Pangripta Sembada : Jurnal Perencanaan Pembangunan, Vol. 1 No. 1 2024, pp.66-78
ISSN: XXXX-XXXX

PEMANFAATAN TEKNOLOGI *TERRESTRIAL LASER SCANNER* DALAM UPAYA KONSERVASI BANGUNAN CAGAR BUDAYA

Ulya Agustin Handayani, Rochmad Muryamto, Hanif Ilmawan
Program Studi Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar Universitas Gadjah Mada
ulyaagustin1@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Bangunan cagar budaya adalah bangunan yang memiliki nilai sejarah penting sehingga perlu dijaga keaslian arsitekturnya. Salah satu bangunan cagar budaya yang ada di Yogyakarta adalah Gedung Iso Reksohadiprodjo. Gedung tersebut merupakan bagian dari Kompleks Pantja Dharma yang kini digunakan oleh Sekolah Vokasi UGM sebagai fasilitas perkuliahan. Untuk menjaga keaslian atau konservasi bangunan perlu dilakukan pendokumentasian yang nantinya berguna apabila ingin dilakukan restorasi bangunan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mendokumentasikan gedung ini adalah dengan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Penggunaan TLS ini menghasilkan data *point clouds* dengan akurasi tinggi dengan dibuktikan dengan perhitungan ketelitian *point clouds.*
Akuisisi data pada eksterior gedung menggunakan metode registrasi *cloud to cloud* dan diolah dengan perangkat lunak Autodesk Recap Pro. Ketelitian data *point clouds* diuji dengan membandingkan 30 sampel jarak yang diukur menggunakan alat distometer dan alat TLS, kemudian pengujian menggunakan RMSE. Selain itu, ketelitian posisi horizontal dan vertikal dianalisis menggunakan sembilan sampel untuk menghitung perbedaan koordinat antara *point clouds* dan koordinat lapangan.
Hasil akhir dari penelitian ini berupa dokumentasi eksterior Gedung Iso Reksohadiprodjo dalam bentuk *point clouds* dengan ketelitian *point clouds* sebesar 0,003 m, ketelitian posisi horizontal sebesar 0,054 m, dan ketelitian posisi vertikal sebesar 0,131 m. Dengan akurasi tersebut, upaya restorasi atau konservasi dapat dilakukan berdasarkan model 3D *point clouds* yang sangat mendekati kondisi asli bangunan. Hal ini dapat dijadikan acuan untuk analisis perubahan bangunan dari waktu ke waktu.

Kata Kunci: Cagar Budaya, Konservasi, Pendokumentasian, Terrestrial Laser Scanner

ABSTRACT

A cultural heritage building is a structure with significant historical value that must be preserved to maintain its architectural authenticity. One such cultural heritage building in Yogyakarta is Gedung Iso Reksohadiprodjo, part of the Kompleks Pantja Dharma, currently used by the UGM Vocational School as a lecture facility. To maintain its authenticity and support conservation efforts, proper documentation is essential, serving as a reference for future restoration projects. One effective method for documenting this building is by utilizing a Terrestrial Laser Scanner (TLS). The use of TLS produces high-accuracy point cloud data, which is verified through precision calculations.
Data acquisition for the building's exterior was conducted using the cloud-to-cloud registration method and processed with Autodesk Recap Pro software. The accuracy of the point clouds was tested by comparing 30 distance samples measured using both a distometer and TLS, analyzed using RMSE. Additionally, horizontal and vertical positional accuracy was

evaluated with nine samples to calculate the coordinate differences between the point clouds and field measurements.
The final result of this research is the documentation of the Gedung Iso Reksohadiprodjo exterior in the form of point clouds, achieving a point cloud precision of 0.003 m, horizontal positional accuracy of 0.054 m, and vertical positional accuracy of 0.131 m. With this level of accuracy, restoration or conservation efforts can be based on a 3D point cloud model that closely represents the building's original condition. This documentation can also serve as a reference for analyzing changes in the building over time.

Keywords: Cultural Heritage, Conservation, Documentation, Terrestrial Laser Scanner

PENDAHULUAN

Universitas Gadjah Mada (UGM) merupakan universitas pertama yang dibangun oleh pemerintah Indonesia setelah kemerdekaan. Salah satu fasilitas pendidikan pertama yang didirikan adalah Kompleks Pantja Dharma Sekolah Vokasi UGM (Jogjacagar, 2023).

