



## Pemodelan 3D “Gedung Merdeka” Menggunakan Teknologi *Terrestrial Laser Scanning*

Rezky Hartawan Noviansyah<sup>1</sup>, Irwan Gumilar<sup>1</sup>, Hasanuddin Z. Abidin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kelompok Keahlian Geodesi, Fakultas Ilmu dan  
Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung*

**Abstrak.** Gedung Merdeka merupakan salah satu bangunan bersejarah di pusat Kota Bandung yang memiliki nilai historis tinggi dan telah berdiri sejak tahun 1895. Bangunan peninggalan kolonial Belanda ini pernah menjadi tempat pergelaran konferensi Asia-Afrika yang merupakan cikal bakal lahirnya gerakan non-blok di dunia. Jika dilihat dari penampakannya, bangunan ini bernuansa *art deco* dan dilengkapi dengan lantai marmer italia beserta kayu *cikenhout*. Oleh karena itu, untuk mempertahankan semua keunikan yang berada pada gedung tersebut perlu dilakukan sebuah upaya untuk melestarikan keberadaannya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan tiga dimensi (3D). Pada kasus ini cara yang digunakan adalah dengan menggunakan teknologi *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) dengan teknik pemodelan terbalik (*reverse modelling*). Model tiga dimensi yang akan terbentuk dari proses tersebut merupakan solusi konkret dari upaya pengarsipan, pendokumentasian, dan pemasaran Gedung Merdeka. Metodologi Penelitian ini diawali dengan studi literatur lalu dilanjutkan dengan akuisisi data, dan diakhiri dengan pengolahan data yang menghasilkan model tiga dimensi. Pada saat akuisisi data, metode yang digunakan adalah pemindaian objek menggunakan TLS yang memanfaatkan prinsip pengukuran berbasis pulsa. Dalam melakukan pengolahan data, metode yang digunakan adalah registrasi, *filtering*, *unify* dan pembuatan model tiga dimensi. Pada proses registrasi didapatkan total *point cloud* sebanyak 257.126.364 titik dengan nilai rata-rata galat hasil registrasi sebesar 2 mm. Data *point cloud* yang telah diolah lalu dibentuk menjadi sebuah model 3D melalui serangkaian proses dengan menggunakan beberapa perangkat lunak. Pada model 3D yang dihasilkan juga didapat volume bagian *main hall* sebesar 10098.8 m<sup>3</sup>. Proses validasi model 3D dilakukan dengan membandingkan antara model tiga dimensi yang dihasilkan dengan hasil ukuran distometer, yaitu antara 2 mm – 9 mm dengan perbedaan jarak rata-rata sebesar 4 mm.

**Kata Kunci:** *Gedung Merdeka, Terrestrial Laser Scanning, Pemodelan tiga dimensi.*

### 1 Pendahuluan

Gedung Merdeka merupakan salah satu dari bangunan bersejarah yang terletak di pusat kota Bandung. Bangunan ini merupakan tempat pergelaran konferensi Asia-Afrika yang merupakan cikal bakal dari lahirnya gerakan non-blok di dunia. Bangunan ini sendiri awalnya dibangun pada tahun 1895 dengan nama *Sociëteit*

*Concordia*, yang pada masanya dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi dan sosialisasi sejumlah ekspatriat Belanda yang bermukim di Bandung pada masa pendudukan Belanda. Gedung megah ini bernuansakan *art deco* dengan dilengkapi lantai marmer buatan Italia serta ruangan tempat minum-minum dan bersantai yang dibangun dari kayu *cikenhout*. Bangunan bersejarah seperti Gedung Merdeka merupakan sebuah warisan budaya yang memerlukan penanganan dan perawatan khusus. Nilai-nilai historis yang dimiliki gedung ini harus bisa dipertahankan untuk diturunkan kepada generasi yang akan datang. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk melestarikan Gedung Merdeka adalah dengan melakukan pengarsipan bentuk fisik bangunan.

Pemodelan tiga dimensi (3D) merupakan langkah konkret dalam mengarsipkan Gedung Merdeka. Meningkatnya ketersediaan peralatan untuk akuisisi data 3D dalam format digital memungkinkan pembuatan model 3D secara efektif, cepat, dan akurat (Lahoz dkk. 2006). Dengan adanya model 3D tersebut bentuk terkini Gedung Merdeka dapat tergambarkan secara menyeluruh dan akurat. Model 3D Gedung Merdeka juga dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam melakukan rekonstruksi bangunan tersebut ketika terjadi bencana alam ataupun untuk keperluan renovasi. Pada penelitian ini akan dilakukukan serangkaian proses akuisisi dan pengolahan data guna mendapatkan model 3D dan informasi geometrik terkait detail Gedung Merdeka. Foto Gedung Merdeka dapat dilihat pada Gambar 1.

