

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311770304>

# Studi Pemodelan 3D Menggunakan Terrestrial Laser Scanner Berdasarkan Proses Registrasi Target to Target (Studi Kasus: Candi Brahu, Mojokerto)

Article · January 2016

CITATION

1

READS

639

2 authors, including:



[Hepi H. Handayani](#)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

28 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Land Surface Temperature & Vegetation Index Algorithm [View project](#)



Higher Education Ministry of Indonesia [View project](#)

# STUDI PEMODELAN 3D MENGGUNAKAN TERRESTRIAL LASER SCANNER BERDASARKAN PROSES REGISTRASI *TARGET TO TARGET* (Studi Kasus: Candi Brahu, Mojokerto)

Aldino Zakaria dan Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc

Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* hapsari@geodesy.its.ac.id

**Abstrak**—Candi Brahu merupakan salah satu peninggalan sejarah milik Indonesia yang berada pada Situs Trowulan, Mojokerto. Pada awalnya candi ini digunakan sebagai tempat pembakaran pembakaran jenaza, tetapi sekarang Candi Brahu telah dilestarikan dan dijadikan sebagai tempat wisata. Bangunan dengan nilai budaya dan sejarah seperti candi ini membutuhkan perlindungan serta pemeliharaan, di mana salah satu caranya adalah dengan melakukan dokumentasi dalam bentuk 3D. Pemodelan 3D menggunakan Terrestrial Laser Scanner dalam penelitian ini dilakukan dengan dua metode registrasi, yaitu *cloud to cloud* dan *target to target*. Model yang didapat dari kedua metode ini merupakan *point clouds*. Nilai deviasi dari kedua metode ini kemudian dibandingkan. Hasil perbandingan registrasi dari deviasi pemindaian pada Candi Brahu adalah *cloud to cloud* sebesar 0.0083m, dan *target to target* adalah sebesar 0.0014m. Perbandingan tersebut diperlukan untuk mendukung kegiatan pemodelan selanjutnya dalam pemilihan metode registrasi yang paling efektif.

**Kata Kunci**— Candi Brahu, Terrestrial Laser Scanner, Cloud to Cloud, Target to Target

## I. PENDAHULUAN

Cagar budaya sebagai tempat terjadinya peristiwa penting atau bersejarah dapat dipergunakan sebagai media penghubung dengan masa lalu dapat dijadikan sarana pembelajaran serta membuka kesadaran pentingnya menghayati proses nilai historis yang tersirat didalamnya. Candi Brahu merupakan salah satu cagar budaya yang berada pada Situs Trowulan.

Situs Trowulan adalah kawasan kepurbakalaan dari periode klasik sejarah Indonesia yang terdiri dari candi, makam, dan kolam. Berbagai temuan-temuan yang diangkat di sini menunjukkan ciri-ciri pemukiman yang cukup maju. Berdasarkan kronik, prasasti, simbol, dan catatan yang ditemukan di sekitar kawasan tersebut, diduga kuat situs ini berhubungan dengan Kerajaan Majapahit. Candi Brahu sendiri

terletak pada Dukuh Jambu Mente, Desa Bejijong, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur, atau sekitar dua kilometer ke arah utara dari jalan raya Mojokerto—Jombang.

Candi Brahu dibangun dengan gaya dan kultur Budha. Diperkirakan, candi ini didirikan pada abad ke-15 Masehi meskipun masih terdapat perbedaan pendapat mengenai hal ini. Ada yang mengatakan bahwa candi ini berusia jauh lebih tua daripada candi-candi lain di sekitar Trowulan. Situs bersejarah seperti ini harus selalu dirawat dan dijaga agar tetap menjadi warisan negara yang dapat dilihat oleh generasi penerus.

Sebuah riset studi internasional 3D Laser Scanning untuk bangunan cagar budaya dilakukan oleh Barber dan Mills [4] dengan objek riset yang dimodelkan adalah objek arkeologi industri di Lion Salt Works, Inggris. Objek ini merupakan bekas kompleks pabrik pembuatan garam yang dijadikan museum dan sudah dibangun sejak abad ke-19. Riset dalam penggunaan Terrestrial Laser Scanner untuk bangunan cagar budaya juga dilakukan oleh Riawan (2013) dengan memodelkan Monumen Bandung Lautan Api secara 3D.