Kompleks Pantja Dharma tidak hanya memiliki peran penting dalam sejarah pendidikan Indonesia, tetapi juga memiliki nilai sejarah Internasional. Pada tanggal 26 Oktober hingga 14 November 1959, Kompleks Pantja Dharma menjadi tuan rumah Konferensi *Colombo Plan* yang dihadiri oleh 21 negara. Berdasarkan Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 211/KEP/2024 tentang penetapan situs cagar budaya tempat Konferensi *Colombo Plan* XI Tahun 1959, Kompleks Pantja Dharma ditetapkan sebagai situs cagar budaya peringkat provinsi di Yogyakarta (Gubernur Yogyakarta, 2024). Pada tanggal 19 Desember 1959, Kompleks Pantja Dharma ini diresmikan oleh Ir. Soekarno sebagai fasilitas pendidikan Universitas Gadjah Mada. Salah satu bagian dari bangunan bersejarah ini yaitu Gedung Iso Reksohadiprodjo. Pada tahun 2021, Gedung Iso Reksohadiprodjini ditetapkan sebagai Bangunan Cagar Budaya melalui Keputusan Bupati Sleman No. 79.16/Kep.KDH/A/2021 Tentang Status Cagar Budaya Kabupaten Sleman Tahun 2021 Tahap XVI (Bupati Sleman, 2021).

Sebagai bangunan cagar budaya, penting untuk mempertahankan keaslian dan integritas arsitektural Gedung Iso Reksohadiprodjo. Pengelolaannya harus memastikan bahwa nilai-nilai sejarah dan budaya yang terkandung di dalamnya tetap terjaga. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya, pelestarian cagar budaya harus mempertahankan keaslian material, detail arsitektur, tata letak, dan/atau teknologi serta nilai budaya yang menyertainya.

Meskipun memiliki nilai sejarah yang tinggi, Gedung Iso Reksohadiprodjo

seperti bangunan cagar budaya lainnya, menghadapi berbagai tantangan. Faktor-faktor seperti usia bangunan, perubahan iklim, dan penggunaan yang intensif dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan. Selain itu, risiko bencana alam seperti gempa bumi juga mengancam kelestarian gedung ini. Oleh karena itu, langkah-langkah konservasi yang tepat harus diambil untuk melindungi dan mempertahankannya.

Salah satu metode yang efektif untuk mendokumentasikan kondisi dan struktur bangunan bersejarah adalah dengan memanfaatkan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). TLS merupakan sebuah alat yang menggunakan sensor aktif dengan bantuan laser yang dapat menghasilkan data titik dalam sekali pengamatan (Setiawan, 2018). Data perekaman ini akan berbentuk titik-titik yang disebut dengan istilah *point clouds* (Ramadhani et al., 2021). Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, yang umumnya merepresentasikan permukaan objek (Lichti et al., 2002). Salah satu keunggulan TLS adalah kemampuannya menggunakan prinsip penginderaan jauh, sehingga dapat mengumpulkan data tanpa harus menyentuh objek dan memungkinkan pengukuran dari jarak jauh (Simbolon et al., 2017).

Penelitian ini menggunakan Gedung Iso Reksohadiprodjo sebagai objek penelitian karena belum ada peneliti yang menggunakan objek Gedung Iso Reksohadiprodjo khususnya dalam dokumentasi eksterior secara digital. Dengan menggunakan teknologi TLS, data *point clouds* yang dihasilkan mampu menangkap detail dengan sangat halus dan kompleks. Hal ini memungkinkan representasi yang lebih akurat dari bentuk fisik objek, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam upaya pelestarian dan restorasi bangunan di masa mendatang. Dokumentasi digital 3D ini menjadi langkah penting dalam menjaga keutuhan dan keaslian Gedung Iso Reksohadiprodjo sebagai bagian dari warisan budaya Indonesia, sekaligus memitigasi potensi risiko yang terjadi, terutama karena lokasi Yogyakarta yang rentan terhadap bencana alam. Berikut rumusan masalah pada penelitian ini.

1. Apakah penggunaan alat *Terrestrial Laser Scanner* dapat merekam objek secara keseluruhan pada *eksterior* gedung?
2. Bagaimana ketelitian data *point clouds* menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dengan alat *Distometer*?

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mendokumentasikan secara digital eksterior Gedung Iso Reksohadiprodjo

dengan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)

2. Mengetahui ketelitian *point clouds* Gedung Iso Reksohadiprodjo.

Penyelesaian penelitian ini akan memberikan manfaat yaitu:

1. Menyediakan data arsip Gedung Iso Reksohadiprodjo dengan akuisisi data yang akurat dan valid untuk keperluan konservasi gedung bagi pihak Sekolah Vokasi dan Dinas Kebudayaan DIY.
2. Membantu perencanaan pembangunan dan arsitek dalam merancang pengembangan sekitar gedung tanpa merusak struktur dan nilai sejarah bangunan.