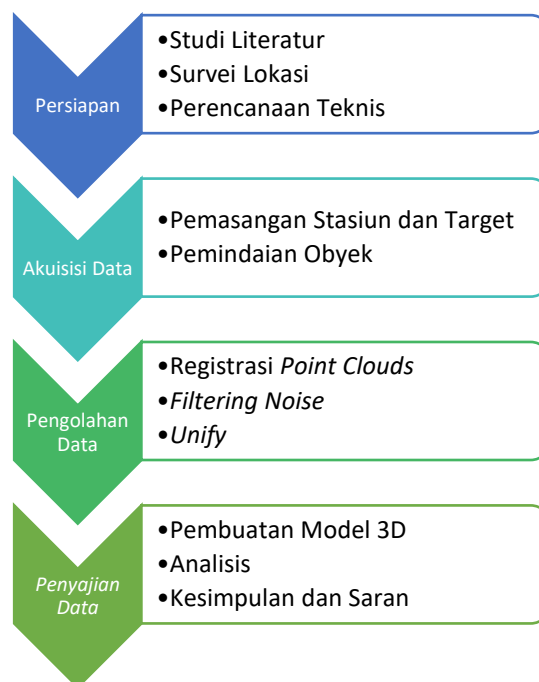


**Gambar 1** Foto Gedung Merdeka

## **2 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian dari penulisan ini yaitu:

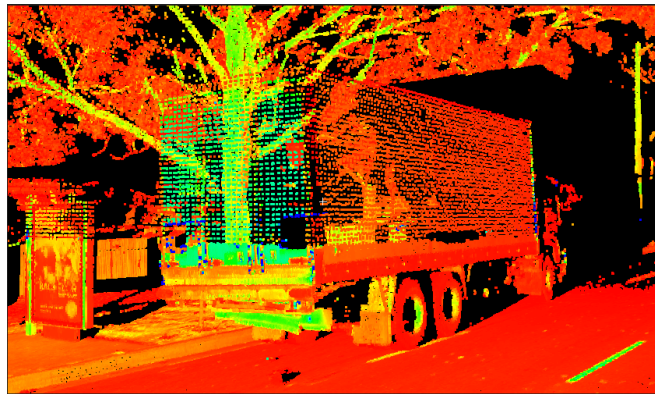
1. Pada tahap pertama dilakukan studi literatur tentang penggunaan teknologi *Terrestrial Laser Scanning* dalam pembuatan model 3D Gedung Merdeka. Setelah itu dilakukan survei lokasi pengambilan data yang bertempat pada Jl. Asia Afrika No. 65.
2. Akuisisi data dilakukan pada tanggal 5 September 2014 dengan memasang alat (*station*) dan menempatkan target pada titik yang sudah ditentukan ketika survei lokasi dilaksanakan.
3. Data awan titik (*point clouds*) yang dihasilkan dari hasil pemindaian kemudian diolah hingga menghasilkan model 3D. Tahapan proses pengolahan data yang dilakukan, meliputi :
  - a. Melakukan penggabungan *point clouds* hasil pemindaian menggunakan metode *target to target registration* dan *cloud to cloud registration*.
  - b. Melakukan identifikasi dan pembersihan derau (*noise*) dari *point clouds*.
4. Pada tahap selanjutnya dilakukan pemodelan 3D dan dilanjutkan dengan analisis model 3D. Hasil analisis yang didapat merupakan dasar bagi penentuan kesimpulan dan saran. Skema metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Skema metodologi penelitian

### 3 TLS (*Terrestrial Laser Scanning*)

TLS merupakan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran penampakan suatu objek menggunakan sinar laser yang dipancarkan dan diterima kembali hasil pantulannya. Konsep tersebut merupakan dasar bagi pengoperasian alat TLS. Alat tersebut dapat merekam seluruh objek yang berada dalam jangkauan dengan akurasi tinggi, jangkauan luas, dan dapat melakukan akuisisi data dalam waktu yang relatif singkat. Pemindaian menggunakan TLS akan memberikan *output* berupa kumpulan titik-titik yang membentuk suatu objek dengan jumlah tertentu dan terdapat didalam sistem koordinat 3D yang relatif terhadap tempat berdirinya alat (*station*). Posisi titik-titik tersebut didapatkan melalui perhitungan sudut dan jarak. Menurut Quintero dkk. (2008), hasil *point clouds* yang didapatkan tidak merepresentasikan warna sebenarnya dari objek yang dipindai melainkan warna intensitas hasil pantulan. Contoh *point clouds* yang dihasilkan dari proses TLS dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3** Contoh *point clouds* (sumber: [www.laserscanningforum.com](http://www.laserscanningforum.com))

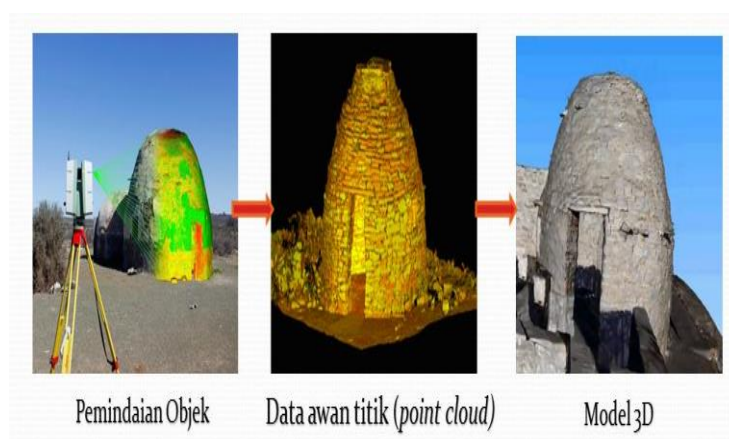
TLS merupakan sebuah instrumen yang mempunyai kemampuan untuk melakukan pengukuran jarak dan sudut. Untuk mendapatkan ukuran jarak, TLS beroperasi menggunakan prinsip kerja *Time of Flight* (TOF). Prinsip kerja tersebut memanfaatkan perhitungan selang waktu dari gelombang laser saat dipancarkan hingga diterima kembali oleh penerima laser tersebut. Waktu selang tempuh yang telah diperoleh merupakan dasar bagi penghitungan jarak antara TLS dengan objek yang sedang dipindai. Deskripsi model matematis untuk menghitung jarak antara alat dengan objek yang sedang dipindai dapat menggunakan persamaan 1 (Reshetyuk, 2009).

$$R = \frac{c \times t}{2} \quad (1)$$

dimana  $R$  adalah jarak dari alat ke objek (meter),  $c$  merupakan kecepatan rambat cahaya di udara ( $\approx 3 \times 10^8$  meter/detik), dan  $t$  adalah waktu tempuh pulsa laser (detik).

