

**APLIKASI TERRESTRIAL LASER SCANNER
UNTUK PEMANTAUAN DEFORMASI BANGUNAN
(STUDI KASUS : TANGKI KLARIFIER PDAM KOTA SEMARANG)**

Rifqi Najib Muzaka, Andri Suprayogi, Arief Laila Nugraha ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, Telp. (024) 76480785, 76480788
e-mail: geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Teknologi *Terrestrial Laser Scanner* saat ini telah berkembang di bidang pemetaan. Dengan kelebihan yang ditawarkan oleh alat tersebut adalah kecepatan pengambilan data yang tinggi, tingkat akurasi yang tinggi dan ekonomis. Salah satu pemanfaatan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* ini adalah untuk pemantauan terhadap deformasi dari bentuk bangunan. Dengan memanfaatkan data *As Built Drawing* sebagai data awal dan data *Terrestrial Laser Scanner* sebagai data terbaru. Pemantauan deformasi bentuk dilakukan dengan mengkaji perbandingan bentuk dari keadaan lampau bangunan dengan kondisi *existing* bangunan.

Pada penelitian ini menggunakan *FARO Laser Scanner Focus 3D* Dengan dimensi 24x20x10 cm dan berat hanya 5 kg. Alat ini memiliki sudut ukuran horizontal sebesar 305° dan vertikal 360°. Pada penelitian ini *scanning* dilakukan terhadap salah satu aset dari PDAM *Tirta Moedal Kota Semarang* yakni tangki klarifier yang dikelola oleh divisi produksi PDAM *Tirta Moedal Kota Semarang*. Pengumpulan data penelitian ini dilakukan dengan *scanning* sebanyak 23 kali *scanning* terhadap dua tangki yang diberi kode IPA III dan IPA IV. Kemudian setelah data *scanning* diperoleh, data tersebut diolah dengan menggunakan *software Scene 5.2*. Dengan berdasarkan pada gambar desain *As Built Drawing* yang dimiliki oleh PDAM *Tirta Moedal Kota Semarang* kemudian dapat dilakukan pengolahan sebagai pembandingan mengenai kajian deformasi bangunan.

Deformasi bentuk bangunan yang terjadi pada tangki yang di deteksi pada tangki PDAM *Tirta Moedal Kota Semarang* adalah rata-rata tinggi tangki 0,062m lebih panjang dan memiliki diameter rata-rata 0,092 m lebih panjang daripada gambar rencana *As Built Drawing* nya pada tangki unit IPA III. Serta, pada tangki unit IPA IV memiliki perbedaan tinggi rata-rata lebih pendek 0,025m diameter rata-rata lebih panjang 0,003 m, Serta pada tabung tangki IPA IV lainnya tinggi rata-rata lebih tinggi 0,054 m dan diameter rata-rata 0,022 m lebih pendek dari desain rencana atau *As Built Drawing* nya.

Kata Kunci : *Terrestrial Laser Scanner, As Built Drawing, Deformasi Bangunan*

ABSTRACT

Terrestrial Laser Scanner technology has developining on mapping sector now. With high speed recording data, high accurate, and economical it was offered the advantage. One of terrestrial laser scanner utilization is for monitoring deformation shape of building. Usage the as built drawing data monitoring of deformation shape can detected. With inspecting past shape building and existing shape building condition.

This research was using FARO Laser Scanner Focus 3D with dimension 24x20x10 cm and weight only 5 kg. This instrument has horizontals angle measurement in the around of 305° and 360° at the vertical angle. At this research scanning process has been done toward one of Tirta Moedal Semarang City Water Company asset, the klarifier water tank has been managed by production division of Tirta Moedal Semarang City Water Company. Collecting research data has been scanning almost 23 times towards both of the tank wich has been coded IPA III and IPA IV. Then after scanning data was obtained, and processed by Scene 5.2 software. And then based on as built drawing design was obtained from Tirta Moedal Semarang City Water Company can do comparison processed related building deformation study.

Deformation of building shapes have occurred on klarifier tank and detected on klarifier tank of Tirta Moedal Semarang City Water Company. Building deformation has detected high about 0,062 m longer than as built drawing and has diameter about 0,092 m longer than the as built drawing design of IPA III unit. At IPA IV tank unit has different high 0,025 m shorter than the as built drawing, and about 0,003 m longer than as built drawing of IPA IV unit. And at the other IPA IV tank has height about 0,054 m and diameter about 0,022 m shorter than the as built drawing design.

Keywords : *Terrestrial Laser Scanner, As Built Drawing, Building deformation*

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

1. Pendahuluan

I. Latar belakang

Rekonstruksi yaitu suatu kegiatan penyusunan kembali struktur bangunan yang rusak atau runtuh, pada umumnya bahan-bahan bangunan yang asli sudah banyak yang hilang. Konservasi yaitu memelihara dan melindungi tempat-tempat yang indah dan berharga, agar tidak hancur atau berubah sampai batas-batas yang wajar. Dalam hal ini, konservasi dan rekonstruksi sangat membutuhkan tingkat ketelitian dan kedetilan yang tinggi. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri bangunan, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri bangunan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Kuang pada tahun 1996 menjelaskan bahwa, deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu benda. Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Deformasi dalam mekanika kontinum adalah transformasi sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terkini (Truesdell, 2004). Pada struktur stabil, deformasi yang diakibatkan beban pada umumnya kecil dan gaya dakhil (internal) yang timbul dalam struktur mempunyai kecenderungan mengembalikan bentuk semula apabila bebannya dihilangkan.

