

Integrasi Data Untuk Pemodelan 3D Interior dan Eksterior Masjid Al-Syuro Cipari

Jouristiany, Gusti Ayu Jessy Kartini*

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

*Koresponden email: ayujessy@itenas.ac.id

Diterima: 24 Juni 2025

Disetujui: 30 Juni 2025

Abstract

Accurate and comprehensive documentation is required for the long-term conservation of heritage buildings. This study aims to integrate the interior and exterior data of the Al-Syuro Cipari Mosque using 3D modelling and a combination of terrestrial laser scanning (TLS) and handheld laser scanning (HLS). Two integration methods were compared — free-net and independent georeferencing — to determine the most effective approach. Data was acquired using a Leica RTC360 TLS for exterior areas and a Leica BLK2GO HLS for hard-to-reach interior areas, particularly the ablution area and the mosque tower. The results showed that both methods successfully integrated the interior and exterior data without any gaps in the transition zones where the architectural elements were clearly defined. Free-net georeferencing produced models with an RMSE of 0.003 m and 66% overlap, whereas independent georeferencing offered greater processing flexibility, albeit with the need for special attention to be paid to systematic errors. Statistical tests revealed no significant discrepancies between the actual dimensions of the objects and the point cloud models in either method. The resulting integrated 3D model can be used to document, maintain and conserve heritage buildings with adequate geometric accuracy.

Keywords: *data integration, terrestrial laser scanner, handheld laser scanner, 3d modelling, heritage building*

Abstrak

Pelestarian bangunan cagar budaya memerlukan dokumentasi yang akurat dan komprehensif untuk mendukung upaya konservasi jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan data interior dan eksterior Masjid Al-Syuro Cipari menggunakan kombinasi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Handheld Laser Scanner* (HLS) melalui pemodelan 3D. Dua metode integrasi yang dibandingkan yaitu *free-net georeferencing* dan *independent georeferencing* untuk menentukan pendekatan yang paling efektif. Akuisisi data dilakukan menggunakan TLS Leica RTC 360 untuk area eksterior dan HLS Leica BLK2GO untuk area interior yang sulit dijangkau, khususnya tempat wudhu dan menara masjid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode berhasil mengintegrasikan data interior dan eksterior tanpa pergeseran pada zona transisi dengan elemen arsitektural terdefinisi jelas. Metode *free-net georeferencing* menghasilkan model dengan RMSE 0,003 m dan *overlap* 66%, sedangkan *independent georeferencing* memberikan fleksibilitas pemrosesan yang lebih tinggi meskipun memerlukan perhatian khusus terhadap kesalahan sistematis. Uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara dimensi objek aktual dengan model *point cloud* pada kedua metode. Model 3D terintegrasi yang dihasilkan dapat menjadi acuan untuk dokumentasi, pemeliharaan, dan konservasi bangunan cagar budaya dengan tingkat akurasi geometrik yang memadai.

Kata Kunci: *integrasi data, terrestrial laser scanner, handheld laser scanner, pemodelan 3d, bangunan cagar budaya*

1. Pendahuluan

Pelestarian bangunan cagar budaya menjadi hal yang fundamental dalam menjaga warisan sejarah suatu bangsa. Upaya untuk melakukan pelestarian dapat dimulai dengan mendokumentasikan bangunan cagar budaya. Dokumentasi ini bukan hanya sekedar catatan tertulis, tetapi juga mencakup data visual dan spasial yang akurat. Pendokumentasian bangunan cagar budaya dapat dilakukan secara terukur dan terperinci melalui teknologi pemodelan 3D yang mengintegrasikan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Handheld Laser Scanner* (HLS). Menurut [1], penggunaan TLS dalam dokumentasi bangunan cagar budaya mampu menyediakan data lengkap yang dapat menjadi acuan untuk kegiatan konservasi, sehingga kondisi asli bangunan dapat dipertahankan. Sementara itu, penggunaan HLS memungkinkan akuisisi data pada objek yang sulit dijangkau, sehingga dapat digunakan untuk mengisi area yang tidak terjangkau oleh TLS

dengan tetap mempertahankan akurasi yang baik [2]. Kombinasi kedua teknologi ini memudahkan proses analisis bangunan karena dapat menampilkan karakteristik objek secara nyata dan detail [3].

Integrasi data interior dan eksterior merupakan solusi optimal untuk pendokumentasian bangunan cagar budaya, dimana setiap detail bangunan sangat penting untuk didokumentasikan [4]. Hasilnya dinilai dapat meningkatkan akurasi, keandalan, serta kelengkapan data yang diperoleh dari multi-sensor yang digunakan [2]. Proses integrasi data dilakukan dengan membandingkan dua metode yaitu *free-net georeferencing* dan *independent georeferencing* yang merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Murtiyoso (2020). Kedua metode tersebut dinilai memiliki keunggulan masing-masing namun efektivitasnya belum teruji pada bangunan cagar budaya lainnya yang memiliki tipe serupa maupun tipe yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengaplikasikan kedua metode pada objek dengan karakteristik yang serupa. Kemudian dilakukan analisis komparatif terhadap akurasi, geometri, dan efisiensi pemrosesan data yang dihasilkan oleh masing-masing metode. Melalui analisis tersebut nantinya akan diketahui metode yang paling efektif untuk menghasilkan model 3D terintegrasi yang dapat menjadi acuan dalam pemeliharaan, pengembangan, dan konservasi untuk menjaga keaslian bangunan.

