

Survey Pemetaan Model Bangunan Tiga Dimensi (3D) Metode *Terrestrial Laser Scanning* untuk Dokumentasi *As-Built Drawing*

S. Hendriatiningsih

Kelompok Keilmuan Surveying dan Kadaster, Fakultas Ilmu dan Teknik Kebumian,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: hningsih@gd.itb.ac.id

Irwan Gumilar

Kelompok Keilmuan Geodesi, Fakultas Ilmu dan Teknik Kebumian, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: igumilar@gd.itb.ac.id

Dwi Wisayantono

Kelompok Keilmuan Sain dan Rekayasa Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknik Kebumian,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: dwitono@gd.itb.ac.id

Elok Lestari P

Alumni Teknik Geodesi & Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132,
E-mail: paramita.elok@yahoo.com

Abstrak

Untuk mendapatkan informasi bangunan, dapat dilakukan as-built survey. Saat ini, teknologi pemindaian laser digunakan untuk teknik survey pemetaan tiga-dimensi (3D) yang disebut sebagai survey pengukuran dengan metode Terrestrial Laser Scanner (TLS). Salah satu aplikasi TLS adalah membuat visualisasi model 3D untuk dokumentasi as-built drawing. Pengukuran dengan metode TLS adalah melakukan pemindaian obyek dan merekam point-clouds 3D dalam jumlah yang besar untuk membentuk model 3D. Pemindaian dari titik-titik yang direncanakan agar memperoleh obyek yang bertampalan. Pada proses pengolahan data point-clouds, dilakukan registrasi dengan metode natural-point-feature, filtering, georeferencing dan wrapping untuk mendapatkan model 3D dengan menggunakan perangkat lunak Geomagic. Analisis registration adalah membandingkan error registrasi dengan ketelitian penentuan posisi (6mm) berdasarkan spesifikasi alat TLS. Di beberapa stand-point diperoleh error registrasi hingga mencapai 14,827 m. Untuk memperoleh error registrasi yang lebih kecil dari 6 mm, dilakukan registrasi secara bertahap. Dimensi bangunan berupa jarak pada model 3D dibandingkan dengan jarak yang diukur dengan alat ukur Electronic Total Station (ETS). Hasil ukuran jarak pada model 3D sama dengan hasil ukuran jarak ETS. As-built survey dapat dilakukan dengan teknik survey pengukuran 3D metode TLS.

Kata-kata Kunci: As-built drawing, model 3D, TLS.

Abstract

To get the information of the building, it can be done as-built survey. Currently, laser scanner technology used for three-dimensional (3D) mapping survey is known as measurement survey technique by Terrestrial Laser Scanner (TLS) method. One application of TLS is to create 3D model for as-built drawings documentation. TLS instrument scans the object and records 3D point-clouds in large numbers to create 3D model. Scanning from the stand-points are planned in order to obtain the overlapped objects. In the point-clouds data processing, its activities are natural-point-feature registration, filtering, geo-referencing and wrapping to create 3D modeling using Geo-magic software. Registration analysis is to compare the registration error with a positioning accuracy (6mm) by means of the TLS instrument specification. Several stand-points are obtained registration error of up to 14.827 m. Furthermore, carried step by step registration in order to obtain registration error smaller than 6 mm. The dimensions of the building in the form of distance on the 3D model compared to the distance measured by Electronic Total Station (ETS) instrument. The results, measured distance on the 3D model is equal to measured distance by ETS instrument. As-built surveys can be done with 3D mapping survey technique by TLS method.

Keywords: As-built drawing, 3D model, TLS.

