

ANALISIS PERBANDINGAN METODE GEOREFERENSI LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PADA DATA *POINT CLOUDS* (STUDI KASUS : GEDUNG PAU ITB)

SELLA L. NURMAULIA*¹, RATRI WIDYASTUTI¹, ASEP YUSUF SAPTARI¹, AKHMAD A. A. HENDANA¹

1. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No. 10 Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

*Korespondensi : sella@itb.ac.id

Sari – Teknologi *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) dapat menghasilkan pemodelan 3-Dimensi dengan geometri yang baik. Namun, untuk dapat menghasilkan ketelitian geometri yang baik diperlukan teknik registrasi dan proses georeferensi yang tepat. Teknik registrasi yang banyak digunakan adalah menggunakan algoritma *Iterative Closest Point* (ICP). Keberhasilan teknik registrasi ini dipengaruhi oleh presentase *overlap*, besarnya sudut dan jarak antar dua data *point clouds*. Pada teknik georeferensi tidak langsung, data *point clouds* yang dihasilkan belum semuanya memiliki koordinat global sehingga untuk menyatukan semua hasil pemindaian, maka metode registrasi dilakukan dengan menggunakan registrasi *target-to-target* atau registrasi *cloud-to-cloud* perlu dilakukan sebelum menggunakan algoritma ICP. Pada teknik georeferensi langsung, data *point clouds* untuk seluruh hasil pemindaian sudah memiliki hasil koordinat global sehingga teknik registrasi yang digunakan bisa langsung menggunakan algoritma ICP. Hasil yang diperoleh adalah nilai *Root Mean Square Error* (RMS) adalah sama untuk kedua metode georeferensi langsung maupun georeferensi tidak langsung.

Kata kunci: *target-to-target*, *cloud-to-cloud*, Iterative Closest Point (ICP)

Abstract - *Terrestrial Laser Scanning (TLS) technology can produce 3-dimensional modeling with good geometry. However, to be able to produce good geometric accuracy, one of which is the need for proper registration techniques and georeferencing processes. The registration technique that is widely used is the Iterative Closest Point (ICP) algorithm. The success of this registration technique is affected by the percentage of overlap, the magnitude of the angle, and the distance between the two data point clouds. In the indirect georeferencing technique, the point cloud data does not yet have global coordinates, so to unify all the scan results, the registration method using target-to-target registration or cloud-to-cloud registration needs to be done before using the ICP algorithm. Whereas in direct georeferencing, point cloud data for all scan results already has global coordinates so that the registration technique can directly use the ICP algorithm. How precise is the direct georeferencing method compared to the indirect georeferencing method on the results of the registration of the two point cloud data will be discussed in this study. The results obtained are the Root Mean Square Error (RMS) value is the same for both direct georeferencing and indirect georeferencing methods.*

Key words: *target-to-target*, *cloud-to-cloud*, Iterative Closest Point (ICP)

1. PENDAHULUAN

Teknologi *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) banyak digunakan untuk kebutuhan pembuatan model 3-Dimensi (3D) yang menghasilkan geometri yang akurat (Barus dkk., 2017; Keawaram & Dumrongchai, 2017; Prasetyo, 2018; Son Simbolon dkk., 2017). Teknologi tersebut juga banyak digunakan untuk berbagai keperluan pemetaan seperti konstruksi, pertambangan, cagar budaya, kadaster, dan lain sebagainya (Grussenmeyer dkk., 2012; Hendriatiningsih dkk., 2019; Keawaram & Dumrongchai, 2017; Tang dkk., 2010). Hasil pemindaian menggunakan teknologi TLS ini berupa *point clouds* yang memerlukan proses

registrasi dan modeling untuk menghasilkan model 3D. Proses registrasi yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan algoritma *Iterative Closest Point* (ICP) (Features, 2017; J. Besl & Mckay, 1992; Li dkk., 2020; Murtiyoso & Grussenmeyer, 2018; Vassilaki dkk., 2012). Namun, algoritma ICP ini memerlukan nilai pendekatan awal yang tidak boleh terlalu jauh karena dapat menyebabkan iterasi berhenti dan nilai kesalahan minimumnya berada pada ekstrim lokal sehingga posisi antar dua data *point clouds* berbeda. (Features, 2017; Li dkk., 2020). Hal ini dipengaruhi oleh presentase *overlap*,

