



No. 11 /P /BM /2025

PEDOMAN

Bidang Jalan

PEMANFAATAN LASER SCANNER PADA MANAJEMEN KONSTRUKSI JALAN



K E M E N T E R I A N P E K E R J A A N U M U M
D I R E K T O R A T J E N D E R A L B I N A M A R G A



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jalan Pattimura No. 20, Selong Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12110, Telp. (021) 7203165

Yth.

1. Kepala Badan Pengatur Jalan Tol
2. Sekretaris Direktur Jenderal Bina Marga
3. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
4. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional
5. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga
6. Para Kepala Perangkat Daerah Penyelenggara Jalan

SURAT EDARAN

NOMOR : 13 /SE/Db/2025

TENTANG

PEDOMAN PEMANFAATAN *LASER SCANNER* PADA MANAJEMEN KONSTRUKSI JALAN

A. Umum

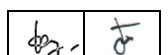
Laser scanner atau pemindai laser merupakan salah satu perkembangan teknologi pemindaian objek dan lingkungan dengan memanfaatkan cahaya laser. Hasil pemindaian menjadi data digital yang merepresentasikan objek dan area 3 Dimensi (3D). Teknologi *laser scanner* mengukur dan merekam data dalam bentuk awan titik (*point cloud*).

Laser scanner dapat diterapkan dalam setiap tahapan manajemen konstruksi, yang terdiri atas survei (*survey*), investigasi (*investigation*), pelaksanaan konstruksi (*construction*), pengoperasian (*operation*), dan pemeliharaan (*maintenance*). Contoh penerapannya adalah pemantauan progres pekerjaan konstruksi secara berkesinambungan dan akurat. Dengan *laser scanner*, tahap manajemen konstruksi jalan bisa dilaksanakan dengan lebih efisien dari aspek waktu dan biaya. Data yang diperoleh juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam setiap tahapan pembangunan jalan.

Dengan potensi pemanfaatan yang luas, diperlukan pedoman sebagai panduan teknis bagi penyelenggara jalan untuk mengoptimalkan pemanfaatan *laser scanner* dalam konstruksi jalan dan jembatan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, perlu ditetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Pedoman Pemanfaatan *Laser Scanner* pada Manajemen Konstruksi Jalan.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran



- Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
 3. Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 85, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6919);
 4. Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 366);
 5. Keputusan Presiden Nomor 28/TPA Tahun 2025 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dari dan Dalam Jabatan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum;
 6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 1052);
 7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372);
 8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 955);
 9. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 252);

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan pemanfaatan *laser scanner* dalam setiap kegiatan pada manajemen konstruksi jalan mulai dari perencanaan teknis awal dan perencanaan teknis akhir, pengadaan tanah, pelaksanaan konstruksi, pengoperasian, dan preservasi jalan.

Surat Edaran ini bertujuan untuk meningkatkan efektifitas, efisiensi, serta akurasi pengambilan data, termasuk data spasial, dalam setiap kegiatan dalam manajemen konstruksi jalan, yang melalui pengendalian kualitas data keluaran secara sistematis.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran berisikan ketentuan pemanfaatan *laser scanner* yang mencakup prinsip kerja *laser scanner*, klasifikasi *laser scanner*, standar keamanan dan operasional *laser scanner*, spesifikasi *laser scanner*, akuisisi

	
---	---

dan pengolahan data *laser scanner*, kontrol kualitas hasil pengukuran *laser scanner*, serta penyajian data *laser scanner*.

E. Pengaturan Pemanfaatan Teknologi *Laser Scanner*

Surat Edaran ini mencakup pengaturan tentang penggunaan *laser scanner* dalam setiap kegiatan pada manajemen konstruksi jalan, yang terdiri atas:

1. Ketentuan Umum

Ketentuan umum berisikan:

- a. prinsip kerja *laser scanner*;
- b. jenis *laser scanner*;
- c. standar keamanan dan operasional alat; dan
- d. pemanfaatan *laser scanner* pada tahapan manajemen konstruksi jalan.

2. Ketentuan Teknis

Ketentuan teknis berisikan:

- a. spesifikasi teknis *laser scanner*;
- b. akuisisi dan pengolahan data *laser scanner*;
- c. kontrol kualitas hasil pengukuran *laser scanner*; dan
- d. penyajian data *laser scanner*.

F. Penutup

Surat Edaran Direktur Jenderal ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum
2. Wakil Menteri Pekerjaan Umum
3. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum
4. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum

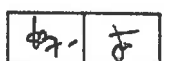
Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 9 Oktober 2025

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,



ROY RIZALI ANWAR
NIP 19810430 2003 1 21006



PRAKATA

Data spasial memainkan peran strategis dalam penyelenggaraan jalan. Salah satu teknologi yang dapat mendukung perolehan data spasial dalam penyelenggaraan jalan adalah alat survei berbasis *laser scanner*. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, Direktorat Jenderal Bina Marga perlu memberikan panduan, petunjuk, dan acuan penggunaan alat survei berbasis *laser scanner*. "Pedoman Pemanfaatan *Laser Scanner* pada Manajemen Konstruksi Jalan" disusun sebagai panduan bagi semua pihak terlibat dalam pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia.

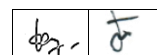
Pedoman ini disusun oleh Subdirektorat Data dan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, melalui adopsi pedoman maupun manual teknis penggunaan *laser scanner* untuk pekerjaan survei pembangunan jalan dan jembatan, antara lain dari *California Department of Transportation (Caltrans)* maupun *Austroroads*. Pedoman ini disusun melalui *Forum Group Discussion (FGD)* dengan melibatkan semua elemen dalam Direktorat Jenderal Bina Marga, akademisi serta praktisi dalam pemanfaatan teknologi *laser scanner*.

Pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi seluruh pemangku kepentingan dalam pekerjaan pembangunan dan preservasi jaringan jalan (termasuk jembatan). Pedoman ini memastikan bahwa seluruh rangkaian kegiatan telah dilakukan dengan mengikuti standar, bersifat transparan, dan berbasis data yang akurat. Dengan demikian, perencanaan dan pengambilan keputusan pekerjaan pembangunan jalan dapat dilaksanakan secara tepat sasaran dan efisien. Apabila di kemudian hari ditemukan kekurangan atau kesalahan, penyempurnaan pedoman akan dilakukan.

Jakarta, 9 Oktober 2025
Direktur Jenderal Bina Marga,

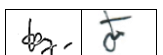


Roy Rizali Anwar



DAFTAR ISI

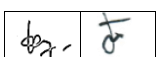
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
PENDAHULUAN	vi
1. Ruang Lingkup	1
2. Acuan Normatif.....	1
3. Istilah dan Definisi.....	2
4. Ketentuan Umum.....	7
5. Prinsip Kerja <i>Laser Scanner</i>	8
6. Jenis <i>Laser Scanner</i>	9
7. Standar Keamanan dan Operasional Alat	11
8. Zona Aman Laser	12
9. Perlindungan Operator	12
10. Standar Pengoperasian Alat.....	13
11. Pemanfaatan <i>Laser Scanner</i> Pada Manajemen Konstruksi Jalan	14
12. Tahap Perencanaan Teknis	15
13. Tahap Pengadaan Tanah	16
14. Tahap Konstruksi	17
15. Tahap Operasi dan Pemeliharaan.....	18
16. Ketentuan Teknis	19
17. Spesifikasi Teknis <i>Laser Scanner</i>	20
18. Akuisisi dan Pengolahan Data <i>Laser Scanner</i>	21
19. Akuisisi dan Pengolahan Data ALS.....	22
20. Akuisisi dan Pengolahan Data MLS.....	24
21. Akuisisi dan Pengolahan Data TLS.....	25
22. Akuisisi dan Pengolahan Data PLS	27
23. Kontrol Kualitas Hasil Pengukuran <i>Laser Scanner</i>	27
24. Monitoring Perencanaan Survei <i>Laser scanner</i>	27
25. Monitoring Pelaksanaan dan Pengolahan Data Survei <i>Laser Scanner</i>	28
26. Penyajian Data <i>Laser Scanner</i>	29
27. Metadata <i>Laser Scanner</i>	30
28. Penamaan Data dan Penyusunan Folder Penyimpanan	31
Bibliografi	32
Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa.....	34
LAMPIRAN A	35



DAFTAR TABEL

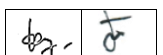
Tabel 1 - Zona aman laser berdasarkan kelas laser	12
Tabel 2 - Kebutuhan personel	14
Tabel 3 - Perbandingan jenis <i>laser scanner</i>	14
Tabel 4 - Pemanfaatan <i>laser scanner</i> pada manajemen konstruksi jalan	15
Tabel 5 - Spesifikasi teknis <i>laser scanner</i>	20
Tabel 6 - Format perhitungan ketelitian posisi	28
Tabel 7 - Ketentuan Penyajian data <i>laser scanner</i>	29
Tabel 8 - Spesifikasi format data <i>laser scanner</i>	30

SALINAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 - Perangkat ALS.....	10
Gambar 2 - Perangkat MLS pada mobil.....	10
Gambar 3 - Perangkat TLS.....	11
Gambar 4 - Perangkat PLS.....	11
Gambar 5 - Contoh sebaran <i>control point</i> dan <i>check point</i> pada area luasan	23
Gambar 6 - Contoh sebaran <i>control point</i> dan <i>check point</i> pada trase jalan	23
Gambar 7 - Pemasangan <i>control point</i> dan <i>check point</i> pada akuisisi data MLS	25
Gambar 8 - Contoh persebaran titik <i>stationing</i> dan <i>check point</i> pengukuran TLS	26
Gambar 9 - Contoh persebaran titik <i>stationing</i> pengukuran TLS untuk bangunan atau jembatan	26



PENDAHULUAN

Teknologi *laser scanner* merupakan salah satu inovasi strategis untuk mendukung pembangunan infrastruktur jalan. Berdasarkan beberapa kajian ilmiah yang telah dilakukan antara lain oleh *California Department of Transportation (Caltrans)* maupun beberapa jurnal ilmiah yang telah terbit terkait penerapan *laser scanner*, teknologi ini terbukti mampu meningkatkan akurasi, efisiensi, serta efektivitas dalam berbagai tahapan manajemen konstruksi, mulai dari perencanaan, pengadaan tanah, pelaksanaan konstruksi, hingga pemeliharaan aset secara berkelanjutan. Berbagai negara telah mengadopsi teknologi ini sebagai bagian dari praktik manajemen aset prasarana yang modern untuk mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih transparan dan akuntabel.

Pedoman ini disusun sebagai wujud komitmen Direktorat Jenderal Bina Marga dalam menerapkan prinsip-prinsip manajemen aset berbasis teknologi, khususnya dalam konteks manajemen konstruksi jalan. Melalui pedoman ini, diharapkan seluruh proses bisnis terkait pemanfaatan teknologi *laser scanner* dapat berjalan secara terintegrasi dan konsisten. Hal ini diharapkan mendukung tercapainya sasaran strategis organisasi.

Pemanfaatan teknologi *laser scanner* yang diatur dalam pedoman ini mencakup seluruh proses bisnis yang terkait dengan pengelolaan data spasial dan geometrik infrastruktur jalan, mulai dari penyusunan strategi dan kebijakan data, proses pengumpulan data lapangan dengan metode pemindaian laser, hingga integrasi data hasil pemindaian. Data ini kemudian dimanfaatkan dalam sistem perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, dan evaluasi konstruksi.