1. Pendahuluan

Teknologi pemindaian laser (*laser scanning*) merupakan salah satu teknik terbaru dalam survey pemetaan 3D dan merupakan teknologi survey terkini dalam memperoleh informasi data spasial. Sudah banyak jenis alat ukur yang menggunakan teknologi pemindaian laser dengan berbagai kemampuan. Dalam bidang survey pemetaan, peralatan pemindai laser merupakan suatu dimensi baru dalam pengumpulan data spasial. Dokumentasi merupakan suatu hal yang penting, karena dibutuhkan untuk perencanaan dan evaluasi suatu kegiatan. Menurut Hiremagalur, *et.al* (2009) TLS adalah teknologi yang relatif baru yang telah digunakan di berbagai aplikasi dalam bidang rekayasa. TLS merupakan instrumen survei terbaru yang telah populer dan semakin banyak digunakan untuk pengadaan data *as-built* dan pemodelan dalam aplikasi transportasi, termasuk pengukuran tanah, studi arkeologi, arsitektur, struktur jembatan, dan survei jalan raya. Berenyi, *et.al* (2010) menyimpulkan bahwa TLS dapat diaplikasikan dalam bidang survey rekayasa seperti pengukuran uji beban jembatan dan mendeteksi perpindahan yang disebabkan oleh suhu lingkungan yang berbeda. Fai S, *et.al* (2011) menyelidiki *Building Information Modelling* (BIM) dengan menggabungkan aset kuantitatif dan kualitatif, kemudian melakukan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak BIM untuk melihat perubahan di masa lalu dan proyeksi ke masa depan, serta dapat digunakan untuk pengelolaan bangunan cagar budaya dan lansekap (*landscape*). Gikas (2012) melakukan penelitian 3D *laser scanning* untuk dokumentasi dan pengelolaan konstruksi terowongan jalan raya selama pekerjaan galian, yaitu dengan membandingkan dan menganalisa metode pemindaian laser dengan teknik survey konvensional. Menurut Alkan dan Karsidag (2012), data yang diperoleh dari alat pemindai laser memiliki kualitas yang tinggi dan banyak digunakan diberbagai bidang, khususnya survey-survey yang termasuk survey topografi, lingkungan dan industri. Hasil pemindaian objek merupakan data mentah informasi spasial yaitu data titik-titik dalam sistem *point-cloud* yang berjumlah ribuan, kemudian diolah untuk memperoleh model visualisasi permukaan digital, *Digital Terrain Model* (DTM), model kota 3D, model jalan raya, model saluran listrik, model objek 3D warisan budaya dan sejarah untuk dokumentasi, dan lain-lain. Keuntungan utama dari survey pemetaan menggunakan teknologi pemindaian laser, dapat memberikan fasilitas yang lengkap dalam melakukan akuisisi data dan dapat memberikan data secara detail dalam bentuk 3D, serta hasilnya dapat diperoleh dengan cepat dan biayanya dapat direduksi secara signifikan. Selain itu, membandingkan panjang sisi pada model yang diperoleh dari survei TLS dengan panjang sisi yang diperoleh dari survei dengan menggunakan alat caliper dalam kaitannya dengan jarak pemindaian dan inten-

sitas, dan hasilnya menyatakan bahwa selisihnya berbanding terbalik dengan intensitas pemindaian dan berbanding lurus dengan jarak pemindaian.

Tulisan ini adalah studi tentang pembuatan model 3D bangunan apartemen dengan metode *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) untuk dokumentasi *as-built drawing*. *As-built drawing* sangat dibutuhkan untuk menentukan luas dan kepemilikan hak atas ruang (Hendriatiningsih, 2012) khususnya Hak Milik Atas Satuan Rumah Susun (HMASRS). Dalam studi ini, jarak yang merupakan dimensi bangunan diukur dengan menggunakan alat ukur Electronic Total Station (ETS) dan hasilnya dianalisis dengan cara membandingkan jarak ukuran ETS yang dianggap benar dengan jarak yang sama pada pada model 3D hasil survey pemetaan 3D metode TLS.