2. Metode dan Peralatan

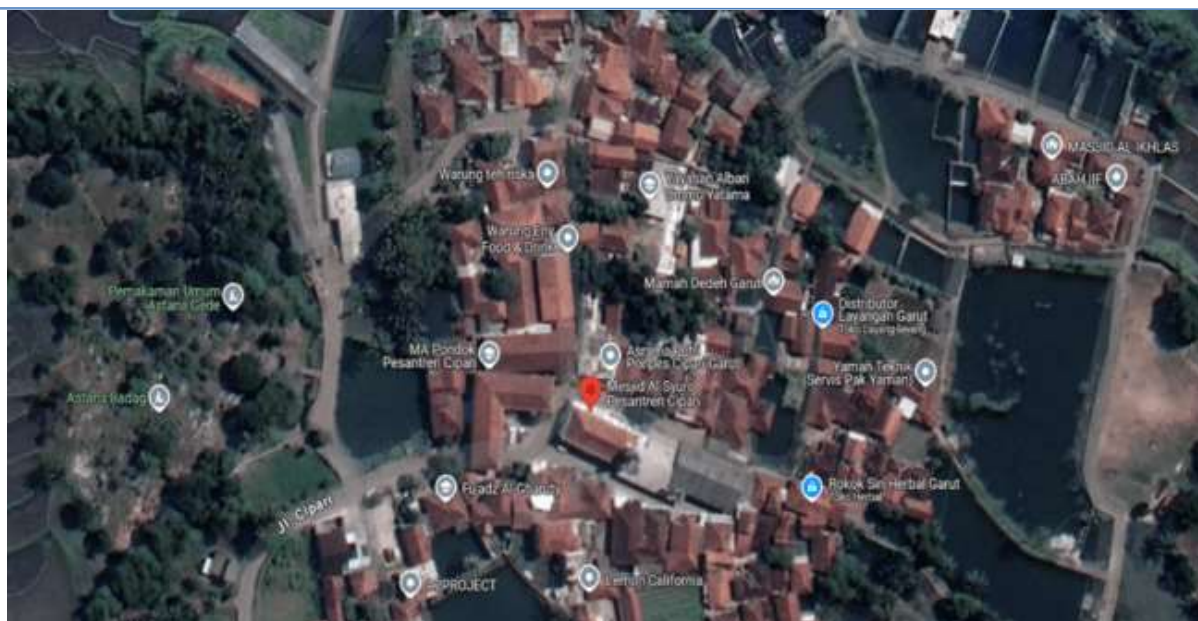
2.1 Data dan Peralatan

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil akuisisi yang dilakukan di Masjid Al-Syuro Cipari. Berikut merupakan data yang diperoleh, *point cloud* pada bagian interior dan eksterior Masjid Al-Syuro Cipari hasil pemindaian menggunakan TLS, *point cloud* pada bagian interior khususnya bagian tempat wudhu dan menara masjid hasil pemindaian menggunakan HLS, serta koordinat titik ikat untuk melakukan pendefinisian koordinat sistem pada data *point cloud* yang dihasilkan. Untuk melakukan validasi ukuran, digunakan pita ukur untuk memperoleh ukuran sebenarnya yang nantinya akan digunakan untuk perbandingan hasil ukuran dengan *point cloud*.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini mencakup peralatan saat proses akuisisi data dan peralatan untuk pengolahan data berupa *software* yang digunakan. Peralatan untuk akuisisi data meliputi *Terrestrial Laser Scanner* Leica RTC 360, *Handheld Laser Scanner* Leica BLK2GO, GPS Geodetik Hi-Target V90 dan V30, Total Station Hi-Target ZTS320R, dan Pita Ukur. Sedangkan untuk *hardware* dan *software* yang digunakan sebagai penunjang pengolahan data yaitu, komputer dengan CPU Intel Core i9 14900K, GPU RTX 4090, dan RAM 128 GB. Laptop Dell Latitude 7490 RAM 16 GB Core i7 yang digunakan untuk pembuatan laporan penelitian. *Software* Cyclone Register 360 2025 untuk pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* dan *Handheld Laser Scanner*. *Software* Cyclone 3DR 2025 untuk *georeferensi*, *filtering* dan validasi perbandingan ukuran. *Software* Trimble Business Center untuk pengolahan data GPS Geodetik. Microsoft Excel untuk menghitung hasil validasi ukuran dengan melakukan uji statistik.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Masjid Al-Syuro Cipari yang terletak di Desa Sukarasa, Kecamatan Pangatikan, Kabupaten Garut. Masjid ini secara strategis berada di tengah pemukiman padat penduduk seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Menara masjid yang menjulang tinggi dengan bangunan bergaya *art deco* menjadi ciri khas yang membedakannya dari masjid-masjid tua lain yang ada di Pulau Jawa [5]. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu Masjid Al-Syuro Cipari telah resmi ditetapkan sebagai bangunan cagar budaya pada tahun 2023 [6]. Selain itu, keunikan arsitektur masjid menjadikannya objek yang menarik untuk dilakukan penelitian, khususnya dalam bidang pemodelan 3D. Serta belum adanya dokumentasi 3D yang komprehensif menggunakan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Handheld Laser Scanner* (HLS) menjadikan masjid ini pilihan yang tepat untuk diteliti.