	
---	---

Pedoman Pemanfaatan *Laser Scanner* pada Manajemen Konstruksi Jalan

1. Ruang Lingkup

Pedoman Pemanfaatan *Laser Scanner* Pada Manajemen Konstruksi Jalan berisi panduan dalam pemanfaatan teknologi *laser scanner* pada setiap tahapan manajemen konstruksi yang dikenal di Bina Marga yaitu SIDLACOM (*Survey, Investigation, Design, Land Acquisition, Construction, Operation and Maintenance*). Pada pedoman ini tahapan *Survey, Investigation* dan *Design* terangkum pada tahapan Perencanaan Teknis. Teknologi *laser scanner* yang dijelaskan di dalam pedoman meliputi *Aerial Laser Scanner* (ALS), *Mobile Laser Scanner* (MLS), *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), dan *Portable Laser Scanner* (PLS).

Pedoman ini menjelaskan secara garis besar tentang penggunaan teknologi *laser scanner* secara umum, mulai dari prinsip kerja *laser scanner*, jenis *laser scanner*, standar keamanan, dan operasional alat *laser scanner*, serta pemanfaatan teknologi *laser scanner* pada manajemen konstruksi jalan. Selain itu pedoman ini menjelaskan mengenai ketentuan teknis pemanfaatan *laser scanner*, termasuk di dalamnya adalah spesifikasi minimal *laser scanner*, cara akuisisi dan pengolahan data *laser scanner*, kontrol kualitas hasil pengukuran *laser scanner*, hingga kelengkapan dalam penyajian data *laser scanner*.

2. Acuan Normatif

- a. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 20 Tahun 2020 tentang Tugas dan Wewenang Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Jenderal Pembiayaan Infrastruktur Pekerjaan Umum dan Perumahan, Badan Pengatur Jalan Tol, dan Badan Usaha Jalan Tol Dalam Penyelenggaraan Jalan Tol (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 963);
- b. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022 Nomor 1052);
- c. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2023 tentang Pedoman Laik Fungsi Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 183);
- d. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 5 Tahun 2023 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 372);
- e. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 19/SE/M/2016 tentang Pemberlakuan 10 (sepuluh) Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan;
- f. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 2 Tahun 2012 tentang Tata Cara dan Standar Pengumpulan Data Geospasial;
- g. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1516) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar;

- h. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 13 Tahun 2021 tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 575);
- i. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 984);
- j. Keputusan Direktorat Jenderal Bina Marga Nomor 02/KPTS/Db/1987 tentang Pedoman Penyiapan Gambar Rekaman Akhir Jalan dan Jembatan (*As-Built Drawing*);
- k. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 01/SE/Db/2021 tentang Pedoman Survei Pengumpulan Data Kondisi Jaringan Jalan;
- l. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2021 tentang Penerapan *Building Information Modelling* pada Perencanaan Teknis, Konstruksi dan Pemeliharaan Jalan dan Jembatan di Direktorat Jenderal Bina Marga;
- m. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 15/SE/Db/2021 tentang Gambar Standar Pekerjaan Jalan dan Jembatan di Direktorat Jenderal Bina Marga;
- n. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 20/SE/Db/2021 tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan;
- o. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 05/SE/Db/2022 tentang Pedoman Pemeriksaan Jembatan;
- p. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 10/SE/Db/2024 tentang Pedoman Penyusunan Dokumen Desain Awal (*Basic Design*) Jalan Bebas Hambatan;
- q. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2024 tentang Pedoman Petunjuk Teknis Uji Laik Fungsi Jalan dengan Pemeringkatan Bintang;
- r. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 12/SE/Db/2024 tentang Pedoman Leger Jalan;
- s. Standar Operasional Prosedur Pengajuan Gambar Rekaman Akhir (*As-Built Drawing*) SOP/UPM/DJBM-109 Rev:01 Tahun 2022;
- t. SNI 8202:2019, Ketelitian Peta Dasar;

3. Istilah dan Definisi

3.1

aerial laser scanner

yang selanjutnya disingkat ALS adalah perangkat pemindaian laser menggunakan wahana terbang bergerak yang merekam data 3D dengan hasil berupa *point cloud*. ALS yang dimaksud dalam pedoman ini merupakan ALS yang bergerak tanpa awak

3.2

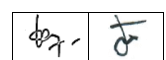
circular error 90%

yang selanjutnya disingkat CE 90 adalah ukuran ketelitian geometrik horizontal berupa radius lingkaran yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal objek pada peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut

3.3

continuously operating reference system

yang selanjutnya disingkat CORS adalah sistem yang terdiri dari jaringan stasiun yang terus menerus merekam sinyal GNSS dan menyediakan data kepada penggunaanya



3.4

densitas (*point density*)

kerapatan atau jumlah *point cloud* dalam pemindaian suatu objek per meter persegi

3.5

digital elevation model

yang selanjutnya disingkat DEM adalah model elevasi dari permukaan bumi yang terdiri dari DSM dan DTM

3.6

digital surface model

yang selanjutnya disingkat DSM adalah representasi tiga dimensi model permukaan bumi yang mencakup baik kenampakan alam maupun bangunan

3.7

digital terrain model

yang selanjutnya disingkat DTM adalah representasi tiga dimensi yang menggambarkan bentuk permukaan bumi tanpa adanya objek lain seperti pohon dan bangunan

3.8

distance measuring instrument

yang selanjutnya disingkat DMI adalah alat untuk mengukur jarak antara dua titik, biasanya dipasang pada wahana bergerak pemindaian 3D

3.9

electronic distance measurement

yang selanjutnya disingkat EDM adalah alat ukur jarak yang menggunakan pancaran gelombang elektromagnetik

3.10

georeferensi

proses registrasi citra, foto maupun *point cloud* dari yang semula memiliki koordinat lokal menjadi koordinat yang tereferensi dengan sistem koordinat tertentu

3.11

global navigation satellite system

yang selanjutnya disebut GNSS adalah sistem penentuan posisi menggunakan beberapa satelit untuk menentukan koordinat suatu titik di permukaan bumi

3.12

ina-geoid

model geoid Indonesia yang digunakan sebagai sistem referensi vertikal nasional

3.13

Indonesia continuously operating reference system

yang selanjutnya disingkat INACORS adalah sistem referensi yang terdiri dari beberapa perangkat stasiun yang tersebar di Indonesia, server, jaringan komunikasi yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dan penggunaanya

3.14

inertial measurement unit

yang selanjutnya disingkat IMU adalah alat untuk mengukur orientasi wahana/*platform* bergerak (direpresentasikan dalam parameter orientasi *pitch*, *roll*, dan *yaw*) dari sudut normalnya sehingga posisi 3D dari wahana dapat ditentukan dengan lebih akurat

3.15

international roughness index

yang selanjutnya disingkat IRI adalah nilai kumulatif dari panjang jalan rusak/berlubang (dalam satuan m) terhadap panjang jalan total (dalam satuan km) yang menjadi salah satu indikator kualitas kenyamanan dan keamanan jalan

3.16

jalan

prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel

3.17

leger jalan

dokumen yang memuat data mengenai perkembangan suatu ruas jalan

3.18

light detection and ranging

yang selanjutnya disingkat LiDAR adalah teknologi penginderaan jarak jauh aktif menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak dan membentuk representasi tiga dimensi (3D) dari objek

3.19

linear error 90%

yang selanjutnya disingkat LE90 adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal berupa jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek pada peta dengan nilai ketinggian yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari nilai jarak tersebut

3.20

manajemen konstruksi jalan

mencakup rangkaian kegiatan yang dikenal dengan pendekatan SIDLACOM (*Survey, Investigation, Design, Land Acquisition, Construction, Operation, and Maintenance*) dimana tahapan *Survey, Investigation* dan *Design* terangkum dalam kegiatan perencanaan teknis, baik perencanaan teknis awal maupun perencanaan teknis akhir

3.21

mobile laser scanner

yang selanjutnya disingkat MLS adalah perangkat pemindaian laser menggunakan kendaraan darat (dalam pedoman ini MLS dikhususkan menggunakan mobil) yang merekam data 3D dengan hasil berupa *point cloud*

3.22

nilai return

intensitas sinyal yang kembali ke sensor setelah sinar laser dipantulkan oleh permukaan objek

3.23

part per million

yang selanjutnya disingkat PPM adalah rasio kesalahan atau toleransi relatif terhadap panjang total yang diukur yang menggambarkan tingkat akurasi atau koreksi terhadap panjang

3.24

pavement condition index

yang selanjutnya disingkat PCI adalah sistem penilaian kondisi perkerasan jalan yang didasarkan pada jenis, tingkat, dan luas kerusakan yang terjadi

3.25

point cloud

kumpulan titik-titik yang memiliki koordinat 3D (X, Y, dan Z) pada sistem koordinat tertentu. Titik-titik ini membentuk model 3D dari objek dunia nyata

3.26

portable laser scanner

yang selanjutnya disingkat PLS adalah perangkat pemindaian laser dengan ukuran perangkat yang lebih kecil sehingga pengukuran dapat dilakukan dengan dipegang (*handheld*) ataupun disematkan pada perangkat tertentu (tas *backpack*, robot, atau perahu) yang dapat merekam data 3D dengan hasil berupa *point cloud*

3.27

raw data

format data yang dihasilkan dari hasil pengukuran yang menggunakan alat survei dimana datanya tersimpan dalam memori internal atau *data recorder/data collector*

3.28

root mean square error

yang selanjutnya disingkat RMSE adalah nilai yang menunjukkan perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai yang sebenarnya. RMSE dapat digunakan sebagai salah satu indikator ketelitian pengukuran

3.29

ruang manfaat jalan

yang selanjutnya disebut rumaja adalah ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan dan digunakan untuk badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengamanannya

3.30

ruang milik jalan

yang selanjutnya disebut rumija adalah ruang manfaat jalan dan sejalur tanah tertentu di luar manfaat jalan yang diperuntukkan bagi ruang manfaat jalan, pelebaran jalan, penambahan jalur lalu lintas di masa datang, serta kebutuhan ruangan untuk pengaman jalan dan dibatasi oleh lebar, kedalaman dan tinggi tertentu

3.31

ruang pengawasan jalan

yang selanjutnya disebut ruwasja adalah ruang tertentu di luar ruang milik jalan yang penggunaannya diawasi oleh penyelenggara jalan agar tidak mengganggu pandangan bebas pengemudi, konstruksi jalan, dan fungsi jalan

3.32

simultaneous localization and mapping

yang selanjutnya disingkat SLAM adalah metode pemrosesan data yang memungkinkan suatu perangkat untuk secara simultan menentukan posisinya sendiri dan membangun peta lingkungan sekitarnya. Umumnya digunakan pada sistem PLS untuk memperoleh informasi spasial secara relatif terhadap lingkungan sekitarnya

3.33

sistem referensi geospasial indonesia

yang selanjutnya disingkat SRGI adalah sistem referensi geospasial nasional yang digunakan untuk menentukan posisi horizontal, vertikal, dan nilai gaya berat di seluruh wilayah Indonesia

3.34

terrestrial laser scanner

yang selanjutnya disingkat TLS adalah perangkat pemindai laser yang dipasang secara statik pada suatu titik untuk merekam data 3D dalam bentuk *point cloud*. Untuk memperoleh data objek secara menyeluruh, TLS perlu dipasang pada beberapa sisi objek yang diukur

3.35

titik kontrol (*control point*)

titik pada permukaan tanah dengan koordinat tertentu yang digunakan sebagai titik acuan pada proses georeferensi citra, foto, ataupun *point cloud*

3.36

titik pengecekan (*check point*)

titik pada permukaan tanah dengan koordinat tertentu yang digunakan sebagai titik independen untuk validasi akurasi dan kontrol kualitas hasil georeferensi

3.37

trajektori

jalur teratur yang dilalui wahana untuk melakukan pemindaian objek

3.38

universal transverse mercator

yang selanjutnya disingkat UTM adalah sistem koordinat yang membagi bumi menjadi 60 zona secara vertikal dimana tiap zona memiliki lebar 6°. UTM digunakan untuk memproyeksikan peta untuk mengurangi distorsi akibat luasan area

3.39

unmanned aerial vehicle

yang selanjutnya disingkat UAV adalah pesawat tanpa awak (baik dengan penggerak baling-baling/*multirotor*, maupun *fixed wings*) yang dapat dikendalikan dari jarak jauh atau secara otomatis.