2. Terrestrial Laser Scanning (TLS)

Pemindaian laser (*laser scanning*) adalah pemindaian terhadap permukaan obyek dengan menggunakan teknologi laser. Sedangkan *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) adalah sebuah teknik akuisisi data spasial di permukaan bumi untuk memindai permukaan obyek dengan menggunakan sinar laser. Hasil yang diperoleh dari pengukuran metode TLS ini adalah *point-clouds* dalam sistem koordinat 3D. *Point-clouds* merupakan kumpulan titik-titik dalam jumlah banyak yang digunakan untuk pembuatan model obyek 3D. Selain itu, data *point-clouds* dapat digunakan untuk konstruksi digital, penggambaran 2D, model 3D yang bermanfaat untuk berbagai macam aplikasi. Pada prinsipnya, sistem pengukuran menggunakan TLS dapat dikategorikan kedalam sistem pengukuran jarak. Pengolahan data yang diperoleh dari TLS adalah sulit, mengingat banyaknya *point-clouds*. Ada beberapa tahap pengolahan data yaitu registrasi (*registration*), filterisasi (*filtering*), geo-referensi (*geo-referencing*) dan pemodelan (*modeling*). Pada tahap registrasi, adalah menggabungkan *point-clouds* yang sama dari posisi (*standpoint*) yang berbeda atau pada proses registrasi ini adalah mengubah koordinat *point-clouds* sekutu (*common point-clouds*) dari posisi yang berbeda kedalam sistem koordinat yang sama. Pada setiap pemindaian dari *standpoint* diperoleh satu sistem koordinat *point-clouds* yang didefinisikan dalam sistem koordinat lokal, yaitu sistem koordinat internal dari alat TLS. Untuk menggabungkan posisi yang berbeda ini, perlu diketahui posisi *standpoint* dan orientasi dalam sistem koordinat berbagai pindaian. Secara matematis dapat dilakukan transformasi koordinat dari sistem koordinat alat TLS (*Coordinate in the scanner system*) ke sistem bersama (*Coordinate in the Common system*). Dalam studi ini, registrasi dilakukan dengan metode *natural point feature*, seperti pada **Gambar 1**.

Proses *filtering* dilakukan untuk menghilangkan obyek-obyek yang tidak dibutuhkan seperti pohon, manusia, mobil dan lain-lain. Proses *filtering* ini menggunakan

perangkat lunak yang telah tersedia satu paket untuk proses pengolahan data *point-clouds*. Sedangkan pada tahap *geo-referencing*, diperlukan koordinat titik-titik tempat berdiri alat (*standpoint*), agar *point-clouds* berada dalam sistem koordinat baik lokal (sistem koordinat Nasional) ataupun global. Pada tahap pemodelan, dilakukan proses *meshing* yaitu dengan melakukan *wrapping* dimana *point-clouds* diproses menjadi bentuk *Triangulated Irregular Network* (TIN) sebagai pembungkus permukaan obyek sehingga diperoleh model *mesh*.

2. Metode dan Hasil

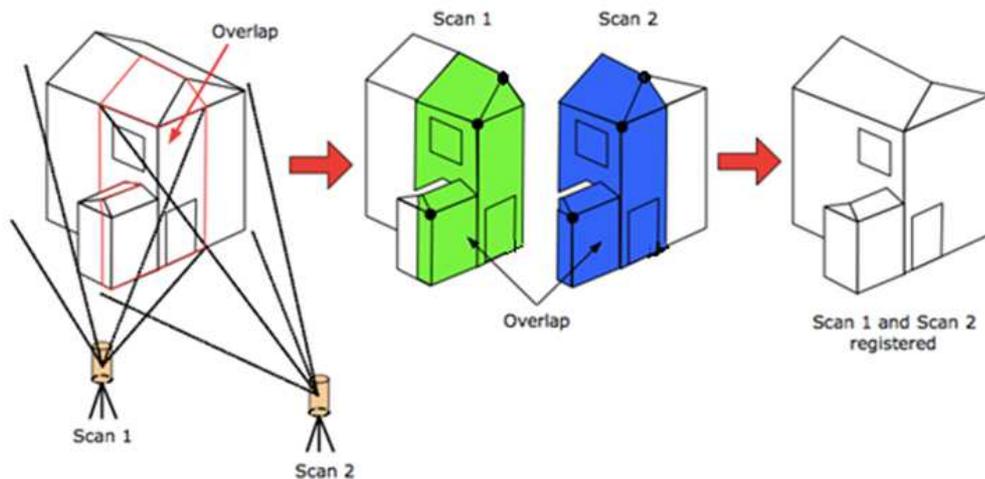
Studi ini dilakukan terhadap bangunan Apartemen The Suites at Metro yang posisinya di sekitar 6°56' Lintang Selatan (LS), 107°39' Bujur Timur (BT) di kota Bandung, Indonesia. Foto apartemen seperti pada **Gambar 2**.