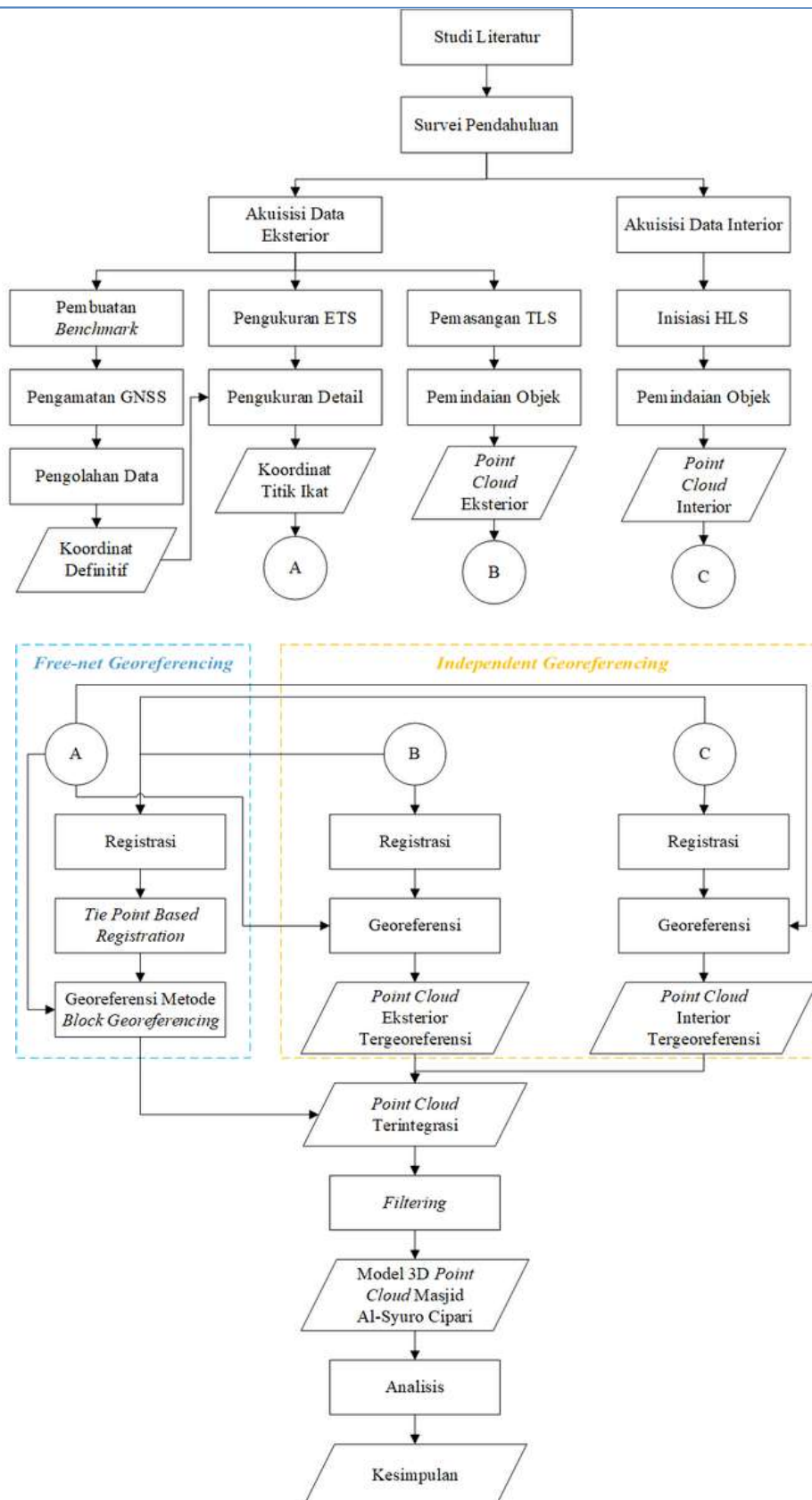
Gambar 1. Lokasi Masjid Al-Syuro Cipari yang Ditandai Dengan *Pin Point* Merah
Sumber: Google Earth (2025)

2.3 Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama yaitu persiapan, pelaksanaan, pengolahan data, dan pemodelan 3D. Tahap persiapan diawali dengan studi literatur dan survei lapangan untuk merencanakan strategi akuisisi data yang optimal. Pada tahap pelaksanaan, proses dimulai dengan pembuatan titik *benchmark* sebagai referensi koordinat, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran detail situasi untuk menentukan titik ikat yang akan digunakan dalam proses georeferensi. Tahapan selanjutnya yaitu pemindaian menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Handheld Laser Scanner* (HLS) pada bagian eksterior dan interior Masjid Al-Syuro Cipari.

Tahap pengolahan data dilakukan dengan mengintegrasikan data interior dan eksterior menggunakan dua metode berbeda untuk menentukan pendekatan yang paling efektif. Metode pertama menggunakan pendekatan *free-net georeferencing* dengan teknik *block georeferencing*, yaitu data interior dan eksterior digabungkan terlebih dahulu kemudian dilakukan proses registrasi dan georeferensi untuk menempatkan seluruh data dalam sistem koordinat yang akan digunakan. Metode kedua menggunakan pendekatan *independent georeferencing*, yaitu setiap *point cloud* (interior dan eksterior) diproses secara terpisah melalui tahap registrasi dan georeferensi, kemudian kedua dataset digabungkan setelah berada dalam sistem koordinat yang sama. Pemilihan kedua metode tersebut didasarkan pada kemampuannya dalam mengatasi kesalahan sistematis dan mempertahankan ketelitian hasil akhir [3]. Untuk mengevaluasi kualitas geometri hasil integrasi dari kedua metode, dilakukan validasi melalui pengukuran dimensi bangunan menggunakan pita ukur sebagai data referensi yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran pada *point cloud* untuk menilai tingkat akurasi dan presisi masing-masing metode integrasi.

Tahap akhir penelitian adalah penyajian model 3D *point cloud* Masjid Al-Syuro Cipari yang telah terintegrasi antara interior dan eksteriornya. Analisis komparatif dilakukan terhadap model yang dihasilkan meliputi tingkat ketelitian, kualitas geometri, serta peranan model yang dibuat dalam melakukan pengembangan, pemeliharaan, dan pemanfaatan Masjid Al-Syuro Cipari sebagai bangunan cagar budaya. Keseluruhan alur kerja penelitian ini dapat dilihat secara detail pada diagram alir yang disajikan dalam **Gambar 2**.