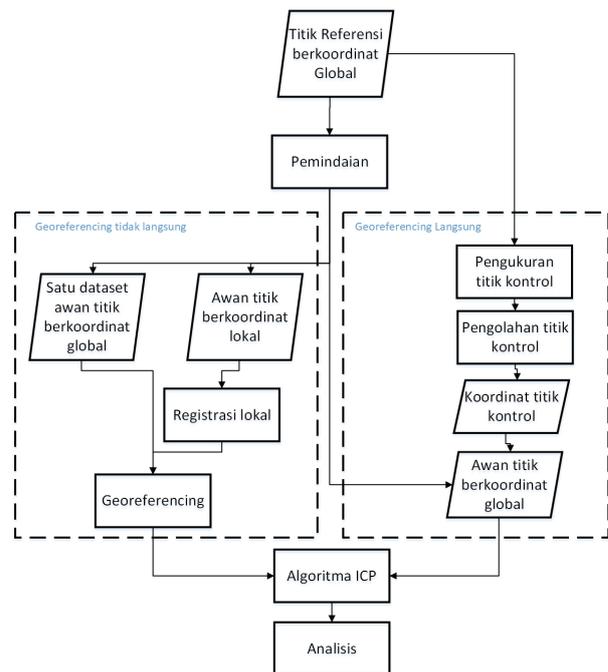
jarak, dan sudut orientasi antara dua data *point clouds* (Li dkk., 2020). Untuk mengatasi hal tersebut, maka sebelum menggunakan algoritma ICP, perlu dilakukan registrasi awal untuk mendekatkan dua data *point clouds*. Setelah itu baru dilakukan georeferensi secara global atau dapat dilakukan secara bersamaan pada saat proses registrasi dengan menggunakan satu data pemindaian sebagai acuan dari koordinat global. Metode ini disebut sebagai metode georeferensi secara tidak langsung, artinya menggunakan transformasi antara sistem koordinat alat TLS dan tanah untuk memperoleh koordinat global untuk seluruh *point clouds* yang telah direkam (Reshetyuk, 2009). Metode ini memudahkan pada saat melakukan pemindaian di lapangan karena tidak semua titik berdiri alat perlu diketahui koordinat tanah/globalnya. Akan tetapi saat proses pengolahan, memerlukan proses yang cukup panjang karena memerlukan titik sekutu berupa *natural points* atau target yang dipasang saat proses pemindaian. Pada metode georeferensi langsung, memerlukan koordinat global di setiap titik berdiri alat TLS agar data *point clouds* yang dihasilkan langsung terikat kepada sistem koordinat global sehingga memudahkan pada saat melakukan proses registrasi (Scaioni & Polo, 2004). Oleh karena itu, perbandingan kedua metode ini perlu dilakukan untuk melihat ketelitian registrasi yang dihasilkan.

Pemindaian dilakukan dengan menggunakan alat Terrestrial Laser Scanner (TLS). Prinsip kerja TLS pada dasarnya serupa dengan alat *reflectorless total stations*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah melihat seberapa presisi metode georeferensi langsung dibandingkan dengan metode georeferensi tidak langsung pada hasil registrasi dua data *point clouds*.

2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan adalah pemindaian bangunan di Gedung PAU ITB Alat yang digunakan adalah TLS Topcon GLS-2000 dengan pengukuran jarak menggunakan metode Pulse/TOF, akurasi jarak 3,5 mm dan kerapatan titik sebesar 12 mm.

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Metodologi penelitian.

Pada pemindaian, data yang diambil oleh alat TLS adalah jarak, sudut vertikal dan sudut horizontal (Reshetyuk, 2009). Pengukuran jarak dilakukan dengan mengukur waktu tempuh saat laser dipancarkan oleh *transmitter* dan ditangkap kembali oleh *receiver* sehingga waktu tempuh diolah untuk memperoleh jarak dari alat ke objek (Van Genechten dkk., 2008). Hasil pemindaian berupa berjuta-juta *point clouds*. Tiap titik akan terdefinisi pada sistem koordinat yang ada pada alat. Parameter yang diperoleh adalah jarak (r), sudut horizontal (θ), dan sudut vertikal (φ). Persamaan yang digunakan untuk menghitung koordinat kartesian dari parameter yang sudah diperoleh adalah sebagai berikut (Van Genechten, 2008):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \varphi \cos \theta \\ r \cos \varphi \sin \theta \\ r \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (\text{Pers. 1})$$

dimana:

X, Y, Z : koordinat *point clouds* pada alat
 r, φ, θ : data pengukuran secara berurutan berupa jarak, sudut horisontal, dan sudut vertikal

Selain koordinat *point clouds*, TLS juga menyimpan data berupa warna (RGB) dari tiap titik yang diperoleh dari foto yang diambil oleh kamera pada alat saat proses pemindaian berlangsung (Soudarissanane, 2016).

Pada prinsipnya, teknik pemindaian ini bisa dilakukan dengan cara georeferensi langsung dan tidak langsung. Teknik pemindaian georeferensi langsung dapat menghasilkan hasil pemindaian berupa data *point clouds* berkoordinat global sedangkan georeferensi tidak langsung menghasilkan data *point clouds* berkoordinat lokal. Untuk metode georeferensi tidak langsung, tetap diperlukan minimal satu data *point clouds* berkoordinat global untuk dapat digunakan sebagai referensi registrasi global yaitu mengubah data *point clouds* berkoordinat lokal menjadi berkoordinat global sehingga untuk metode georeferensi tidak langsung, tidak memerlukan seluruh titik berdiri alat memiliki koordinat global, sedangkan untuk metode georeferensi langsung, maka seluruh titik berdiri alat memerlukan data berupa koordinat global, yang disebut titik kontrol pada penelitian ini. Agar hasil pemindaian berupa *point clouds* berkoordinat global, maka memerlukan pengukuran *backsight*, yaitu alat TLS berdiri di titik referensi yang telah diketahui koordinatnya dan membidik titik lainnya yang sudah diketahui koordinat globalnya untuk mengetahui orientasi dan pemindaian.