#### 4 Aplikasi TLS Pada Pemodelan 3D Bangunan Bersejarah

Penggunaan teknologi *laser scanning* dalam berbagai bidang telah berkembang begitu pesat. Salah satu aplikasi yang kerap kali digunakan adalah aplikasi TLS untuk memodelkan bangunan bersejarah secara 3D. Kemampuan TLS dalam memindai jutaan titik dalam waktu relatif singkat menjadi poin penting dalam menyediakan *raw data* yang kelak akan digunakan dalam pemodelan 3D. TLS juga dilengkapi dengan kamera sehingga dapat menyediakan informasi warna dan tekstur dari bangunan bersejarah. Hasil model 3D yang dihasilkan nantinya dapat digunakan untuk pemodelan virtual, pemantauan, penilaian kondisi kedetilan, dan penilaian kerusakan pada bangunan bersejarah (Adhitiaputra, 2013). Ilustrasi pemodelan 3D bangunan bersejarah menggunakan TLS dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Pemodelan 3D bangunan bersejarah menggunakan teknologi TLS

#### 5 Akuisisi Data

Akuisisi data merupakan serangkaian proses yang dijalankan guna memperoleh data *point clouds* Gedung Merdeka. Proses ini diawali dengan pengenalan lokasi pengambilan data, lalu dilanjutkan dengan persiapan alat dan peralatan penunjang, survei pendahuluan, pengumpulan data, dan dokumentasi lapangan. Pada penelitian ini objek yang ingin dipindai adalah Gedung Merdeka, yang berlokasi di Jalan Asia Afrika No. 65, Bandung, Jawa Barat, Indonesia. Gedung Merdeka terletak pada koordinat geografis pedekatan sebesar  $6^{\circ}55'15,5''$  LS dan

107°36'30" BT dengan luas sekitar 7500 m<sup>2</sup>. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan 3D Gedung merdeka bagian luar, *lobby*, dan *main hall*. Visualisasi dari kegiatan dokumentasi Gedung Merdeka akan ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5** Dokumentasi Gedung Merdeka bagian samping (a), bagian depan (b), *main hall* (c), dan lobi (d)

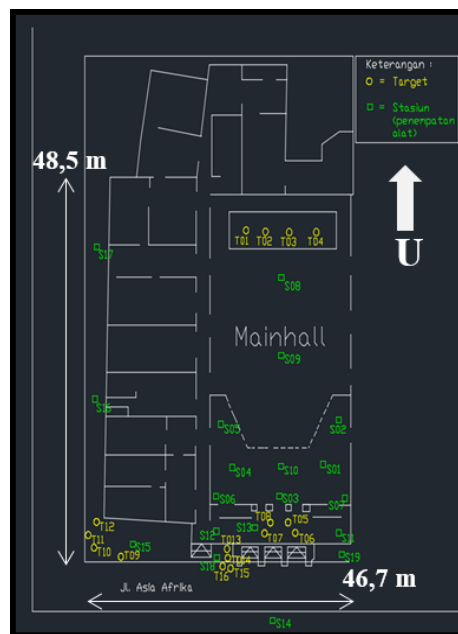
Pada penelitian ini, data primer yang dibutuhkan berupa kumpulan *point clouds* yang melingkupi permukaan objek yang akan dipindai. Instrumen utama yang akan digunakan untuk akuisisi data primer adalah *Laser Scanner* Leica HDS Scanstation C10 dan beberapa peralatan penunjang. Spesifikasi dari instrumen utama yang akan digunakan pada akuisisi data dapat dilihat pada pada Tabel 1.

**Tabel 1** Spesifikasi Leica HDS Scanstation C10

Akurasi Pengukuran Tunggal	
Posisi	6 mm @ 1 - 50 m
Jarak	4 mm @ 1 - 50 m
Sistem Laser	
Jarak Maksimum	300 m
Kecepatan Maksimum Pengukuran	50.000 titik/detik
Medan Pandang Maksimum	
Datar	360°
Tegak	270°

Akuisisi data menggunakan TLS merupakan kegiatan yang cukup sulit bila tidak disertai pemahaman mengenai kondisi dan bentuk area yang akan diamati. Oleh karena itu, perlu dilakukan survei pendahuluan guna mendapatkan informasi-informasi penting dari area yang ingin dipindai. Informasi yang didapatkan tersebut, nantinya akan menjadi dasar bagi pembuatan perencanaan pengukuran yang terdiri dari penentuan posisi target dan alat (*station*). Kelengkapan data dan lamanya waktu pemindaian sangat dipengaruhi oleh efisiensi dari penempatan target dan *station*.

Pemindaian dilakukan pada hari Jumat, 5 September 2014 pukul 09.00 WIB sampai pukul 21.00 WIB. Terdapat tiga area yang akan dipindai, yaitu *main hall*, *lobby*, dan bagian luar. Pemindaian dimulai dari bagian dalam (*main mall*) yang dilakukan pada pagi hari lalu dilanjutkan dengan *lobby* yang dipindai pada siang hari dan diakhiri dengan pemindaian bagian luar pada malam hari. Pada saat pemindaian bagian dalam (*main hall*) dan bagian lobby dilakukan, diperoleh kondisi ideal dikarenakan pada saat itu Gedung Merdeka dalam keadaan sepi pengunjung. Pemindaian bagian luar Gedung Merdeka tidak berlangsung dalam kondisi ideal dikarenakan banyak mobil dan warga yang menghalangi objek yang sedang dipindai. Untuk memberikan gambaran lebih jauh sketsa letak *station* dan target akan ditampilkan pada Gambar 6.