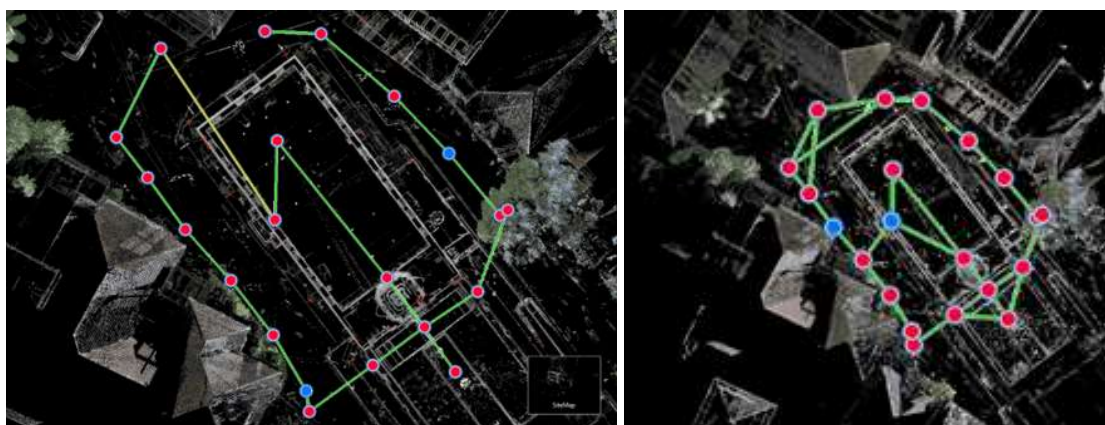
Gambar 2. Metodologi Penelitian

2.4 Pengolahan Data

Pengolahan data terbagi menjadi pengolahan data *point cloud* dengan metode *free-net georeferencing*, metode *independent georeferencing*, dan *filtering point cloud*. Berikut ini merupakan tahapan pengolahan data secara detail.

A. Pengolahan *Point cloud* Metode *Free-net georeferencing*

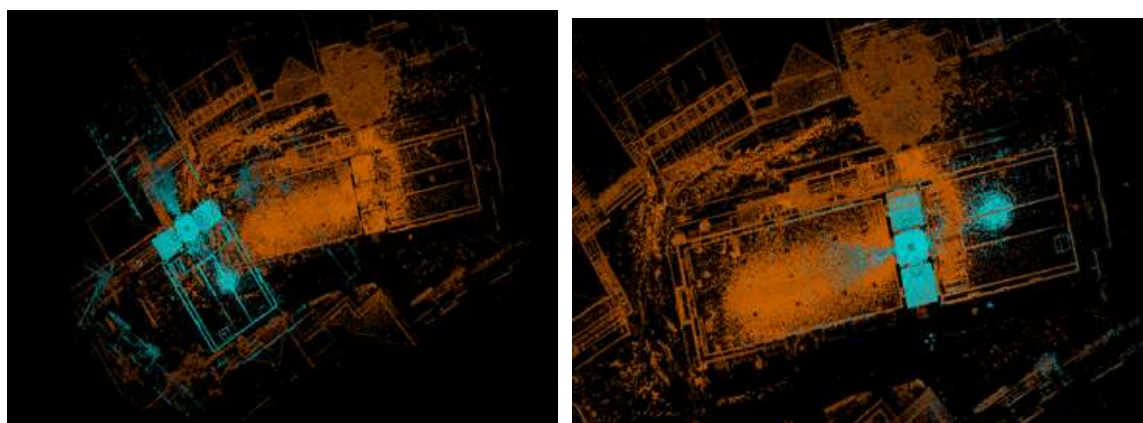
Proses registrasi data TLS dilakukan terhadap 21 *scan world* yang telah diakuisisi menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* Leica RTC 360. Meskipun instrumen ini dilengkapi fitur registrasi secara otomatis yang memungkinkan penggabungan antar *scan* secara otomatis di lapangan, hasil registrasi awal menunjukkan adanya beberapa pasangan *scan* dengan nilai *overlap* rendah dan konektivitas yang belum optimal antar *scan*. Hasil registrasi secara otomatis menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,003 meter dengan persentase *overlap* keseluruhan mencapai 64%. Untuk meningkatkan kualitas hasil registrasi, dilakukan proses registrasi ulang secara manual menggunakan metode *cloud-to-cloud* melalui identifikasi dan pemilihan titik-titik bersesuaian pada *point cloud* yang berdekatan. Hasil registrasi kedua menunjukkan peningkatan persentase *overlap* menjadi 65% serta berhasil mengeliminasi pasangan *scan* dengan *overlap* rendah, sehingga seluruh *scan* dapat terhubung secara optimal sesuai dengan kondisi geometri objek di lapangan. Perbandingan hasil registrasi secara otomatis dan registrasi manual dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Registrasi Otomatis (Kiri) & Registrasi Manual *Cloud to Cloud* (Kanan)

Registrasi data *point cloud* HLS dilakukan terhadap dua sesi akuisisi terpisah yang memerlukan penggabungan melalui identifikasi titik-titik bertampalan. Proses penggabungan dilakukan menggunakan transformasi geometri berupa translasi dan rotasi manual untuk menyelaraskan objek referensi (ditampilkan dengan warna jingga) dengan objek yang disesuaikan (ditampilkan dengan warna biru), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil registrasi data HLS menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,004 m dengan persentase *overlap* keseluruhan mencapai 57%.

Tahap akhir dari proses registrasi adalah penggabungan antara dataset TLS dan HLS berdasarkan identifikasi titik-titik bersesuaian melalui translasi dan rotasi manual. Proses integrasi ini menghasilkan dataset terintegrasi dengan nilai RMSE sebesar 0,003 m dan persentase *overlap* keseluruhan mencapai 66%. Berdasarkan hasil evaluasi registrasi yang telah dilakukan, nilai RMSE yang diperoleh telah memenuhi kriteria toleransi yang ditetapkan yaitu <0,005 meter. Demikian pula dengan persentase *overlap* keseluruhan yang telah memenuhi toleransi yaitu lebih dari 30% sesuai dengan standar yang telah ditetapkan [7].