Spesifikasi teknis dan alat ukur TLS yang digunakan adalah jenis Scan Station C10 Leica, seperti pada **Gambar 3**.

Pertama-tama, dalam studi ini dilakukan perencanaan titik-titik tempat berdiri alat agar pada saat pemindaian terdapat titik-titik sekutu atau titik-titik yang bertampalan pada objek sehingga dapat melakukan proses registrasi untuk mendapatkan visualisasi model bangunan 3D. Rencana tempat berdiri alat pada lantai dasar (GF), lantai 1 dan lantai 2 seperti pada **Gambar 4**.

Sedangkan posisi titik awal tempat berdiri alat dan target yang dibutuhkan untuk proses *geo-referencing* berada di luar gedung bangunan apartemen, dan koordinat titiknya dalam sistem koordinat proyeksi Transversal Mercator-3° (TM-3°) dengan menggunakan koordinat semu (*East, North*) dan tinggi ellipsoid *h* dari hasil pengukuran seperti pada **Tabel 1**.

Setelah melakukan pemindaian di titik-titik yang direncanakan, kemudian dilakukan proses registrasi metode *natural point feature* dengan menggunakan perangkat lunak. Seluruh data *point-clouds* dihitung secara sekaligus sehingga diperoleh model 3D hasil registrasi I (secara sekaligus) seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 1. Registrasi *natural point feature* (Sumber: Reshetyuk, 2009)

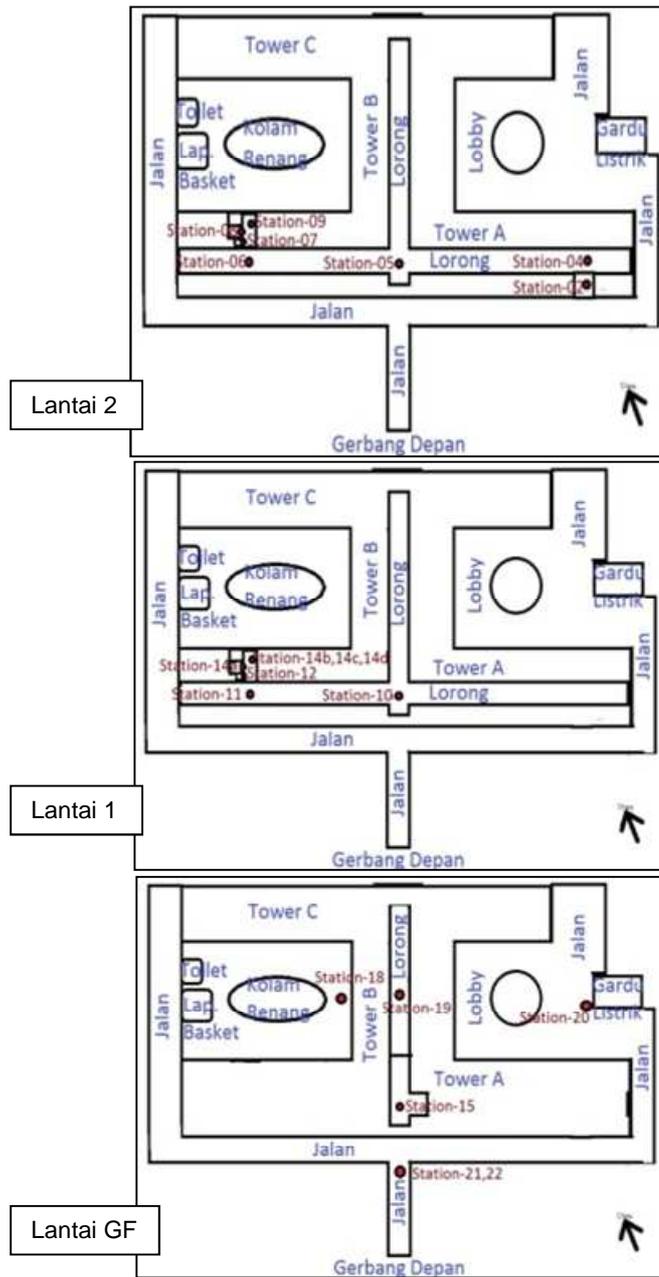


Gambar 2. Foto Apartemen The Suites at Metro

System Performance	
Accuracy of single measurement	
Position*	6 mm
Distance*	4 mm
Angle (horizontal/vertical)	60 μ rad / 60 μ rad (12" / 12")
Modeled surface precision**/noise	2 mm
Target acquisition***	2 mm std. deviation
Dual-axis compensator	Selectable on/off, resolution 1", dynamic range +/- 5', accuracy 1.5"