METODE PENELITIAN

1. Pengamatan GNSS

   GNSS adalah kumpulan sistem satelit yang berfungsi untuk menentukan posisi tiga dimensi objek di seluruh permukaan bumi (Ramadhon et al., 2020). Metode pengukuran dapat diterapkan secara statik maupun *Real-Time Kinematic* (RTK)(Dabove, 2019). Perbedaan utama antara kedua metode ini adalah pada proses *differencing* data. Pada metode diferensial statik, proses *differencing* data dilakukan secara *post-processing* dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan data GNSS (Alkan et al., 2020). Di sisi lain, pada metode diferensial RTK, proses *differencing* dilakukan secara *real-time*, di mana data satelit dari penerima GNSS di *base* dikirim melalui sinyal radio atau akses internet ke penerima GNSS di rover untuk diolah secara langsung (Ramadhon, 2020). Pengukuran GNSS dengan metode diferensial statik bertujuan untuk memperoleh koordinat tiga dimensi dengan tingkat presisi yang tinggi (Correa et al., 2018).

   Pada penelitian ini pengukuran dilakukan dengan dua metode yaitu metode *Rapid Static* dengan tiga titik GCP *(Ground Control Point)* selama 20 menit untuk proses georeferensi dan metode RTK-NTRIP dengan sembilan sampel untuk proses pengujian ketelitian posisi.

2. Pengukuran TLS

   Pengukuran menggunakan TLS dapat menghasilkan jutaan titik 3D dengan akurasi tinggi dan kerapatan yang sangat besar hanya dalam beberapa detik, pengukuran ini menjadi metode alternatif yang efektif yang dapat digunakan (Wang et al., 2014). Perekaman ini menggunakan alat TLS dengan tipe Leica RTC360. Leica RTC360 ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan *point cloud* dengan akurasi tinggi hingga ±1,9 mm pada jarak 10 meter dan mampu

memindai hingga 2 juta titik per detik, sehingga proses perekaman menjadi lebih cepat (Leica Geosystems, 2024). Perekaman pada penelitian ini menggunakan data dengan jumlah 21 titik. Pengambilan data dilakukan di setiap sisi luar gedung. Proses *scan density* data menggunakan *high resolution* pada area luar gedung. *High resolution* ini memiliki kerapatan tiga mm, yang menghasilkan tangkapan *point clouds* lebih baik dan detail.

3. Pengukuran Distometer

   Distometer adalah perangkat untuk mengukur jarak yang memanfaatkan sinar laser sebagai teknologi utamanya. Distometer memiliki rentang pengukuran antara 0,05 m hingga 100 m dengan akurasi ± 1,5 mm. Penggunaan distometer memberikan kemudahan dan efisiensi dalam pengukuran, terutama untuk pengambilan data yang memerlukan tingkat akurasi tinggi (Maharsayanto dkk., 2013). Pengukuran distometer ini digunakan untuk mengukur jarak pada sisi-sisi bangunan. Nilai jarak yang diperoleh dari pengukuran distometer akan digunakan sebagai nilai acuan, karena dianggap sebagai nilai yang paling benar dan akurat.

4. Pengolahan Data GNSS

   Pengolahan GNSS menggunakan *software* Trimble Business Centre. TBC ini dirancang khusus untuk mengolah data dari berbagai jenis pengukuran GNSS (seperti *static*, *rapid static*, RTK, dan PPK), dengan memberikan hasil yang sangat akurat. Pengolahan data GNSS ini menggunakan metode radial yang diikatkan dengan stasiun CORS (*Continuously Operating Reference Station*) yang ada di Yogyakarta yaitu CORS JOGS.

5. Pengolahan Data *Point Clouds*

   a. Registrasi adalah proses penyatuan data perekaman yang diperoleh dari beberapa *scanworld* atau lokasi berdirinya alat sehingga data tersebut terintegrasi dalam satu sistem koordinat (Jacobs, 2005). Proses pengolahan data menggunakan *software* Autodesk Recap Pro. *Software* ini mampu menangani dataset *point cloud* yang besar, sehingga akan mempermudah dalam proses pengolahannya maupun analisis data. Pada perekaman ini menggunakan metode registrasi *cloud to cloud* yang dapat mengikat tiga titik. Metode registrasi *cloud to cloud* ini memiliki persyaratan tumpang tindih sebesar 30 s.d. 40% (Quintero, 2008).