Metode Georeferensi Langsung

Metode georeferensi langsung merupakan metode untuk menghasilkan data *point clouds* hasil pemindaian langsung menjadi data *point clouds* berkoordinat global menggunakan ilustrasi pada **Gambar 2** dan persamaan (2).

Berikut ini adalah persamaan transformasi pada alat TLS untuk menghasilkan data *point clouds* berkoordinat global sesuai ilustrasi pada Gambar 2. (Reshetyuk, 2009).

$$X_e = X_{\text{scanner}} + R_{ie}(\kappa)X_i \quad (\text{Pers. 2})$$

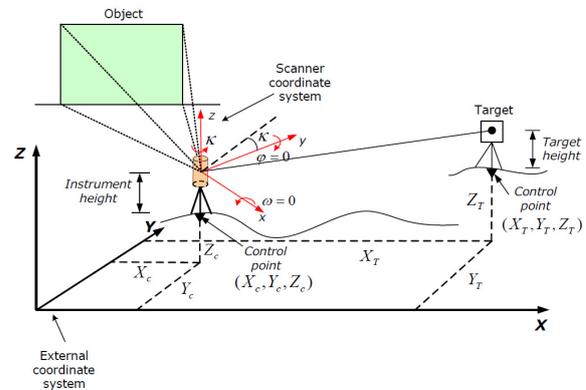
dimana:

X_e : vektor koordinat tanah pada koordinat tanah/global

X_{scanner} : koordinat alat pada koordinat tanah/global

$R_{ie}(\kappa)$: matriks rotasi pada sumbu κ

X_i : vektor koordinat *point clouds* pada alat



Gambar 2. Ilustrasi pengukuran TLS metode georeferensi langsung (Reshetyuk, 2009).

Data pemindaian ini diolah menggunakan perangkat lunak *magnet collage* untuk menghasilkan data *point clouds* berformat *.e57*. Perangkat lunak ini dapat dimodifikasi untuk menghasilkan data *point clouds* berkoordinat lokal maupun global, sehingga data *point clouds* pemindaian pada metode georeferensi langsung dan tidak langsung adalah hasil pemindaian yang sama.

Untuk memperoleh koordinat titik-titik berdiri alat atau yang disebut sebagai titik kontrol pada penelitian ini, maka perlu dilakukan pengukuran titik kontrol sebagai berikut:

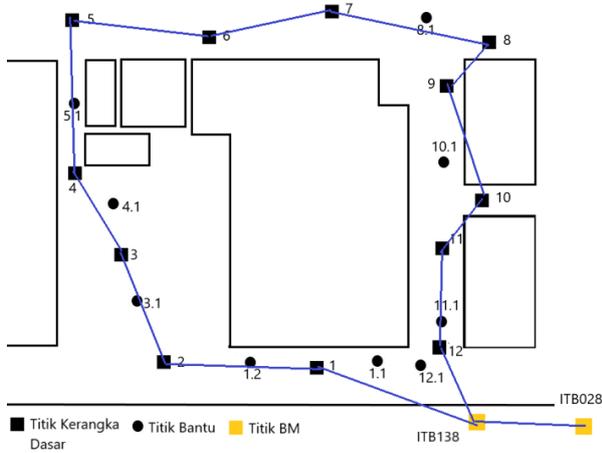
a. Titik Referensi

Titik referensi atau yang juga disebut Titik BM pada penelitian ini berjumlah ada dua buah. Sistem Koordinat yang digunakan adalah sistem koordinat proyeksi Universal Transverse Mercator (UTM) dan tinggi orthometrik yang mengacu kepada Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) 2013.

b. Pengukuran Titik Kontrol

Pengukuran titik kontrol menggunakan metode poligon dan sipat datar memanjang. Terdapat 12 titik kontrol yang disebar merata. Selain itu terdapat penambahan titik bantu yang berjumlah 9 titik. Penambahan titik bantu dilakukan agar hasil pemindaian menggunakan alat TLS memenuhi minimum pertampalan