Gambar 4. HLS Sebelum Digabungkan (Kiri) & HLS Setelah Digabungkan (Kanan)

Point cloud hasil registrasi selanjutnya dilakukan proses georeferensi menggunakan sistem koordinat WGS84 UTM Zona 48S sesuai dengan lokasi penelitian yang berada di Garut, Jawa Barat. Proses georeferensi dilakukan menggunakan perangkat lunak Cyclone 3DR melalui impor data *point cloud* dan koordinat titik kontrol yang telah diukur di lapangan. Metode yang digunakan adalah *n-points registration* dengan teknik *pick point matching*, yaitu pencocokan manual antara fitur-fitur yang dapat diidentifikasi pada *point cloud* dengan koordinat referensi yang telah diinput ke dalam sistem, sehingga memungkinkan transformasi geometri dari sistem koordinat lokal ke sistem koordinat global.

B. Pengolahan *Point cloud* Metode *Independent georeferencing*

Pengolahan menggunakan metode *independent georeferencing* pada dasarnya memiliki prosedur yang serupa dengan metode *free-net georeferencing*, namun terdapat perbedaan mendasar dalam urutan pelaksanaannya. Pada metode *independent georeferencing*, setiap dataset *point cloud* TLS dan HLS dilakukan georeferensi secara terpisah setelah proses registrasi masing-masing dataset selesai, berbeda dengan metode *free-net georeferencing* yang menggabungkan seluruh data terlebih dahulu sebelum dilakukan georeferensi. Proses georeferensi pada kedua dataset menggunakan sistem koordinat yang sama, yaitu WGS84 UTM Zona 48S sesuai dengan lokasi penelitian, sehingga penggabungan akhir dataset dapat dilakukan secara otomatis tanpa memerlukan penyesuaian posisi secara manual. Hasil registrasi metode *independent georeferencing* menunjukkan bahwa dataset TLS memiliki nilai RMSE sebesar 0,003 meter dengan persentase *overlap* 65%, sedangkan dataset HLS memiliki nilai RMSE sebesar 0,004 meter dengan persentase *overlap* 57%.

C. *Filtering*

Data *point cloud* yang dihasilkan dari pemindaian laser umumnya mengandung *noise* dan outlier yang disebabkan oleh pantulan laser *scanner* terhadap objek dengan reflektivitas tinggi [8]. Proses *filtering* diperlukan untuk mengeliminasi *noise* tersebut, termasuk menghilangkan elemen-elemen yang tidak relevan seperti bangunan di luar area masjid, vegetasi, manusia, dan kendaraan yang berada di sekitar objek pemindaian [9]. Proses *filtering* dilakukan secara manual menggunakan fitur *clean separate* pada perangkat lunak Cyclone 3DR. Data *point cloud* awal yang diperoleh berjumlah 613.470.555 titik. Setelah melalui proses *filtering* terjadi reduksi signifikan pada jumlah titik, metode *free-net* menghasilkan 382.398.575 titik (reduksi 37,66%), sedangkan metode *independent* menghasilkan 360.149.042 titik (reduksi 41,29%). Reduksi ini menunjukkan efektivitas proses *filtering* dalam menghilangkan *noise* dari dataset *point cloud*.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan model 3D *point cloud* terintegrasi Masjid Al-Syuro Cipari melalui kombinasi teknologi TLS dan HLS. Keberhasilan pembentukan model 3D ini tidak terlepas dari perencanaan akuisisi data yang matang menggunakan metode *free scan*. Mengingat sifat dinamis HLS, pembuatan *trajectory* dengan interval 1 meter diperlukan untuk memudahkan identifikasi titik-titik bersesuaian melalui foto panoramik selama proses registrasi data *point cloud*.

Tantangan khusus ditemui pada area menara, di mana beberapa lantai memiliki kondisi pencahayaan yang redup sehingga menimbulkan *noise* pada hasil pemindaian. Kondisi serupa juga terjadi pada bagian interior masjid yang menghasilkan *noise* dalam jumlah signifikan karena pemindaian dilakukan ketika ada kegiatan di area masjid. Upaya pembersihan *noise* secara otomatis tidak memberikan hasil optimal karena sistem mendeteksi hampir seluruh bagian sebagai *noise* akibat perbedaan densitas titik pada model 3D *point cloud*. Oleh karena itu, proses pembersihan *noise* dilakukan secara manual untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Model 3D hasil akhir ditampilkan dalam dua variasi yaitu hasil metode *free-net georeferencing* pada **Gambar 5** dan metode *independent georeferencing* pada **Gambar 6**. Kedua model tersebut telah melalui tahapan *filtering* untuk memastikan kualitas data yang optimal.



Gambar 5. Model 3D *Point cloud* Metode *Free-net georeferencing* Tampak Samping



Gambar 6. Model 3D *Point cloud* Metode *Independent georeferencing* Tampak Samping

3.1 Hasil dan Pembahasan Metode *Free-net georeferencing*

Model 3D *point cloud* yang di integrasikan dengan metode *free-net georeferencing* menunjukkan keberhasilan dalam proses integrasinya karena pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa data interior yang terekam melalui bukaan jendela dan pintu telah terintegrasi secara optimal dengan data eksterior tanpa menimbulkan pergeseran pada zona transisi. Elemen-elemen arsitektural seperti jendela, pintu, tangga, dan ornamen fasad terdefinisi dengan tingkat kejelasan yang tinggi hasil dari registrasi keseluruhan yang memiliki *overlap* lebih dari 30% [7]. Variasi densitas yang terlihat pada model 3D diakibatkan oleh perbedaan intensitas laser akibat dari integrasi data dengan menggunakan TLS dan HLS, hal tersebut merupakan kondisi yang normal terjadi ketika mengintegrasikan data dari sensor yang berbeda, tekstur yang terlihat pada model akan lebih kasar [10].