Laser Scanning System	
Type	Pulsed; proprietary microchip
Color	Green, wavelength = 532 nm visible
Laser Class	3R (IEC 60825-1)
Range	300 m @ 90%; 134 m @ 18% albedo (minimum range 0.1 m)
Scan rate	Up to 50,000 points/sec, maximum instantaneous rate
Scan resolution	
Spot size	From 0 - 50 m: 4.5 mm (FWHH-based); 7 mm (Gaussian-based)
Point spacing	Fully selectable horizontal and vertical; < 1 mm minimum spacing, through full range; single point dwell capacity
Field-of-View	
Horizontal	360° (maximum)
Vertical	270° (maximum)
Aiming/Sighting	Parallax-free, integrated zoom video
Scanning Optics	Vertically rotating mirror on horizontally rotating base; Smart X-Mirror™ automatically spins or oscillates for minimum scan time
Data storage capacity	80 GB onboard solid-state drive (SSD) or external USB device
Communications	Dynamic Internet Protocol (IP) Address, Ethernet or wireless LAN (WLAN) with external adapter
Integrated color digital camera with zoom video	Single 17° x 17° image: 1920 x 1920 pixels (4 megapixels) Full 360° x 270° dome: 260 images; streaming video with zoom; auto-adjusts to ambient lighting
Onboard display	Touchscreen control with stylus, full color graphic display, QVGA (320 x 240 pixels)
Level indicator	External bubble, electronic bubble in onboard control and Cyclone software
Data transfer	Ethernet, WLAN or USB 2.0 device
Laser plummet	Laser class: 2 (IEC 60825-1) Centering accuracy: 1.5 mm @ 1.5 m Laser dot diameter: 2.5 mm @ 1.5 m Selectable ON/OFF

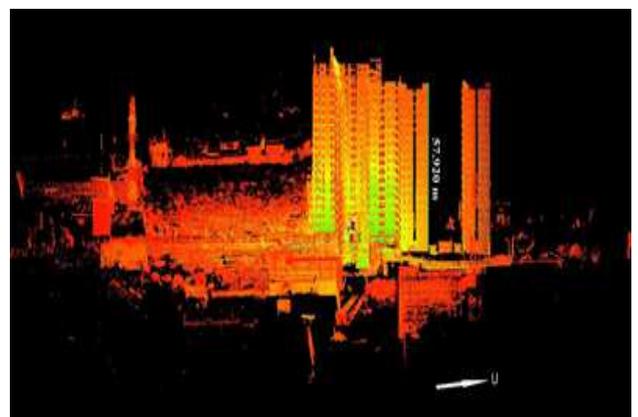
Gambar 3. Spesifikasi teknis Scan Station C10 Leica
(Sumber: Leica Geosystems AG, 2011)



Gambar 4. Denah tempat berdiri alat di Lantai GF, Lantai 1 dan 2

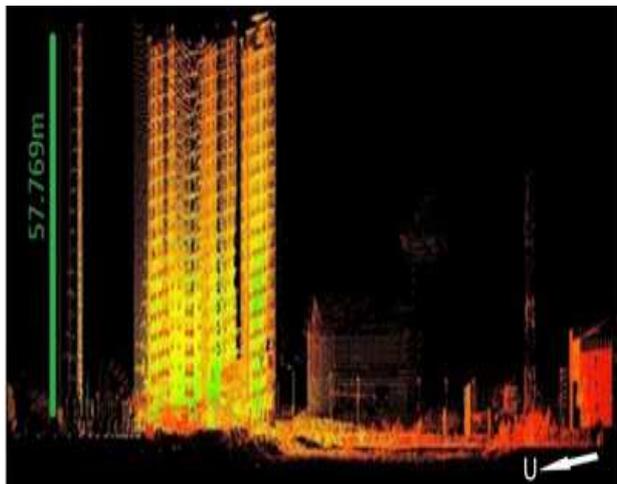
Tabel 1. Koordinat titik untuk *Geo-referencing*