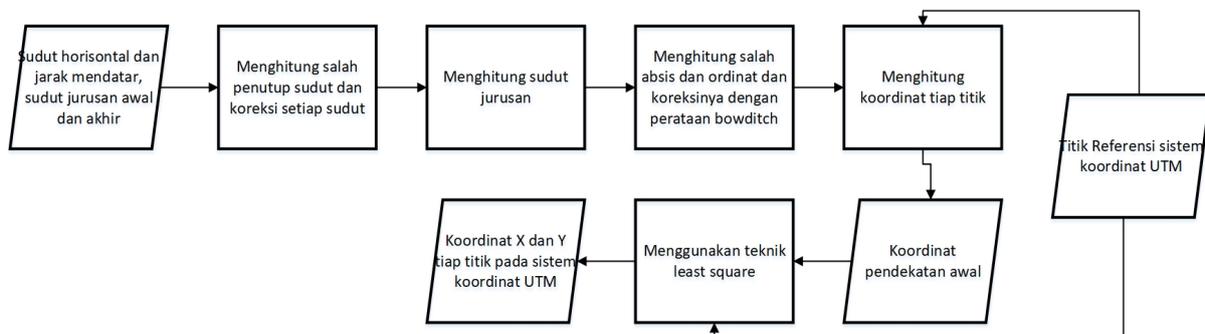
sebesar 20%. Pengukuran titik bantu menggunakan metode pengukuran ikatan kemuka. **Gambar 3** memperlihatkan distribusi persebaran titik kontrol dan titik bantu serta titik referensi.



Gambar 3. Sebaran titik referensi, titik kontrol dan titik bantu.

c. Pengolahan Titik Kontrol

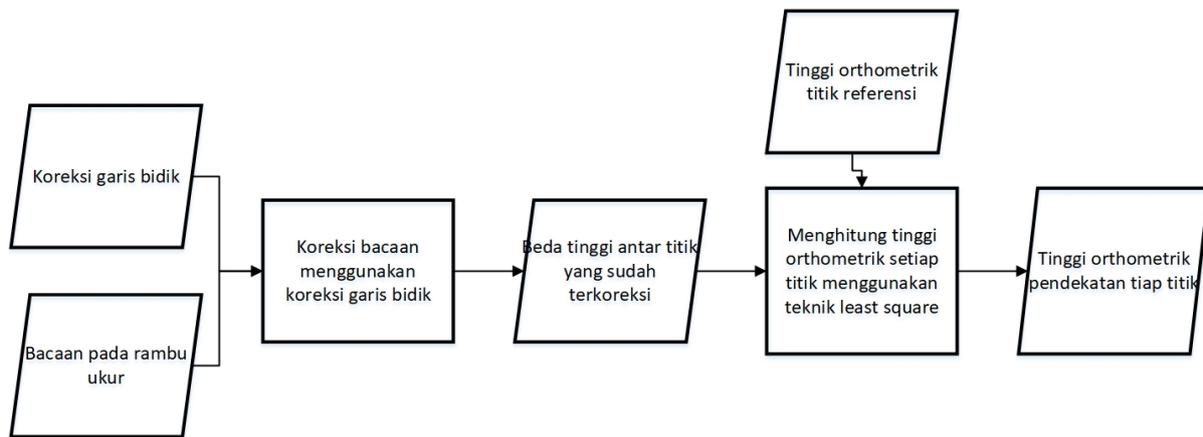
Pengolahan titik kontrol terbagi menjadi dua bagian, yaitu menghitung koordinat horisontal dan vertikal. Langkah perhitungan koordinat horisontal dan vertikal dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4. Langkah perhitungan koordinat horisontal.

Gambar 4 menunjukkan pengolahan data sudut dan jarak horisontal dengan menghitung salah penutup sudut, salah penutup absis dan ordinat untuk menghitung koordinat awal pendekatan yang akan digunakan untuk memperoleh koordinat horisontal yang akan dimasukkan ke dalam alat TLS saat pemindaian untuk metode georeferensi langsung. Koordinat awal pendekatan diperlukan karena persamaan penentuan posisi koordinat horisontal berupa persamaan tidak linier (Ghilani & Wolf, 2015). Selain itu, hasil ukuran yang dimasukkan ke pengolahan ini sudah dikoreksi menggunakan kesalahan kolimasi sudut.

Gambar 5 menjelaskan pengolahan data beda tinggi dengan teknik *least square* untuk memperoleh koordinat vertikal yaitu tinggi orthometrik yang juga akan digunakan untuk penggunaan metode *point clouds* georeferensi langsung.



Gambar 5. Langkah perhitungan koordinat vertikal.

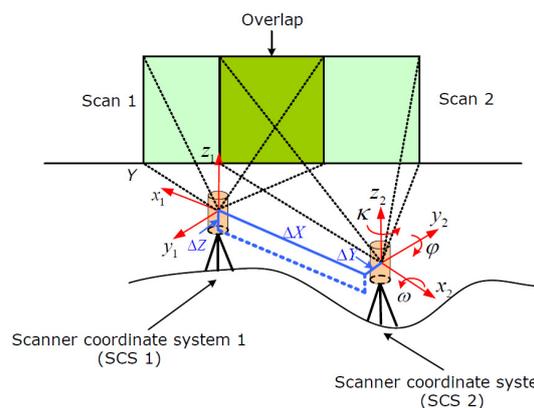
Metode Georeferensi Tidak Langsung

Metode georeferensi tidak langsung ini menggunakan dua titik referensi untuk menghasilkan satu dataset *point clouds* berkoordinat global yang akan digunakan pada proses georeferensi data *point clouds* lainnya dengan menggunakan ilustrasi pada **Gambar 2** dan persamaan (2) sedangkan data *point clouds* lainnya memiliki koordinat lokal. Oleh karena itu, untuk menyatukan antara data *point clouds* hasil seluruh pemindaian perlu dilakukan registrasi dan georeferensi menggunakan satu dataset *point clouds* yang sudah berkoordinat global.

