhkan. Kualitas geometris dari model 3D ini divalidasi dengan pengukuran 16 objek sampel di area masjid yang kemudian di uji menggunakan uji statistik *t-distribution* dengan selang kepercayaan 95% yang menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara objek

sebenarnya dengan yang diperoleh dari model 3D. Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi metode TLS dan UAV ini efektif dan akurat untuk proses dokumentasi, khususnya pada bangunan cagar budaya. Meskipun terdapat beberapa bagian yang tidak terekam sempurna akibat penghalang dan keterbatasan UAV di wilayah padat, model 3D yang dihasilkan mampu mendefinisikan elemen arsitektural kompleks, termasuk atap dan menara yang sulit dijangkau TLS, dengan detail yang memuaskan.

Untuk penelitian di masa mendatang, disarankan untuk meningkatkan kualitas akuisisi data di area yang sulit dijangkau dengan memperbanyak dan memperdekat titik pemindaian di lokasi yang terhalang. Selain itu, penggunaan UAV dengan spesifikasi terkini dan sesuai dengan spesifikasi untuk kebutuhan pemetaan juga perlu untuk dioptimalisasi, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan detail yang lebih rinci. Secara keseluruhan, pendekatan gabungan ini mampu untuk menyajikan dokumentasi 3D yang sangat komprehensif, detail, dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan konservasi, restorasi, dan pengelolaan warisan budaya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Leica Geosystem Indonesia yang telah memfasilitasi alat TLS Leica RTC 360 serta *license* untuk akses seluruh *software* Leica, PT. Jade Karya Trinusa yang telah memfasilitasi *workstation* untuk proses pengolahan data, PT. Datem Indonesia yang telah memfasilitasi GPS Geodetik, pengurus Masjid Al-Syuro Cipari yang telah memberikan izin melakukan penelitian di area masjid, dan Bapak Ilham Pramanda, S.T. yang telah membimbing pada proses akuisisi hingga pengolahan data.

6. Singkatan

<i>3D</i>	3 Dimensi
<i>TLS</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
<i>UAV</i>	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
<i>GCP</i>	<i>Ground Control Point</i>
<i>UTM</i>	<i>Universal Transverse Mercator</i>
<i>WGS</i>	<i>World Geodetic System</i>
<i>LoD</i>	<i>Level of Detail</i>

7. Daftar Pustaka

- [1] Zachos, A., & Anagnostopoulos, C. N. (2025). Using TLS, UAV, and MR Methodologies for 3D Modelling and Historical Recreation of Religious Heritage Monuments. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 17(4), 1-23.
- [2] Ulvi, A. (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- [3] Yurika, S. (2018). Perkembangan arsitektur Masjid Asy-Syuro Cipari Desa Sukarasa, Kecamatan Pangantikan, Kabupaten Garut tahun 1936-2000 (Doctoral dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung).
- [4] Adamopoulos, E., & Rinaudo, F. (2021). Close-range sensing and data fusion for built heritage inspection and monitoring—a review. *Remote Sensing*, 13(19), 3936.
- [5] Debevec, P. E., Taylor, C. J., & Malik, J. (2023). Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry-and image-based approach. In *Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries, Volume 2* (pp. 465-474).
- [6] Llabani, A., & Lubonja, O. (2024). Integrating UAV Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the 3D surveying of the Fortress of Bashtova. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 20, 306-315.
- [7] Ihsanudin, Taufiq. (2017). Evaluasi Hasil Kombinasi Spherical Photogrammetry dan Pemotretan Udara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle Untuk Pemodelan Tiga Dimensi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [8] Febro, J. D. (2020). 3D documentation of cultural heritage sites using drone and photogrammetry: a case study of Philippine UNESCO-recognized Baroque churches. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 11(8), 1-14.

-
- [9] Koutalakis, P., Tzoraki, O., & Zaimis, G. (2019). UAVs for hydrologic scopes: Application of a low-cost UAV to estimate surface water velocity by using three different image-based methods. *Drones*, 3(1), 14.
- [10] Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, environment and urban systems*, 59, 25-37.