3.40

utilitas

fasilitas yang menyangkut kepentingan umum meliputi listrik, telekomunikasi, informasi, air, minyak, gas dan bahan bakar lainnya, sanitasi, dan sejenisnya

4. Ketentuan Umum

Laser scanner adalah perangkat teknologi canggih yang digunakan untuk memindai objek atau permukaan menggunakan sinar laser guna memperoleh informasi posisi dalam tiga dimensi (3D). Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara komprehensif dengan akurasi tinggi melalui prinsip pemancaran, pantulan, dan penerimaan kembali sinar laser. Data yang dihasilkan berbentuk *point cloud*, yaitu kumpulan titik-titik koordinat 3D yang merepresentasikan bentuk dan detail permukaan objek. Selain posisi geometrik, setiap titik dalam *point cloud* juga dapat menyimpan informasi intensitas pantulan sinar laser, yang berguna untuk analisis permukaan.

Beberapa alat *laser scanner* telah dilengkapi dengan kamera tunggal dan sistem rotor yang dapat bergerak 360°. Sementara itu, perangkat *laser scanner* yang belum dilengkapi dengan kamera, dapat diintegrasikan dengan kamera 360° atau kamera panoramik. Kehadiran kamera pada *laser scanner* berfungsi untuk memberikan rona warna (*colorization*) pada *point cloud*, sehingga menghasilkan representasi visual yang lebih realistis dan informatif mengenai kondisi permukaan jalan. Apabila diperlukan, dapat ditambahkan kamera eksternal beresolusi tinggi, misalnya pada penggunaan *Mobile Laser Scanning* (MLS) untuk inventarisasi aset serta deteksi kerusakan permukaan jalan sebagai dasar survei kondisi. Dengan integrasi kamera, setiap titik pada *point cloud* tidak hanya memiliki koordinat tiga dimensi, tetapi juga atribut warna yang diperoleh dari citra. *Point cloud* berwarna ini tidak hanya mempermudah pembuatan model 3D objek dan lingkungan, tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut, seperti deteksi kerusakan, analisis deformasi, maupun perencanaan pemeliharaan infrastruktur.

Berikut merupakan beberapa keunggulan yang dimiliki *laser scanner*, yaitu:

a. Akurasi tinggi

Laser scanner mampu menghasilkan data dengan akurasi yang sangat tinggi hingga milimeter. Hal ini penting untuk inspeksi detail struktur, seperti retakan jembatan atau

deformasi elemen jalan. Contoh: TLS digunakan untuk melakukan inspeksi kerusakan pada jembatan.

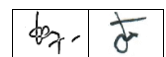
- b. Kecepatan pengambilan data
Pemindaian *laser scanner* mampu mengumpulkan jutaan *point cloud* dalam waktu singkat (300.000 hingga 1.000.000 titik per detik), sehingga mempercepat survei lapangan dibandingkan metode konvensional. Contoh: MLS yang dioperasikan pada kecepatan mobil normal (60 km/jam) mampu memindai koridor jalan dengan baik sehingga tidak mengganggu lalu lintas.
- c. Cakupan area yang luas
Laser scanner dapat memindai area yang luas dengan efisien, seperti rumija jalan tol. Contoh: ALS yang digunakan dalam pemetaan lahan rencana trase jalan tol.
- d. Kemampuan menyimpan koordinat 3D
Data *point cloud* yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat model 3D yang detail, baik untuk inspeksi struktural maupun perencanaan konstruksi. Contoh: pemodelan elemen jembatan yang dilakukan dari hasil pemindaian menggunakan TLS.
- e. Fleksibilitas *platform*
Tersedia berbagai jenis *laser scanner* (ALS, MLS, TLS, dan PLS) yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek, baik untuk survei luas maupun inspeksi detail.
- f. Kemampuan operasi di berbagai kondisi
Laser scanner dapat digunakan siang atau malam, serta di kondisi yang sulit seperti medan berbukit atau area yang sulit dijangkau manusia.

Hasil dari pemindaian menggunakan *laser scanner* adalah informasi geospasial berupa data geometri tiga dimensi dengan tingkat akurasi tinggi. Data tersebut harus dapat diintegrasikan dengan sistem pengelolaan infrastruktur yang berlaku antara lain adalah BIM (*Building Information Modelling*), Leger Jalan, maupun sistem lain sesuai dengan tujuan akuisisi data menggunakan teknologi *laser scanner* tersebut.

5. Prinsip Kerja Laser Scanner

Laser scanner bekerja dengan memanfaatkan sinar laser yang dipancarkan ke objek, kemudian pantulannya diterima kembali oleh perangkat untuk menghitung jarak dan posisi. Prinsip pengukuran jarak ini dilakukan melalui tiga metode utama: *time of flight*, *phase shift*, dan triangulasi.

- a. *Time of Flight*
Pada metode ini, jarak dihitung berdasarkan waktu tempuh sinar laser dari perangkat ke objek dan kembali lagi ke alat setelah dipantulkan. Metode ini biasanya diterapkan pada *laser scanner* dengan tipe *medium range* (biasanya terdapat pada MLS dengan jangkauan 150–300 meter) dan *long range* (terdapat pada ALS dan TLS jangkauan hingga 1.000 meter). Metode ini untuk memindai area luas, seperti survei topografi atau pengukuran jalan koridor panjang. Metode ini dapat digunakan dalam pemindaian gedung, jembatan atau terowongan untuk pemetaan 3D.
- b. *Phase Shift* (Selisih Fase)
Metode ini menghitung jarak berdasarkan perbedaan fase antara gelombang laser yang dipancarkan dan yang diterima setelah dipantulkan oleh objek. Dengan mengukur perubahan fase, waktu tempuh sinar laser dapat dihitung, sehingga jarak dapat ditentukan. Metode ini umum digunakan pada *laser scanner* tipe *short range* (biasanya terdapat pada PLS dengan jangkauan 50-100 meter) yang memerlukan akurasi lebih tinggi untuk aplikasi



detail, seperti pemindaian elemen kecil jembatan atau inspeksi struktur. Metode ini dapat digunakan dalam pemindaian ruang dalam gedung untuk desain interior ataupun renovasi dan pengukuran volume tambang.

c. **Triangulasi**

Pada metode ini, perangkat *laser scanner* menggunakan prisma dan lebih dari satu sensor penerima untuk menentukan jarak objek. Prinsip triangulasi melibatkan pemancaran sinar laser yang dipantulkan oleh prisma, kemudian ditangkap kembali oleh sensor yang terpisah pada sudut tertentu. Berdasarkan sudut dan posisi sensor, jarak dapat dihitung dengan prinsip trigonometri. Metode ini cocok untuk pemindaian objek kecil atau area terbatas dengan resolusi tinggi. Beberapa contoh penggunaan metode ini antara lain adalah pemindaian artefak museum atau komponen industri untuk rekayasa balik (*reverse engineering*) dan pemindaian wajah untuk biometrik atau animasi 3D.

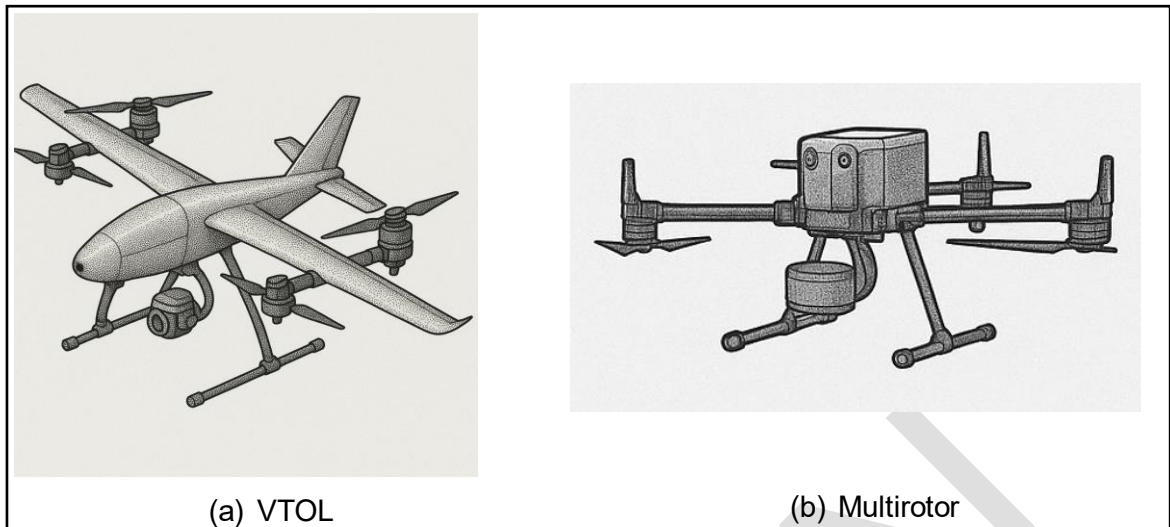
Beberapa *laser scanner* dilengkapi dengan sistem LiDAR untuk memperoleh data geospasialnya, dimana sistem ini merupakan integrasi dari *laser scanner*, GNSS, dan IMU. Sistem LiDAR ini biasanya terdapat pada perangkat *laser scanner* yang bergerak seperti ALS, MLS maupun PLS. Selain menggunakan sistem LiDAR, biasanya perangkat PLS juga dilengkapi dengan algoritma SLAM untuk penggunaan pada area dengan keterbatasan sinyal GNSS.

6. Jenis Laser Scanner

Platform dalam konteks pemindaian laser merujuk pada media atau alat tempat sensor pemindaian laser dipasang dan digunakan untuk mengumpulkan data 3D. Setiap jenis *platform* memiliki karakteristik tertentu yang mempengaruhi cara data dikumpulkan dan aplikasi penggunaannya. Berikut penjelasan mengenai jenis *laser scanner* berdasarkan *platform*:

a. **ALS**

Teknologi ALS ini sangat cocok untuk survei topografi dalam skala besar, seperti pemetaan koridor jalan tol atau survei wilayah sebelum pembangunan jaringan jalan. Dalam pedoman ini ALS yang dimaksud adalah ALS yang diterbangkan menggunakan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). ALS memungkinkan cakupan area yang sangat luas dalam waktu singkat, meskipun resolusi data yang dihasilkan biasanya lebih rendah dibandingkan metode pengukuran laser statis (TLS). Terdapat dua jenis wahana pembawa *laser scanner* tanpa awak yang dapat digunakan dalam metode ALS ini, yaitu UAV baling-baling (*multirotor*) ataupun UAV *fixed wings* VTOL (*Vertical Take-Off Landing*). Penggunaan ALS dengan baling-baling (*multirotor*) biasanya dilakukan dengan tinggi terbang yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan ALS dengan *fixed wings*.