Registrasi merupakan proses transformasi koordinat 3D yaitu untuk menentukan tujuh parameter transformasi berupa parameter translasi terhadap tiga sumbu koordinat (ΔX , ΔY , ΔZ) dan parameter rotasi terhadap tiga sumbu koordinat (ω , ϕ , κ) serta satu faktor skala (S) (Paul R. Wolf et al., 2014). Diperlukan setidaknya tiga titik sekutu antara dua data *point clouds* yang berbeda. Oleh karena itu diperlukan area yang bertampalan untuk melakukan registrasi (Abbas dkk., 2014).

Pada registrasi, dilakukan antara dua dataset *point clouds* agar seluruh data *point clouds* menjadi satu sistem koordinat baik lokal maupun global. Registrasi lokal merupakan registrasi data *point clouds* yang menghasilkan data *point clouds* hasil registrasi yang berkoordinat lokal karena data awan hasil pemindaian berkoordinat lokal sedangkan hasil registrasi *point clouds* berkoordinat global, maka dataset *point clouds* yang sudah memiliki

koordinat global dijadikan referensi untuk proses transformasi dataset *point clouds* yang lain. Pemilihan titik sekutu adalah menggunakan titik target yang telah terpasang di objek pemindaian maupun titik natural objek antar dua dataset *point clouds* yang bertampalan. Ilustrasi prinsip registrasi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Registrasi dua dataset *point clouds* (Reshetyuk, 2009).

Algoritma ICP membangun matriks transformasi dengan mencari korespondensi *point-to-point* antara dua dataset *point clouds* dan menyelaraskan dua dataset *point clouds* secara akurat melalui iterasi (Li dkk., 2020). Data *point clouds* dari hasil registrasi global metode georeferensi langsung dan tidak langsung masih memiliki jarak antara dua dataset *point clouds* oleh karena itu, algoritma ini dipakai agar seluruh dataset *point clouds* hasil pemindaian memiliki jarak minimum. Algoritma ICP ini dipakai ketika dataset *point clouds* ini sudah berdekatan tetapi belum maksimal.

Konsep dari algoritma ICP ini adalah sebagai berikut (Li dkk., 2019)

1. Mengambil kumpulan titik $p_i \in P$ di dataset *point clouds* P sebagai referensi
2. Mencari kumpulan titik p_i di dataset *point clouds* Q yang merupakan korespondensi titik-titik.
3. Menghasilkan matriks transformasi dengan menggunakan titik-titik korespondensi dan mengubah dataset *point clouds* Q menjadi kumpulan data baru dengan matriks transformasi.
4. Menentukan apakah nilai $dRMS(P^*, Q^*)$ lebih kecil dari ambang batas (jarak antar titik-titik tetangga terdekatnya); jika lebih besar, kembali ke langkah 2; dan akan terus beriterasi sampai kondisi konvergen nya memenuhi yaitu dimana nilai $dRMS(P^*, Q^*)$ iterasi sebelumnya dan iterasi sesudahnya sudah mendekati nol.

Algoritma ICP ini dipakai untuk melakukan keselarasan seluruh data *point clouds* baik data *point clouds* hasil metode georeferensi langsung dan tidak langsung.

Untuk mengetahui kualitas registrasi antara dua metode berbeda, dilakukan perhitungan terhadap *Root Mean Square* (RMS) dari registrasi. RMS registrasi merupakan akar dari nilai jarak antara data *point clouds* sampel yang berkorespondensi dengan data *point clouds* referensi. RMS semakin mendekati nol maka dataset *point clouds* semakin berhimpit dengan data *point clouds* referensi. Perhitungan RMS dari hasil registrasi dataset *point clouds* menggunakan Persamaan (3).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum d_i^2} \quad \text{Pers. (3)}$$

dimana:

RMS : kualitas registrasi

n : jumlah titik sampel

d_i : jarak antara *point clouds* sampel korespondensi dengan *point clouds* referensi

3. HASIL

Penempatan titik kontrol di sekeliling Gedung PAU terlihat pada **Gambar 7** berikut. Dengan menggunakan *Electronic Total Station* (ETS) diukur sebanyak 12 titik kerangka dasar dan 9 titik bantu yang bereferensi terhadap 2 BM sebagai titik ikat. Berdasarkan SNI Jaring Kontrol Horizontal Nomor 19-6724-2022, batas toleransi salah penutup sudut kerangka dasar horizontal dengan orde empat adalah $10\sqrt{n}$ detik, dengan “n” merupakan jumlah titik kerangka yang ada pada poligon. Nilai salah penutup sudut yang didapat berada di bawah batas toleransi, yaitu -16 detik. Nilai salah penutup linier jarak adalah 0,093 meter atau setara dengan 1/3500 untuk presisi relatifnya. Hasil pengukuran dan pengolahan titik kontrol berupa koordinat horisontal dan vertikal yang akan digunakan untuk pengolahan data *point clouds* dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 7. Penempatan titik kontrol di Gedung PAU, ITB.