Gambar 7. Zoom in Tampak Samping Masjid Al-Syuro Cipari Metode *Free-net georeferencing*

Pada menara masjid yang ditunjukkan **Gambar 8**, area berwarna gelap merepresentasikan hasil pemindaian HLS dan area yang lebih cerah menunjukkan hasil TLS, kedua dataset menunjukkan pola saling melengkapi yang mengindikasikan keberhasilan proses integrasi data. Kontribusi HLS terlihat signifikan pada bagian interior kubah dan ruang dalam menara yang memberikan informasi objek secara komprehensif karena proses akuisisi dilakukan dengan kecepatan terkontrol dan pergerakan stabil, sehingga mampu meningkatkan kualitas model 3D yang dihasilkan [10]. Terlihat dari gambar 8 bahwa tidak adanya pergeseran di bagian jendela serta *railing* karena hasil georeferensi metode *block georeferencing* pada ke empat titik seperti pada **Tabel 1** pembobotan kesalahannya merata.



Gambar 8. Menara Hasil Metode Freenet Georeferencing

Tabel 1. Hasil Georeferensi *Free-net*

	Titik	Error (mm)		
		X	Y	Z
Free-net	1	0.002	0.007	0.061
	2	0.003	0.015	0.038
	3	0.004	0.010	0.564
	4	0.004	0.002	0.663

Untuk mengetahui kualitas geometri yang dihasilkan dari metode *free-net georeferencing* maka dilakukan pengukuran dimensi pada beberapa objek di area masjid, sehingga dapat diketahui seberapa signifikan perubahan dimensi antara model 3D *point cloud* dengan objek yang sebenarnya dengan melakukan uji statistik. Uji statistik dilakukan menggunakan metode *t-distribution* pada keseluruhan area masjid dengan jumlah sample sebanyak 18 objek yang diukur menggunakan pita ukur seperti yang tertera pada **Tabel 2**. Berdasarkan hasil uji statistik *t-distribution* dengan selang kepercayaan 95% disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara data ukuran sebenarnya dengan data hasil integrasi metode *free-net georeferencing*, sehingga metode *free-net georeferencing* dapat direkomendasikan untuk proses integrasi data multi sensor. Namun metode ini relatif memerlukan banyak waktu dalam melakukan pengolahan data.

Tabel 2. Hasil Uji Statistik T-Student

Tampak Bangunan	Objek	Ukuran (m)		\bar{x}	S	Selang kepercayaan 95% (t)		Keterangan
		Sebenarnya	Freenet			(Batas Bawah)	(Batas Atas)	
Bagian Depan	Panjang tembok bawah tulisan Masjid Al-Syuro	0.081	0.082	0.0815	0.001	0.075	0.088	Diterima
	Tinggi lengkungan tembok	0.252	0.257	0.255	0.005	0.223	0.286	Diterima
	Lebar lengkungan tembok	0.573	0.573	0.573	0.000	0.573	0.573	Diterima
Samping Asrama Putri	Lebar jendela masjid	0.780	0.780	0.780	0.000	0.732	0.821	Diterima
	Lebar pintu masuk	1.272	1.278	1.275	0.004	1.237	1.313	Diterima
	Lebar pilar	0.219	0.219	0.219	0.001	0.203	0.235	Diterima
	Tinggi dari pilar-lantai	1.573	1.573	1.573	0.001	1.538	1.608	Diterima
Samping Asrama Putra	Lebar jendela WC	0.374	0.370	0.372	0.002	0.351	0.393	Diterima
	Lebar gerbang masuk wc	0.859	0.859	0.859	0.001	0.797	0.921	Diterima
	Lebar tembok WC	0.632	0.632	0.632	0.000	0.632	0.632	Diterima
	Lebar Tangga ke 3	2.166	2.166	2.166	0.008	2.090	2.242	Diterima
	Lebar ornamen tembok	1.099	1.099	1.099	0.003	1.080	1.118	Diterima
Bagian Dalam Berbatasan Aula Tengah	Lebar pilar abu	0.312	0.316	0.314	0.001	0.289	0.339	Diterima
	Lebar pintu menuju aula tengah	1.290	1.280	1.285	0.007	1.221	1.349	Diterima
	Lebar pilar putih	0.318	0.318	0.318	0.000	0.318	0.318	Diterima
Bagian Menara	Lebar kotak putih	0.264	0.264	0.264	0.001	0.259	0.348	Diterima
	Lebar Jendela kotak	0.820	0.820	0.820	0.004	0.780	0.895	Diterima
	Lebar jendela kecil menara	0.380	0.372	0.376	0.006	0.325	0.427	Diterima

3.2 Hasil dan Pembahasan Metode Independent georeferencing

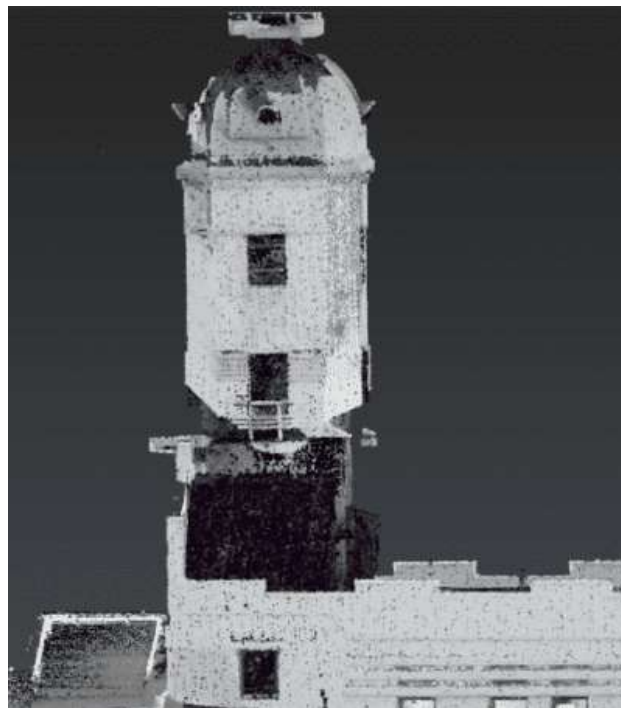
Point cloud hasil integrasi metode *independent georeferencing* pada bagian menara masjid yang ditunjukkan oleh **Gambar 9** menunjukkan kualitas model 3D yang baik. Model tersebut mampu

merepresentasikan bentuk silindris eksterior maupun interior menara, serta transisi antar level dapat teridentifikasi dengan jelas. Selain itu, tidak ada pergeseran pada bagian *railing* menara sehingga secara visual tidak tampak perbedaan mencolok antara kedua metode yang digunakan. Bagian tempat wudhu pada gambar 10 menunjukkan densitas titik yang rapat tanpa adanya pergeseran yang mengindikasikan bahwa kedua dataset stabil dan telah terintegrasi dengan baik. Stabilitas dataset ini disebabkan oleh ketersediaan *overlap* data yang memadai, akuisisi yang stabil di area datar, dan minimnya *noise* di sekitar area tempat wudhu [3].