No Titik	East E(m)	North N(m)	Tinggi Elipsoid h(m)
P24	328103,545	732696,333	699,276
P25	328102,658	732691,476	699,273



Gambar 5. Model 3D hasil registrasi I

Dari hasil registrasi I, diperoleh *error* pada stasiun 13-14a yang merupakan nilai *error* terbesar yaitu 14.827 m. Selain itu, ada beberapa titik lainnya yang *error* registrasinya cukup besar. Proses registrasi diulangi dengan cara bertahap (registrasi II), dan diperoleh *error* pada setiap tahap sebesar 0,001 m atau 1 mm. Model 3D hasil registrasi II seperti pada **Gambar 6**, sebagai berikut:



Gambar 6. Model 3D hasil registrasi II

Proses filterisasi dilakukan secara manual yaitu dengan melakukan identifikasi terhadap obyek-obyek yang tidak diperlukan seperti manusia, mobil, pohon, bangku dan lain-lain, kemudian dihapus. Model 3D hasil filterisasi, seperti pada **Gambar 7**, sebagai berikut :



Gambar 7. Model ruang sesudah filterisasi

Pada tahap geo-referensi dibutuhkan koordinat titik awal P25 dan titik target P24. Data tinggi titik yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid yaitu tinggi titik terhadap bidang ellipsoid referensi, sedangkan tinggi titik yang akan dipakai adalah tinggi orthometrik (H) yaitu tinggi titik yang mengacu pada *Mean Sea Level* (MSL) atau geoid yaitu bidang ekuipotensial medan gayaberat bumi yang berimpit dengan muka laut rata-rata global, yang digunakan sebagai bidang acuan untuk penentuan posisi vertikal atau tinggi suatu titik di

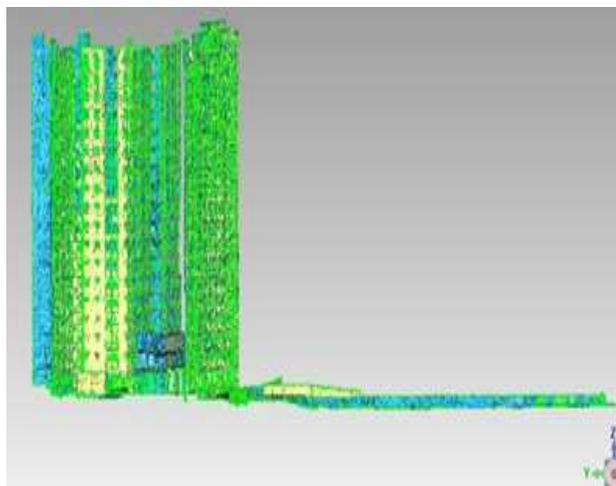
permukaan bumi. Bidang ellipsoid dengan bidang geoid pada umumnya tidak berimpit, tetapi ada perbedaan yang disebut undulasi geoid. Nilai undulasi geoid di lokasi pengukuran diperoleh dari *Earth Gravitational Model 2008* (EGM2008). Pada tahap geo-referensi diperlukan data masukan koordinat titik awal P25 dan sudut jurusan titik P25 ke P24 dan tinggi orthometrik (H), seperti pada **Tabel 2** sebagai berikut:

Tabel 2. Data masukan (input)

No Titik	Koordinat		Tinggi ellipsoid h(m)	Undulasi geoid (m)	Tinggi Orthometrik H(m)
	East E(m)	North N(m)			
P25	328102,658	732691,476	699,273	22,152	677,121
Sudut jurusan P25_P24 (α_{P25_P24})			20° 21' 10"		

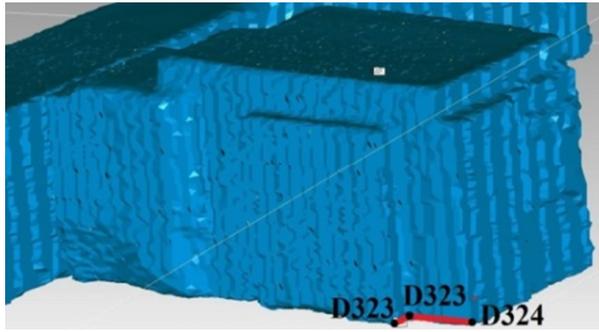
Visualisasi model 3D yang bergeo-referensi masih tetap seperti model 3D hasil filterisasi, hanya sistem koordinat model 3D sudah dalam sistem koordinat proyeksi TM-3° dan tinggi orthometrik.