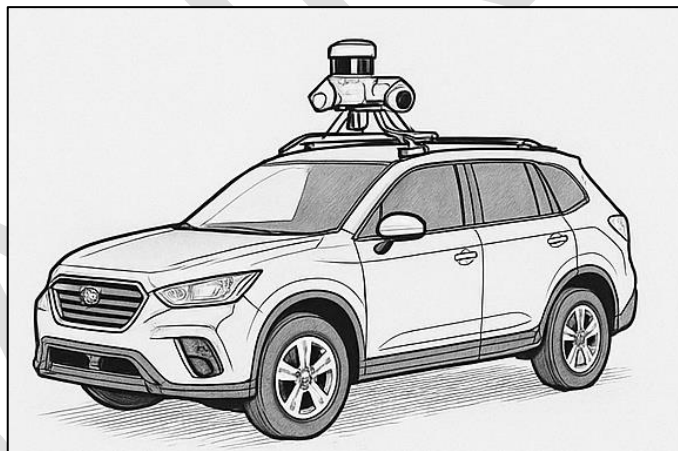


Sumber: Dihasilkan oleh AI menggunakan ChatGPT (OpenAI), 2025

Gambar 1 - Perangkat ALS

b. MLS

MLS dipasang pada mobil untuk melakukan pemindaian koridor jalan secara dinamis. Sistem ini digunakan untuk inspeksi jalan dan lingkungan sekitarnya, seperti marka, *Right of Way* (ROW), dan elemen pendukung infrastruktur lainnya. MLS menawarkan efisiensi tinggi karena data dapat diambil saat mobil bergerak, tanpa mengganggu lalu lintas.

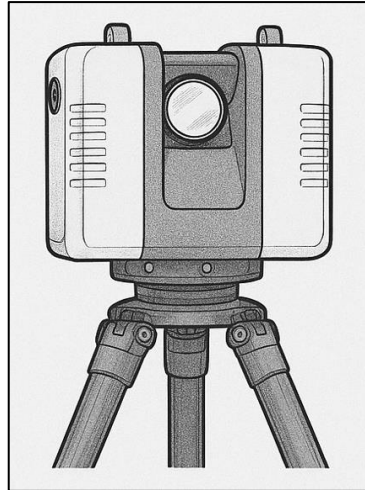


Sumber: Dihasilkan oleh AI menggunakan ChatGPT (OpenAI), 2025

Gambar 2 - Perangkat MLS pada mobil

c. TLS

TLS sering digunakan untuk inspeksi struktur jembatan, seperti *pier* dan *girder*, serta pemodelan 3D elemen jalan. TLS digunakan secara statis, sehingga pengukurannya dapat menghasilkan akurasi yang sangat tinggi, tetapi kurang efisien apabila dilakukan pada lokasi yang memiliki banyak objek penghalang karena membutuhkan beberapa posisi pemindaian untuk dapat keseluruhan cakupan area.

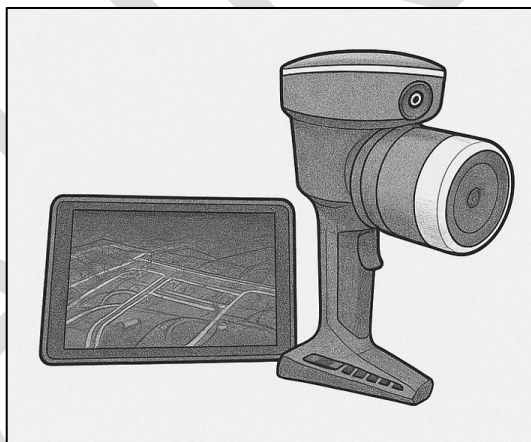


Sumber: Dihasilkan oleh AI menggunakan ChatGPT (OpenAI), 2025

Gambar 3 - Perangkat TLS

d. PLS

PLS merupakan alat *laser scanner* yang ideal untuk inspeksi lokal pada area yang sulit dijangkau, seperti pada elemen jembatan atau bangunan tertutup yang sulit dijangkau dengan *laser scanner* jenis lain. Walaupun ketelitian PLS jauh lebih rendah daripada *laser scanner* jenis lain, PLS menawarkan fleksibilitas yang tinggi untuk tujuan inspeksi awal dan verifikasi.



Sumber: Dihasilkan oleh AI menggunakan ChatGPT (OpenAI), 2025

Gambar 4 - Perangkat PLS

7. Standar Keamanan dan Operasional Alat

Untuk keselamatan, efisiensi, serta durabilitas penggunaan *laser scanner*, maka pemenuhan standar keamanan dan operasional alat perlu dilakukan. Standar ini mencakup aspek keamanan operasional baik dari sisi operator maupun dari lingkungan sekitar serta aspek durabilitas perangkat.

8. Zona Aman Laser

Laser scanner umumnya menggunakan laser kelas 1 yang aman untuk mata jika tidak dilihat langsung dalam waktu lama. Adapun Zona Aman *Laser Scanner* berdasarkan kelas laser dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 - Zona aman laser berdasarkan kelas laser

Kelas Laser	Deskripsi	Zona Aman	Tindakan Pengendalian
Kelas 1	Aman dalam semua kondisi pemakaian wajar. <i>Laser scanner</i> survei umumnya termasuk kelas ini.	Tidak diperlukan zona pengendalian khusus.	Tidak perlu perlindungan khusus, cukup prosedur standar operasional.
Kelas 2	Aman karena refleks kedipan mata biasanya cukup melindungi. Bahaya jika dilihat langsung dengan alat optik.	Jarak aman biasanya < 1 m.	Pasang tanda peringatan; hindari penggunaan teleskop/binokular ke arah sumber laser.
Kelas 3R	Radiasi laser dapat berbahaya jika dilihat langsung dalam waktu lama.	NOHD bisa mencapai 5–15 m (tergantung spesifikasi).	Tetapkan zona pengendalian terbatas , pasang tanda bahaya laser.
Kelas 3B	Berbahaya untuk mata jika terkena langsung. Paparan pantulan difus biasanya aman.	NOHD dapat > 100 m (tergantung daya & optik).	Zona eksklusi ditetapkan sesuai NOHD; pemasangan barikade dan tanda bahaya wajib.
Kelas 4	Sangat berbahaya untuk mata & kulit, serta dapat memicu kebakaran. Jarang digunakan untuk survei sipil.	NOHD bisa mencapai ratusan meter.	Wajib zona aman luas , akses terbatas, operator wajib menggunakan pelindung mata khusus sesuai panjang gelombang laser.

9. Perlindungan Operator

Aspek keselamatan operator tetap menjadi perhatian meskipun jenis laser yang digunakan dalam peralatan survei menggunakan *laser scanner* umumnya menggunakan laser kelas 1 yang tergolong aman bagi mata dan operasional normal. Adapun upaya perlindungan operator yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sesuai dengan standar kerja lapangan seperti rompi reflektif, helm keselamatan, dan sepatu pelindung.
- Peningkatan kompetensi operator melalui pelatihan yang mencakup:
 - Penguasaan teknis peralatan, yang meliputi prosedur instalasi, kalibrasi, pengoperasian maupun pemeliharaan dasar peralatan survei *laser scanner*.
 - Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), khususnya terkait aktivitas survei di lapangan jalan yang melibatkan lalu lintas aktif serta potensi bahaya lingkungan.

- 3). Manajemen data dan perangkat lunak, termasuk pemrosesan awal *point cloud*, pengendalian kualitas (*quality control*), serta integrasi dengan perangkat pemetaan dan BIM.
- 4). Prosedur standar survei, seperti teknik penentuan titik kontrol, metode akuisisi data sesuai kondisi lapangan (jalan raya, jembatan, atau area terbatas) serta manajemen waktu survei.
- 5). Pemahaman regulasi dan standar, baik yang berlaku nasional maupun internasional terkait penggunaan peralatan *laser scanner* dan keselamatan kerja.

10. Standar Pengoperasian Alat

Sebagai upaya dalam mempertahankan durabilitas alat, diperlukan standar dalam pengoperasian alat sehingga kualitas data keluaran dari alat dapat terjaga. Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian alat antara lain adalah:

- a. Kalibrasi berkala
Penggunaan *laser scanner* perlu dikalibrasi secara berkala sesuai dengan standar pabrikan. Kalibrasi alat ini dibuktikan dengan sertifikat kalibrasi yang masih berlaku, yang dikeluarkan oleh produsen alat. Kalibrasi bertujuan untuk menjaga akurasi pengukuran dan menghindari deviasi data yang dapat berdampak pada analisis spasial.
- b. Kondisi lingkungan operasional
Pemindaian *laser scanner* direkomendasikan dalam cuaca cerah dan suhu yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan alat *laser scanner*. Penggunaan saat hujan maupun salju dapat menyebabkan gangguan optik dan kerusakan komponen.
- c. Interferensi cahaya eksternal
Pemindaian *laser scanner* direkomendasikan dilakukan di pagi maupun sore hari untuk menghindari sinar matahari langsung yang dapat mengurangi visibilitas titik laser sehingga mengurangi kualitas hasil pemindaian. Penggunaan target reflektif juga direkomendasikan untuk mengurangi distorsi data pada permukaan reflektif seperti kaca, logam maupun air.
- d. Penyimpanan alat
Alat *laser scanner* perlu disimpan di dalam kotak pelindung pada lokasi yang kering, bersih, dan bebas dari getaran. Pemilihan lokasi penyimpanan perlu dilakukan untuk menghindari kerusakan mekanis karena pertumbuhan jamur maupun degradasi komponen optik.
- e. Mobilisasi dan transportasi
Selama proses mobilisasi, alat perlu ditempatkan dalam kotak penyimpanan yang dilengkapi dengan peredam getaran dan apabila diperlukan digunakan bantalan tambahan untuk memastikan stabilitas selama transportasi, terutama pada kondisi jalan yang tidak rata.

Dalam penerapannya, penggunaan *laser scanner* memerlukan personel yang memiliki kompetensi dalam pengoperasian *laser scanner*. Adapun jumlah minimal personel yang dibutuhkan dalam pengoperasian setiap jenis *laser scanner* seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Jumlah personel ini dapat disesuaikan kembali dengan kebutuhan akuisisi data di lapangan, termasuk kebutuhan dalam integrasi dengan Sistem Referensi Geospasial Indonesia.

Tabel 2 - Kebutuhan personel

Jenis <i>Laser Scanner</i>	Kebutuhan Personil (minimal)	Keterangan
ALS	2	- 1 orang bertugas mengoperasikan ALS, dan wajib memiliki sertifikasi <i>pilot drone</i> ; dan - 1 orang bertugas sebagai asisten operator ALS.
MLS	2	- 1 orang bertugas sebagai operator <i>laser scanner</i> ; dan - 1 orang bertugas sebagai pengemudi.
TLS	2	- 1 orang bertugas sebagai operator TLS; dan - 1 orang bertugas sebagai asisten operator TLS.
PLS	2	- 1 orang bertugas sebagai operator PLS; dan - 1 orang bertugas sebagai asisten operator PLS.