Berikut adalah hasil pemindaian Gedung PAU yang berada di sebelah Barat Gedung Perpustakaan menggunakan TLS setelah melalui proses filtering yang dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Data point clouds Gedung PAU (kanan).

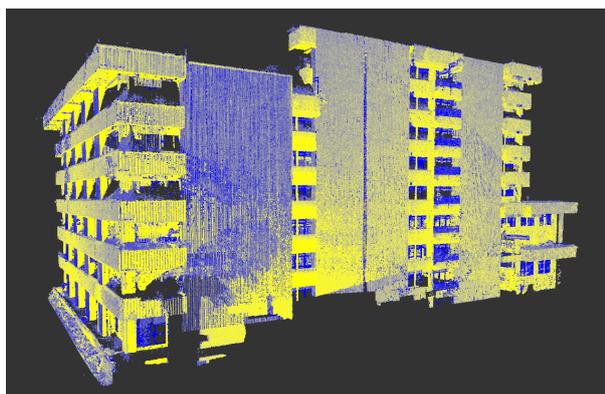
Tabel 1. Koordinat horisontal dan vertikal titik kontrol.

Titik	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	<i>Linear Error</i> <i>CI 95%</i> (m)	<i>Ketinggian</i> (m)	Keterangan
BM 1	788495,957	9237760,257	0	774,985	Titik ikat
BM 2	788479,631	9237761,325	0	774,267	Titik ikat
1	788449,084	9237769,185	0,0217	774,406	Titik kerangka dasar
2	788418,568	9237769,601	0,0470	774,470	Titik kerangka dasar
3	788415,242	9237796,967	0,0588	775,822	Titik kerangka dasar
4	788407,944	9237817,605	0,0767	776,033	Titik kerangka dasar
5	788407,786	9237860,303	0,1085	775,489	Titik kerangka dasar
6	788429,815	9237858,163	0,0995	775,498	Titik kerangka dasar
7	788447,290	9237862,868	0,0990	775,661	Titik kerangka dasar
8	788482,919	9237855,343	0,0911	775,888	Titik kerangka dasar
9	788475,611	9237831,937	0,0729	775,768	Titik kerangka dasar
10	788482,310	9237812,226	0,0564	775,819	Titik kerangka dasar
11	788474,829	9237794,034	0,0394	775,796	Titik kerangka dasar
12	788474,747	9237775,724	0,0199	775,806	Titik kerangka dasar
1.1	788455,961	9237772,504	0,0053	774,417	Titik bantu
1.2	788437,401	9237772,110	0,0397	774,420	Titik bantu
3.1	788416,335	9237785,692	0,0023	775,661	Titik bantu
4.1	788409,632	9237807,119	0,0158	775,902	Titik bantu
5.1	788407,727	9237838,092	0,0634	775,337	Titik bantu
8.1	788467,19	9237858,876	0,0163	775,868	Titik bantu
10.1	788474,335	9237820,610	0,0014	775,806	Titik bantu
11.1	788474,267	9237781,640	0,0127	775,805	Titik bantu
12.1	788469,225	9237771,971	0,0064	774,389	Titik bantu

Dari perhitungan teknik *least square* diperoleh standar deviasi titik kerangka dasar 0,066 m dan standar deviasi titik bantu 0,018 m untuk perhitungan koordinat horisontal, serta 0,003 m untuk perhitungan koordinat vertikal. Hasil yang diperoleh tidak begitu baik dibandingkan dengan kerapatan yang diatur pada alat yaitu 0,012 m. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketelitian pengukuran yang berada pada orde-4.

Oleh karena itu agar *point clouds* hasil pemindaian satu dengan yang lainnya dapat selaras, maka diperlukan algoritma ICP.

Proses registrasi *point clouds* menggunakan perangkat lunak *Maptek I-Site Studio*. Visualisasi data *point clouds* hasil registrasi dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Visualisasi data *point clouds* hasil registrasi (bagian sebelah barat Gedung PAU).

Rekapitulasi nilai RMS, jumlah titik sampel, dan jumlah titik korespondensi hasil registrasi *point clouds* untuk metode georeferensi langsung dan tidak langsung secara global dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil registrasi metode georeferensi langsung.

No.	Titik Pindai	Jumlah pasangan titik yang bersesuaian	Jumlah titik sampel	Persentase Pertampalan (%)	Nilai RMS separasi registrasi (m)
1	1	120	100	120,0	0,006
2	1_1	99	100	99,0	0,006
3	1_2	110	100	110,0	0,006
4	2	121	100	121,0	0,006
5	3	188	100	188,0	0,005
6	3_1	180	100	180,0	0,005
7	4	230	100	230,0	0,005
8	4_1	244	100	244,0	0,005
9	5	13	100	13,0*	0,006
10	5_1	157	100	157,0	0,005
11	6	16	100	16,0*	0,006
12	7	53	100	53,0	0,006
13	8	75	100	75,0	0,006
14	8_1	80	100	80,0	0,006
15	9	83	100	83,0	0,005
16	10	127	100	127,0	0,006
17	10_1	97	100	97,0	0,006
18	11	80	100	80,0	0,006
19	11_1	35	100	35,0	0,006
20	12_1	77	100	77,0	0,005
21	138	47	100	47,0	0,006
Nilai RMS rata-rata (m)					0,00567

Tabel 3. Hasil registrasi metode georeferensi tidak langsung.

No.	Titik Pindai	Jumlah pasangan titik yang bersesuaian	Jumlah titik sampel	Persentase Pertampalan (%)	Nilai RMS separasi registrasi (m)
1	1	99	100	99,0	0,006
2	1_1	68	100	68,0	0,006
3	1_2	139	100	139,0	0,006
4	2	116	100	116,0	0,006
5	3	102	100	102,0	0,006
6	3_1	74	100	74,0	0,006
7	4	21	100	21,0	0,006
8	4_1	121	100	121,0	0,006
9	5	82	100	82,0	0,006
10	5_1	16	100	16,0*	0,006
11	6	29	100	29,0	0,005
12	7	15	100	15,0*	0,005
13	8	90	100	90,0	0,006
14	8_1	43	100	43,0	0,005
15	9	100	100	100,0	0,005
16	10	83	100	83,0	0,005
17	10_1	112	100	112,0	0,005
18	11	58	100	58,0	0,006
19	11_1	121	100	121,0	0,005
20	12_1	21	100	21,0	0,006
21	138	69	100	69,0	0,006
Nilai RMS rata-rata (m)					0,00567

4. PEMBAHASAN

Rata-rata RMS hasil registrasi untuk metode georeferensi langsung dan tidak langsung adalah 0,006 m. Tidak terdapat perbedaan RMS antara metode georeferensi langsung dan tidak langsung. Hal ini menunjukkan bahwa metode georeferensi langsung dan tidak langsung tidak mempengaruhi kualitas hasil registrasi baik secara presisi maupun akurasi. Data *point clouds* yang ditransformasi dengan metode registrasi lokal dengan menggunakan titik sekutu natural dan target khusus maupun data *point clouds* yang sudah berkoordinat global, tidak mempengaruhi kualitas registrasi global.

Proses registrasi menggunakan algoritma ICP, memiliki syarat pertampalan data *point clouds* sebesar 20%. Untuk proses registrasi menggunakan algoritma ICP, terdapat dua

dataset *point clouds* pada Tabel 2 (titik pindai 5 dan 6) dan Tabel 3 (titik pindai 5_1 dan 7) yang bermasalah saat proses tersebut, karena titik-titik yang berkorespondensi tidak memenuhi 20% dari jumlah titik sampel yang diambil. Oleh karena itu, dua dataset *point clouds* tersebut hanya bisa dilakukan registrasi secara manual dan tidak bisa diteruskan menggunakan algoritma ICP sehingga RMS registrasi untuk dua dataset *point clouds* ini berbeda. Hal ini sangat bergantung kepada titik sekutu yang dipilih secara manual pada saat proses *manual registration* sehingga akan berpengaruh kepada ketelitian model 3D yang akan dibangun nantinya. Pada proses registrasi metode georeferensi langsung, langkah akhir menggunakan algoritma ICP juga tidak bisa dilakukan pada kedua titik tersebut, tetapi tidak perlu dilakukan proses registrasi secara manual karena data *point clouds* sudah memiliki

koordinat global sehingga kesalahan pada saat pemilihan titik sekutu tidak akan terjadi.

Kelebihan dari metode georeferensi langsung adalah proses pengolahan data *point clouds* lebih cepat dilakukan karena tidak perlu menggunakan teknik registrasi manual ataupun lokal, dan dapat langsung menggunakan algoritma ICP, sedangkan kekurangannya adalah proses pengukuran di lapangan lebih rumit karena harus mengukur titik-titik kontrol terlebih dahulu. Proses georeferensi metode tidak langsung memiliki kelebihan pada saat pengukuran di lapangan, yaitu titik berdiri alat tidak harus memiliki koordinat global/terikat ke tanah, hanya diperlukan minimal dua titik referensi untuk memperoleh data *point clouds* berkoordinat global yang akan digunakan untuk proses georeferensi data *point clouds*. Kelemahan dari metode georeferensi tidak langsung adalah pada saat melakukan proses registrasi. Pemilihan titik sekutu menjadi sangat penting pada saat registrasi untuk metode georeferensi tidak langsung karena hal ini dilakukan secara manual.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah kualitas registrasi data *point clouds* tidak berpengaruh pada pengukuran metode georeferensi langsung dan tidak langsung dikarenakan memiliki ketelitian yang sama. Dalam pelaksanaannya, proses registrasi global lebih cepat dilakukan menggunakan metode georeferensi langsung, sedangkan proses pengukuran/akuisisi data di lapangan lebih cepat dilakukan menggunakan metode georeferensi tidak langsung. Pengaruh besarnya presentase pertampalan antara dua titik *point clouds* terhadap ketelitian hasil registrasi dengan metode *cloud to cloud* perlu diteliti lebih lanjut. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menganalisis kualitas model 3-dimensi untuk membandingkan hasil *point clouds* metode georeferensi langsung dan tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, M. A., Luh, L. C., Setan, H., Majid, Z., Chong, A. K., Aspuri, A., Idris, K. M., Farid, M., & Ariff, M. (2014).