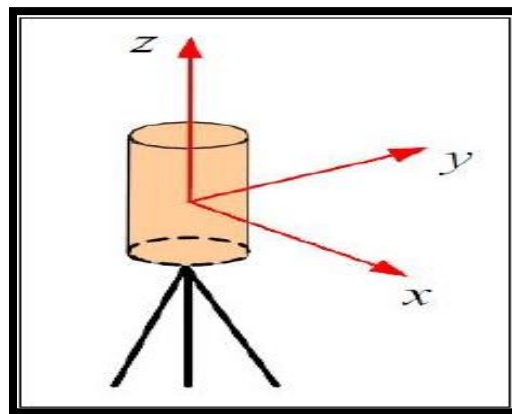
**Gambar 6** Sketsa penempatan alat (Persegi) dan target (lingkaran) pada saat pemindaian Gedung Merdeka



## 6 Pengolahan Data

Akuisisi data yang telah dilakukan akan memberikan *output* berupa data *point clouds* dalam jumlah yang sangat banyak. Untuk memanfaatkan data tersebut sebagai dasar dalam pembuatan model 3D, perlu dilakukan pengolahan data terlebih dahulu. Pengolahan data yang akan dilakukan adalah penggabungan data *point clouds* dari tiap *station* menjadi satu bagian (registrasi). Proses selanjutnya adalah pembersihan data hasil registrasi dari derau yang tidak diperlukan (*filtering*). Proses terakhir setelah melalui dua tahap tersebut adalah penyeragaman data (*unify*). Setelah melewati dua proses tersebut, *point clouds* yang dihasilkan sudah dapat digunakan sebagai dasar dalam pembuatan model 3D.

Registrasi merupakan tahapan pertama dari pengolahan data untuk memperoleh gabungan *point clouds* dari setiap *station* secara menyeluruh dan menyatu. Sebelum dilakukan registrasi, hasil *point clouds* yang pada setiap pemindaian masih terdefinisi dengan sistem koordinat lokal yang mengacu kepada tempat berdirinya *station*. Ilustrasi sistem koordinat pada TLS ditampilkan pada Gambar 7.

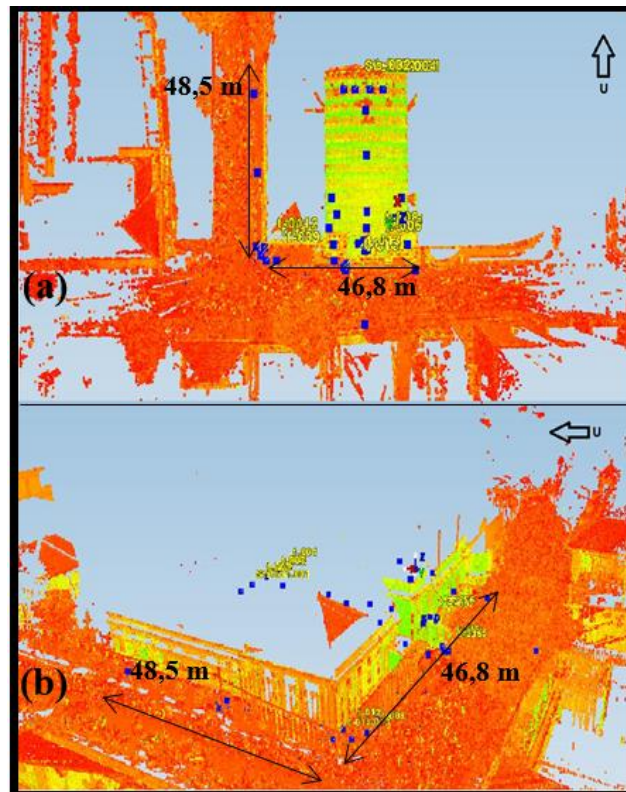


**Gambar 7** Sistem Koordinat TLS (Reshetyuk, 2009)

Dalam melakukan proses registrasi, diperlukan minimal 3 titik acuan yang terdapat pada pertampalan antar area pemindaian yang akan digabungkan. Titik acuan tersebut digunakan untuk penentuan nilai parameter transformasi koordinat internal alat ke dalam koordinat lokal (Reshetyuk, 2009), yaitu 3 parameter translasi ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) dan 3 parameter rotasi ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ). Terdapat beberapa macam teknik yang dapat dilakukan dalam melakukan registrasi *point clouds*. Menurut Pfeifer (2007), pemilihan teknik registrasi yang dilakukan akan mempengaruhi



cara survei dan cara pengolahannya akan berbeda pula. Setiap teknik registrasi memiliki kelebihan maupun kekurangannya masing-masing. Situasi lokasi pemindaian dan akurasi ketelitian hasil registrasi juga merupakan faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan teknik registrasi. Dalam penelitian ini, teknik registrasi yang akan digunakan adalah *target-to-target registration* dan *cloud-to-cloud registration*. Berdasarkan hasil dari kedua teknik registrasi tersebut didapatkan nilai galat registrasi rata-rata sebesar 0,002 m. Hasil registrasi *point clouds* Gedung Merdeka dapat dilihat pada Gambar 8.