11. Pemanfaatan *Laser Scanner* Pada Manajemen Konstruksi Jalan

Umumnya teknologi *laser scanner* digunakan dalam survei topografi untuk pembentukan DEM maupun untuk dasar pembentukan model 3D konstruksi. Penggunaan *laser scanner* yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dalam manajemen konstruksi. Selain itu, hasil keluaran yang diharapkan juga menentukan jenis *laser scanner* yang akan digunakan. *Density point cloud* akan sangat bergantung dari tinggi terbang (apabila menggunakan ALS), kecepatan pengambilan data (apabila menggunakan ALS, MLS, maupun PLS) serta frekuensi pengambilan data pada titik yang sama. Adapun ketelitian yang dihasilkan dari penggunaan *laser scanner* juga bervariasi tergantung dari jenis *laser scanner* yang digunakan, serta metode pengambilan datanya. Adapun perbandingan jenis *laser scanner* dijelaskan pada Tabel 3.

Setiap perangkat *laser scanner* memiliki keunggulannya masing-masing. Penggunaan perangkat ALS akan lebih efektif apabila dimanfaatkan pada tahapan pra-perencanaan, perencanaan maupun pengadaan tanah yang membutuhkan data dalam cakupan wilayah yang luas dan tidak terlalu mendetail. Penggunaan ALS VTOL memiliki kelebihan waktu pengambilan data yang relatif lebih cepat daripada ALS *multicopter*, tetapi di sisi lain ALS *multicopter* dapat terbang lebih fleksibel jika dibandingkan dengan ALS VTOL. ALS melakukan pemindaian dari atas sehingga dapat digunakan pula pada tahapan operasi pemeliharaan supaya tidak mengganggu pengguna jalan lainnya. Penggunaan ALS pada tahapan konstruksi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan standar ketelitian hasil yang ditentukan.

Tabel 3 - Perbandingan jenis *laser scanner*

Jenis <i>Laser Scanner</i>	ALS	MLS	TLS	PLS
Penggunaan	Pemetaan Pemindaian pada wilayah luas dan terbuka	Pemindaian koridor jalan	Pemindaian detail struktur	Pemindaian fleksibel area sempit atau objek

Jenis <i>Laser Scanner</i>	ALS	MLS	TLS	PLS
Wahana Pembawa/ <i>Mounting</i>	UAV <i>fixed wings</i> maupun <i>multirotor</i>	Mobil	Statif	<i>Handheld, backpack, robot, perahu</i>
Jangkauan	300-2.000 m (tergantung tinggi terbang)	50-300 m (sepanjang koridor jalan)	10-350 m	10-50 m
Akurasi Data	± 10-30 cm	± 3-5 cm	± 1-5 mm	± 5-10 cm

MLS akan sangat efisien digunakan untuk melakukan pemindaian koridor jalan hingga jarak tertentu dari as jalan. Penggunaan MLS akan efektif apabila telah tersedia jalan eksisting yang dapat dilalui MLS. TLS memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi diantara perangkat *laser scanner* lainnya, sehingga penggunaannya akan tepat untuk monitoring struktur jalan. Penggunaan PLS dapat dipertimbangkan apabila lokasi pengambilan data merupakan daerah yang sulit untuk dilakukan akuisisi data *laser scanner* dengan perangkat lainnya, tetapi perlu diperhatikan bahwa PLS memiliki ketelitian data yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan perangkat *laser scanner* lainnya. Berdasarkan karakteristik pada Tabel 3, rekomendasi pemanfaatan *laser scanner* untuk setiap tahap manajemen konstruksi dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4 - Pemanfaatan *laser scanner* pada manajemen konstruksi jalan

Jenis <i>laser scanner</i>	<i>Aerial Laser Scanner (ALS)</i>	<i>Mobile Laser Scanner (MLS)</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner (TLS)</i>	<i>Portable Laser Scanner (PLS)</i>
Perencanaan Teknis Awal	●	X	X	X
Perencanaan Teknis Akhir	●	X	○	X
Pengadaan Tanah	●	X	○	○
Konstruksi	○	○	●	○
Operasi dan Pemeliharaan	●	●	●	○

Keterangan:

efektif : ●
dapat digunakan pada kasus tertentu : ○
tidak efektif : X

12. Tahap Perencanaan Teknis

Tahap perencanaan teknis meliputi tahapan perencanaan teknis awal, dengan hasil akhir seperti *Pra Feasibility Study*, *Feasibility Study* hingga *Basic Design* dan perencanaan teknis akhir yang menghasilkan *Detail Engineering Design (DED)*. Data yang dibutuhkan meliputi informasi kontur lahan dan kondisi eksisting. Pada tahapan ini cakupan wilayah yang perlu

untuk disurvei cukup besar sehingga akan lebih efektif menggunakan *laser scanner* khususnya ALS dibandingkan dengan metode survei darat konvensional. Namun perlu dipahami bahwa tinggi terbang akan berpengaruh terhadap luasan pemindaian, dan luasan pemindaian akan berpengaruh pada ketelitian data yang didapatkan. Semakin tinggi wahana terbang, maka ketelitian objek akan semakin rendah. Adapun informasi yang dibutuhkan pada tahap perencanaan yang dapat dipenuhi dengan data *laser scanner* antara lain adalah:

a. DTM

Data *point cloud* hasil pemindaian menggunakan *laser scanner* pada lokasi rencana trase jalan dapat digunakan untuk melakukan analisis lanjutan seperti perhitungan volume galian dan timbunan, perencanaan geometrik, dan stuktur jalan yang lebih akurat, serta perencanaan sistem drainase yang efektif untuk mengurangi risiko genangan atau erosi. Selain itu data DTM pada rencana lokasi proyek dapat diintegrasikan dengan desain jalan yang akan dibangun sehingga terlihat kesesuaian desain dengan kondisi lapangan eksisting. Hasil integrasi DTM dengan desain jalan dapat digunakan sebagai bahan simulasi dan analisis kesesuaian desain sehingga dapat mengurangi potensi kesalahan desain dan biaya tambahan.

b. DSM

DSM yang dihasilkan dari data *point cloud* hasil pemindaian menggunakan *laser scanner* dalam tahapan perencanaan teknis dapat digunakan untuk mengidentifikasi hambatan eksisting yang terfokus pada rencana lokasi proyek, seperti jumlah bangunan terdampak, jaringan utilitas, konektivitas eksisting, serta struktur lain eksisting yang mempengaruhi desain proyek.

Penggunaan TLS pada tahap perencanaan teknis akhir dapat dilakukan untuk lokasi yang lebih spesifik seperti pada kawasan dengan vegetasi yang rapat sehingga akuisisi data menggunakan ALS akan kurang efektif. Penggunaan TLS juga dapat digunakan untuk mengukur estimasi galian maupun timbunan yang diperlukan pada tahapan perencanaan. Hasil akuisisi data menggunakan *laser scanner* yang akurat dalam DED dapat mengoptimalkan perencanaan baik dari segi efektivitas desain maupun estimasi biaya konstruksi.

13. Tahap Pengadaan Tanah

Pengadaan tanah dalam proyek infrastruktur memerlukan data yang akurat untuk memastikan proses pembebasan lahan berjalan dengan lancar. Pemanfaatan teknologi *laser scanner* dalam tahap pengadaan tanah adalah untuk pemetaan batas lahan secara cepat dan efektif. Pemindaian batas lahan untuk kawasan yang cukup luas akan lebih efektif menggunakan ALS. Pemindaian menggunakan TLS dan PLS pada tahap pengadaan tanah efektif dilakukan untuk menentukan batas efek gergaji lahan yang tertutup vegetasi maupun kanopi bangunan. Informasi yang dibutuhkan pada tahap pengadaan lahan yang dapat dipenuhi dengan data *laser scanner* antara lain adalah:

a. Data Topografi

Data topografi seperti tutupan lahan dan penggunaan lahan dapat diekstraksi dari *point cloud* dengan melakukan klasifikasi *point cloud*, sehingga dapat diketahui estimasi kebutuhan biaya untuk melakukan pembebasan lahan. Selain itu analisis kelayakan lahan dapat digunakan sebagai pertimbangan perencanaan pembebasan lahan untuk pembangunan jalan.

b. Luasan Lahan

Koordinat yang terkandung dalam *point cloud* dapat digunakan untuk melakukan analisis batas lahan dengan dokumen eksisting, sehingga dapat menjadi bahan untuk melakukan verifikasi data eksisting (peta pembebasan tanah) terhadap kondisi di lapangan hasil pemindaian menggunakan *laser scanner*.

c. Bukti Dokumentasi Hukum dan Audit

Hasil pemindaian laser (terutama dalam bentuk ortofoto, peta kontur, dan model 3D) dapat dijadikan arsip digital sebagai dokumentasi hukum proses pengadaan tanah, yang berguna jika terjadi sengketa di kemudian hari. Ini juga membantu transparansi dalam proses audit.

Data *laser scanner* dapat mengoptimalkan proses pengadaan tanah dengan menghasilkan informasi batas wilayah yang lebih akurat sehingga dapat digunakan untuk mendukung proses negosiasi dengan pemilik lahan dan menghindari sengketa. Dengan informasi batas wilayah yang akurat anggaran pembebasan lahan dapat diestimasi dengan lebih tepat sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan sehingga mengurangi risiko kesalahan dalam estimasi biaya pembebasan tanah.

14. Tahap Konstruksi

Pada tahap konstruksi, dibutuhkan data yang dapat digunakan untuk memverifikasi dimensi struktur untuk memastikan kesesuaian dengan desain. Pemindaian menggunakan TLS efektif untuk melakukan monitoring terhadap struktur secara mendetail. Penggunaan ALS akan lebih efektif digunakan dalam pemantauan progres konstruksi secara makro karena pemantauan dilakukan dari atas. MLS dapat digunakan dalam pemantauan progress konstruksi dengan catatan lokasi konstruksi sudah tersedia jalan yang dapat dilalui MLS. Sedangkan PLS dapat digunakan pada lokasi konstruksi yang berada di atas laut atau rawa, maupun lokasi yang tidak memungkinkan dilakukan pemindaian dengan *laser scanner* jenis lain. Adapun informasi yang dibutuhkan pada tahap konstruksi yang dapat dipenuhi menggunakan data *laser scanner* antara lain adalah:

a. Model 3D Konstruksi (Makro)

Point cloud yang dihasilkan dari pemindaian menggunakan *laser scanner* dapat digunakan sebagai dasar pembangunan model 3D progres pembangunan. Pembuatan model 3D ini juga dibuat secara berkala sepanjang proses sehingga kemajuan progres konstruksi dapat terlihat jelas. Dengan adanya model 3D berkala ini perbandingan antara progres aktual dengan rencana desain dapat diketahui untuk selanjutnya dapat dianalisis potensi hambatan maupun penyimpangan desain serta solusi perbaikannya. Model 3D berkala ini dapat menjadi dasar penyusunan laporan dan evaluasi progres pekerjaan konstruksi.

b. Model 3D Detail Konstruksi

Model 3D detail konstruksi dibentuk dengan bantuan *point cloud* hasil pemindaian menggunakan *laser scanner*. Model 3D detail konstruksi dapat digunakan sebagai perbandingan dalam monitoring kesesuaian *design* dengan model terbangun. Selain itu model 3D detail konstruksi dapat digunakan sebagai acuan ketepatan posisi elemen struktural seperti elevasi jalan dan alinyemen jembatan sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi yang dapat memengaruhi keamanan dan daya tahan infrastruktur.

c. DTM

DTM yang dihasilkan dari *point cloud* pengukuran *laser scanner* dapat dimanfaatkan sebagai monitoring progres konstruksi khususnya untuk pengukuran volume galian maupun timbunan.

d. As-Built Drawing (Gambar Terbangun)

As-built drawing merupakan produk akhir pada tahapan konstruksi yang pembuatannya dapat dilakukan menggunakan *laser scanner*. *As-built drawing* merupakan salah satu syarat dalam serah terima pekerjaan (*Provisional Hand Over/PHO*), sehingga pelaksanaan serah terima pekerjaan dapat dilakukan dengan efektif. Selain itu integrasi *as-built drawing* ke dalam aplikasi BIM maupun aplikasi digital lainnya dapat dilakukan dengan lebih cepat.

e. Integrasi dengan BIM

Point cloud dari *laser scanner* dapat diintegrasikan dengan *platform* BIM untuk validasi model BIM terhadap kondisi lapangan, memfasilitasi *clash detection*, dan membantu dalam *4D scheduling* (penjadwalan konstruksi berbasis waktu).

f. Pengawasan K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja)

Model 3D dapat digunakan untuk visualisasi lokasi potensi bahaya, jalur evakuasi, dan zona kerja berisiko tinggi. Ini membantu perencana dan pengawas proyek dalam pengelolaan K3 yang lebih efektif dan berbasis data.