Dapat disimpulkan bahwa salah satu bentuk pelestarian, perawatan, dan pengarsipan yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan 3D dari Candi Brahu maka, model tersebut bisa dijadikan sebagai acuan atau referensi untuk melakukan rekonstruksi Candi tersebut jika terjadi bencana alam atau peristiwa yang bisa merubah bentuk dari Candi tersebut. Pada tugas akhir kali ini pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan TLS (Terrestrial Laser Scanner).

Teknologi laser scanning adalah salah satu teknik terbaru untuk melakukan pekerjaan survei tiga dimensi. Kelebihan dari teknologi ini adalah hal tersebut dirancang untuk melakukan akuisisi 3 dimensi (3D). Model 3 dimensi ini memungkinkan untuk mengakses banyak data geometris dan visual yang diperlukan. Dengan demikian, penggunaan TLS telah meningkat pesat dan saat ini telah diterapkan di banyak bidang seperti mendokumentasikan warisan budaya, pengukuran deformasi, aplikasi perencanaan, kontrol kualitas, produksi



prototipe, analisis Tempat Kejadian Perkara (TKP) dan industri pembuatan film [2].

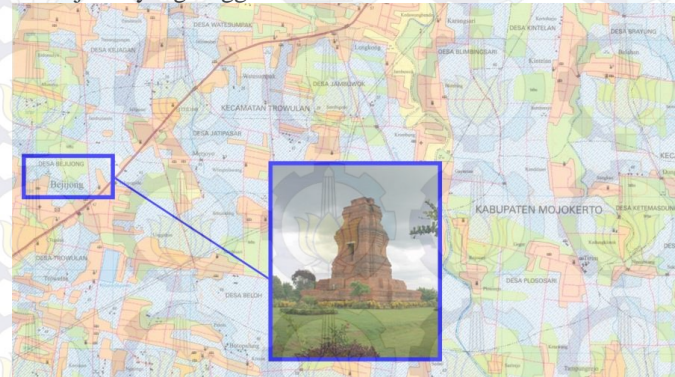
Pembuatan model sebuah objek menggunakan alat TLS terdiri dari beberapa tahapan yang terdiri dari tahap perencanaan, tahap pengambilan data, tahap registrasi data, dan tahap pemodelan 3 dimensi. Dari tahapan pemodelan tersebut, tahapan yang paling menentukan dari pemodelan tiga dimensi adalah tahapan registrasi data, karena tahapan registrasi data adalah tahapan penggabungan hasil data laser scanner dari beberapa berdiri alat.

Registrasi data menggunakan TLS tersebut terdiri dari beberapa metode. Jenis – jenis metode registrasi yang ada tersebut adalah metode target to target, cloud to cloud, dan traverse. Studi kali ini akan mengkaji jenis registrasi target to target dan cloud to cloud untuk mengetahui metode pengambilan dan perencanaan yang efektif.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Candi Brahu yang berlokasi pada koordinat  $07^{\circ} 32' 34,9''$  LS dan  $112^{\circ} 22' 23,2''$  BT. Candi ini dipilih sebagai objek pemodelan karena candi ini merupakan peninggalan bersejarah yang memiliki nilai budaya dan sejarah yang tinggi di daerah Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi penelitian, Candi Brahu

### B. Data dan Peralatan

#### 1) Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah Data 3D point clouds candi yang didapatkan dari pengukuran lapangan menggunakan terrestrial laser scanner, Data ukuran koordinat (X, Y, Z) GCP dan ICP pada candi, Data ukuran kerangka kontrol

#### 2) Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam tugas akhir ini antara lain terbagi dalam kelompok hardware (perangkat keras) dan software (perangkat lunak) yaitu sebagai berikut:

##### -Hardware

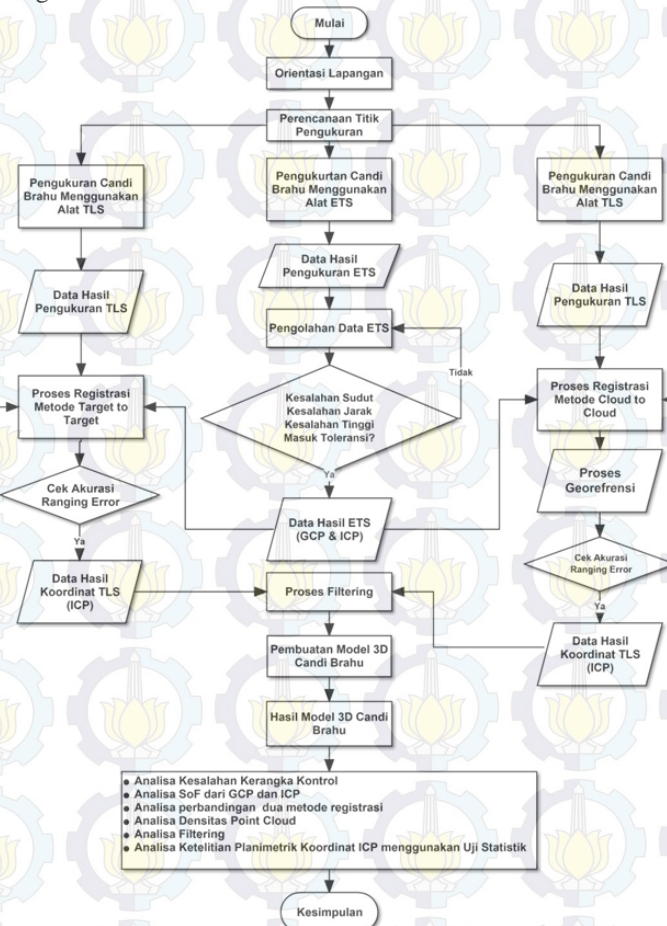
- Terrestrial Laser Scanner GeoMax Zoom 300
- Total station Topcon GTS-235 beserta kelengkapan dan aksesoris untuk pengukuran koordinat titik kontrol
- Laptop Asus N46V dengan spesifikasi processor intel i7 4770K, VGA NVIDIA GEFORCE 650M, RAM 4 GB sebagai alat pengolahan data

##### -Software

- Sistem operasi Windows 8 Professional
- X-PAD Office MPS sebagai software pengolahan data TLS
- Autodesk ReCap 2016 untuk penyajian data point clouds
- Microsoft Office 2010 untuk penyajian dan pembuatan laporan hasil penelitian

### 3) Diagram Alir Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram berikut:



Gambar 2. Diagram alir pengolahan data

Adapun penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat kerangka kontrol yang terdiri dari 5 buah titik kontrol. Kerangka ini digunakan dalam pengukuran GCP dan ICP pada objek. Perhitungan koordinat X, Y dilakukan menggunakan sistem koordinat UTM yang bersumber dari titik ikat BM Candi Brahu, sedangkan koordinat Z menggunakan koordinat lokal. Hasil pengukuran ini berupa koordinat GCP dan ICP objek yang digunakan dalam proses georeferencing dan analisa hasil.
2. Pengukuran menggunakan TLS dilakukan untuk mendapatkan data *point clouds*. *Scan* dilakukan sebanyak 4 kali dengan posisi yang berbeda.
3. Data *point clouds* yang didapat melalui TLS diolah menggunakan software X-PAD Office MPS. Proses registrasi, *filtering*, *resampling* dan *georeferencing*



dilakukan menggunakan software ini. Hasil akhir dari pengolahan data TLS adalah data point clouds dalam format .pts.

4. Registrasi adalah langkah pertama pengolahan yaitu transformasi semua *point clouds* dari sistem pemindai dalam koordinat lokal ke dalam sistem koordinat yang dituju. Registrasi dilakukan menggunakan dua metode yakni *cloud to cloud* dan *target to target*.
5. Setelah diperoleh data *point clouds* dari hasil registrasi *cloud to cloud* dan *target to target* dengan sistem koordinat yang sama, koordinat ICP dari kedua data akan di analisa.
6. Hasil dua model dari kedua metode registrasi akan dibandingkan, dan menghasilkan standard deviasi dari kedua model tersebut.

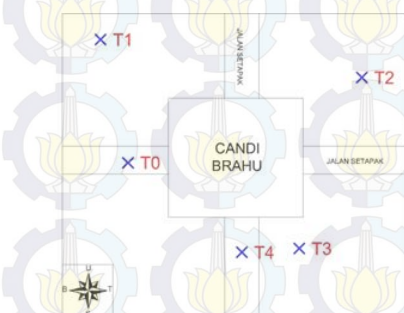
### III. METODE DAN HASIL

#### A. Perhitungan Poligon

Kerangka kontrol pada penelitian ini digunakan dalam pengukuran titik kontrol pada objek. Alat yang digunakan dalam pengukuran kerangka kontrol adalah *Total Station*. Data yang diambil dalam pengukuran adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring, berikut adalah hasilnya:

Tabel 1. Data Koordinat Kerangka Kontrol

Nama	X	Y	Z
T0	651647	9165982	32.000
T1	651639	9166017	31.994
T2	651714	9166006	31.691
T3	651696	9165957	32.024
T4	651679	9165956	32.098

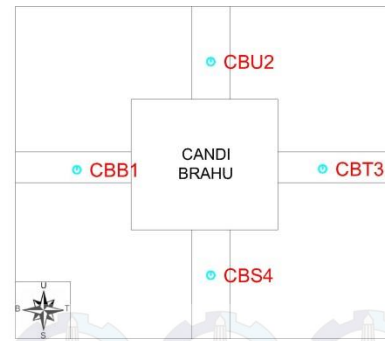


Gambar 3. Sketsa pengukuran poligon

Pengukuran kerangka kontrol berbentuk polygon tertutup yang mengelilingi area Candi Brahu.

#### B. Perencanaan Terrestrial Laser Scanning

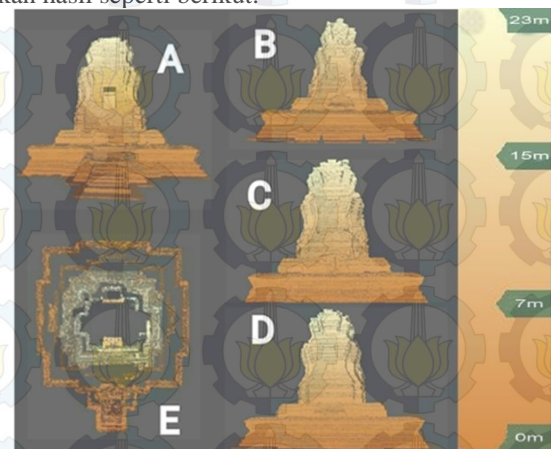
Dalam penelitian ini menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dimana dalam penentuan perencanaan penelitian membutuhkan sebuah rencana pengukuran. Sehingga *Terrestrial Laser Scanner* diletakkan pada titik-titik posisi dimana daerah penelitian berada. Berikut merupakan gambaran *site plan* posisi alat *Terrestrial Laser Scanner* berdiri. Pada gambar 8, *Terrestrial Laser Scanner* berdiri pada 4 titik.



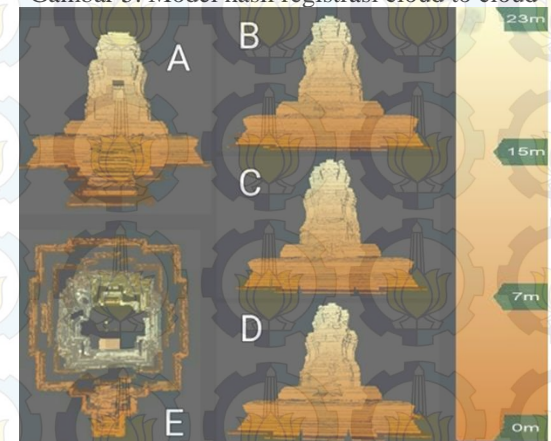
Gambar 4. Perencanaan Posisi Alat Terrestrial Laser Scanner