Model ruang atau model 3D yang disajikan merupakan model *mesh*, yaitu dengan melakukan *wrapping* dan hasilnya seperti **Gambar 8**, sebagai berikut:

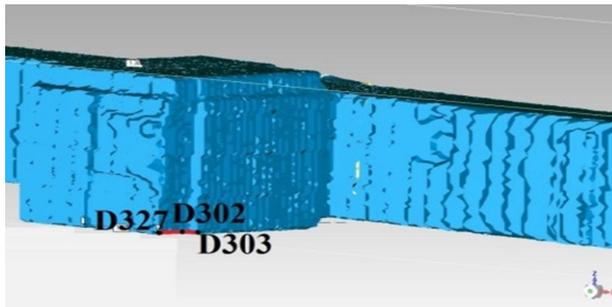


Gambar 8. Model mesh bangunan

Selain bentuk bangunan model 3D, pada *as-built drawing* bangunan dibutuhkan dimensi ukuran bangunan. Pada studi ini dilakukan pengukuran jarak pada model *mesh* dimana jarak tersebut adalah jarak yang sama di lapangan dan diukur dengan menggunakan alat ukur *Electronic Total Station* (ETS), dan diasumsikan bahwa ukuran jarak ETS dianggap benar. Sampel jarak pada model *mesh* seperti pada **Gambar 9**, sebagai berikut:



D 322-323 dan D323-324



D327-302 dan D302-303

Gambar 9. Sampel jarak pada model *mesh*

Hasil ukuran jarak menggunakan alat ukur ETS dan jarak rata-rata pada model *mesh* yang diukur 10 kali, seperti pada Tabel 3, sebagai berikut :

Tabel 3. Ukuran jarak sampel

No	Jarak	Di Lapangan (m)	Di Model <i>mesh</i> (m)
1	D322-D323	0,232	0,231 ± 0,001
2	D323-D324	0,902	0,902 ± 0,002
3	D327-D302	0,678	0,678 ± 0,002
4	D302-D303	0,148	0,149 ± 0,002

4. Analisis dan Pembahasan

Pada registrasi I, diperoleh *error* terbesar pada station 13-14a yaitu sebesar 14,872 m, artinya dalam memilih *natural point feature* yang dipakai sebagai titik-titik sekutu, tidak akurat atau *point-clouds* yang digunakan sebagai titik sekutu bukan titik-titik yang sama pada obyek yang bertampalan. Pada dasarnya akibat dari divergensi sinar laser, maka terjadi perbedaan dan dapat mencapai beberapa millimeter hingga sentimeter. Besarnya *error* registrasi mengakibatkan orientasi dan bentuk yang berbeda dengan keadaan nyata di lapangan. *Error* registrasi yang besar dapat diatasi dengan memilih ulang titik-titik ikat pada obyek yang bertampalan hingga mendapatkan *error* registrasi yang tidak melebihi akurasi penentuan posisi sebesar 6 mm (dari spesifikasi alat). Proses registrasi ini harus dilakukan dengan hati-hati dan teliti, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama. Dalam studi ini, *error* registrasi diatasi dengan melakukan registrasi secara bertahap, yaitu dengan

membagi seluruh data menjadi Per bagian. Tahap registrasi II ini diselesaikan dalam 6 tahap, sehingga *error* registrasi yang diperoleh tidak melebihi 6 mm. Keuntungan pada cara bertahap ini adalah setelah mendapatkan *error* registrasi pada setiap tahap, dapat langsung diketahui apakah perlu diulang pada tahap tersebut atau dapat dilanjutkan pada tahap berikutnya, sehingga tidak perlu dilakukan proses pengulangan dengan menggunakan seluruh data *point-clouds*.