15. Tahap Operasi dan Pemeliharaan

Pada tahap operasi dan pemeliharaan penggunaan *laser scanner* dapat mendukung dalam penataan aset, monitoring kondisi jalan, serta evaluasi keselamatan jalan. Selain itu data *laser scanner* secara berkala juga dapat digunakan sebagai dasar penentuan deformasi khususnya pada konstruksi jalan eksisting. Adapun informasi yang dapat dipenuhi menggunakan data *laser scanner* pada tahap operasi dan pemeliharaan antara lain adalah:

a. Kondisi Jalan

Informasi kerusakan jalan seperti retakan, lubang, dan deformasi pada permukaan jalan dapat terdeteksi dari hasil pemindaian *laser scanner* berupa *point cloud* dan foto kenampakan. Beberapa *software* pengolah data MLS juga dapat melakukan perhitungan IRI dan PCI sehingga penggunaan MLS dapat digunakan untuk mendukung survei kondisi jalan. Namun perlu diperhatikan penggunaan MLS untuk perhitungan IRI dan PCI harus sudah diuji dan dinyatakan telah memenuhi syarat penggunaan alat dalam survei kondisi jalan.

b. Geometrik Jalan

Point cloud yang dihasilkan dari MLS dapat digunakan untuk pengukuran geometri jalan seperti lebar lajur, bahu, superelevasi, radius tikungan, dan kemiringan melintang. Hal ini penting untuk validasi terhadap standar geometrik, penilaian kelayakan jalan eksisting, dan identifikasi titik rawan kecelakaan.

c. Model 3D Detail Konstruksi

Hasil *point cloud* serta foto dari pemindaian menggunakan *laser scanner* dapat digunakan sebagai dasar pembuatan model 3D konstruksi terbangun. Hanya saja perlu diingat bahwa model 3D yang dihasilkan dari pengukuran *laser scanner* merupakan visualisasi struktur terluar (struktur yang terlihat). Penggunaan TLS untuk pembentukan model 3D detail konstruksi lebih akurat dan efisien daripada penggunaan ALS maupun MLS walaupun kedua perangkat tersebut juga dapat digunakan sebagai dasar pemodelan 3D. Sedangkan penggunaan PLS akan efisien digunakan pada lokasi yang sulit dijangkau ataupun lokasi

yang tidak aman untuk berdiri alat meskipun data yang dihasilkan tidak akan seakurat data dari TLS.

d. Inventarisasi Aset Jalan (*Road Network Inventory*)

Point cloud hasil pemindaian *laser scanner* yang digabungkan dengan foto kenampakan jalan dapat digunakan untuk mendukung inventarisasi aset jalan, seperti perhitungan dimensi jalan, perhitungan jumlah bangunan pelengkap jalan, bangunan penghubung, perlengkapan jalan ataupun aset lain yang terdapat pada jalan termasuk perhitungan luasan rumija. Hasil segmentasi *point cloud* berdasarkan objek yang ada di jalan dapat mempermudah integrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) sehingga inventarisasi aset yang dilakukan tidak hanya berupa jumlah tetapi juga dilengkapi dengan lokasi aset tersebut. Data *point cloud* ini juga dapat dimanfaatkan sebagai data dasar leger jalan selama memenuhi kualitas data yang disyaratkan dalam survei leger jalan.

e. Keselamatan Jalan

Point cloud hasil pemindaian koridor jalan menggunakan *laser scanner* dapat digunakan untuk mengukur dimensi jalan maupun geometrik jalan seperti kemiringan, tikungan tajam, maupun perubahan elevasi jalan yang merupakan salah satu faktor lokasi rawan kecelakaan. Hasil ekstraksi *point cloud* dan gambar dari *laser scanner* dapat digunakan untuk mendeteksi perlengkapan jalan, situasi jalan, dan deteksi kondisi jalan lainnya yang mendukung pengumpulan data evaluasi teknis keselamatan jalan.

f. Data Topografi

Pemindaian menggunakan *laser scanner*, *point cloud* dapat diolah menjadi DSM, DTM maupun kontur yang memberikan informasi topografi jalan sehingga dapat digunakan sebagai bahan analisis drainase, analisis risiko, dan penanganan bencana pada jalan eksisting maupun perencanaan program selanjutnya.

g. Monitoring Deformasi Struktur

Pemindaian menggunakan TLS menghasilkan *point cloud* dengan presisi tinggi yang memungkinkan analisis geometri secara detail. Data ini dapat digunakan untuk memantau perubahan bentuk atau pergeseran elemen struktur dari waktu ke waktu, sehingga sangat efektif dalam mendeteksi deformasi, retakan, maupun potensi kegagalan struktur sebagai bagian dari kegiatan pemeliharaan atau evaluasi keselamatan infrastruktur.

Pemanfaatan jenis *laser scanner* yang tepat pada tahapan operasi dan pemeliharaan akan mendukung program penanganan jalan dengan lebih akurat, efisien, dan berbasis data spasial, sehingga meningkatkan pelayanan kepada pengguna jalan.

16. Ketentuan Teknis

Penggunaan perangkat *laser scanner* pada setiap tahapan manajemen konstruksi khususnya pada konstruksi jalan membutuhkan keahlian dalam penggunaan *laser scanner* yang tepat sesuai dengan tujuan survei dan lokasi survei. Oleh karena itu dalam penggunaan *laser scanner* **wajib** melibatkan tenaga ahli geodesi yang bertanggung jawab dalam teknis akuisisi data dan pengolahan *laser scanner* serta *drafter* model 3D yang bertanggung jawab dalam pembentukan model 3D-nya. Operator *laser scanner* juga diwajibkan memiliki keahlian dalam mengoperasikan perangkat *laser scanner* yang digunakan. Selain itu diperlukan pula spesifikasi teknis terkait perangkat *laser scanner*, standar akuisisi data dan pengolahan data, standar kualitas data serta standar penyajian data.

17. Spesifikasi Teknis *Laser Scanner*

Spesifikasi teknis merupakan standar minimum pabrikan yang harus dipenuhi dalam pemilihan perangkat *laser scanner* guna menjamin kualitas dan keandalan data yang dihasilkan. Persyaratan ini ditujukan untuk memastikan bahwa perangkat *laser scanner* dapat digunakan secara efektif dalam manajemen konstruksi jalan, mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga pemeliharaan.

Adapun spesifikasi teknis minimum perangkat *laser scanner* yang disarankan ditampilkan pada Tabel 5. Perlu dicatat bahwa spesifikasi ini bersifat umum dan perlu disesuaikan dengan tujuan spesifik dari kegiatan pemindaian serta kondisi di lapangan. Dengan demikian, pemilihan perangkat dan penetapan parameter survei harus mempertimbangkan karakteristik proyek serta tingkat ketelitian dan detail yang dibutuhkan dalam proses pengolahan maupun analisis data.

Keterangan kelayakan alat, yang umum dikenal sebagai sertifikat kalibrasi, merupakan dokumen yang wajib disertakan sebelum suatu peralatan digunakan. Dokumen ini memberikan validasi bahwa karakteristik kinerja alat telah diverifikasi dan memenuhi spesifikasi teknis sebagaimana yang dinyatakan oleh pabrikan, sehingga menjamin kesesuaian mutu dan keandalannya dalam pemakaian. Kemampuan *software* pengolah data *laser scanner* juga menjadi salah satu faktor yang dapat dipertimbangkan dalam penggunaan *laser scanner*. Kemudahan dalam pengolahan *point cloud* dapat meningkatkan kecepatan dalam pengolahan data serta akurasi dalam analisis data hasil *laser scanner*.

Tabel 5 - Spesifikasi teknis *laser scanner*

Spesifikasi	ALS	MLS	TLS	PLS
Keterangan kelayakan alat/kalibrasi alat	Diperlukan (Dikeluarkan oleh Produsen)	Diperlukan (Dikeluarkan oleh Produsen)	Diperlukan (Dikeluarkan oleh Produsen)	Diperlukan (Dikeluarkan oleh Produsen)
Sistem orientasi perangkat	GNSS, IMU, INS	GNSS, IMU, DMI	GNSS atau Georeferensi	GNSS, IMU, atau SLAM
Akurasi posisi	≤ 15 cm	≤ 5 cm	≤ 5 mm	≤ 5 cm
Sistem <i>Laser Scanner</i>				
Kelas keselamatan laser	Kelas 1	Kelas 1	Kelas 1	Kelas 1
Jarak jangkauan	≥ 500 m	≥ 100 m	≥ 300 m	≥ 20 m
Kecepatan akuisisi <i>point cloud</i>	≥ 200.000 titik/detik	≥ 500.000 titik/detik	≥ 1.000.000 titik/detik	≥ 100.000 titik/detik
Akurasi laser	≤ 50 mm @500 m	≤ 2 mm @50 m	≤ 2 mm @10 m	≤ 50 mm @40 m
Sudut pemindaian	≤ 50° dari nadir	≥ 120° horizontal ≥ 30° vertikal	360° horizontal ≥ 120° vertikal	≥ 270° horizontal ≥ 45° vertikal
<i>Point thickness</i>	≤ 20 cm	≤ 3 cm	≤ 3 mm	≤ 5 cm

Spesifikasi	ALS	MLS	TLS	PLS
Nilai <i>return</i>	<i>Multi return</i>	<i>Multi return</i>	<i>Single return</i>	<i>Single return</i>
Software Pengolah Data				
Pengolahan <i>point cloud</i> dalam jumlah besar	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Registrasi <i>point cloud</i>	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Deteksi target otomatis	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Pengolahan trajektori	Diperlukan	Diperlukan	Tidak Diperlukan	Diperlukan
Pewarnaan <i>point cloud</i>	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Klasifikasi Otomatis	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Kebutuhan Operator				
Kompetensi Personel	- Sertifikat <i>Pilot Drone</i> ; dan - Menguasai pengoperasian ALS.	- Menguasai pengoperasian MLS serta dibuktikan dengan sertifikat <i>training/keahlian</i>	- Menguasai pengoperasian TLS serta dibuktikan dengan sertifikat <i>training/keahlian</i>	- Menguasai pengoperasian PLS serta dibuktikan dengan sertifikat <i>training/keahlian</i>

18. Akuisisi dan Pengolahan Data *Laser Scanner*

Akuisisi dan pengolahan data *laser scanner* merupakan tahapan penting yang dapat menentukan kualitas hasil survei. Proses ini meliputi perencanaan jalur akuisisi termasuk perencanaan titik *base station*, pemasangan serta pengukuran *control point* dan *check point*, pengambilan data lapangan hingga pengolahan menjadi data *point cloud* yang telah terkoreksi dan terintegrasi dengan sistem koordinat nasional.

Pedoman ini menjelaskan akuisisi dan pengolahan data pada setiap jenis perangkat *laser scanner* yaitu ALS, MLS, TLS, dan PLS. Masing-masing jenis perangkat *laser scanner* memiliki karakteristik yang berbeda sehingga prosedur pengolahannya akan berbeda sesuai dengan objek, tujuan survei, dan hasil survei yang diharapkan. Dengan adanya standar akuisisi dan pengolahan data pada setiap jenis *laser scanner*, data pengukuran yang diperoleh dapat memenuhi ketelitian yang disyaratkan serta dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung manajemen konstruksi jalan.

19. Akuisisi dan Pengolahan Data ALS

Akuisisi dan pengolahan data pada survei menggunakan ALS dilakukan oleh *pilot drone* yang berlisensi, dengan memperhatikan keselamatan kerja. Selain itu terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat akuisisi dan pengolahan menggunakan ALS, yaitu:

a. Perencanaan rute

Perencanaan rute dalam hal ini adalah jalur terbang merupakan hal mendasar yang perlu dilakukan sebelum akuisisi data menggunakan ALS. Dalam hal ini perencanaan jalur terbang meliputi rute yang harus dapat melingkupi keseluruhan area pemetaan, penentuan tinggi terbang yang tepat sesuai tujuan survei, serta pertampalan jalur terbang (minimal 30%). Perencanaan jalur terbang perlu mempertimbangkan *overlapping* antar lintasan untuk kebutuhan kontrol kualitas data hasil akuisisi menggunakan ALS.

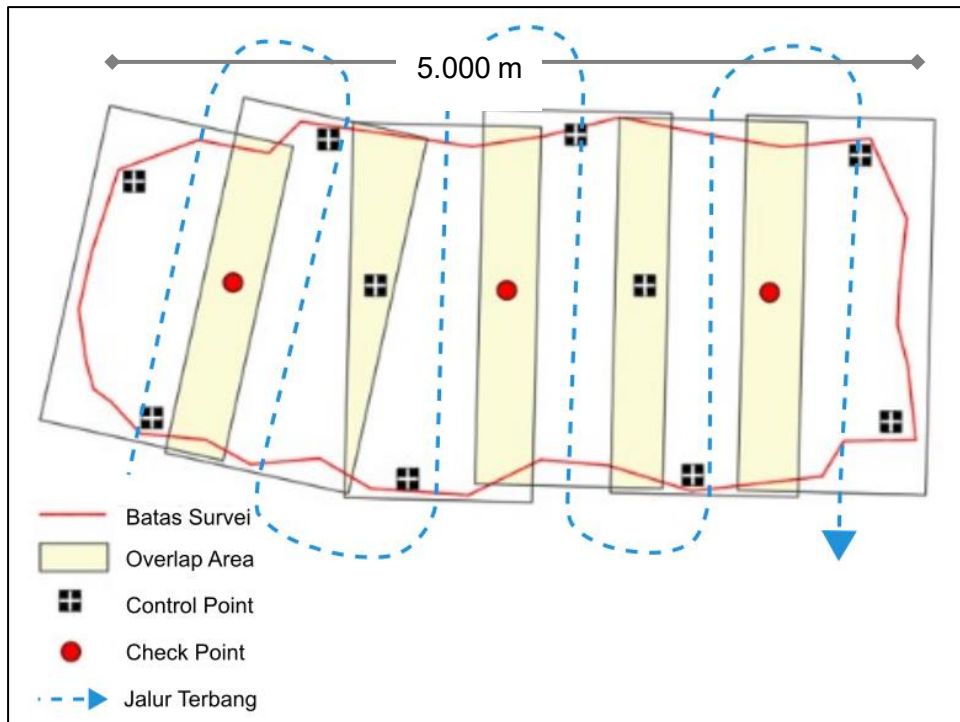
b. Pemasangan titik *base station*

Titik *base station* merupakan titik berdiri alat GNSS yang digunakan sebagai kontrol posisi wahana terbang saat melakukan akuisisi data. GNSS pada titik ini terikat pada titik CORS dan melakukan pengukuran secara kontinu selama akuisisi data menggunakan ALS dilakukan. Radius maksimal titik *base station* dengan lokasi pengambilan data adalah 5 km.

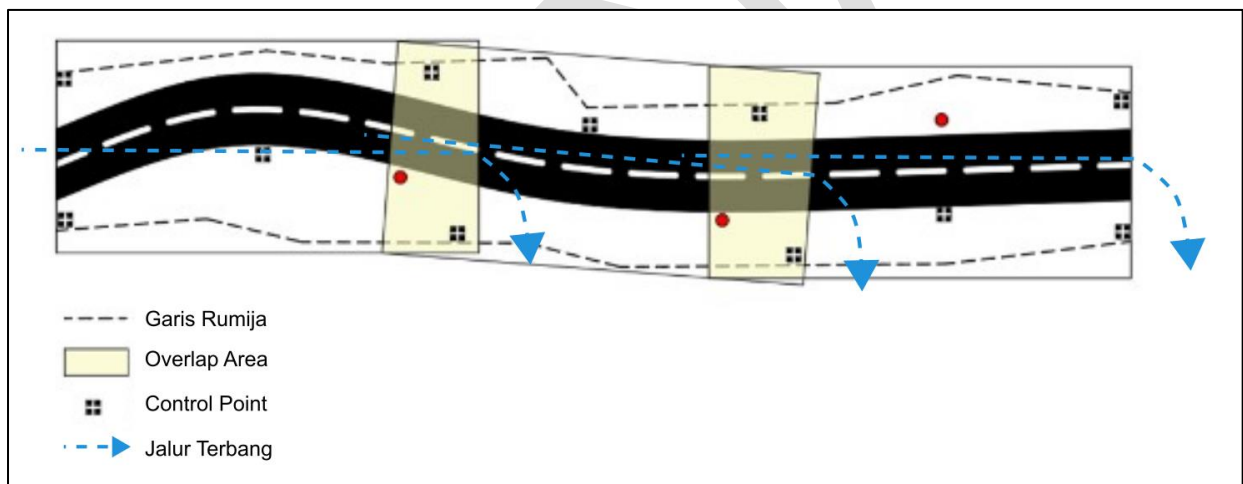
c. Pemasangan dan pengukuran *control point* dan *check point*

Control point perlu dipasang tersebar secara merata pada lokasi pengukuran. Idealnya *control point* diukur secara statik dan merupakan pengukuran yang independen. *Control point* dapat menggunakan titik *benchmark* ataupun *base station* yang sudah ada di lapangan seperti Patok LJ. Pada pemindaian trase jalan, *control point* perlu dipasang pada setiap awal dan akhir trase serta setiap perubahan geometrik trase.

Check point merupakan titik uji dengan jumlah minimal 3 titik pada 5 km awal dengan penambahan 2 titik setiap 5 km kelipatannya. Pada masing-masing awal dan akhir ruas harus diberi 1 *check point*. *Check point* sebaiknya berada pada *overlapping* area pemindaian (*scanning*). Pada *check point* dipasang target yang dapat terdeteksi secara otomatis oleh *software* bawaan *laser scanner* yang digunakan. Ambiguitas pengukuran GNSS pada *control point* dan *check point* **wajib** memiliki solusi **fixed**. Pemasangan *control point* dan *check point* untuk pengukuran menggunakan ALS dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 - Contoh sebaran *control point* dan *check point* pada area luasan



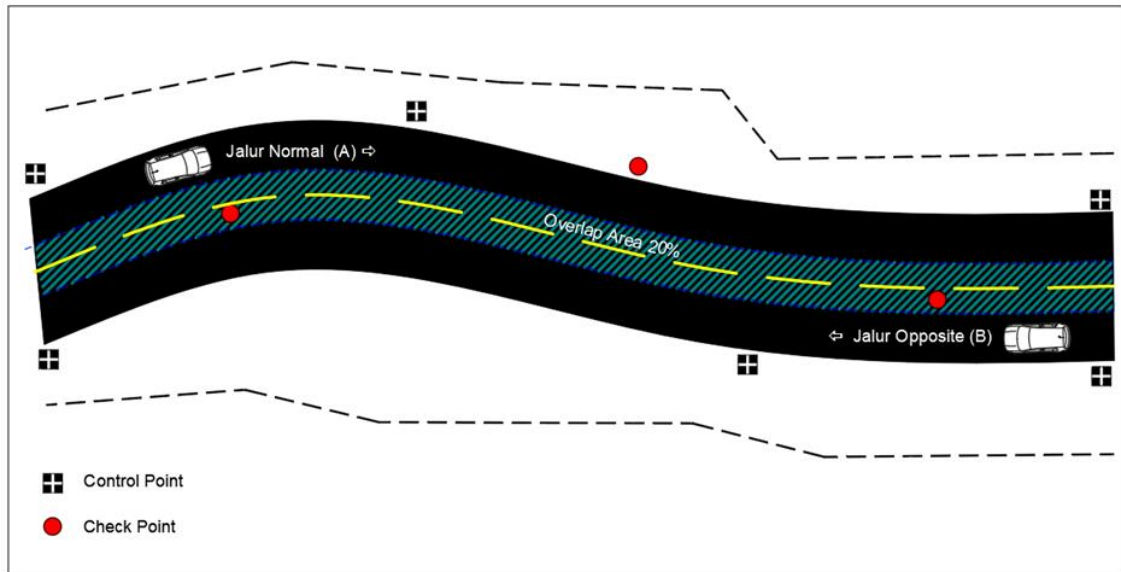
Gambar 6 - Contoh sebaran *control point* dan *check point* pada trase jalan

- d. Pembuatan *point cloud*
Data *point cloud* terbentuk dari trajektori yang telah dikoreksi dengan nilai kalibrasi pada sertifikat kalibrasi alat.
- e. Klasifikasi *point cloud*
Klasifikasi *point cloud* minimal menghasilkan 3 kelas, yaitu, *ground*, *vegetation*, dan *building*.