   b. Georeferensi

      Proses georeferensi dilakukan untuk menyatukan data *Terrestrial*

Laser Scanner (TLS) ke dalam data geospasial. Sebagian besar langkah-langkah georeferensi disesuaikan dengan sistem koordinat geografis berdasarkan pengukuran GNSS geodetik yang memiliki tingkat akurasi tinggi. Tingkat akurasi yang tinggi ini sangat penting, karena akurasi titik referensi akan berdampak pada nilai koordinat setiap titik hasil pengukuran *laser scanner* (Reshetyuk, 2009). Proses ini membutuhkan koordinat hasil pengolahan Trimble Business Centre kemudian dilakukan georeferensi pada *software* Recap Pro. Titik yang digunakan sebagai GCP ditandai dengan memilih *point survey* kemudian memasukkan nilai koordinat ke *point clouds.*

c. *Filtering*

Proses *filtering* dilakukan untuk membersihkan data *point cloud* yang tidak digunakan. Pada penelitian ini, filterisasi dilakukan di *software* Autodesk Recap Pro. Tahapan ini menghapus *point clouds* pada beberapa objek seperti manusia, hewan, kendaraan, dan pohon. Proses *filtering* ini sangat penting, karena keberhasilan atau kegagalan pada tahap ini akan mempengaruhi kualitas hasil akhir secara keseluruhan (Zaky Mudzakir et al., 2017).

d. Pengujian Data

Pengujian ini menggunakan rumus RMSE. RMSE adalah suatu metrik yang mengindikasikan sejauh mana perbedaan antara nilai sebenarnya dan hasil pengukuran. Semakin tinggi nilai RMSE, semakin besar pula kesalahan pengukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi ketelitian dimensi dan posisi Gedung Iso Reksohadiprodjo. Berikut rumus RMSE untuk ketelitian dimensi pada persamaan (1) di bawah ini.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(d-d_1)^2}{n}} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dalam hal ini,

d : nilai yang dianggap benar

d_1: nilai hasil ukuran

n : banyak ukuran yang digunakan

Evaluasi ketelitian posisi ini memiliki dua perhitungan yaitu ketelitian posisi horizontal (XY) dan vertikal (Z). RMSE ketelitian posisi horizontal pada persamaan .... (2) dan vertikal pada persamaan (3).

$$RMSE\ XY = \sqrt{\frac{\Sigma(dx-dx_1)^2+(dy-dy_1)^2}{n}} \quad \text{....} \quad (2)$$

$$RMSE\ Z = \sqrt{\frac{\Sigma(dz-dz_1)^2}{n}} \quad \text{.....} \quad (3)$$

Dalam hal ini,

dx, dy, dz : nilai koordinat x, y, z lapangan

dx_1, dy_1, dz_1 : nilai koordinat x, y, z *point clouds*

n : banyak ukuran yang digunakan

HASIL PENELITIAN

Hasil Pengolahan GNSS

Hasil pengolahan GNSS ini digunakan untuk melakukan tahapan georeferensi dan juga pengujian ketelitian posisi XY dan Z. Hasil pengolahan GNSS metode *Rapid Static* didapatkan setelah melakukan proses *Session Editor* dan menghasilkan koordinat fix. Berikut hasil pengolahan GNSS *Rapid Static* pada Tabel 6 di bawah.

Tabel 6. Hasil pengolahan GNSS

Nama	Northing	Easting	Elevation
GCP1	9140606,423 m	431080,208 m	156,842 m
GCP2	9140571,324 m	431066,206 m	156,368 m
GCP4	9140672,426 m	431028,535 m	156,923 m

Sumber: Penelitian, 2024

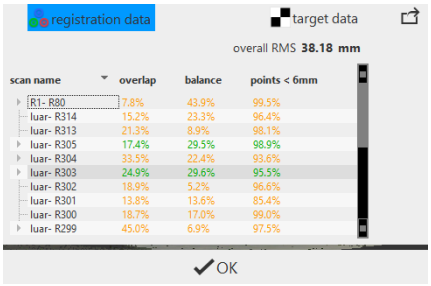
Hasil Pengolahan *Point clouds*

Hasil akuisisi data terdapat 21 titik berdirinya alat dengan *density high resolution*. Berikut hasil registrasi dari semua data pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Hasil Registrasi *point clouds*

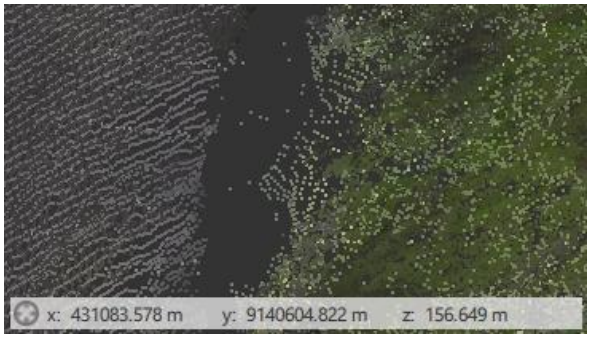
Proses registrasi pada *software* Autodesk Recap Pro tersebut menghasilkan RMS *overall* dari metode *cloud to cloud* pada Gambar di bawah.



Gambar 2. Hasil overall RMS

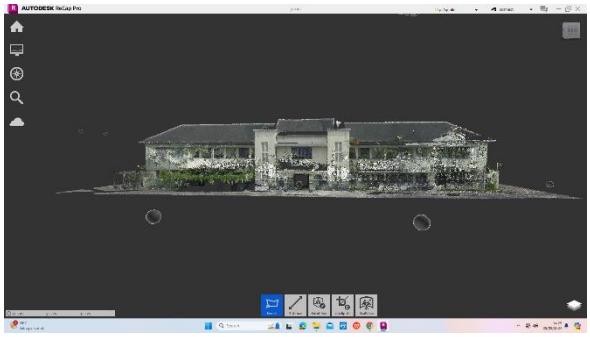
Hasil tersebut memenuhi syarat pada metode pengukuran *cloud to cloud* dengan nilai RMS 38,18 mm secara keseluruhan.

Selanjutnya, setelah hasil perekaman *point clouds* keseluruhan ditampilkan, dilakukan georeferensi menggunakan hasil pengolahan GNSS. Tahapan ini menggunakan *tools point survey* pada *software* Autodesk Recap Pro untuk menandai lokasi *Ground Control Point* (GCP) dan memasukkan nilai koordinat lapangan. Berikut hasil tahapan georeferensi pada Gambar di bawah.

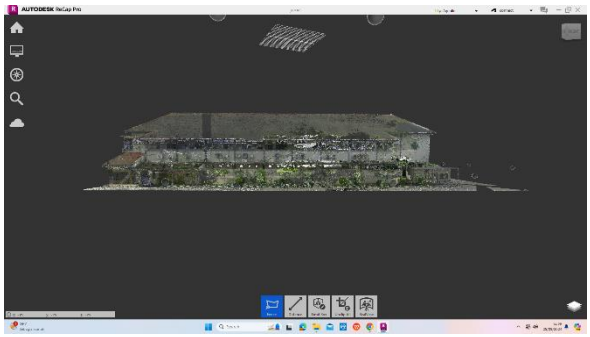


Gambar 3. Hasil georeferensi *point clouds*

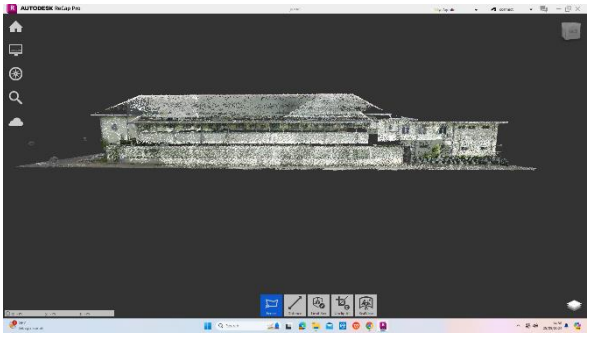
Apabila *point clouds* sudah memiliki koordinat asli lapangan dilakukan *filtering* untuk memfokuskan pada objek Gedung Iso Reksohadiprodjo. Hasil *filtering* ini menghasilkan data dari 367.543.130-*point clouds* menjadi 169.443.222-*point clouds*. Tahapan *filtering* dilakukan secara manual dengan memilih dan menghapus objek yang tidak diperlukan. Berikut hasil *filtering* menggunakan *software* Recap Pro dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Hasil gedung tampak depan



Gambar 5. Hasil gedung bagian selatan



Gambar 6. Hasil gedung bagian utara



Gambar 7. Perbandingan objek perekaman dengan objek asli
Sumber: Penelitian, 2024

Hasil Ketelitian Dimensi

Ketelitian perekaman alat TLS dilakukan dengan perhitungan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Ketelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil data jarak *point clouds* dengan alat pengukuran TLS dengan data jarak dengan alat distometer. Data jarak distometer ini digunakan sebagai nilai yang dianggap benar atau sebagai acuan pengujian. Sampel yang digunakan dalam

pengujian dilakukan pengukuran menggunakan alat distometer. sebanyak 30 sampel. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 7 Hasil perhitungan jarak

Nama Objek	Jarak Distometer (m)	Jarak *Point clouds* (m)	Selisih (m)	$\|x - xi\|^2$
L. Tangga pintu selatan	1,580	1,580	0,000	0,000000
L. Batas jalan pos	1,374	1,376	0,002	0,000004
L. Batas ruang pos	0,998	0,996	0,002	0,000004
L. Ruang pos	2,988	2,986	0,002	0,000004
T. Ruang pos	2,997	3,005	0,008	0,000064
T. Tembok selatan pos	2,987	2,989	0,002	0,000004
L. Pembatas taman selatan	1,250	1,250	0,000	0,000000
T. Ruang pos selatan	2,953	2,955	0,002	0,000004
L. Pembatas jalan dg ruang pos selatan	1,105	1,107	0,002	0,000004
T. Atap selatan	3,839	3,830	0,009	0,000081
L. Jendela 4 selatan	2,794	2,799	0,005	0,000025
L. Pembatas pintu selatan	0,954	0,954	0,000	0,000000
L. Jendela ukir selatan	1,458	1,446	0,012	0,000144
T. Jendela ukir selatan	1,753	1,752	0,001	0,000001
L. Tempat duduk selatan	1,359	1,354	0,005	0,000025
L. Batas selatan	1,342	1,343	0,001	0,000001
T. Atap tengah	3,357	3,357	0,000	0,000000
L. Pintu lobi	2,762	2,764	0,002	0,000004
T. Pintu lobi	2,585	2,584	0,001	0,000001
L. Tempat duduk utara	1,292	1,290	0,002	0,000004
L. Batas penyangga depan	3,966	3,966	0,000	0,000000
L. Jendela ukir utara	1,451	1,456	0,005	0,000025
T. Jendela ukir utara	1,752	1,749	0,003	0,000009
T. Atap dengan batas jendela selatan	2,573	2,570	0,003	0,000009
L. Pintu utara	1,552	1,553	0,001	0,000001
L. Jendela 4 selatan kanan	2,770	2,769	0,001	0,000001
T. Jendela 4 selatan kanan	2,361	2,363	0,002	0,000004
L. Jendela 4 selatan kiri	2,786	2,790	0,004	0,000016
T. Jendela 4 selatan kiri	2,359	2,363	0,004	0,000016
L. Pintu area parkir	0,909	0,910	0,001	0,000001
Selisih rata-rata				0,003 m
Selisih terkecil				0 m
Selisih terbesar				0,012 m
RMSE				0,003 m

Sumber: Penelitian, 2024

Keterangan: L (Lebar), T (Tinggi), Lt (Lantai).

Hasil Ketelitian Posisi

Ketelitian posisi ini dilakukan dengan perhitungan nilai RMSE. Pengujian menggunakan sembilan sampel yang diukur dengan alat GNSS menggunakan metode RTK NTRIP pada bangunan Gedung Iso Reksohadiprodjo. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan tingkat ketelitian hasil georeferensi *point clouds*. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Perhitungan koordinat X

Nama	Koordinat Georeferensi (m)	Koordinat Cek (m)	$dx-dx_1$	$(dx-dx_1)^2$
OBJ1	431080,697	431080,639	0,0580	0,0034
OBJ2	431077,473	431077,440	0,0330	0,0011
OBJ3	431074,887	431074,862	0,0250	0,0006
OBJ4	431047,713	431047,726	-0,0130	0,0002
OBJ5	431079,903	431079,841	0,0620	0,0038

Nama	Koordinat Georeferensi (m)	Koordinat Cek (m)	$dx-dx_1$	$(dx-dx_1)^2$
OBJ6	431074,244	431074,263	-0,0190	0,0004
OBJ7	431064,645	431064,629	0,0160	0,0003
OBJ8	431078,337	431078,303	0,0340	0,0012
OBJ9	431030,746	431030,808	-0,0620	0,0038

Sumber: Penelitian, 2024

Tabel 9. Perhitungan Koordinat Y

Nama objek	Koordinat Georeferensi (m)	Koordinat Cek (m)	$dy-dy_1$	$(dy-dy_1)^2$
OBJ1	9140645,818	9140645,816	0,0020	0,0000
OBJ2	9140610,710	9140610,700	0,0100	0,0001
OBJ3	9140604,591	9140604,562	0,0290	0,0008
OBJ4	9140576,233	9140576,239	-0,0060	0,0000
OBJ5	9140605,604	9140605,612	-0,0080	0,0001
OBJ6	9140617,961	9140617,957	0,0040	0,0000
OBJ7	9140574,058	9140574,017	0,0410	0,0017
OBJ8	9140647,977	9140647,891	0,0860	0,0074
OBJ9	9140583,196	9140583,152	0,0440	0,0019