Tabel 3. Hasil Georeferensi Independent

	Titik	Error (mm)		
		X	Y	Z
TLS	1	0.002	0.008	0.061
	2	0.007	0.012	0.038
	3	0.006	0.002	0.563
	4	0.011	0.001	0.662
HLS	1	0.007	0.008	0.062
	2	0.011	0.019	0.039
	3	0.010	0.016	0.563
	4	0.015	0.011	0.664

Kualitas data hasil integrasi dengan metode *independent georeferencing* tentunya tidak hanya diukur dari segi keberhasilan integrasi melainkan dari segi akurasi yang dihasilkan saat proses georeferensi. Proses georeferensi yang dilakukan terpisah pada setiap dataset menyebabkan adanya perbedaan akurasi seperti yang disajikan pada **Tabel 3**, hal tersebut menyebabkan kesalahan bersifat sistematis [3]. Perbedaan akurasi dapat dipengaruhi oleh penggunaan instrumen yang berbeda karena HLS pada dasarnya berfokus untuk mendokumentasikan secara cepat pada area yang luas atau yang sulit dijangkau oleh TLS, sehingga nilai rata-rata akurasinya hanya berkisar di sentimeter [10].



Gambar 9. Menara Hasil Metode *Independent georeferencing*



Gambar 10. Tempat Wudhu Hasil Metode *Independent georeferencing*

Untuk mengevaluasi akurasi hasil pemindaian dan error yang dihasilkan dari model terintegrasi, maka dilakukan validasi ukuran antara objek sebenarnya dengan model *point cloud* yang dihasilkan. Validasi ukuran dilakukan pada 18 objek di sekitar masjid dengan menggunakan uji statistik. Uji statistik yang dilakukan yaitu uji *t-student* yang terlampir pada **Tabel 3**, hasil dari uji statistik yang dilakukan pada rentang selang kepercayaan 95% menyimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara ukuran objek sebenarnya dengan hasil ukuran pada *point cloud*. Oleh karena itu, penggunaan metode ini dapat disarankan untuk melakukan integrasi, terlebih jika ingin melakukan integrasi secara cepat.

Tabel 4. Hasil Uji Statistik Metode *Independent georeferencing*

Tampak Bangunan	Objek	Ukuran (m) Sebenarnya	Ukuran (m) Independent	\bar{x}	S	Selang kepercayaan 95% (Batas Bawah)	Selang kepercayaan 95% (Batas Atas)	Keterangan
Bagian Depan	Panjang tembok bawah tulisan Masjid Al-Syuro	0.081	0.073	0.0770	0.006	0.026	0.128	DITERIMA
	Tinggi lengkungan tembok	0.252	0.256	0.254	0.003	0.229	0.279	DITERIMA
	Lebar lengkungan tembok	0.573	0.569	0.571	0.003	0.546	0.596	DITERIMA
Samping Asrama Putri	Lebar jendela masjid	0.773	0.775	0.774	0.001	0.761	0.787	DITERIMA
	Lebar pintu masuk	1.272	1.269	1.271	0.002	1.251	1.290	DITERIMA
	Lebar pilar	0.220	0.227	0.224	0.005	0.179	0.269	DITERIMA
	Tinggi dari pilar-lantai	1.573	1.576	1.575	0.002	1.555	1.594	DITERIMA
Samping Asrama Putra	Lebar jendela WC	0.372	0.381	0.377	0.006	0.319	0.434	DITERIMA
	Lebar gerbang masuk wc	0.850	0.850	0.850	0.000	0.850	0.850	DITERIMA
	Lebar tembok WC	0.632	0.628	0.630	0.003	0.605	0.654	DITERIMA
	Lebar Tangga ke 3	2.172	2.168	2.170	0.003	2.145	2.195	DITERIMA
	Lebar ornamen tembok	1.100	1.099	1.100	0.001	1.093	1.106	DITERIMA
Bagian Dalam Berbatasan Aula Tengah	Lebar pilar abu	0.311	0.312	0.312	0.001	0.305	0.318	DITERIMA
	Lebar pintu menuju aula tengah	1.290	1.289	1.290	0.001	1.285	1.294	DITERIMA
Bagian Menara	Lebar pilar putih	2.700	0.674	0.687	0.018	0.522	0.852	DITERIMA
	Lebar kotak putih	2.300	2.305	2.303	0.004	2.271	2.334	DITERIMA

Tampak Bangunan	Objek	Ukuran (m) Sebenarnya	Ukuran (m) Independent	\bar{x}	S	Selang kepercayaan 95% (Batas Bawah)	Selang kepercayaan 95% (Batas Atas)	Keterangan
	Lebar Jendela kotak	0.833	0.839	0.836	0.003	0.798	0.874	DITERIMA
	Lebar jendela kecil menara	0.380	0.383	0.382	0.002	0.362	0.401	DITERIMA

4. Kesimpulan

Integrasi data interior dan eksterior Masjid Al-Syuro Cipari menggunakan kombinasi TLS dan HLS terbukti efektif dalam mengintegrasikan data multi-sensor, menghasilkan model 3D *point cloud* yang komprehensif dan akurat tanpa pergeseran pada zona transisi antara area interior dan eksterior bangunan. Keberhasilan integrasi ini terlihat dari kemampuan model dalam mendefinisikan berbagai elemen arsitektural dengan jelas dan detail. Struktur bangunan yang kompleks seperti jendela, pintu, tangga, dan ornamen fasad berhasil terekam dengan presisi tinggi. Bahkan menara dan kubah masjid dapat terdokumentasi dengan baik dalam model 3D *point cloud* yang dihasilkan. Integrasi TLS dan HLS menunjukkan sinergi yang optimal, dimana masing-masing teknologi saling melengkapi. TLS memberikan akurasi tinggi yang diperlukan untuk dokumentasi area eksterior bangunan, sementara HLS memberikan fleksibilitas akses yang memungkinkan pengambilan data pada area interior yang kompleks dan sulit dijangkau, khususnya pada struktur menara dan kubah masjid.

Meskipun kedua pendekatan menunjukkan hasil akhir yang serupa, terdapat perbedaan karakteristik yang signifikan pada setiap metode. Metode *free-net georeferencing* menunjukkan kinerja optimal dengan nilai RMSE 0,003 m dan persentase *overlap* mencapai 66%, serta menghasilkan distribusi kesalahan yang merata pada seluruh titik kontrol. Namun memerlukan waktu pemrosesan yang relatif lebih lama karena memerlukan proses identifikasi titik-titik bersesuaian pada objek serta memerlukan translasi dan rotasi secara manual. Sebaliknya, metode *independent georeferencing* memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam pemrosesan data dengan memungkinkan pengolahan dataset secara terpisah. Namun, metode ini memerlukan perhatian khusus terhadap potensi kesalahan sistematis yang dapat timbul akibat perbedaan akurasi antar sensor, terutama antara TLS dan HLS. Kelemahan ini perlu diantisipasi dengan kontrol kualitas yang lebih kuat selama proses pengolahan data.

Validasi geometri melalui uji statistik *t-distribution* pada 18 objek dengan selang kepercayaan 95% menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara dimensi objek aktual dengan model *point cloud* pada kedua metode, hal ini menunjukkan keandalan kedua pendekatan untuk aplikasi dokumentasi bangunan cagar budaya. Hasil ini memberikan keyakinan terhadap akurasi dan reliabilitas model 3D yang dihasilkan. Kombinasi kedua teknologi ini pada akhirnya menghasilkan dokumentasi 3D yang komprehensif, detail, dan dapat diandalkan untuk berbagai keperluan dokumentasi dan pelestarian bangunan cagar budaya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Leica Geosystem Indonesia yang telah memfasilitasi alat Leica RTC 360 dan BLK2GO serta *license* untuk akses seluruh *software* Leica, pengurus Masjid Al-Syuro Cipari yang telah memberikan izin melakukan penelitian di area masjid, dan Ilham Pramanda yang telah membimbing pada proses akuisisi hingga pengolahan data.

6. Singkatan

3D	3 Dimensi
HLS	Handheld Laser Scanner
RMSE	Root Mean Square Error
TLS	Terrestrial Laser Scanner
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System

7. Daftar Pustaka

- [1] A. Gardzińska, "Application of Terrestrial Laser Scanning For The Inventory of Historical Buildings On The Example of Measuring The Elevations of The Buildings In The Old Market Square In Jaroslaw," Sciendo, pp. 0293-0309, 2021.
- [2] A. Keitaanniemi, J.-P. Virtanen, P. Rönholm, A. Kukko, T. Rantanen and M. T. Vaaja, "The Combined Use of SLAM Laser Scanning and TLS for the 3D Indoor Mapping," Buildings, vol. 11,

p. 386, 2021.

- [3] A. D. Murtiyoso, "Gespatal Recording and *Point cloud* Classification of Heritage Buildings," Université de Strasbourg, English, 2020.
- [4] C. Altuntas, F. Yildiz and M. Scaioni, "Laser *Scanning* and Data Integration for Three-Dimensional Digital Recording of Complex Historical Structures: The Case of Mevlana Museum," International Journal of Geo-Information, pp. 5-18, 2016.
- [5] D. S. Bismoko, "Analisis Teknologi Masjid Cipari Yang Bergaya Arsitektur Indo-Eropa," Kalpataru, vol. 30, pp. 127-140, 2021.
- [6] L. Yondri, "Naskah Rekomendasi Penetapan Status dan Pemeringkatan Masjid "Sjoero" Cipari Sebagai Bangunan Cagar Budaya Peringkat Kabupaten Garut," Balai Pelestarian Kebudayaan, Bandung, 2023.
- [7] S. Liu and M. J. Bin Mamat, "Application of 3D laser *scanning* technology for mapping and accuracy assessment of the *point cloud* model for the Great Achievement Palace heritage building," Heritage Science, vol. 12, p. 153, 2024.
- [8] R. Gao, J. Park, X. Hu, S. Yang and K. Cho, "Reflective *Noise Filtering* of Large-Scale *Point cloud* Using Multi-Position LiDAR Sensing Data," Remote Sensing, vol. 13, p. 16, 2021.
- [9] G. B. . J. Aji and H. Ilmawan, "Pembuatan Model 3 Dimensi Metode Manual Pada Gedung Juang 45 Bekasi Menggunakan Integrasi *Point Cloud* Hasil Pengolahan Data Foto Terestris Dan Aerial Dengan Menggunakan Metode Structure From Motion (SFM) Dan Multi-View Stereo (MVS)," Ellipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika, vol. 08, 2025.
- [10] A. Conti, G. Pagliaricci, V. Bonora and G. Tucci, " A Comparison Between Terrestrial Laser *Scanning* And Hand-Held Mobile Mapping For The Documentation Of Built Heritage," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vols. XLVIII-2, pp. 141-147, 2024.