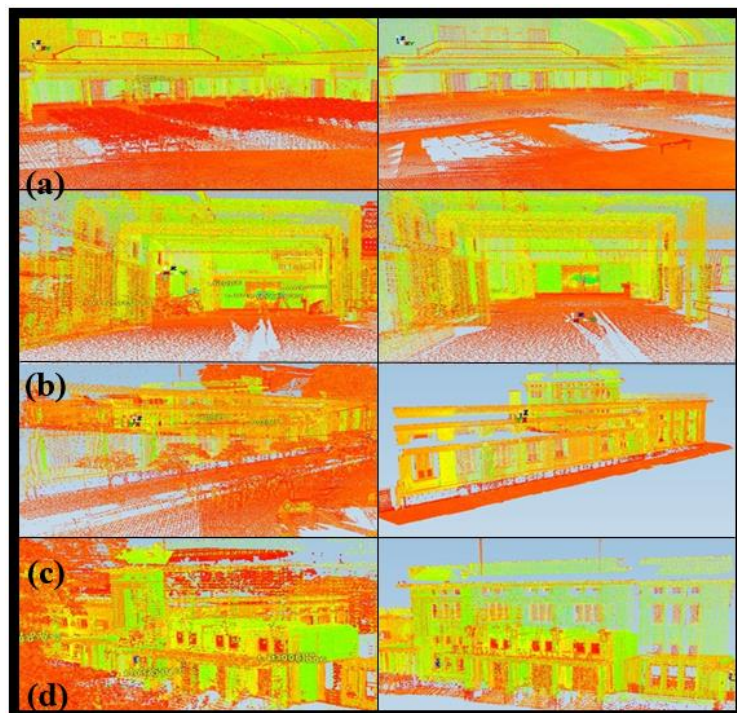


**Gambar 8** Hasil registrasi *point clouds* Gedung Merdeka tampak atas (a) dan tampak samping (b)

Data *point clouds* yang diperoleh dalam proses registrasi terlebih dahulu harus melalui proses penyeragaman. *Unify* merupakan salah satu tahapan dalam pengolahan data yang bertujuan untuk menyeragamkan konsistensi data. Pemindaian yang dilakukan berulang kali dalam waktu dan kondisi berbeda menyebabkan adanya inkonsistensi data tersebut. Dengan dilakukannya proses

ini, jumlah data *point clouds* akan semakin ringan sehingga pemodelan 3D akan lebih mudah untuk dilakukan.

Pada tahap akhir pengolahan data perlu dilakukan proses *filtering* yang merupakan pemilahan antara data yang diperlukan maupun data yang tidak diperlukan (derau atau *noise*). Dalam melakukan proses ini diperlukan kecermatan dan ketelitian guna mendapatkan data *point clouds* yang mewakili bentuk model 3D yang ingin dibuat. Teliti atau tidaknya proses *filtering* merupakan tolak tolak ukur terhadap baik atau tidaknya model 3D yang akan dihasilkan. Umumnya, tahap ini memakan waktu lebih lama ketimbang proses pengolahan data lainnya. Dalam aplikasi TLS guna memodelkan suatu bangunan, *filtering* digunakan sebagai pemisah data *point clouds* dari objek-objek yang ikut terpindai ketika pengambilan data dilakukan. Objek-objek tersebut dapat berupa pohon, manusia, mobil atau bangunan lainnya.



**Gambar 9** Perbandingan data *point clouds* sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) filtering pada *main hall* (a), *lobby* (b), bagian samping (c), dan bagian depan (d)

Lokasi Gedung Merdeka berada disalah satu jalan arteri yang selalu ramai sehingga menimbulkan banyak *noise* yang timbul. Hal tersebut merupakan persoalan utama yang harus diselesaikan dengan proses *filtering*. Teknik yang

digunakan dalam proses *filtering* adalah dengan teknik *fencing* dan *smooth surface*. Teknik *fencing* bekerja dengan membuat batas antara *point clouds* yang akan dihilangkan dengan *point clouds* yang ingin dipertahankan. Teknik *smooth surface* merupakan teknik semi otomatis yang menghilangkan *noise* berdasarkan data sampel yang digunakan sebagai acuan. Penggunaan kedua teknik tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan situasi dari persebaran *point clouds*. Melalui proses *filtering*, terjadi pengurangan jumlah *point clouds* sebesar 1,56%. Perbandingan data *point clouds* Gedung Merdeka pada saat sebelum dan sesudah melalui proses *filtering* ditampilkan pada Gambar 9 di atas.