Untuk melakukan pemantauan terhadap deformasi bentuk dan kerusakan bangunan dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode survey *Terrestrial Laser Scanner*. Pemanfaatan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* memberikan ketelitian yang sangat tinggi untuk pendokumentasian tampak muka bangunan. Teknologi ini dinilai sangat efisien jika dibandingkan dengan teknologi pengukuran lainnya. Metode pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* mempunyai konsep yang hampir sama dengan metode fotogrametri jarak dekat. Tentunya yang membedakan adalah proses *scanning* dalam *Terrestrial Laser Scanner*. Untuk daya jangkauan alat, *Terrestrial Laser Scanner* mempunyai jangkauan maksimal 6000 meter (tergantung alat) dan hasil pengukuran berupa *point cloud* dalam bentuk 3 dimensi. Untuk pengolahan data, menggunakan *software Scene 5.2*.

II. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diangkat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tahapan pengukuran dan pengolahan data dengan *terrestrial laser scanner* ?
2. Bagaimana analisis deformasi bangunan terhadap toleransi deformasi bangunan dengan menjadikan data *as built drawing* sebagai data terdahulu dan data *terrestrial laser scanner* sebagai data terkini?
3. Bagaimana perhitungan dan analisis batas toleransi aman pada bangunan tangki berdasarkan data *as built drawing* sebagai acuan dan data *terrestrial laser scanner* sebagai data pembandingnya?

III. Ruang lingkup penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat FARO *Laser Scanner Focus 3D*.
2. Pengukuran dilaksanakan di tangki unit produksi IPA III dan IPA IV PDAM Tirta Moedal Kota Semarang.
3. Proses pengolahan Data *Terrestrial Laser Scanner* dengan *Software Scene 5.2*.
4. Analisis perubahan bentuk geometri dilakukan dengan menjadikan data *as built drawing* sebagai data terdahulu dan data *Terrestrial laser scanner* sebagai data terkini serta terfokus pada adanya perubahan terhadap ukuran geometri bangunan.

Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mengetahui keadaan *existing* tangki dan deformasi bentuk tangki pada tangki unit IPA III dan IPA IV PDAM Tirta Moedal Kota Semarang.

2. Studi pustaka

Terrestrial Laser Scanner

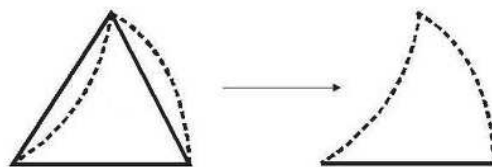
Litchi tahun 2005 dikutip dalam Maharsayanto tahun 2013 menjelaskan bahwa, *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) merupakan suatu peralatan penangkapan gambar (*image*) aktif yang secara cepat dapat memperoleh kumpulan dari titik-titik tiga dimensi dari suatu objek maupun permukaan. Boehler tahun

2002 seperti dikutip dalam Maharsayanto tahun 2013 menjelaskan bahwa terdapat dua jenis *scanner* berdasarkan prinsip pengoperasiannya, yaitu :

1. *Triangulation Scanners*.
Terdiri dari *single camera solution* dan *double camera solution*.
2. *Ranging Scanners*
 - a. *Time of flight of a laser pulse*. Laser dipancarkan ke objek selanjutnya jarak dihitung dari waktu perjalanan antara sinyal transmisi dan penerimaannya. Prinsip ini mempunyai akurasi rendah karena merupakan tipe *scanner* jarak jauh dengan cakupan 1,5 – 6.000 meter. *Scanner* jenis ini cepat dalam melakukan akuisisi data dan titik yang didapat hingga mencapai 11.000 – 122.000 titik setiap detiknya.
 - b. *Phase comparison method*. Metode ini juga sering dikenal melalui alat *tacheometric*. Laser yang dipancarkan dimodulasikan dengan gelombang harmonik dengan jarak yang dihitung dengan menggunakan perbedaan beda fase antara gelombang pancar dan gelombang yang diterima. Akurasi yang dihasilkan rendah karena merupakan tipe *scanner* jarak menengah. Akan tetapi, *scanner* jenis ini dapat mengukur hingga 1.000.000 titik setiap detiknya.

Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu materi baik dari suatu materi baik merupakan bagian dari alam ataupun buatan manusia dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dalam mekanika kontinum adalah transformasi sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terkini (Truesdell, 2004).



Gambar 1. Perubahan bentuk geometri bangun(Leyton, 2006)

Apabila suatu benda mengalami deformasi maka dapat dilakukan analisis dengan 2 macam cara, yaitu: Interpretasi Fisik dan Analisis Geometri. Interpretasi Fisik adalah proses penerjemahan secara fisis terhadap sifat materi yang mengalami deformasi tegangan (*stress*) yang terjadi pada materi. Untuk analisis geometri lebih menekankan penentuan parameter deformasi dengan jalan mentransformasikan perubahan posisi ke dalam bentuk parameter-parameter deformasi meliputi translasi, rotasi dan dilatasi (prayudha, 2010).

3. Bahan dan pelaksanaan penelitian

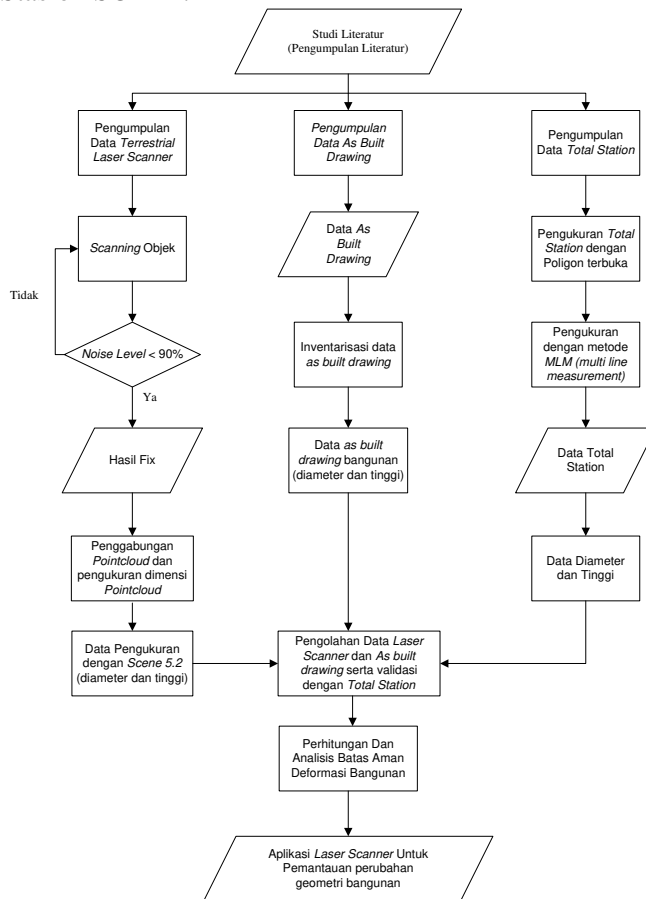
Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian “Pemantauan deformasi bangunan menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner*” dengan studi kasus tangki *klarifier* unit IPA III dan IPA IVPDAM Tirta Moedal Kota Semarang antara lain:

1. **Komputer dengan spesifikasi**
 - a. Asus dengan Komputer Asus dengan *Processor Intel Core i7-3770 @3.40GHz (8CPUs), 3.4GHz RAM 32768 MB.*
 - b. *VGA NVIDIA Quadro 2000*
 - c. Hardisk 500 GB
 - d. Sistem operasi *Windows 7 Ultimate 64-bit.*
2. **Perangkat lunak (Software)**
 - a. *Scene Version 5.2.*
 - b. *Scene LT*
 - c. *Microsoft Word 2007*
 - d. *Microsoft Excel 2007*
 - e. *Microsoft Visio 2007*
3. **Peralatan dan bahan**
 - a. FARO Laser Scanner Focus 3D
 - b. Sphere target

- c. Checkerboard target
- d. Tripot Survey
- e. TS Sokia Set 630R
- f. Pita ukur

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup :

- a. Data *Scanning Terrestrial Laser Scanner* dengan interval 10 menit.
- b. Data *As Built Drawing*
- c. Data Total Stasion SOKIA.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tahap yang perlu dilakukan, tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari survey pendahuluan, orientasi scanner, pengumpulan data, persiapan, proses scanning, analisis dan kesimpulan.

Survey pendahuluan

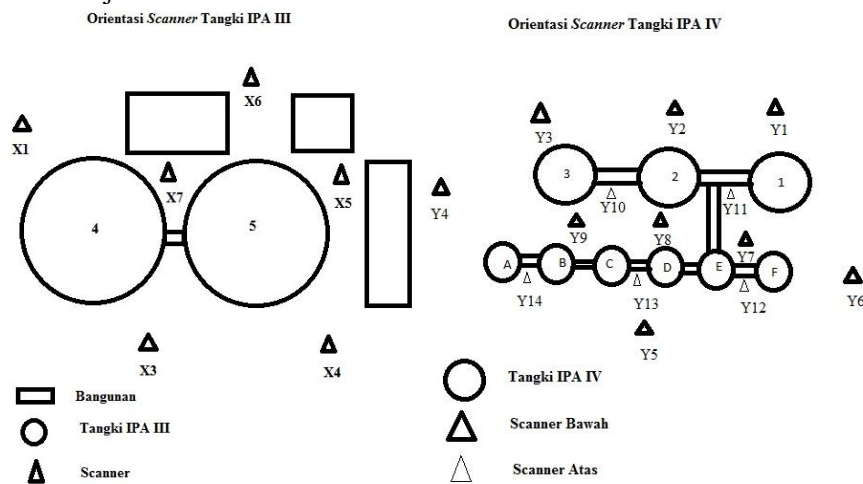
Pengukuran dilakukan di Unit produksi PDAM Tirta Moedal Kota Semarang dengan mengambil objek unit produksi IPA III dan unit produksi IPA IV. Unit Produksi PDAM Tirta Moedal Kota Semarang terletak pada wilayah koordinat 7° 0'9,21" LS dan pada 110° 24' 5,02" BT serta memiliki elevasi 16 m. Pada pengukuran dilakukan pada tanggal 26 Maret 2014 sampai 29 Maret 2014 pada rentang waktu jam 06.00 WIB hingga 11.00 WIB dan 15.00 WIB sampai pukul 18.00 WIB



Gambar 3. Lokasi penelitian

Perencanaan (orientasi) posisi scanner

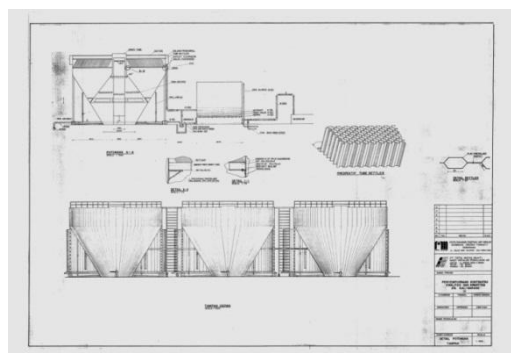
Selanjutnya yang harus dilakukan sebelum melaksanakan pengukuran adalah orientasi scanner dengan menentukan posisi scanner terhadap objek dalam merekam data. berikut adalah sketsa penentuan posisi posisi scanner dan objek :



Gambar 4. Orientasi scanner tangki unit IPA III dan IPA IV

**Pengumpulan data
Data As Built Drawing**

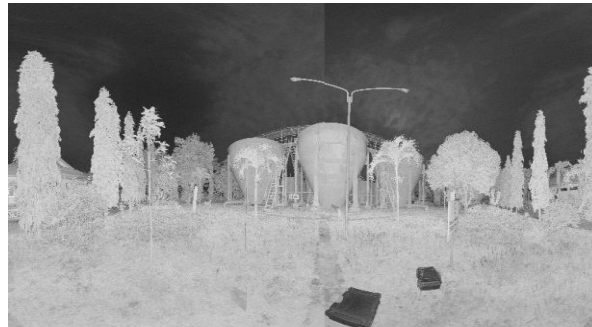
Pengumpulan data *As Built Drawing* dilakukan dengan menginventarisasi data-data geometri bangunan tangki klarifier. Data yang dikumpulkan berupa data tinggi dan diameter tangki, kemudian data dikumpulkan dan diolah dengan menggunakan *microsoft excel*.



Gambar 5. As built drawing bangunan tangki unit IPA IV

Scanning Faro Laser Scanner

Pada pengambilan data *Laser Scanner* untuk keperluan monitoring deformasi bangunan pada unit produksi IPA III dan IPA IV PDAM Tirta Moedal Kota Semarang dilakukan berdiri alat sebanyak 23 kali. Pada penelitian ini dilakukan perekaman sebanyak 9 kali pada unit IPA III dan 14 kali pada tangki klarifier unit IPA IV. Berikut adalah kenampakan hasil scan dengan *greyscale* dari semua titik perekaman :



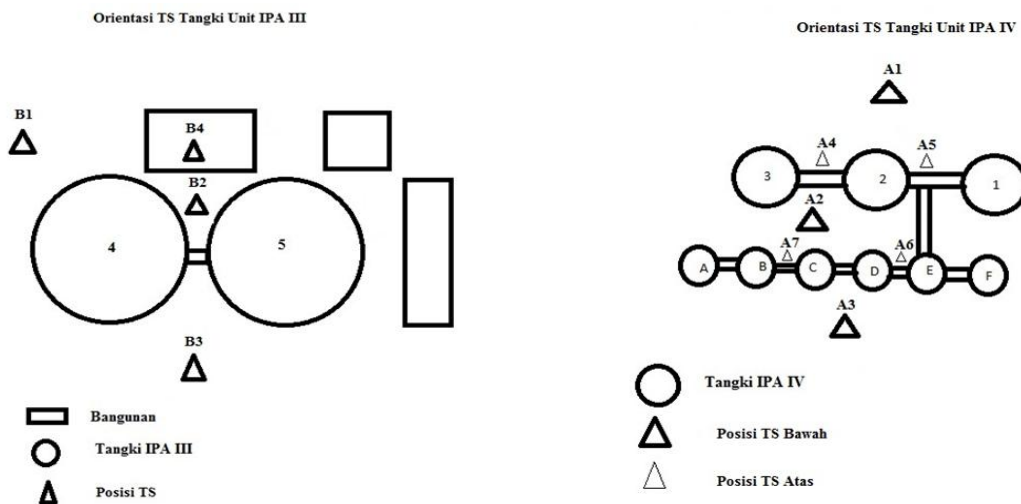
Gambar 6. Hasil *greyscale* tangki IPA IV



Gambar 7. Hasil *greyscale* tangki IPA III

Pengukuran Total Station

Pengukuran dengan *electronic total station* dilakukan untuk perbandingan jarak antar sisi dengan *terrestrial laser scanner*. Pada penelitian ini, metode pengukuran *electronic total station* dengan menggunakan metode poligon terbuka dengan menggunakan koordinat lokal. Orientasi posisi alat dalam pengukuran total station SOKIA set 630 R dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Orientasi total station terhadap Tangki IPA III dan IPA IV

4. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil dan analisis *pointcloud* tangki

Dari hasil pengolahan data dari *FARO Focus 3D* diatas dapat dilihat bahwa hasil *pointcloud* tangki yang diperoleh kenampakan seperti berikut :



Gambar 9. Hasil pengolahan *pointcloud* tangki IPA IV dilihat dari sisi sebelah selatan



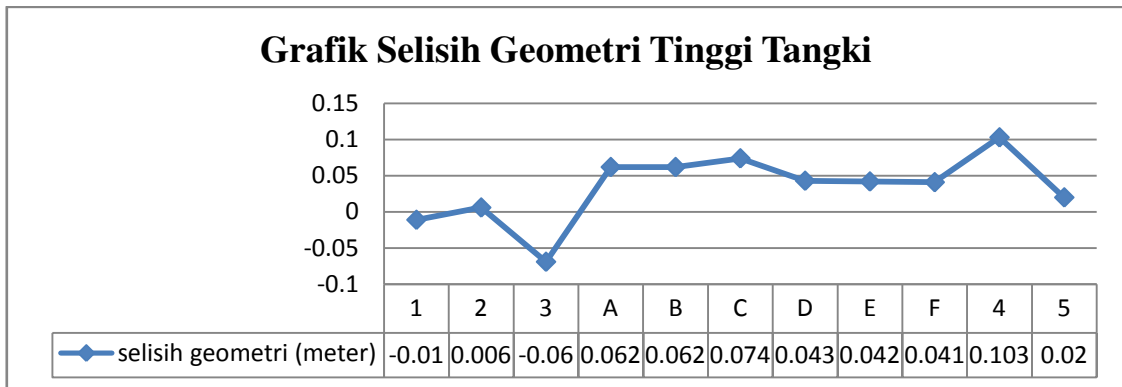
Gambar 10. Hasil pengolahan *pointcloud* tangki IPA III dilihat dari sisi sebelah utara

2. Hasil dan analisis deformasi tangki berdasarkan *terrestrial laser scanner* dan *as built drawing*

Analisis deformasi atau perubahan bentuk pada tangki milik PDAM *Tirta Moedal* KotaSemarang tangki unit IPA III serta tangki unit IPA IV dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* dengan software *Scene LT* yang dibandingkan dengan data *As Built Drawing* milik PDAM *Tirta Moedal* KotaSemarang serta divalidasikan dengan data pengukuran dari *total station* SOKIA seri set 630R. Hasil perbandingan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Geometri Tinggi Tangki

Kode tangki	Tinggi Tangki <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	Tinggi Tangki <i>as built drawing</i>	selisih tinggi <i>Terrestrial Laser Scanner</i> dan <i>As built drawing</i>
1	7,559	7,57	-0,011
2	7,576	7,57	0,006
3	7,501	7,57	-0,069
A	4,562	4,5	0,062
B	4,562	4,5	0,062
C	4,574	4,5	0,074
D	4,543	4,5	0,043
E	4,542	4,5	0,042
F	4,541	4,5	0,041
4	3,103	3	0,103
5	3,02	3	0,02

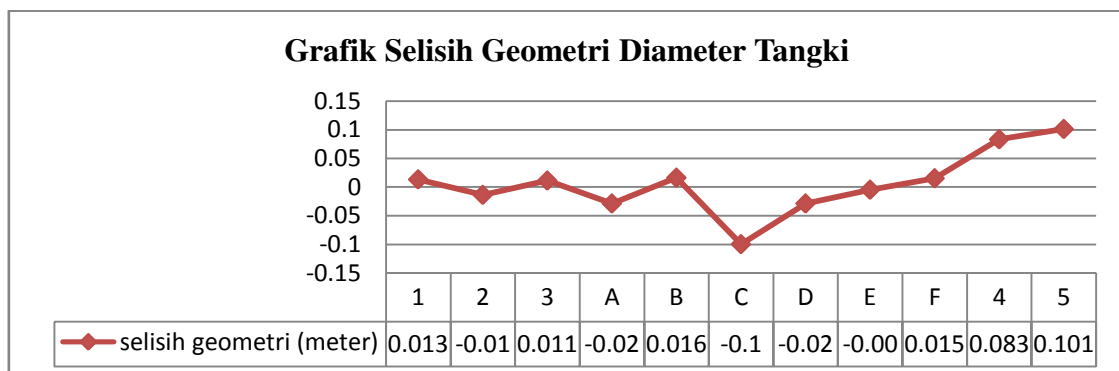


Gambar 11. Selisih geometri tinggi tangki

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa perubahan tinggi *existing* berdasarkan pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* tangki PDAM *Tirta Moedal*, paling besar terjadi pada tangki dengan kode 4 yaitu terjadi perubahan geometri sebesar 0,103 m lebih panjang dari gambar rencana terbangun atau *As Built Drawing* nya. Sedangkan perubahan bentuk geometri tinggi tangki terpendek terjadi pada tangki dengan kode 3 yaitu 0,069 m lebih pendek dari gambar *As built drawing* nya.

Tabel 2. Geometri Diameter Tangki

kode tangki	Diameter Tangki <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	Diameter Tangki <i>as built drawing</i>	selisih Diameter <i>Terrestrial Laser Scanner</i> dan <i>As built drawing</i>
1	9,913	9,9	0,013
2	9,886	9,9	-0,014
3	9,911	9,9	0,011
A	4,771	4,8	-0,029
B	4,816	4,8	0,016
C	4,7	4,8	-0,1
D	4,771	4,8	-0,029
E	4,795	4,8	-0,005
F	4,815	4,8	0,015
4	19,083	19	0,083
5	19,101	19	0,101



Gambar 12. Selisih geometri diameter tangki

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa perubahan diameter *existing* berdasarkan pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* tangki PDAM *Tirta Moedal*, paling besar terjadi pada tangki

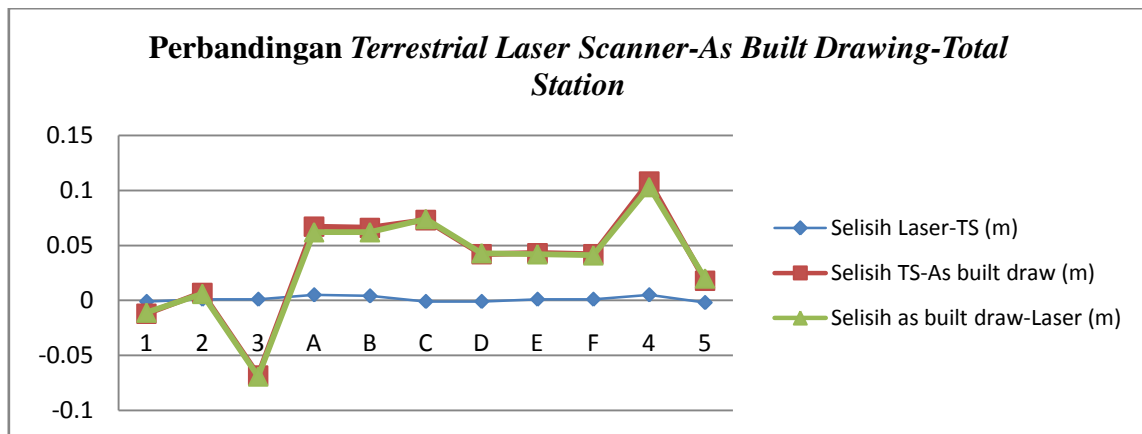
dengan kode 5 yaitu terjadi perubahan geometri sebesar 0,101 m lebih panjang dari gambar rencana terbangun atau *As Built Drawing* nya. Sedangkan perubahan bentuk geometri diameter tangki terpendek terjadi pada tangki dengan kode C yaitu 0,1 m lebih pendek dari gambar *As built drawing* nya.

3. Hasil perbandingan geometri *terrestrial laser scanner* – *as built drawing* – *total station Sokia set 630R*

Hasil perbandingan geometri tinggi serta geometri tangki PDAM *Tirta Moedal* unit IPA III dan IPA IV menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner*, data *As Built Drawing* dengan *Total Station SOKIA set 630R* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Perbandingan Geometri Tinggi Tangki Dengan *Total Station Sokia set 630R*

Kode Tangki	Tinggi Tangki dengan Laser (m)	Tinggi Tangki dengan TS (m)	Tinggi Tangki pada <i>As Built Drawing</i> (m)	Selisih Laser-TS (m)	Selisih TS- <i>As Built Drawing</i> (m)	Selisih <i>As Built Drawing</i> - Laser (m)
1	7,559	7,558	7,57	0,001	-0,012	-0,011
2	7,576	7,577	7,57	0,001	0,007	0,006
3	7,501	7,502	7,57	0,001	-0,068	-0,069
A	4,562	4,567	4,5	0,005	0,067	0,062
B	4,562	4,566	4,5	0,004	0,066	0,062
C	4,574	4,573	4,5	-0,001	0,073	0,074
D	4,543	4,542	4,5	-0,001	0,042	0,043
E	4,542	4,543	4,5	0,001	0,043	0,042
F	4,541	4,542	4,5	0,001	0,042	0,041
4	3,103	3,108	3	0,005	0,108	0,103
5	3,02	3,018	3	-0,002	0,018	0,02

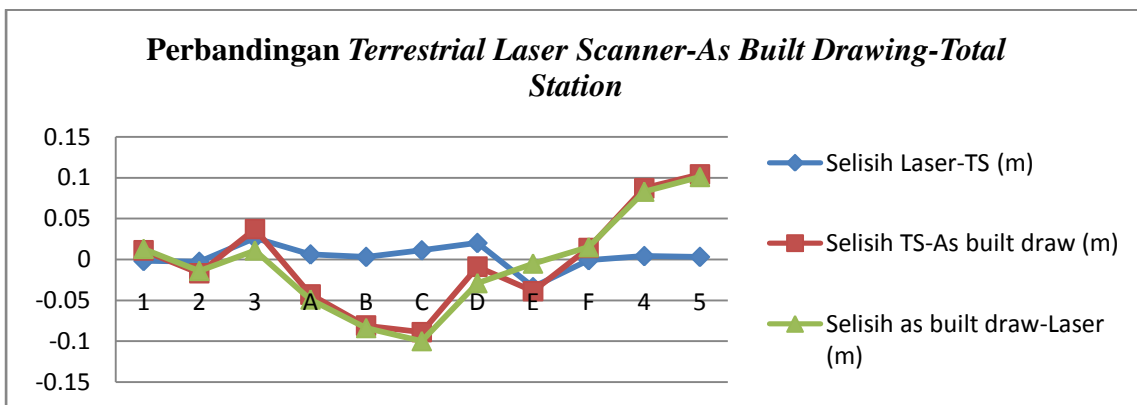


Gambar 13. Grafik perbandingan geometri tinggi tangki dengan *Total Station Sokia Set 630R*

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa selisih pengukuran tinggi antara *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *As Built Drawing* memiliki rata-rata selisih 0,033 m. Sedangkan selisih pengukuran tinggi antara *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *Total Station Sokia set 630R* memiliki rata-rata selisih 0,001 m. Serta selisih pengukuran tinggi antara *Total Station Sokia set 630R* dengan data *As Built Drawing* memiliki rata-rata selisih 0,035 m.

Tabel 4. Perbandingan Geometri Diameter Tangki Dengan *Total Station Sokia set 630R*

Kode Tangki	Diameter Tangki dengan Laser (m)	Diameter Tangki dengan TS (m)	Diameter Tangki pada <i>As Built Drawing</i> (m)	selisih Laser-TS (m)	Selisih TS- <i>As Built Drawing</i> (m)	Selisih <i>As Built Drawing</i> - Laser (m)
1	9,913	9,911	9,9	-0,002	0,011	0,013
2	9,886	9,883	9,9	-0,003	-0,017	-0,014
3	9,911	9,937	9,9	0,026	0,037	0,011
A	4,771	4,767	4,8	-0,004	-0,033	-0,029
B	4,816	4,819	4,8	0,003	0,019	0,016
C	4,7	4,711	4,8	0,011	-0,089	-0,1
D	4,771	4,791	4,8	0,02	-0,009	-0,029
E	4,795	4,761	4,8	-0,034	-0,039	-0,005
F	4,815	4,814	4,8	-0,001	0,014	0,015
4	19,083	19,087	19	0,004	0,087	0,083
5	19,101	19,104	19	0,003	0,104	0,101



Gambar 14. Grafik perbandingan geometri tinggi tangki dengan *Total Station Sokia Set 630R*

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa selisih pengukuran diameter antara *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *As Built Drawing* memiliki rata-rata selisih 0,006 m. Sedangkan selisih pengukuran tinggi antara *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *Total Station Sokia set 630R* memiliki rata-rata selisih 0,002 m. Serta selisih pengukuran tinggi antara *Total Station Sokia set 630R* dengan data *As Built Drawing* memiliki rata-rata selisih 0,00772 m.

4. Analisis hasil perbandingan geometri tangki berdasarkan *terrestrial laser scanner* dan *as built drawing* dengan batas ijin deformasi bangunan

Tabel 5. Hasil Uji Batas aman Deformasi Diameter Bangunan

$\Delta Tls - \Delta As Built Drawing$ (meter)	Diameter Diketahui (meter)	Perhitungan Batas Aman	Hasil Uji Batas Aman	Kode Tangki
0,013	9,9	0,0013	Memenuhi	1
-0,014	9,9	-0,0014	Memenuhi	2

0,011	9,9	0,0011	Memenuhi	3
-0,029	4,8	-0,0060	Memenuhi	A
0,016	4,8	0,0033	Memenuhi	B
-0,1	4,8	-0,0208	Memenuhi	C
-0,029	4,8	-0,0060	Memenuhi	D
-0,005	4,8	-0,0010	Memenuhi	E
0,015	4,8	0,0031	Memenuhi	F
0,083	19	0,0044	Memenuhi	4
0,101	19	0,0053	Memenuhi	5

Tabel 6. Hasil Uji Batas aman Deformasi Tinggi Bangunan

$\Delta Tls - \Delta As$ <i>Built Drawing</i> (meter)	Tinggi Diketahui (meter)	Perhitung an Batas Aman	Hasil Uji Batas Aman	Kode Tangki
-0,011	7,57	-0,0015	Memenuhi	1
0,006	7,57	0,0008	Memenuhi	2
-0,069	7,57	-0,0091	Memenuhi	3
0,062	4,5	0,0138	Tidak Memenuhi	A
0,062	4,5	0,0138	Tidak Memenuhi	B
0,074	4,5	0,0164	Tidak Memenuhi	C
0,043	4,5	0,0096	Tidak Memenuhi	D
0,042	4,5	0,0093	Tidak Memenuhi	E
0,041	4,5	0,0091	Tidak Memenuhi	F
0,103	3	0,0114	Tidak Memenuhi	4
0,02	3	0,0022	Memenuhi	5

Berdasarkan uji statistik diatas, untuk pengukuran deformasi diameter bangunan semua hasil pengukuran dinyatakan memenuhi toleransi batas aman yang ditentukan. Sedangkan Berdasarkan hasil perhitungan uji batas aman, untuk pengukuran deformasi tinggi tangki beberapa tangki tidak memenuhi batas aman dari deformasi bangunan. Tangki A,B, C, D, E, F dan tangki 4 berdasarkan perhitungan deformasi bentuk bangunan dengan mengasumsikan data *as built drawing* sebagai data acuan dan data *Terrestrial Laser Scanner* sebagai data terbaru dinyatakan tidak memenuhi batas aman.

5. Kesimpulan dan saran

1. Kesimpulan

- 1) Pengumpulan data dengan menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner* dilakukan dengan 3 tahapan persiapan, perekaman dan pengolahan data. Pada tahap persiapan melakukan perencanaan penempatan *scanner*. Pada tahap perekaman *setting* alat dan lokasi yang tepat dapat mempengaruhi kualitas perekaman data. Tahap rekonstruksi memiliki beberapa tahapan, yaitu registrasi data atau penggabungan *point cloud* yang sama dari posisi *standpoint* yang berbeda atau pada proses ini mengubah koordinat sekutu dari posisi yang berbeda ke dalam sisitem koordinat yang sama Pada penelitian ini sistem koordinat yang dipakai adalah sistem koordinat lokal dari alat. *Filtering*, dilakukan dengan menghilangkan objek-objek yang tidak diperlukan (*noise*).

- 2) Deformasi bentuk yang terjadi pada tangki PDAM Kota Semarang pada unit IPA III dan IPA IV berdasarkan gambar rencana terbangun (*As Built Drawing*) sebagai acuan hasil pengolahan data *pointcloud* menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner*. Dari hasil perbandingan diperoleh hasil bahwa pada tangki unit IPA III memiliki rata-rata tinggi tangki 0,061 m lebih panjang dari gambar rencana *As Built Drawing* nya. Dan memiliki diameter rata-rata 0,092 m lebih panjang daripada gambar rencana *As Built Drawing* nya. Sedangkan pada tangki unit IPA IV dengan kode tangki 1-3 memiliki perbedaan tinggi rata-rata lebih pendek 0,025 m dari tinggi sebenarnya berdasarkan desain *As Built Drawing* nya. Dan memiliki diameter rata-rata lebih panjang 0,003 m dari desain *As Built Drawing* nya. Serta pada tabung tangki IPA IV dengan kode tangki A-F memiliki perbedaan tinggi rata-rata lebih tinggi 0,054 m dan panjang diameter rata-rata 0,022 m lebih pendek dari desain *As Built Drawing* nya
- 3) Analisis deformasi bangunan berdasarkan selisih dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dan jarak yang diketahui pada *As Built drawing* diambil asumsi bahwa deformasi yang terjadi adalah karena adanya kerusakan pada struktur sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut $\frac{\delta_{ij}}{L_{ij}} \leq \frac{1}{150}$. Maka diperoleh nilai toleransi batas aman deformasi bangunan sebesar 0,007 m. Perhitungan uji batas aman bangunan diperoleh dengan membandingkan selisih anantara pengukuran *laser scanner* dan *as built drawing* dengan jarak sesungguhnya berdasarkan data *as built drawing*. Diperoleh hasil bahwa untuk pengukuran deformasi diameter bangunan semua hasil pengukuran dinyatakan memenuhi toleransi batas aman yang ditentukan. Sedangkan Berdasarkan hasil perhitungan uji batas aman, untuk pengukuran deformasi tinggi Tangki A,B, C, D, E, F dan tangki 4 tidak memenuhi batas aman dari deformasi bangunan.

2. Saran

Saran untuk pelaksanaan penelitian berikutnya mengenai “Aplikasi *Terrestrial Laser Scanner* Untuk Pemantauan Deformasi Bangunan (studi kasus : Tangki *Klarifier* PDAM Kota Semarang)” yaitu :

1. Pengukuran objek dengan *Terrestrial Laser Scanner* sebaiknya dilakukan dalam satu hari pengukuran. Karena, akan mempengaruhi akurasi pengukuran dan mempermudah dalam registrasi data ke *software scene 5.2*.
2. Perencanaan posisi alat sangat penting dan akan mempengaruhi kualitas *scanning*.
3. Pemantauan sebaiknya dilakukan secara berkala, sehingga akan memperoleh model dari waktu ke waktu. Karena, akan memberikan informasi perubahan bentuk secara lebih akurat dari waktu ke waktu.
4. Penelitian selanjutnya terhadap alat ini sebaiknya lebih difokuskan kepada resolusi dan akurasi alat.
5. Pada tahap persiapan melakukan perencanaan penempatan *scanner* secara sistematis serta perencanaan waktu perekaman perlu dilakukan dengan matang untuk menghindari terjadi efek kesalahan bias sinar laser.

6. Daftar Pustaka

- Leyton, Michael. 2006. *Shape as Memory a Geometric Theory of Architecture*. Basel
- Muntohar, A. S. (2012). *Geoteknik Forensik: Penurunan Pada Bangunan*. Topik Khusus, Yogyakarta: Teknik Sipil : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Pflipsen. (2006). *Laser Scanning Principle and Applications*. Institute of Fotogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology. Austria.
- Maharsayanto, P. Y. (2013). *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan*. Tugas Akhir, Semarang : Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Truesdell (2004). *The non-linear field theories of mechanics*: Third edition, Springer, p. 48.
- Prayudha, E. G. (2010). *Deformasi*. Bahan Ajar. Universitas Gunadarma. Jakarta
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Applications*. Michigan : Ann Arbor Press, Inc