Sumber: Penelitian, 2024

Tabel 10. Perhitungan RMSE XY

Nama objek	$(dx-dx_1)^2$	$(dy-dy_1)^2$	$(dx-dx_1)^2+(dy-dy_1)^2$
OBJ1	0,0034	0,0000	0,0034
OBJ2	0,0011	0,0001	0,0012
OBJ3	0,0006	0,0008	0,0015
OBJ4	0,0002	0,0000	0,0002
OBJ5	0,0038	0,0001	0,0039
OBJ6	0,0004	0,0000	0,0004
OBJ7	0,0003	0,0017	0,00 19
OBJ8	0,0012	0,0074	0,0086
OBJ9	0,0440	0,0019	0,0058
Jumlah			0,0268 m
Rata-rata			0,0030 m
RMSE			0,0546 m

Sumber: Penelitian, 2024

Tabel 11. Perhitungan RMSE Z

Nama objek	Elevasi Georeferensi (m)	Elevasi Cek (m)	$dz-dz_1$	$(dz-dz_1)^2$
OBJ1	156,728	156,871	-0,1430	0,0204
OBJ2	156,469	156,543	-0,0740	0,0055
OBJ3	156,764	156,690	0,0740	0,0055
OBJ4	156,589	156,355	0,2340	0,0548
OBJ5	156,415	156,243	0,1720	0,0296
OBJ6	156,851	156,941	-0,0900	0,0081
OBJ7	156,530	156,661	-0,1310	0,0172
OBJ8	156,207	156,148	0,0590	0,0035
OBJ9	156,818	156,927	-0,1090	0,0119
Jumlah				0,1564 m
Rata-rata				0,0174 m
RMSE				0,1318 m

Sumber: Penelitian, 2024

PEMBAHASAN

Hasil pengolahan GNSS tersebut harus memastikan tahapan *session editor* dilakukan dengan cermat untuk mendapatkan hasil koordinat yang fix. Pada hasil RMS registrasi *point clouds* menunjukkan terdapat beberapa objek perekaman memiliki indikator yang lemah. Warna kuning menunjukkan registrasi bisa benar, tetapi data tidak dikondisikan secara ideal. Sedangkan, warna merah menunjukan hasil yang berada di ambang batas karena beberapa nilai tidak memenuhi batas minimal. Selain itu, salah satu indikator juga tidak memenuhi syarat cukup sehingga indeks menggiring untuk indikasi yang kurang baik atau lemah. Indikasi yang menyebabkan nilai registrasi tidak maksimal dapat disebabkan oleh pengaruh pencahayaan dan jarak berdirinya alat TLS. Setelah melakukan pengolahan dan menghasilkan dokumentasi eksterior yang mampu

merepresentasikan bentuk asli Gedung, tahapan selanjutnya adalah pengujian.

Pengujian ketelitian dimensi dilakukan untuk mengetahui akurasi data *point clouds* dari alat TLS, dengan menggunakan distometer sebagai nilai acuan. Sementara itu, pengujian ketelitian posisi XY dan Z bertujuan untuk mengetahui perbedaan koordinat *point clouds* dengan koordinat lapangan, menggunakan GNSS metode RTK sebagai referensi. Dari hasil pengujian ketelitian dimensi, diperoleh nilai sebesar 0,003 m. Sedangkan, Ketelitian posisi horizontal (XY) dan vertikal (Z) dihitung menggunakan RMSE, dengan hasil sebesar 0,054 m untuk XY dan 0,131 m untuk Z. Nilai RMSE pada elevasi cukup tinggi karena pengukuran koordinat horizontal umumnya lebih akurat dibandingkan pengukuran vertikal dalam sistem GPS RTK. Hal ini terutama terlihat saat menentukan posisi di sudut-sudut bangunan pada area luar Gedung Iso Reksohadiprodjo.

Dari hasil pengujian tersebut, apabila nilai RMSE semakin kecil atau mendekati 0 maka nilai pengukuran semakin akurat atau dapat dipertanggungjawabkan. Pendokumentasian ini menunjukkan nilai tersebut dapat dijadikan acuan untuk mendukung upaya konservasi Gedung Iso Reksohadiprodjo.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Alat TLS ini mampu mendokumentasikan eksterior Gedung Iso Reksohadiprodjo dengan menghasilkan data perekaman yang akurat tetapi tidak semua objek dapat terekam karena terhalang oleh pohon.
2. Ketelitian dimensi data *point clouds* menghasilkan nilai RMSE 0,003 m. Ketelitian posisi horizontal dan vertikal menghasilkan nilai RMSE 0,054 m dan 0,131 m.

Penelitian yang telah dilakukan tentunya masih terdapat banyak kekurangan. Berikut merupakan saran dari penulis yang dapat diaplikasikan.

1. Hasil ketelitian yang didapatkan pada penelitian ini dapat diterapkan pada bangunan cagar budaya lainnya sebagai referensi atau acuan dalam upaya konservasi.
2. Pengambilan data secara keseluruhan bisa dilakukan dengan mengkombinasi dengan metode lain untuk melengkapi data seperti fotogrametri.
3. Pengembangan lebih lanjut dengan melakukan perekaman berkala agar dapat memantau keadaan *eksterior* maupun interior gedung.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak sekolah vokasi Universitas Gadjah Mada dan staf pengurus Gedung Iso Reksohadiprodjo yang ikut membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alkan, R., Erol, S., Ozulu, I., Ilci, V., 2020. Accuracy Comparison of Post-Processed PPP and Real-Time Absolute Positioning Techniques. Geomatics 11, 178–190. https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1714752

Correa, M., Nixon A, Liliana A, Ceron, C., 2018. Precision and Accuracy of The Static GNSS Method For Surveying Networks Used In Civil Engineering. Ingeniería e Investigación 52–59.

Dabove, P., 2019. The Usability of GNSS Mass-Market Receivers For Cadastral Surveys Considering RTK and NRTK Techniques. Geod Geodyn 10, 282–289.

Gubernur Yogyakarta, 2024. Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 211/KEP/2024 tentang Penetapan Situs Cagar Budaya Tempat Konferensi Colombo Plan XI Tahun 1959 di Yogyakarta Sebagai Situs Cagar Budaya Peringkat Provinsi, Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia.

Jacobs, G., 2005. High Definiton Surveying 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural. Professional Surveyor Magazine.

Jogjacagar, 2023. Kompleks Pantja Dharma Universitas Gadjah Mada [WWW Document]. Dinas Kebudayaan.

Keputusan Bupati Sleman No. 79.16/Kep.KDH/A/2021 Tentang Status Cagar Budaya Kabupaten Sleman Tahun 2021 Tahap XVI, 2021.

Leica Geosystems, 2024. Leica RTC360 3D Laser Scanner [WWW Document]. URL https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360 (accessed 11.15.24).

Lichti, D.D., Gordon, S.J., Stewart, M.P., 2002. Ground-Based Laser Scanners: Operation, Systems and Applications. Geomatica 21–33.

Maharsayanto, P., Kahar, S., Sasmito, B., 2013. Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung Pt. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta). .

Quintero, S., 2008. Theory and Practice On Terrestrial Laser Scanning: Training Material Based On Practical Applications. Universidad Politecnica de Valencia Editorial.

Ramadhani, S.M., Prasetyo, Y., Bashit, N., 2021. Analisis Ketelitian Point Clouds Teknologi Terrestrial Laser Scanner (Studi Kasus: Dekanat Lama Fakultas Teknik), Jurnal Geodesi Undip Januari.

Ramadhon, S., 2020. Pengaruh Lingkungan Pengamatan Pada Ketelitian Horisontal GNSS Dengan Metode RTK-NTRIP.

Ramadhon, S., Miko, W.W., Nugraha, G., 2020. Perbandingan Ketelitian Posisi Tiga Dimensi dari Perangkat Lunak Pengolahan Data GNSS Komersial.

JGISE 3, 106–112. https://doi.org/10.22146/jgise

Reshetyuk, Y., 2009. Self-calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning. Arkitektur och samhällsbyggnad, Kungliga Tekniska högskolan.

Setiawan, A.F., 2018. Analisa Hasil Pengukuran Koordinat Terrestrial Laser Scanner GLS - 2000.

Simbolon, A., Yuwono, B.D., Amarrohman, F.J., 2017. Analisis Perbandingan Ketelitian Metode Registrasi Antara Metode Kombinasi dan Metode Traverse Dengan Menggunakan Terrestrial Laser Scanner Dalam Pemodelan Objek 3 Dimensi. Geodesi Undip 6, 1–10.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya, 2010. , Badan Pembinaan Hukum Nasional. Indonesia.

Wang, W., Zhao, W., Huang, L., Vimarlund, V., Wang, Z., 2014. Applications of Terrestrial Laser Scanning For Tunnels : a review.

Zaky Mudzakir, M., Abidin, H.Z., Gumilar, I., 2017. Pemodelan 3D “Gedung Indonesia Menggugat” Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner, ITB Indonesian Journal of Geospatial.