#### C. Registrasi

Registrasi dilakukan dengan dua metode, yakni *cloud to cloud* dan *target to target*. Dari kedua metode tersebut didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 5. Model hasil registrasi cloud to cloud



Gambar 6. Model hasil registrasi target to target

Pada gambar 5 dan 6 melihatkan semua sisi candi, A adalah sisi barat, B adalah sisi utara, C adalah sisi timur, D adalah sisi selatan, dan E adalah tampak atas.



#### IV. ANALISA DAN DISKUSI

##### A. Analisa Keangka Kontrol

Kerangka kontrol hasil pengukuran di analisa terhadap 3 kriteria, yaitu kesalahan linier, kesalahan penutup sudut, dan kesalahan penutup tinggi.

Tabel 2. Kesalahan Kerangka Kontrol

No.	Nama	Nilai
1	Kesalahan Linier	0.0003
2	Kesalahan Penutup Sudut	8"
3	Kesalah Penutup Tinggi	2 mm

Nilai 0.0003 di dapat dari persamaan kesalahan linier. Nilai ini lebih kecil dari standar minimal yaitu 1/2500 atau 0,0004, oleh karena itu nilai linear memasuki nilai ketelitian.

Nilai toleransi didapat dari persamaan kesalahan penutup sudut adalah 10 detik, di mana nilai ini lebih besar dari kesalahan penutup sudut milik kerangka kontrol, yaitu 8 detik. Dengan ini nilai kesalahan penutup sudut memasuki nilai ketelitian.

3.570 mm nilai maksimal dari kesalahan penutup tinggi. Kerangka kontrol memiliki nilai kesalahan penutup tinggi sebesar 2 mm sehingga kesalahan penutup tinggi memasuki nilai ketelitian.

##### B. Analisa Registrasi Berdasarkan Perencanaan dan Pengambilan Data

Dari segi pengambilan data, metode registrasi Cloud to Cloud adalah metode yang paling praktis. Selain sentring alat, metode registrasi Cloud to Cloud ini hanya memperhatikan pertampalan antara dua hasil pemindaian, dan tidak memerlukan target dilapangan.

Cukup berbeda dengan metode Cloud to Cloud, metode Target to Target memiliki tingkat kepraktisan lebih rendah dibanding dengan metode Cloud to Cloud. Metode Target to Target tersebut harus memiliki minimal dua titik target yang diketahui koordinatnya, pada setiap tempat pengambilan data TLS. Pemasangan target tersebut juga terkadang memakan waktu, melihat target cukup sulit direkatkan pada tekstur candi yang terbuat dari batu bata.

Dari segi pengolahan data dalam registrasi metode Cloud to Cloud adalah yang paling membutuhkan waktu dan ketelitian dalam penentuan titik sekutu. Hal tersebut terjadi karena dibutuhkan penentuan titik sekutu di setiap daerah pertampalan dari dua hasil pemindaian objek candi.

Metode Target to Target sangat berbeda dengan metode Cloud to Cloud. Metode Target to Target membutuhkan waktu lebih sedikit dari metode Cloud to Cloud karena dalam proses registrasi kita telah mengetahui posisi target pada point cloud objek candi. Secara keseluruhan dalam perbandingan metode registrasi dalam hal pengolahan data ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Perbandingan registrasi berdasarkan perencanaan dan pengambilan data

Hal	Cloud to Cloud	Target to Target
Jumlah Target	Tidak dibutuhkan	Minimal 2
Persiapan pemindaian	Sentring TLS	Sentring TLS dan pemasangan target
Proses pemindaian	memindai objek	Memindai objek dan target
Cara Registrasi	Natural Target	Known Target
Sistem Koordinat	Lokal	Lokal / Global

##### C. Perbandingan Hasil Registrasi

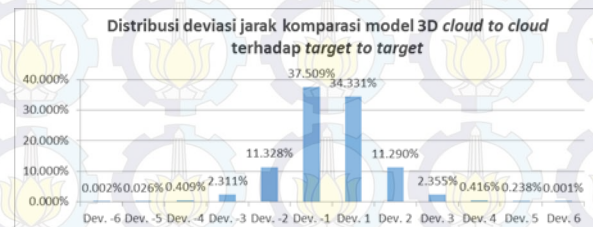
Kedua metode registrasi memiliki rata-rata kesalahan masing-masing. Dalam hal ini metode target to target lebih unggul daripada metode cloud to cloud, dikarenakan metode target to target menggunakan titik target yang paling akurat dan telah memiliki koordinat. Rata-rata kesalahan kedua metode diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata kesalahan kedua registrasi

Registrasi	RMSE (m)
Cloud To Cloud	0.008
Target To Target	0.001

##### D. Perbandingan Permukaan Model

Point cloud dari hasil registrasi tersebut dibuat mesh model. Setelah mesh model tersebut terbuat, mesh model tersebut dibandingkan. Pada perbedaan ini model dari registrasi target to target dijadikan referensi sedangkan model dari cloud to cloud yang akan di tes. Model dari target to target dijadikan referensi karena nilai RMSE pada saat pada saat registrasi lebih baik daripada registrasi cloud to cloud.



Gambar 7. Grafik distribusi deviasi komparasi model 3D

Dari gambar 7 Tersebut, hasil perbandingan menyatakan bahwa 95% dari perbandingan model tersebut berada pada rentang standar deviasi -2 sampai +2, sisanya 5% berada pada rentang standar deviasi -7 sampai -3 dan +3 sampai +7. Standar deviasi antara dua model tersebut dipengaruhi oleh besaran RMSE dari masing-masing model yang ditunjukkan pada tabel 5.

##### E. Analisa Koordinat ICP

Uji statistik dilakukan terhadap nilai ICP yang dihasilkan oleh kedua metode, dengan menggunakan nilai ICP yang didapat menggunakan *total station* sebagai pembandingnya. Uji statistik yang dilakukan adalah uji *t student*. Berdasarkan tabel distribusi *t student*, dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90% dan derajat kebebasan sebesar 2, didapatkan nilai  $t = 2,920$ .



Tabel 6. Hasil Uji t student pada koordinat X

Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	651672.775	651672.820	651672.792	651672.798
ICP2	651671.027	651671.072	651671.042	651671.050
ICP3	651678.648	651678.693	651678.670	651678.660
ICP4	651674.492	651674.536	651674.525	651674.611
ICP5	651674.375	651674.420	651674.393	651674.382
ICP6	651674.740	651674.784	651674.752	651674.767
ICP7	651674.678	651674.722	651674.691	651674.679
ICP8	651672.945	651672.990	651672.917	651672.977
ICP9	651685.179	651685.224	651685.291	651685.207
ICP10	651684.312	651684.356	651684.353	651684.314

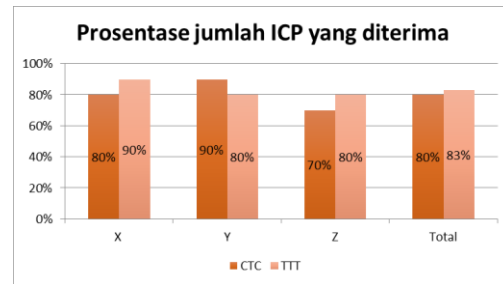
Tabel 7. Hasil Uji t student pada koordinat Y

Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	9165986.068	9165986.143	9165986.105	9165986.103
ICP2	9165980.205	9165980.280	9165980.223	9165980.242
ICP3	9165965.410	9165965.484	9165965.443	9165965.427
ICP4	9165980.831	9165980.906	9165980.864	9165980.969
ICP5	9165978.889	9165978.963	9165978.915	9165978.726
ICP6	9165980.761	9165980.835	9165980.791	9165980.798
ICP7	9165978.911	9165978.985	9165978.943	9165978.948
ICP8	9165986.142	9165986.217	9165986.160	9165986.180
ICP9	9165985.377	9165985.452	9165985.415	9165985.414
ICP10	9165973.057	9165973.131	9165973.034	9165973.084

Tabel 8. Hasil Uji t student pada koordinat Z

Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	36.76594581	36.80456758	36.7855670	36.7856977
ICP2	36.89427435	36.93289611	36.9138523	36.9132287
ICP3	38.01579169	38.05441346	38.0310257	38.0355732
ICP4	40.31691961	40.35554138	40.3363050	40.3364959
ICP5	40.33137192	40.36999369	40.3598281	40.3508061
ICP6	43.74228974	43.78091151	43.7110062	43.7920625
ICP7	43.73641377	43.77503554	43.7952466	43.7554657
ICP8	36.87527413	36.91389591	36.8148501	36.8845013
ICP9	37.00157869	37.04020045	37.0108957	37.0909571
ICP10	36.98235342	37.02097519	37.0016249	37.0012490

Berdasarkan tabel 6, 7 dan 8 di atas terlihat bahwa sebagian besar nilai koordinat ICP berada di antara interval kepercayaan. Beberapa nilai yang berada di luar interval ditandai dengan blok warna jingga (contoh: 9127745.612). Koordinat metode cloud to cloud pada sumbu X, Y, dan Z, terdapat 2, 1, dan 3 koordinat yang ditolak. Sedangkan pada metode target to target pada sumbu X, Y, dan Z, terdapat 1, 2, dan 2 yang ditolak.



Gambar 8. Grafik prosentase jumlah ICP yang diterima

Secara keseluruhan, terdapat 24 titik koordinat metode cloud to cloud yang diterima atau sebesar 80%, sedangkan untuk metode target to target sebanyak 25 titik atau 83%. Hal ini menandakan kedua metode memiliki hasil yang baik, di mana kedua metode memberikan hasil di tidak kurang dari 80%. Berdasarkan hasil analisa terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang cukup berarti/signifikan antara kedua metode ini.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Dari kedua metode registrasi terdapat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode. Dari segi pengambilan data metode cloud to cloud lebih unggul dari pada metode target to target, karena cloud to cloud tidak membutuhkan target dilapangan.
- Dari segi pengolahan data, metode target to target lebih unggul dari pada metode cloud to cloud. Hal tersebut dikarenakan metode target to target sudah mempunyai target yang pasti, sehingga lebih cepat dalam hal pengolahan data.
- Model 3D Candi Brahu dari kedua metode registrasi tidak ada perbedaan yang signifikan, dengan deviasi jarak sebesar 95% berada pada  $\pm 2$  standar deviasi.
- Kedua metode registrasi memiliki rata-rata kesalahan masing-masing. Dalam hal ini metode target to target lebih unggul dengan RMSE sebesar 0,0014m.
- Berdasarkan hasil analisa uji t student, terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang cukup berarti/signifikan antara kedua metode ini. Secara keseluruhan, terdapat 24 titik koordinat metode cloud to cloud yang diterima atau sebesar 80%, sedangkan untuk metode target to target sebanyak 25 titik atau 83%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.Z. mengucapkan terima kasih kepada Ibu Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing penulis. Selain itu ucapan terima kasih kepada Balai Pelestarian Cagar Budaya Mojokerto yang telah memberi ijin untuk melakukan penelitian di area Candi Brahu, dan ucapan terima kasih kepada pihak PT. Sistem Solusi Geospasial yang telah memberikan dukungan melalui peminjaman *Terrestrial Laser Scanner* Geomax Zoom 300.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, H.Z. 2001. Geodesi Satelit. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [2] Alkan, R.H., dan Karsidag, G., (2012), *Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements*, FIG Working Week 2012 - Commission: 6 and 5 - *Knowing to Manage the Territory, Protect the Environment, Evaluate The Cultural Heritage* Rome, Italy, 6-10 May 2012, Editors: Prof. Rudolf Staiger & Prof. Volker Schwieger, TS07A - Laser Scanners I, 6097, 2012 (Conference Proceedings ISBN 97887-90907-98-3).
- [3] Arnawa,B.2013.Candi Brahu. [https://id.wikipedia.org/wiki/Candi\\_Brahu](https://id.wikipedia.org/wiki/Candi_Brahu). Diakses pada tanggal 16 Desember 2015.
- [4] Barber, D. Mills, J. (2007). *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and Guidance to Users on Laser Scanning in Archeology and Architecture*. United Kingdom: English Heritage Publishing
- [5] Barnes, A. (2012). *Penggunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang)*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- [6] Basuki, S. (2006) : *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [7] Charles, E. (2004). *Parametric 3D Modeling in Building Construction with Examples from Precast Concrete, Automation in Construction*, 13 (2004) 291-312. Georgia Tech. School of Architecture
- [8] Cyra, (2003a). *Cyra Technologies-3D Laser Scanning*. <http://cyra.com> (visited 18 February 2015).
- [9] Cyra, (2003b). *Cyclone 4.0 and cyrax basic Training Course Sesion I, Cyra Technologies Inc., European Office, Rijswijk, The Netherlands*.
- [10] Lichti, D. & S.J. Gordon. (2004). Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point clouds for Cultural Heritage Recording. In Proc. Of FIG Working Week – The Olympic Surveying Spirit. Athens, Greece. 22-27 May 2004.
- [11] Jacobs, G. (2005) : *High Definiton Surveying: 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural*. Professional Surveyor Magazine.
- [12] Kersten, T., Sternberg, H. and Mechelke, K., (2009). *Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser Scanning*, FIG Working Week, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, Israel, May 3-8.
- [13] Leitch, Kenneth. (2002). *Close range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. Disertasi New Mexico State University. Meksiko
- [14] Maharsayanto, P. Y. (2012). Aplikasi Terrestrial Laser Scanner untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung PT. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta). Tugas Akhir. UNDIP. Semarang
- [15] Muda, I. 2008. Teknik Survei dan Pemetaan Jilid 2 untuk SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [16] Mochtar. 2012. Perbandingan Metode Registrasi Terrestrial Laser Scanner (Studi Kasus: Aula Timur dan Gardu Listrik GKU Timur), Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [17] Pflipsen. (2006) : *Laser Scanning Principle and Applications*. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology.
- [18] Putra, R.A. 2014. Pemodelan 3D Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner). Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [19] Pinarci, E., (2007): *Applying Two Dimensional Kalman Filtering to Terrestrial Laser Scanner Data*, Licentiate thesis in Gebze Institute of Technology, Institute of Science and Engineering, Department of Geodetic and Photogrammetric Engineering, Gebze, Istanbul, Turkey.
- [20] Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., Barnes, S. (2008). *Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning*. The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project (3D Risk Mapping).
- [21] Riawan, R. (2013). Pemodelan 3D Monumen Bandung Lautan Api menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- [22] Trimble Navigation Limited. 2015. TRIMBLE TX-5. [http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/tx5.aspx?tab=Technical\\_Specs](http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/tx5.aspx?tab=Technical_Specs). Diakses pada tanggal 8 Februari 2016.
- [23] Vidyan, Y. 2013. Pemanfaatan Teknologi TLS (Terrestrial Laser Scanning) Untuk Pemantauan Deformasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [24] Wibowo, A. 2015. Pemodelan 3D Monumen Perjuangan Rakyat Jawa Barat Menggunakan Terrestrial Laser Scanner. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [25] Wolberg, George. 1994. *Digital Image Warping*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA.
- [26] Wolf, Paul R. & Charles DG. (1997). *Adjustment Computation Statistic and Least Squares in Surveying and GIS*. John Willey & Sons, Inc. New York. ISBN 0-471-16833-5.
- [27] Wolf, P. R. & Ghilani, C. D. (2001) : *Elementary Surveying - An Introduction Geomatics*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey
- [28] Wolf, P. R. & Bon A. Dewitt. (2004). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS (3rd International Edition)*. McGraw-Hill Press, Melbourne. ISBN 10: 0-071- 23689-9.