Terrestrial Laser Scanners Pre-Processing: Registration and Georeferencing. *Jurnal Teknologi*, 71(4), 115–122.

<https://doi.org/10.11113/jt.v71.3833>

Barus, N. R., Prasetyo, Y., & Hani'ah. (2017). Analisis Akurasi Pemodelan 3D Menggunakan Metode Close Range Photogrammetry (Crp), Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Dan Terrestrial Laser Scanner (Tls). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 169–179.

Features, G. (2017). *An Iterative Closest Points Algorithm for Registration of 3D Laser Scanner Point clouds with*. <https://doi.org/10.3390/s17081862>

Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2015). Elementary Surveying An Introduction to Geomatics. In *Pearson* (14th ed.). Pearson Education, Inc.

Grussenmeyer, P., Alby, E., Landes, T., Koehl, M., Guillemin, S., Hullo, J. F., Assali, P., & Smigiell, E. (2012). Recording Approach of Heritage Sites Based on Merging *Point clouds* From High Resolution Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B5*, 553–558.

<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxix-b5-553-2012>

Hendriatiningsih, S., Hernandi, A., Saptari, A. Y., Widyastuti, R., & Saragih, D. (2019). Building Information Modeling (BIM) Utilization for 3D Fiscal Cadastre. *Indonesian Journal of Geography*, 51(3), 285–294.

<https://jurnal.ugm.ac.id/ijg/article/view/41783/pdf>

J. Besl, P., & McKay, N. D. (1992). A Method for Registration of 3-D Shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2), 239–256. <https://doi.org/10.1109/34.121791>

Keawaram, B., & Dumrongchai, P. (2017). Comparisons of Surveying with Terrestrial Laser Scanner and Total Station for Volume Determination of Overburden and Coal Excavations in

- Large Open-Pit Mine. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 11(12), 1031–1039. <https://waset.org/publications/10008270/comparisons-of-surveying-with-terrestrial-laser-scanner-and-total-station-for-volume-determination-of-overburden-and-coal-excavations-in-large-open-pit-mine>
- Li, P., Wang, R., Wang, Y., & Gao, G. (2019). *Fast Method of Registration for 3D RGB Point Cloud with Improved Four Initial Point Pairs Algorithm*. 1, 1–25. <https://doi.org/10.3390/s20010138>
- Li, P., Wang, R., Wang, Y., & Tao, W. (2020). Evaluation of the ICP Algorithm in 3D Point Cloud Registration. *IEEE Access*, 8, 68030–68048. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986470>
- Murtiyoso, A., & Grussenmeyer, P. (2018). Comparison and assessment of 3d registration and georeferencing approaches of *point clouds* in the case of exterior and interior heritage building recording. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 745–751. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-745-2018>
- Paul R. Wolf, P. D., Bon A. Dewitt, P. D., & Benjamin E. Wilkinson, P. D. (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Fourth Edition*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071761123>
- Prasetyo, Y. (2018). Analisis Tingkat Akurasi Model Tiga Dimensi Gedung Prof . H . Soedarto Sh . Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner (Tls) Berbasis Metode Traverse. *Jurnal Teknik*, 39(2), 94–98. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39n2.17883>
- Reshetyuk, Y. (2009). *Terrestrial laser scanning : Error sources, self-calibration and direct georeferencing*.
- Scaioni, M., & Polo, M. (2004). *Direct Georeferencing of TLS in Surveying of Complex Sites*.
- Son Simbolon, A. B., Yuwono, B., & Amarrohman, F. (2017). Analisis Perbandingan Ketelitian Metode Registrasi Antara Metode Kombinasi Dan Metode Traverse Dengan Menggunakan Terrestrial Laser Scanner Dalam Pemodelan Objek 3 Dimensi. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 285–294.
- Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned *point clouds*: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19(7), 829–843. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>
- Van Genechten, B. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications* [Book]. Valencia, Spain.
- Vassilaki, D. I., Ioannidis, C. C., & Stamos, A. A. (2012). Automatic ICP-Based Global Matching of Free-Form Linear Features. *Photogrammetric Record*, 27(139), 311–329. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2012.00692.x>