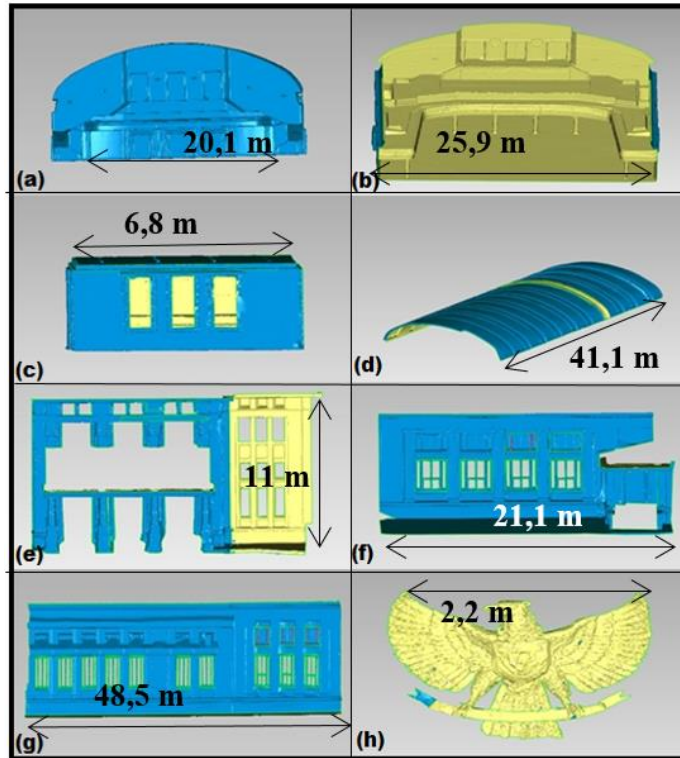
## 7 Pembuatan Model 3D

Data *point clouds* yang telah melalui proses registrasi, *filtering*, dan *unify* merupakan data primer dalam pembuatan model 3D. Setelah itu, diperlukan beberapa tahapan pengolahan lanjutan untuk mengubah titik-titik yang menyerupai sebuah objek tersebut menjadi suatu model 3D utuh yang merepresentasikan sebuah objek nyata. Proses tersebut membutuhkan beberapa perangkat lunak yang memiliki kapasitas dalam pembuatan model 3D. Pada proses pembuatan model 3D ini digunakan perangkat lunak *Geomagic Studio* 2013, *Google Sketchup 8*, *Autodesk Recap* 2015 dan *3ds Max* 2015. Sebelum memulai pemodelan 3D, *point clouds* harus dipastikan dapat dibaca pada perangkat lunak lain dan perlu dilakukan *export* data ke format *.pts* terlebih dahulu. Terdapat tiga proses dalam pembuatan model 3D, yaitu:

1. Proses *meshing point clouds* menjadi objek solid menggunakan perangkat lunak *Geomagic Studio* 2013.
2. Proses pembuatan kerangka bangunan, atap, dan trotoar menggunakan perangkat lunak *Google Sketchup 8*.
3. Penggabungan kerangka bangunan, atap, dan trotoar dengan hasil *meshing* menggunakan perangkat lunak *3ds Max* 2015.

Pemanfaatan berbagai macam perangkat lunak didasarkan oleh bentuk dan kompleksitas dari model yang ingin dibentuk. Objek yang memiliki bentuk serta tekstur unik dibuat langsung melalui proses *meshing* oleh perangkat lunak *Geomagic Studio*. Objek yang dibuat dari hasil *meshing* akan memiliki wujud menyerupai dengan bentuk aslinya. Proses *meshing* merupakan suatu proses dalam pengolahan model 3D yang memiliki banyak tahapan. Terdapat rangkaian fitur pengolahan *mesh* yang dapat dimanfaatkan guna memperoleh model 3D yang merepresentasikan bentuk sebenarnya. Fitur tersebut terdiri *point processing*, *wrap*, *fill holes*, *smoothing*, *repair*, dan beberapa sub-fitur lainnya. Dalam penelitian ini, Bagian Gedung Merdeka yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Geomagic Studio* 2013 adalah seluruh bagian *main hall*, seluruh

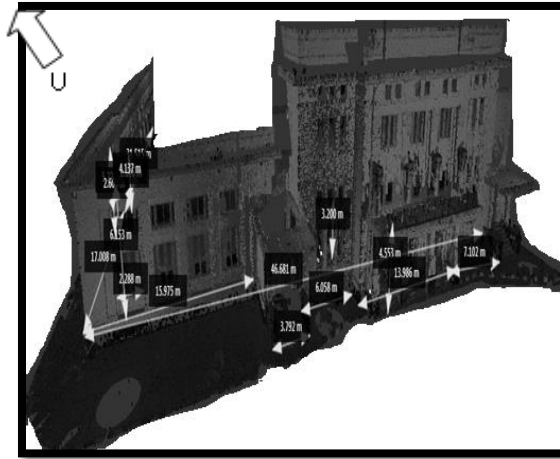
koridor *lobby*, dan seluruh tembok bagian luar yang disertai dengan jendela dan pintu. Hasil *meshing* bagian Gedung Merdeka dapat dilihat pada Gambar 10.



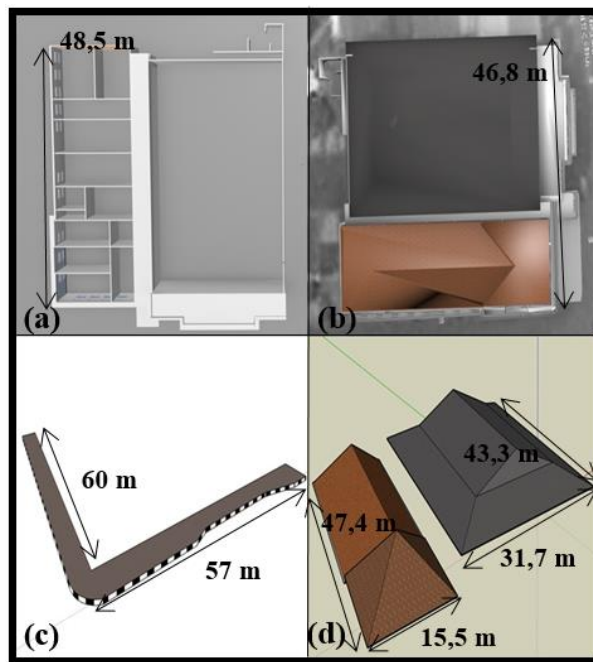
**Gambar 10** Hasil *meshing* main hall tampak depan (a), main hall tampak atas (b), lobby bagian kiri (c), atap main hall (d), bagian depan (e), bagian depan sebelah kiri (f), bagian samping (g), dan hiasan Garuda (h) dari Gedung Merdeka.

Untuk objek-objek yang memiliki bentuk sederhana seperti kerangka, atap, dan trotoar dibuat dengan perangkat lunak *Google Sketchup 8*. Pembuatan objek dengan *Sketchup* umumnya dilakukan jika proses *meshing* tidak dapat berjalan dengan baik. Berbeda dengan proses *meshing*, data primer yang digunakan dalam perangkat lunak *Google Sketchup* berasal dari data ukuran antar *point clouds* yang terlebih dahulu diukur menggunakan perangkat lunak *Autodesk Recap*. Dengan perangkat lunak tersebut, pengukuran jarak antar *point clouds* dapat dilakukan dengan mudah dan akurat. Setelah data ukuran diperoleh, model 3D dibuat dengan fitur *line* dan *square* untuk membuat alas, lalu ditarik ke atas menggunakan fitur *pull/push* untuk menjadikannya sebuah model 3D yang memiliki ketinggian. Visualisasi pengambilan data ukuran menggunakan

perangkat lunak *Autodesk Recap* dan hasil pemodelan 3D menggunakan *Google Sketchup* dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12.