Dimensi jarak pada model *mesh* diukur sebanyak 10 kali, kemudian dilakukan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil yang diperoleh, bahwa jarak D322-D323, jarak D323-D324, jarak D327-D302 dan jarak D302-D303 tidak berada pada daerah penolakan. Hipotesa nol untuk jarak-jarak tersebut tidak ditolak, artinya jarak ukuran pada model *mesh* sama dengan jarak ukuran yang dianggap benar yaitu jarak yang diukur dengan menggunakan alat ukur ETS. Perbedaan ukuran jarak tersebut memiliki rentang milimeter yang masih dalam batas toleransi, artinya dimensi ukuran dari model *mesh* merupakan dimensi ukuran fisik bangunan.

5. Kesimpulan

Dari hasil studi survey pemetaan bangunan 3D dengan menggunakan teknik *Terrestrial Laser Scanning*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Survey menggunakan TLS dapat membentuk model bangunan 3D dan model bangunan 3D ini dapat dipakai sebagai dokumentasi *as-built drawing*.
2. Proses registrasi dapat dilakukan secara bertahap, agar *error* registrasi tidak melebihi ketelitian penentuan posisi yang terdapat pada spesifikasi alat yang digunakan. Walaupun memakan waktu, akan tetapi tidak harus memproses keseluruhan data *point-clouds* yang berjumlah ribuan/jutaan.
3. Tinggi titik di lokasi pengukuran, lebih baik menggunakan tinggi orthometrik yang mengacu pada *Mean Sea Level* (MSL) agar dapat mengetahui apakah daerah tersebut termasuk daerah banjir atau tidak, sehingga akan memberikan manfaat bagi para pengguna (pembeli) apartemen.
4. Jarak ukuran pada model sama dengan jarak ukuran di lapangan, oleh karena itu dimensi jarak pada model 3D bangunan dapat digunakan sebagai dokumentasi *as-built drawing*.
5. *As-built survey* dapat dilakukan dengan teknik survey pemetaan 3D metode *Terrestrial Laser Scanning*.

6. Acknowledgement

Terimakasih kami ucapkan kepada Badan Pertanahan Nasional (BPN) yang telah memberikan data koordinat titik-titik P24 dan P25 untuk proses georeferensi.

Daftar Pustaka

- Alkan, R.H., and 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).
- Berenyi, T.L., Barsi, A., 2010, *Terrestrial Laser Scanning - Civil Engineering Applications*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010.
- Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N., & Attar, R., 2011, *Building Information Modelling and Heritage Documentation*, in XXIII CIPA International Symposium, Prague, Czech Republic, 12th-16th September, <http://cipa.icomos.org/>, (September 2013), <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/>, (Symposium Proceeding PRAGUE Vol. 47).
- Gikas, V., 2012, Three-Dimensional Laser Scanning for Geometry Documentation and Construction Management of Highway Tunnels During Excavation, Article, *Journal Sensors* ISSN 1424-8220, published 14 August 2012, www.mdpi.com/journal/sensors.
- Hendriatiningsih, S., 2012, As-buit Drawing Bangunan untuk Pendaftaran Hak Milik atas Satuan Rumah Susun Dalam Kadaster 3-Dimensi, *Indonesian Journal of Geospatial*, Vol. 2 (No. 1) - ISSN: 2089-5054, Teknik Geodesi Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknik Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Hiremagalur, J., Yen, K.S., Lasky, T.A., Ravani, B., 2009, *Testing and Performance Evaluation of Fixed Terrestrial 3D Laser Scanning Systems for Highway Applications*, Transportation Research Board 88th Annual Meeting 2009, Advanced Highway Maintenance and Construction Technology (AHMCT) Research Center Department of Mechanical & Aeronautical Engineering University of California – Davis, Paper no 09-1995.
- Leica Geosystems, A.G., 2011, *Leica Scan Station C10: The All-in-one Laser Scanner for Any Application*, Heerbrugg, Switzerland, www.leica-geosystems.com/hds . (Februari, 2014).
- Reshetyuk, Y., 2009, *Terrestrial Laser Scanning, Error Source, Self-calibration, and Direct Georeferencing*. Saarbrucken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller