

# Perbandingan Ketelitian Antara Registrasi *Cloud to Cloud* dengan Registrasi *Object to Object* dalam Penyiapan Data Pemodelan 3D Pengukuran Jalan Tol

Ara Budidarma Rachmat\*, Mohammad Abdul Basyid

Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung

\*Koresponden email: ara.budidarma@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 6 Agustus

Disetujui: 13 Agustus 2025

## Abstract

The use of 3D scanning technology in infrastructure measurement, especially toll roads, requires an accurate data registration process to support the development of Building Information Modeling (BIM) models. This study compares two point cloud registration methods, namely Cloud-to-Cloud (C2C) and Object-to-Object (O2O) using a target sphere, in preparing 3D modeling data in the JORR-1 Toll Road project. Data acquisition was carried out using a FARO Focus 3D S120 Terrestrial Laser Scanner, and the registration process was analyzed based on geometric accuracy parameters (mean distance error), as well as processing time efficiency. The results show that the C2C method produces a higher level of accuracy with an average error of 6.33 mm, while the O2O method is 12.17 mm. However, the O2O method is superior in terms of time efficiency, which is 36 hours compared to C2C which requires 48 hours. Both are still within the BIM accuracy tolerance threshold ( $\leq 20$  mm). Therefore, the selection of a registration method is recommended based on project priorities, such as accuracy or time efficiency, to ensure technical feasibility in BIM-based toll road infrastructure modeling applications.

**Keywords:** *point cloud registration, cloud-to-cloud, target sphere, accuracy, 3d modeling, toll roads*

## Abstrak

Pemanfaatan teknologi pemindaian 3D dalam pengukuran infrastruktur, khususnya jalan tol, membutuhkan proses registrasi data yang akurat guna mendukung pengembangan model Building Information Modeling (BIM). Penelitian ini membandingkan dua metode registrasi point cloud, yaitu Cloud-to-Cloud (C2C) dan Object-to-Object (O2O) menggunakan target sphere, dalam penyiapan data pemodelan 3D di proyek Jalan Tol JORR-1. Akuisisi data dilakukan menggunakan Terrestrial Laser Scanner FARO Focus 3D S120, dan proses registrasi dianalisis berdasarkan parameter ketelitian geometrik (mean distance error), serta efisiensi waktu pengolahan. Hasil menunjukkan bahwa metode C2C menghasilkan tingkat ketelitian lebih tinggi dengan rata-rata error sebesar 6,33 mm, sedangkan O2O sebesar 12,17 mm. Namun, metode O2O lebih unggul dari sisi efisiensi waktu, yaitu 36 jam dibandingkan C2C yang memerlukan 48 jam. Keduanya masih berada dalam ambang toleransi akurasi BIM ( $\leq 20$  mm). Dengan demikian, pemilihan metode registrasi disarankan menyesuaikan pada prioritas proyek ketelitian atau efisiensi waktu untuk memastikan kelayakan teknis dalam aplikasi pemodelan infrastruktur jalan tol berbasis BIM.

**Kata kunci:** *registrasi point cloud, cloud-to-cloud, target sphere, ketelitian, pemodelan 3d, jalan tol*

## 1. Pendahuluan

Dalam era percepatan pembangunan infrastruktur, penerapan teknologi digital menjadi krusial dalam mendukung efisiensi, akurasi, serta keberlanjutan proyek. Salah satu teknologi yang kini banyak diadopsi dalam bidang konstruksi dan geospasial adalah *Building Information Modeling* (BIM). BIM merupakan suatu metodologi yang memungkinkan representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas, dan berfungsi sebagai sumber informasi terintegrasi sepanjang siklus hidup proyek (NIBS, 2020). BIM tidak hanya mencakup visualisasi 3D, tetapi juga menyajikan platform kolaboratif antara berbagai pemangku kepentingan dalam proyek, seperti arsitek, insinyur, dan kontraktor.

Dalam konteks proyek infrastruktur jalan tol—seperti *Jakarta Outer Ring Road* (JORR-1)—keakuratan data pemetaan dan pengukuran menjadi kunci utama dalam menjamin keselamatan, presisi desain, serta optimalisasi biaya konstruksi. Salah satu teknologi yang mendukung proses ini adalah *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), seperti FARO Focus 3D S120, yang mampu menghasilkan data spasial berupa *point cloud* berketelitian tinggi. Point cloud merupakan kumpulan titik dalam ruang tiga dimensi

yang mewakili permukaan objek nyata dan sangat esensial dalam proses digitalisasi dan pemodelan 3D (Hidayat et al., 2019).

Namun, akurasi point cloud sangat bergantung pada proses registrasi, yaitu tahap penyatuan beberapa hasil pemindaian dari berbagai sudut menjadi satu sistem koordinat yang konsisten. Dua metode registrasi yang umum digunakan adalah *Cloud-to-Cloud* (C2C) dan *Object-to-Object* (O2O), di mana metode O2O sering kali mengandalkan objek target fisik seperti sphere sebagai acuan registrasi. Metode C2C bekerja tanpa target fisik, melainkan mengandalkan algoritma seperti Iterative Closest Point (ICP) untuk mencocokkan bentuk dan geometri antar data point cloud (Nurjaman et al., 2019). Di sisi lain, metode O2O berbasis target sphere menawarkan akurasi tinggi dengan memanfaatkan titik-titik referensi nyata yang terekam secara konsisten pada tiap posisi pemindaian.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode target sphere lebih unggul dalam akurasi absolut, namun cenderung membutuhkan waktu dan tenaga tambahan dalam pemasangan serta pengukuran target (Pratama et al., 2021). Sebaliknya, metode C2C lebih efisien dari sisi waktu dan mobilitas di lapangan, namun sangat bergantung pada kualitas dan keberlimpahan fitur permukaan yang terekam dalam pemindaian. Oleh karena itu, dalam pengukuran infrastruktur yang kompleks seperti jalan tol, pemilihan metode registrasi harus mempertimbangkan keseimbangan antara ketelitian geometrik dan efisiensi operasional.

Melihat belum banyaknya penelitian aplikatif yang membandingkan kedua metode ini secara langsung dalam konteks proyek jalan tol di Indonesia, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut. Fokus utama penelitian adalah pada perbandingan ketelitian dan efisiensi waktu antara metode registrasi Cloud-to-Cloud dan Target Sphere dalam penyiapan data pemodelan 3D Jalan Tol JORR-1, sebagai bagian dari pemrosesan menuju integrasi data ke dalam platform BIM. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan teknis bagi praktisi dan akademisi dalam memilih metode registrasi yang paling sesuai dengan kondisi proyek infrastruktur di lapangan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan ketelitian hasil registrasi point cloud antara metode Cloud-to-Cloud (C2C) dan Object-to-Object (O2O) menggunakan target sphere, dalam konteks penyiapan data pemodelan 3D untuk infrastruktur jalan tol. Studi kasus dilakukan di ruas Jalan Tol JORR-1, tepatnya pada segmen KM 23+400 sampai 25+000 yang berlokasi di Daerah Khusus Jakarta.

### *Lokasi dan Waktu Penelitian*

Lokasi penelitian adalah ruas Jalan TOL JORR.1 /Jakarta Outer Ring Road, yang dipilih karena kompleksitas geometri dan nilai strategisnya dalam jaringan transportasi nasional. Pengumpulan data dilakukan selama bulan Februari hingga April 2025.



**Gambar 1:** Lokasi Penelitian Tol JORR-1

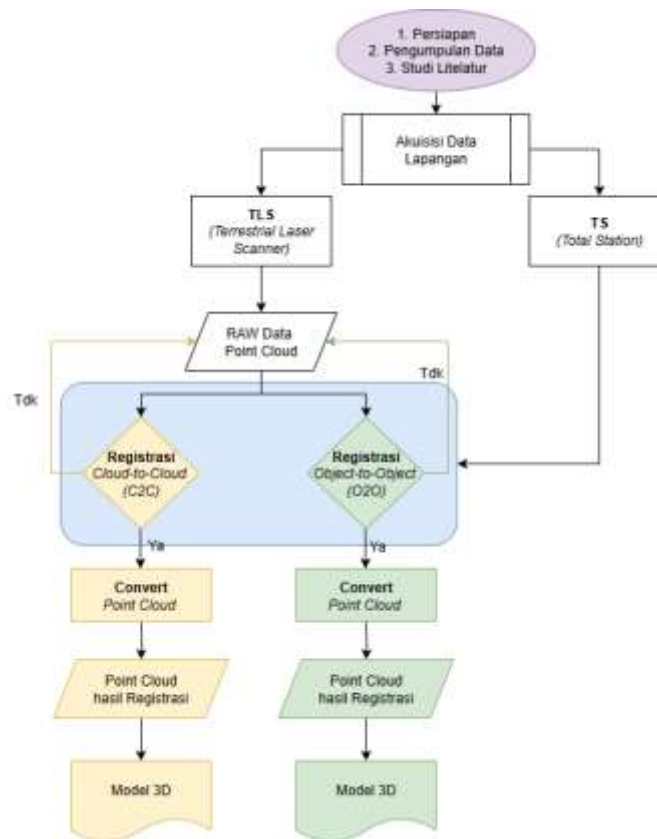
### *Data dan Alat yang Digunakan*

Penelitian ini menggunakan kombinasi data primer dan alat survei berteknologi tinggi untuk menunjang akurasi dalam proses registrasi dan pemodelan 3D. Data utama yang digunakan berupa point cloud hasil akuisisi menggunakan Terrestrial Laser Scanner (TLS) jenis FARO Focus 3D S120. Selain itu, digunakan juga data pendukung dari Total Station, GNSS Geodetik, dan Target *Sphere* untuk validasi posisi. Detailnya dijabarkan sebagai berikut:

- a. Data Point Cloud: Merupakan hasil akuisisi menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Data ini terdiri atas miliaran titik 3D yang merepresentasikan permukaan area jalan tol secara detail, mencakup dimensi X, Y, Z dan intensitas pantulan.
- b. Data Geospasial Pendukung, meliputi:
  1. Koordinat kontrol (ICP) dari hasil pengukuran menggunakan GNSS Geodetik metode statik untuk validasi posisi spasial global.
  2. Pengukuran target sphere menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *checkerboard* menggunakan Total Station untuk menjamin presisi internal dan mendukung proses registrasi berbasis target.
  3. Data pemodelan geometrik dari dokumentasi eksisting untuk membantu validasi visual model 3D.
- c. Data Metadata Akuisisi: posisi titik berdiri alat (station), orientasi alat, parameter jarak antar scan, elevasi permukaan, serta informasi lingkungan seperti kondisi cahaya dan keberadaan rintangan (kendaraan, pepohonan, dll).
- d. Autodesk ReCap dan Autodesk Revit: untuk pemodelan BIM 3D

### Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:



**Gambar 2:** Metode Penelitian

Diagram yang diatas menggambarkan alur metodologi untuk menghasilkan model BIM 3D berbasis point cloud, dengan menggunakan pemindaian (scanner) dan pengukuran menggunakan total station (TS). Alur ini terdiri dari beberapa tahapan utama yang saling terkait. Berikut adalah uraian tahapan kegiatan secara terstruktur dan mendetail berdasarkan skema tersebut:

- a. Pengumpulan Data Lapangan: Akuisisi data dilakukan dari beberapa titik berdiri (station) di sepanjang ruas tol menggunakan TLS. Target sphere dipasang secara merata di lokasi untuk keperluan registrasi O2O.
- b. Registrasi Point Cloud: Metode *Cloud-to-Cloud* (C2C) dimana Registrasi dilakukan berdasarkan pencocokan geometri antar point cloud secara otomatis, menggunakan algoritma *Independent Check*

- Point* (ICP) sedangkan Metode *Object-to-Object* (O2O) Target Sphere Registrasi dilakukan dengan menggunakan target sphere sebagai referensi, diidentifikasi secara otomatis oleh perangkat lunak.
- Evaluasi Ketelitian Registrasi hasil registrasi dievaluasi menggunakan parameter: Mean distance error (mm), Standard deviation, *Root Mean Square Error* (RMSE), sedangkan durasi waktu proses (jam) Pengukuran dilakukan pada titik-titik uji (independent check points) untuk membandingkan perbedaan antara kedua metode.
  - Analisis Kesesuaian terhadap BIM data hasil registrasi diintegrasikan ke dalam model 3D menggunakan Autodesk Revit untuk menganalisis kesesuaian geometrik dan dampaknya terhadap pembuatan model BIM.