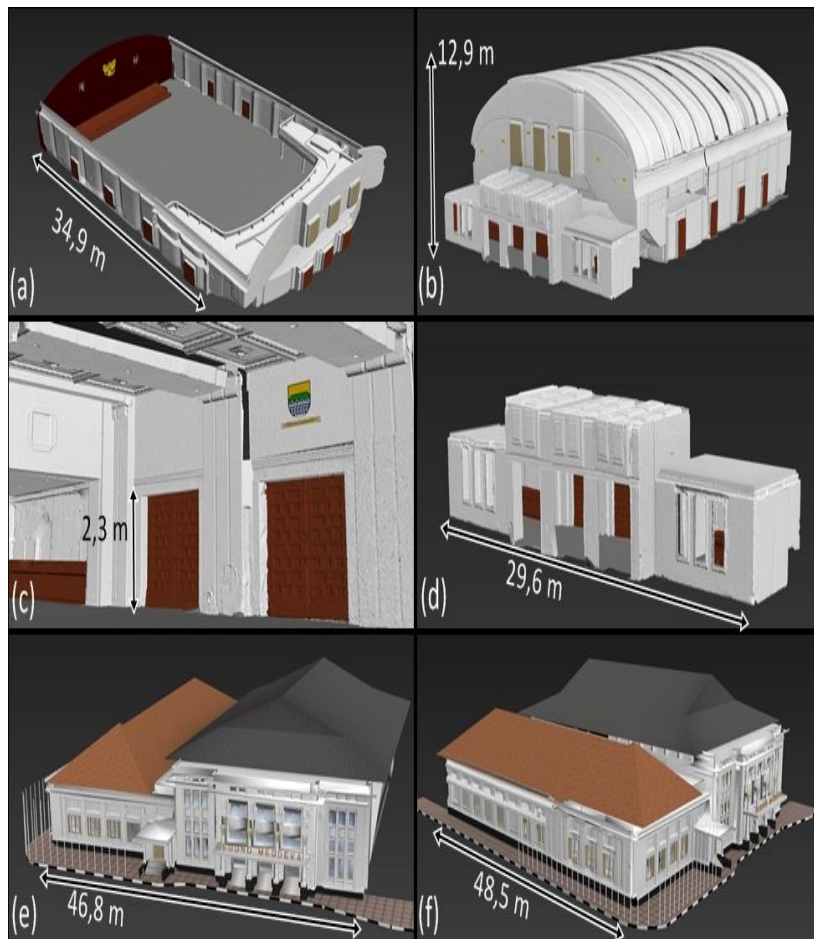
Gambar 11 Pengambilan data ukuran menggunakan *AutoDesk Recap*



Gambar 12 Pemodelan 3D kerangka bangunan tampak atas (a), kerangka bangunan dan atap tampak atas (b), trotoar (c), dan atap (d) Gedung Merdeka menggunakan perangkat lunak *Google Sketchup 8*



Setelah pemodelan melalui kedua perangkat lunak tersebut selesai, dilakukan penggabungan menggunakan perangkat lunak 3ds Max 2015. Pada tahap akhir akan dilakukan pemberian warna dan tekstur menggunakan sampel dari foto. Visualisasi hasil pewarnaan model 3D, perbandingan antara foto dan model 3D dan ukuran geometri bagian luar Gedung Merdeka dapat dilihat pada Gambar 13 – 17.



**Gambar 13** Ilustrasi hasil pewarnaan *main hall* tampak atas (a), *main hall* dan lobby (b), lobby bagian tengah (c), lobby (d), bagian depan (e), dan bagian samping (f) dari Gedung Merdeka



**Gambar 14** Visualisasi perbandingan foto Gedung Merdeka bagian dalam (kiri) dengan model 3D Gedung Merdeka bagian dalam (kanan)



**Gambar 15** Visualisasi perbandingan foto Gedung Merdeka bagian depan (atas) dengan model 3D Gedung Merdeka bagian depan (bawah)





**Gambar 16** Visualisasi perbandingan foto Gedung Merdeka bagian samping (atas) dengan model 3D Gedung Merdeka bagian samping (bawah)



**Gambar 17** Ukuran geometri model 3D Gedung Merdeka bagian luar

## 8 Analisis Ukuran

Dengan menghitung selisih hasil ukuran yang didapatkan TLS dengan *distometer*, didapatkan perbedaan jarak minimum sebesar 0,002 m dan maksimum sebesar 0,009 m. Dari hasil perbandingan tersebut didapatkan ketelitian model 3D rata-rata sebesar 0,004 m meter. Perbedaan nilai tersebut dapat terjadi akibat serangkaian proses pengolahan data dan pemodelan 3D yang menyebabkan perambatan kesalahan. Penyebab lainnya adalah *distometer* sebagai alat validasi

yang tidak terkalibrasi dengan baik atau tidak datar dengan sempurna ketika melakukan pengambilan jarak.

## 9 Analisis Warna

Pemberian warna pada model 3D Gedung Merdeka dilakukan menggunakan warna asli yang didapatkan dengan pengambilan sampel dari foto dokumentasi Gedung Merdeka. Berdasarkan proses tersebut, didapatkan hasil pewarnaan yang berbeda dari objek hasil *mesh* (menggunakan perangkat lunak *Geomagic studio* 2013) dan objek yang dibuat menggunakan data ukuran (menggunakan perangkat lunak *Google Sketchup*). Pada objek hasil *mesh*, pewarnaan yang dilakukan tidak dapat dilakukan dengan sempurna. Seperti yang terjadi pada saat pemberian warna ubin marmer dan meja kayu, hasil pewarnaan pada hasil *mesh* merupakan warna dasar yang tergeneralisasi dari warna sampel. Hal tersebut diakibatkan oleh bentuk *mesh* yang tersusun oleh TIN yang memiliki bentuk berbeda satu sama lain sehingga sulit untuk diberi warna. Pada objek yang dibuat menggunakan data ukuran, pewarnaan dapat dilakukan dengan sempurna. Sampel warna yang diperoleh dari foto dapat digunakan untuk mewarnai objek. Berbeda dengan hasil *mesh*, model 3D yang dibuat dengan data ukuran dapat diwarnai hingga menyerupai bentuk aslinya.

## 10 Analisis Volume

Untuk memperoleh informasi geometris menyeluruh tentang sebuah bangunan diperlukan perhitungan volume dari sebuah bangunan. Dalam prosesnya, perhitungan volume secara akurat hanya dapat dilakukan pada sebuah model 3D yang terepresentasi secara utuh dan tidak memiliki lubang. Oleh karena itu, perhitungan volume hanya dapat dilaksanakan pada *main hall* Gedung Merdeka. Perhitungan volume dilakukan dengan perangkat lunak *Geomagic Studio* 2013 yang menggunakan fitur *compute volume to plane*. Metode perhitungan tersebut memanfaatkan jarak antara permukaan objek dengan dengan bidang referensi. Agar dimensi perbandingan yang dihasilkan sama, bidang referensi diposisikan berada tepat ditengah dari model 3D yang sedang diukur volumenya. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh volume *main hall* Gedung Merdeka sebesar 10.098,8 m<sup>3</sup>. Nilai volume yang dihasilkan dari pengukuran tersebut tidak terlepas dari beberapa kesalahan. Salah satunya, kurang halusya proses *meshing* yang menyebabkan model 3D yang dihasilkan tidak terepresentasi secara sempurna. Hal tersebut berdampak pada berubahnya nilai *volume*. Penyebab lainnya adalah volume beberapa perabotan yang masih terdapat didalam *main hall* Gedung Merdeka ikut terhitung pada proses perhitungan volume.

## 11 Kesimpulan dan Saran

Dari keseluruhan proses pengerjaan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik adalah:

1. Pembuatan model 3D Gedung Merdeka dengan menggunakan TLS dapat dilakukan dengan melalui serangkaian proses akuisisi dan pengolahan data. Melalui serangkaian proses tersebut dihasilkan model 3D Gedung Merdeka bagian luar, *lobby*, dan *main hall* yang menyerupai bentuk aslinya dalam segi geometris. Pemberian warna dan tekstur asli dari Gedung Merdeka hanya dapat dilakukan pada model 3D yang bukan hasil dari proses *meshing*. Nilai galat rata-rata hasil registrasi didapatkan sebesar 2 mm.
2. Dari hasil validasi terhadap objek sebenarnya didapatkan selisih jarak ukuran pada model 3D dengan *distometer* maksimum sebesar 9 mm dan minimum sebesar 2 mm. Dari hasil validasi tersebut didapatkan nilai ketelitian model 3D rata-rata sebesar 4 mm. Perbedaan nilai tersebut dapat terjadi akibat serangkaian proses pengolahan data yang menyebabkan perambatan kesalahan. Pada hasil model 3D bagian *main hall* juga didapatkan hasil perhitungan volume sebesar 10.098,8 m<sup>3</sup>.
3. Pemodelan 3D suatu gedung dapat dilakukan dengan baik jika objek yang dimodelkan terpindai secara lengkap dan tidak terhalang oleh entitas yang tidak diinginkan. Kondisi tersebut akan menghasilkan data *point clouds* yang merepresentasikan detail gedung secara jelas dan aktual. Pemodelan 3D dari detail barang yang terdapat di Gedung Merdeka gedung juga dapat dilakukan dengan pengolahan khusus menggunakan beberapa perangkat lunak. Terdapat beberapa barang yang gagal dipindai akibat *point clouds* yang tidak lengkap. Model 3D detail barang yang terdapat pada Gedung Merdeka juga dapat diberikan warna dan tekstur menggunakan sampel data yang didapatkan dari pengambilan foto.
4. Pemindaian Gedung Merdeka secara keseluruhan dapat diselesaikan dengan waktu 12 jam. Jumlah waktu yang dibutuhkan dalam sebuah pemindaian sangat dipengaruhi oleh resolusi dan jumlah *station*. Pada proses selanjutnya, pengolahan data Gedung Merdeka memerlukan waktu 1 bulan dan pemodelan 3D Gedung Merdeka memerlukan waktu 2 bulan.

## 12 Daftar Pustaka

- [1] Adhitiaputra, R. (2013). *Mekanisme Kalibrasi Terrestrial Laser Scanner*. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.

- [2] Lahoz, J.G., Aguilera, D. G., Finat, J., Martinez, J., Fernandez, J., San Jose, J. (2006). *Terrestrial Laser Scanning Metric Control: Assesment of Metric Accuracy for Cultural Heritage Modeling*. ISPRS, Vol.36 (No.4), pp. 1209-06.
- [3] Pfeifer, N. (2007, July 1-7). *Overview of TLS system, overall processing and applications*. Ljubljana, Slovenia: ISPRS Summer School.
- [4] Reshetyuk, Y. (2009). *Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- [5] Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Poelman, R., Hankar, M., Barnes, S., et al. (2008). *Theory And Practice On Terrestrial Laser Scanning. The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying In Risk Awareness Project (3D Risk Mapping)*.