#### Parameter Perbandingan

Untuk mengevaluasi dan membandingkan performa metode registrasi *Cloud-to-Cloud* (C2C) dan *Object-to-Object* (O2O) berbasis target sphere, digunakan sejumlah parameter kuantitatif dan kualitatif yang menggambarkan aspek ketelitian geometrik, efisiensi waktu, dan kualitas integrasi ke dalam BIM. Penjelasan masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

- Ketelitian Geometrik (*Mean Distance Error* dan RMSE) dimana Ketelitian hasil registrasi diukur berdasarkan rata-rata kesalahan jarak (mean distance error) antara point cloud hasil gabungan dengan referensi posisi dari titik kontrol atau hasil registrasi lainnya. Selain itu, digunakan juga *Root Mean Square Error* (RMSE) yang menggambarkan seberapa besar deviasi penyimpangan titik terhadap posisi referensi dan Standar Deviasi ( $\sigma$ ): menunjukkan tingkat penyebaran error dan konsistensi hasil registrasi. Pengukuran ini dihitung berdasarkan output evaluasi dari perangkat lunak.
- Efisiensi Waktu Pemrosesan adalah waktu yang dibutuhkan dalam seluruh proses registrasi (mulai dari impor data, identifikasi fitur atau target, penyesuaian, validasi, hingga ekspor data akhir) dicatat sebagai indikator efisiensi metode. Pengukuran waktu dilakukan menggunakan log waktu aktual dari perangkat lunak pengolahan. Perbandingan dilakukan antara Lama waktu yang dibutuhkan oleh metode C2C, yang cenderung dipengaruhi oleh ukuran data dan kompleksitas geometri permukaan dan lama waktu metode target sphere (O2O), yang cenderung dipengaruhi oleh jumlah dan jarak target sphere yang terekam secara konsisten.
- Kesesuaian Visual (Visual Alignment) Selain parameter numerik, hasil registrasi juga dievaluasi secara visual melalui: Overlay point cloud antar station pemindaian, Pemeriksaan kesesuaian bentuk fisik (misal: batas median, marka jalan, dinding pembatas), Potongan melintang (cross-section) untuk melihat perpaduan antar segmen. Visualisasi ini dilakukan dalam lingkungan ReCap dan Revit, dengan membandingkan overlay hasil C2C dan target sphere (O2O) pada tampilan perspektif maupun ortografis.
- Kesesuaian terhadap Standar Akurasi BIM untuk menentukan apakah hasil registrasi memenuhi syarat untuk digunakan dalam pemodelan Building Information Modeling (BIM), hasil dibandingkan dengan standar toleransi akurasi yang umum digunakan. Berdasarkan standar internasional dan referensi nasional seperti: Batas toleransi maksimum untuk model BIM geospasial adalah  $\leq 20$  mm (SNI BIM, 2023; Wang & Cho, 2015) dan Hasil registrasi yang berada dalam batas toleransi ini dianggap layak untuk integrasi ke dalam model BIM 3D.
- Aspek Operasional Tambahan secara kualitatif, dicatat pula: Tingkat kesulitan operasional saat pemasangan target sphere, Kebutuhan sumber daya (manusia dan perangkat keras) masing-masing metode, Kemudahan integrasi hasil registrasi ke dalam perangkat lunak BIM. Meskipun parameter ini tidak dievaluasi secara numerik, namun menjadi faktor penting dalam rekomendasi pemilihan metode pada tahap akhir penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan data point cloud dari pemindaian lapangan sepanjang ruas Jalan Tol JORR-1 pada segmen KM 23+400 hingga KM 25+000 menggunakan alat FARO Focus 3D S120. Proses registrasi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu *Cloud-to-Cloud* (C2C) dan *Object-to-Object* (O2O) berbasis target sphere. Hasil registrasi dari kedua metode kemudian dianalisis berdasarkan ketelitian geometris, efisiensi waktu, dan kesesuaian visual untuk mendukung pembuatan model 3D.

#### Hasil Registrasi *Cloud-to-Cloud* (C2C)

Metode C2C menghasilkan error rata-rata sebesar 6,33 mm, dengan standar deviasi sebesar  $\pm 1,78$  mm dan RMSE 6,56 mm. Proses registrasi ini membutuhkan waktu sekitar 48 jam, termasuk pemrosesan awal, penyesuaian menggunakan algoritma ICP, validasi spasial, dan ekspor hasil. Secara visual, data point

cloud dari beberapa posisi pemindaian menunjukkan tumpang tindih yang cukup baik, terutama pada permukaan jalan dan marka. Namun, metode ini memerlukan penyesuaian manual tambahan untuk area dengan geometri seragam atau minim tekstur.

#### Hasil Registrasi Object-to-Object (O2O) dengan Target Sphere

Pada metode O2O pada target Sphere, dilakukan pemasangan dan pengukuran target sphere di sejumlah titik tetap. Hasil registrasi menunjukkan error rata-rata sebesar 12,17 mm, dengan standar deviasi  $\pm 3,21$  mm dan RMSE 12,88 mm. Waktu yang dibutuhkan untuk keseluruhan proses registrasi lebih singkat, yakni sekitar 36 jam, karena pencocokan posisi sphere dilakukan secara otomatis oleh perangkat lunak, dengan validasi manual minimal. Secara visual, penyelarasan antar segmen point cloud cukup presisi di sekitar area target sphere, namun beberapa penyimpangan terdeteksi di area yang jauh dari target.

#### Perbandingan Ketelitian dan Efisiensi

Hasil perbandingan kedua metode disajikan dalam **Tabel 1**. Meskipun C2C memiliki keunggulan dari segi ketelitian, metode ini membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih lama dan sumber daya komputasi yang lebih tinggi. Sebaliknya, metode O2O lebih efisien secara waktu dan cocok untuk proyek dengan kendala waktu, namun memiliki akurasi yang lebih rendah.

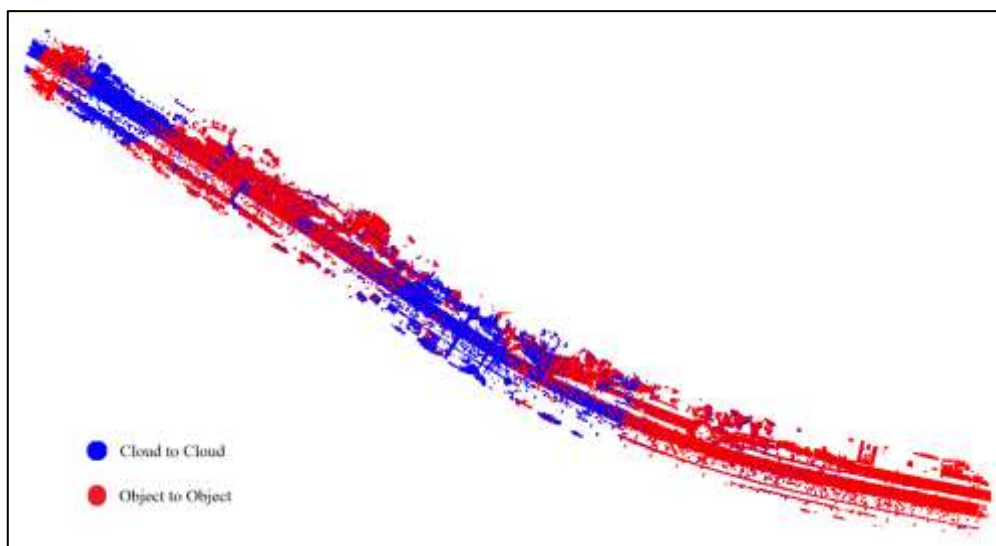
**Tabel 1.** Perbandingan Waktu Registrasi C2C dengan O2O

Parameter	Cloud-to-Cloud (C2C)	Target Sphere (O2O)
Mean Error (mm)	6,33	12,17
Standard Deviasi (mm)	$\pm 1,78$	$\pm 3,21$
RMSE (mm)	6,56	12,88
Waktu Registrasi (jam)	48	36

Sumber: Pengolahan Data (2025)

#### Evaluasi Visual dan Integrasi ke BIM

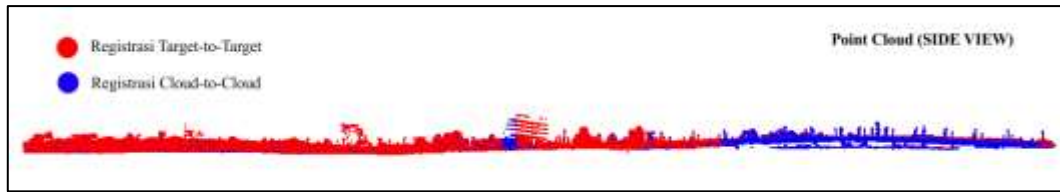
Hasil registrasi dari kedua metode dimasukkan ke dalam perangkat lunak Autodesk Revit untuk membuat model BIM 3D. C2C menunjukkan kecocokan geometrik yang lebih tinggi, terutama pada struktur jalan, dinding penahan, dan saluran drainase. Sementara itu, O2O lebih mudah dioperasikan di lapangan namun memerlukan koreksi tambahan dalam tahap modeling akibat ketidaksesuaian kecil di beberapa titik potong. Kedua hasil masih berada dalam ambang toleransi akurasi BIM ( $\leq 20$  mm) sehingga keduanya dinyatakan layak digunakan untuk pemodelan awal.



**Gambar 3.** Perbandingan Hasil Visual

Hasil dari proses registrasi *Object to Object* ini memberikan gambaran yang jelas tentang seberapa efektif data *point cloud* yang diakuisisi dapat digunakan dalam analisis dan pemodelan. Dengan membandingkan akurasi dan waktu registrasi antara metode *Target Sphere* dan *Cloud-to-Cloud (C2C)*.

Hasil dari registrasi *Target to Target* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Sementara **Tabel 2** adalah perbandingan nilai RMSE, CE90, dan LE90 dari dua metode registrasi (*Cloud-to-Cloud* dan *Target Sphere*).



**Gambar 4.** Perbandingan Hasil Visual (SIDE VIEW)

**Tabel 2.** Perbandingan Ketelitian Hasil Registrasi C2C dengan O2O

Section	Scan 1	Scan 2	Inset Number	C2C Dist. Error [mm]	O2O Dist. Error [mm]	Toleransi BIM [mm]	Hasil Perbandingan	
							Diff Dist. Error [mm]	Keterangan
01	1_LS_B_102	1_LS_A_109	1	7	9	< 20,00	2	C2C Lebih Teliti
			2	2	7	< 20,00	5	C2C Lebih Teliti
02	1_LS_A_111	1_LS_B_104	1	4	7	< 20,00	3	C2C Lebih Teliti
03	1_LS_B_107	1_LS_A_114	1	8	13	< 20,00	5	C2C Lebih Teliti
04	1_LS_B_109	1_LS_A_116	1	8	25	< 20,00	17	C2C Lebih Teliti
05	1_LS_B_111	1_LS_A_118	1	9	12	< 20,00	3	C2C Lebih Teliti

Sumber: Pengolahan Data (2025)

**Tabel 2** ini membandingkan dua metode registrasi data pemindaian 3D, yaitu: C2C (*Cloud-to-Cloud*) dan O2O (*Object-to-Object*). Evaluasi dilakukan berdasarkan ketelitian (*Distance Error*), toleransi berdasarkan standar BIM, dan waktu pemrosesan. Beberapa aspek yang terdapat dalam tabel diatas adalah:

- 5 pasangan data pemindaian dibandingkan antara hasil C2C dan O2O.
- Dalam semua kasus, C2C menghasilkan *error* yang lebih kecil dibanding O2O, menunjukkan bahwa C2C lebih teliti. Contoh perbandingan: (Section 04)
  - C2C Dist. Error = 8 mm
  - O2O Dist. Error = 25 mm
  - Perbedaan = 17 mm → C2C unggul jauh
- Semua nilai error masih dalam batas toleransi BIM < 20 mm.

Dalam Visualisasi hasil penelitian menunjukkan perbandingan nyata antara metode *Cloud-to-Cloud* (C2C) dan *Target Sphere* dalam pemodelan BIM untuk JORR 1. Visualisasi ini untuk lebih memperjelas hasil dari penelitian yang telah dilakukan guna memudahkan dalam interpretasi. Penyajian visualisasi dalam bentuk visualisasi Gambar dan Image dimana gambar yang dimaksud adalah hasil modelling 3D Jalan Tol JORR-1 hasil pengolahan BIM.



**Gambar 5.** Modelling 3D Jalan tol JORR-1 (3D View)

#### 4. Kesimpulan

Hasil dari dua metode registrasi point cloud, yaitu *Cloud-to-Cloud (C2C)* dan *Object-to-Object (O2O)* menggunakan target *sphere* menunjukkan bahwa metode *Cloud-to-Cloud (C2C)* menghasilkan ketelitian yang lebih tinggi dengan waktu pemrosesan yang lebih lama dan hasil secara visual metode C2C lebih baik dalam menyelaraskan permukaan jalan dan struktur infrastruktur lainnya, sementara metode *Object-to-Object (O2O)* menggunakan target *sphere* menunjukkan hasil yang lebih cepat secara operasional, tetapi memiliki ketelitian lebih rendah sementara untuk hasil secara visual O2O lebih stabil di area target, Meski begitu kedua metode registrasi tersebut masih memenuhi standar akurasi BIM.

Hasil Akhir kedua metode layak digunakan dalam penyiapan data untuk pemodelan 3D infrastruktur jalan tol berbasis BIM. Pemilihan metode sebaiknya disesuaikan dengan prioritas proyek jika ketelitian menjadi hal utama, maka C2C lebih direkomendasikan; jika efisiensi waktu lebih penting, maka O2O menjadi pilihan yang tepat.

#### 5. Singkatan

<i>3D</i>	three-dimensional
<i>C2C</i>	Cloud-to-Cloud
<i>O2O</i>	Object-to-Object
<i>JORR-1</i>	Jakarta Outer Ring Road 1
<i>RMSE</i>	Root Mean Square Error
<i>TLS</i>	Terrestrial Laser Scanner
<i>CE90</i>	Circular Error 90
<i>LE90</i>	Linear Error 90
<i>BIM</i>	Building Information Modeling
<i>ICP</i>	Independent Check Point

#### 6. Referensi

- [1] Azhar, S. (2011). *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- [2] Hidayat, A., Rachmat, A., & Wibowo, H. (2019). Penggunaan TLS dalam Pemetaan dan Monitoring Infrastruktur. *Jurnal Geospasial Terapan*, 7(2), 123–134.
- [3] National Institute of Building Sciences (NIBS). (2020). *BIM Project Execution Planning Guide*. Washington, D.C.
- [4] Nurjaman, M. F., Putra, R., & Suwondo, H. (2019). Evaluasi Metode Registrasi TLS dalam Proyek Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 55–63.
- [5] Pratama, I., Sari, N., & Budi, R. (2021). Analisis Efisiensi Registrasi Point Cloud Berbasis Target Sphere pada Model BIM Jalan Tol. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Infrastruktur*, 4(1), 88–97.
- [6] SNI BIM (2023). *Spesifikasi Umum Building Information Modeling untuk Proyek Infrastruktur*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [7] Wang, X., & Cho, Y. K. (2015). Performance Evaluation of 3D Modeling Using Point Clouds for Construction. *Automation in Construction*, 49, 193–206.
- [8] Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic Reconstruction of As-Built Building Information Models from LaserScanned Point Clouds: A Review of Related Techniques. *Automation in Construction*, 19(7), 829-843.
- [9] Wibowo, A., et al. (2018). "Pemanfaatan Teknologi Laser Scanning untuk Pemodelan Infrastruktur Jalan." *Geomatika*, 12(3), 45-56.
- [10] Saputra, D., et al. (2017). "Analisis Akurasi Registrasi Data Point Cloud Menggunakan Target Sphere pada Pemodelan 3D." *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(2), 78-89.
- [11] Nugroho, A., et al. (2018). "Evaluasi Kualitas Data Point Cloud pada Pemodelan Infrastruktur Jalan Tol Menggunakan Laser Scanner." *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 25(2), 112-123.
- [12] Pratama, R., et al. (2017). "Analisis Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Akurasi Pengukuran Menggunakan Laser Scanner." *Jurnal Geomatika*, 10(1), 34-45.
- [13] Wibowo, A., et al. (2018). "Optimasi Parameter Registrasi Point Cloud untuk Pemodelan Infrastruktur Jalan". *Jurnal Geomatika*, 14(2), 89-102.

- [14] Nugroho, S. (2018). "Normalisasi Parameter Ketelitian Data Laser Scanning Berbasis Resolusi Alat". *Jurnal Geomatika*, 14(1), 23-35.
- [15] Badan Standarisasi Nasional. (2017). "Standar Visualisasi dan Inspeksi Data Point Cloud untuk Infrastruktur Transportasi". *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-6724-2002*.
- [16] Darmawan, E., & Putra, Y. (2017). "Analisis Komparatif Metode Registrasi Point Cloud pada Pemodelan 3D Jembatan". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur*, 3(2), 67-79.
- [17] Siregar, V. P., et al. (2019). "Analytical Hierarchy Process untuk Evaluasi Kinerja Algoritma Registrasi Point Cloud". *Jurnal Teknologi Informasi ITS*, 8(1), 89-102.
- [18] Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan. (2018). "Protokol Validasi Data Pemindaian 3D untuk Infrastruktur Transportasi". *Laporan Teknis Kementerian PUPR*.