20. Akuisisi dan Pengolahan Data MLS

Akuisisi dan pengolahan data pada survei menggunakan MLS, dengan memperhatikan keselamatan kerja baik bagi operator maupun bagi pengguna jalan. Selain itu terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat akuisisi dan pengolahan menggunakan MLS, yaitu:

- a. *Perencanaan rute*
Perencanaan rute merupakan hal awal yang perlu dilakukan sebelum akuisisi data menggunakan MLS. Perencanaan rute harus dapat melingkupi keseluruhan area pemetaan. Akuisisi data pada jalan yang memiliki dua jalur dilakukan untuk masing-masing jalur (normal dan *opposite*).
- b. *Pemasangan base station*
Base station merupakan titik berdiri alat GNSS yang digunakan sebagai kontrol posisi MLS saat melakukan akuisisi data. GNSS pada titik ini terikat pada titik CORS dan melakukan pengukuran secara kontinu selama akuisisi data menggunakan MLS dilakukan. Radius maksimal titik *base station* dengan lokasi pengambilan data adalah 5 km.
- c. *Pemasangan dan pengukuran control point dan check point*
Control point dipasang di awal dan akhir ruas, pada setiap perubahan geometrik pada trase jalan, serta pada awal dan akhir terowongan. Idealnya *control point* diukur secara statik dan merupakan pengukuran yang independen. *Control point* dapat menggunakan titik *benchmark* ataupun *base station* yang sudah ada di lapangan seperti Patok LJ.
Check point merupakan titik uji dengan jumlah minimal 3 titik pada 5 km awal dengan penambahan 2 titik setiap 5 km kelipatannya. Pada masing-masing awal dan akhir ruas harus diberi 1 *check point*. *Check point* sebaiknya berada pada *overlapping area* pemindaian (*scanning*). Pada *check point* dipasang target yang dapat terdeteksi secara otomatis oleh *software* bawaan *laser scanner* yang digunakan. Ambiguitas pengukuran GNSS pada *control point* dan *check point* **wajib** memiliki solusi **fixed**. Pemasangan *control point* dan *check point* untuk pengukuran menggunakan MLS dapat dilihat pada Gambar 7.
- d. *Pembuatan point cloud*
Data *point cloud* terbentuk dari data trajektori yang telah dikoreksi dengan parameter yang ada pada sertifikat kalibrasi alat.
- e. *Klasifikasi point cloud*
Klasifikasi *point cloud* minimal menghasilkan 3 jenis kelas, yaitu, *Ground*, *Vegetation*, dan *Building*. Segmentasi *point cloud* pada penggunaan MLS dapat lebih diekstraksi kembali menjadi fitur jalan, perlengkapan jalan atau disesuaikan dengan kebutuhan pengambilan data.



Gambar 7 - Pemasangan *control point* dan *check point* pada akuisisi data MLS

21. Akuisisi dan Pengolahan Data TLS

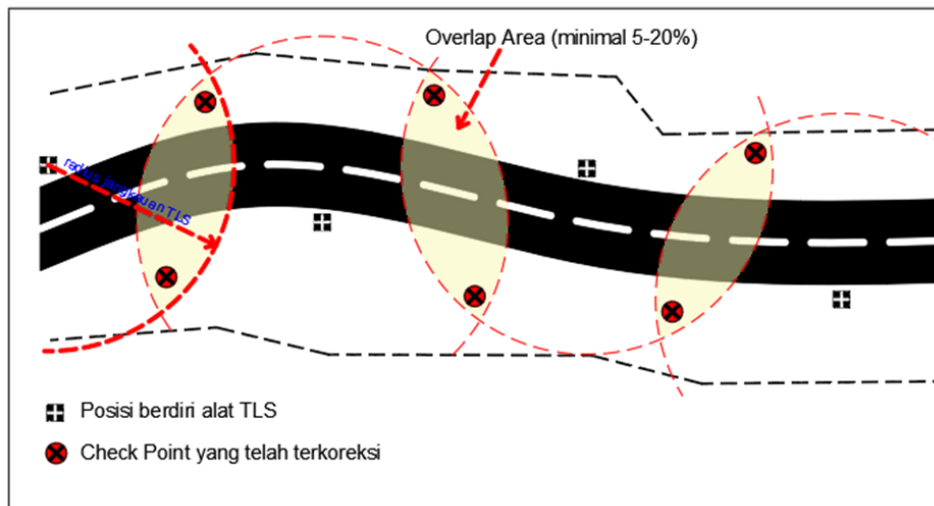
Akuisisi dan pengolahan data pada survei menggunakan TLS dengan memperhatikan keselamatan kerja baik bagi operator maupun bagi pengguna jalan. Selain itu terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat akuisisi dan pengolahan menggunakan TLS, yaitu:

a. Pemasangan titik *stationing*

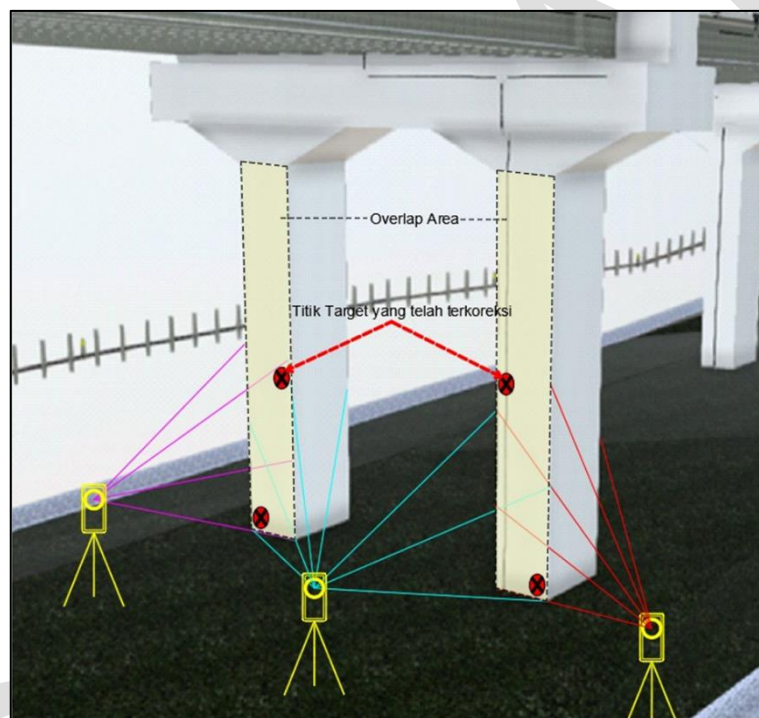
Titik *stationing* merupakan titik yang digunakan sebagai titik berdirinya perangkat TLS dimana titik ini merupakan titik yang memiliki koordinat tetap. Titik *stationing* ini dapat memanfaatkan patok yang telah ada di lapangan seperti Patok LJ. Titik *stationing* satu dan lainnya harus memiliki *overlap* area pemindaian sekitar 5% – 20%. Adapun pemasangan titik *stationing* untuk objek berupa trase jalan dilakukan sesuai dengan Gambar 8 serta pemasangan titik *stationing* untuk objek berupa bangunan atau jembatan dilakukan sesuai dengan Gambar 9.

b. Pemasangan dan pengukuran *control point* dan *check point*

Control point dapat berupa titik target yang memiliki koordinat ataupun koordinatnya telah didapatkan dari survei terestris lainnya. *Control point* dipasang di awal dan akhir ruas, pada *overlap* area pemindaian, perubahan geometrik pada trase jalan, serta pada awal, dan akhir terowongan. *Check point* perlu dipasang tersebar secara merata pada lokasi pengukuran. Jumlah *check point* disesuaikan dengan banyaknya objek yang diakuisisi. Dalam satu kali berdiri TLS jumlah *check point* minimal adalah 3 titik. Ambiguitas pengukuran GNSS pada *control point* dan *check point* wajib memiliki solusi **fixed**.



Gambar 8 - Contoh persebaran titik *stationing* dan *check point* pengukuran TLS



Gambar 9 - Contoh persebaran titik *stationing* pengukuran TLS untuk bangunan atau jembatan

- c. Pembuatan *point cloud*
Data *point cloud* terbentuk dari data pemindaian TLS yang telah dikoreksi serta diregistrasi.
- d. Klasifikasi *point cloud*
Klasifikasi *point cloud* minimal menghasilkan 3 jenis kelas, yaitu *Ground*, *Vegetation*, dan *Building*. Pada penggunaan TLS data *point cloud* dapat kembali disegmentasi dengan ekstraksi berupa permukaan jalan, struktur, atau disesuaikan dengan kebutuhan pengambilan data.

22. Akuisisi dan Pengolahan Data PLS

Akuisisi data menggunakan PLS dilakukan pada keseluruhan sisi objek yang dipindai. Pada penggunaan PLS registrasi koordinat dilakukan dengan memasang target yang memiliki koordinat tetap sehingga hasil pemindaian dapat terintegrasi dengan sistem koordinat digunakan. Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan akuisisi data menggunakan PLS antara lain adalah:

- a. Rencana rute
Meskipun PLS cukup fleksibel dalam melakukan akuisisi data, tetapi jalur pengambilan data perlu memperhatikan rute, dan posisi PLS agar densitas *point cloud* merata dan tidak ada bagian dari objek yang terlewat dalam pemindaian.
- b. Sebaran *control point* dan *check point*
PLS umumnya menggunakan sistem SLAM dalam penentuan posisinya. Metode ini akan bergantung dari koordinat awal sehingga apabila terdapat kesalahan koordinat, maka kesalahan tersebut akan merambat pada koordinat selanjutnya. Oleh karena itu diperlukan sebaran *control point* yang merata pada daerah yang dipetakan. *Control point* ini dapat berupa bentuk objek yang unik, ataupun penambahan target yang mudah dikenali pada objek homogen. *Check point* perlu dipasang tersebar secara merata pada lokasi pengukuran. Jumlah *check point* disesuaikan dengan banyaknya objek yang diakuisisi. Ambiguitas pengukuran GNSS pada *control point* dan *check point* **wajib** memiliki solusi **fixed**.
- c. Pembuatan *Point Cloud*
Point cloud yang terbentuk dari akuisisi data menggunakan PLS harus sudah terkoreksi dan memiliki koordinat yang terintegrasi dengan SRGI.
- d. Klasifikasi *Point Cloud*
Klasifikasi *point cloud* minimal menghasilkan 3 jenis kelas, yaitu *ground*, *vegetation*, dan *building*. Data *point cloud* dapat kembali disegmentasi dengan ekstraksi yang disesuaikan dengan kebutuhan pengambilan data.

23. Kontrol Kualitas Hasil Pengukuran *Laser Scanner*

Hasil pengukuran *laser scanner* baik menggunakan ALS, MLS, TLS, maupun PLS perlu dilakukan monitoring sebagai kontrol kualitas hasil pengukuran *laser scanner*. Monitoring ini dilakukan pada setiap tahapan pelaksanaan survei menggunakan *laser scanner*, mulai dari perencanaan, akuisisi data, pengolahan data, hingga penyajian data *laser scanner*.

24. Monitoring Perencanaan Survei *Laser scanner*

Pelaksanaan perencanaan survei menggunakan *laser scanner* perlu dilakukan monitoring dengan melakukan:

- a. Pemeriksaan spesifikasi *laser scanner* yang digunakan sesuai dengan jenis survei yang dilakukan; dan
- b. Pemeriksaan kelengkapan sertifikat kalibrasi alat dan sertifikat keahlian operator apabila diperlukan.

Hasil monitoring perencanaan survei menggunakan *laser scanner* ini dibuktikan dengan penyampaian laporan spesifikasi alat yang digunakan yang dilengkapi dengan foto peralatan serta sertifikat kalibrasi yang masih berlaku.

25. Monitoring Pelaksanaan dan Pengolahan Data Survei *Laser Scanner*

Monitoring pada pelaksanaan dan pengolahan survei menggunakan *laser scanner* yang perlu dilakukan antara lain adalah:

- a. Rencana rute
Pemeriksaan rencana jalur pengambilan data (jalur terbang maupun trajektori trase jalan) sesuai dengan ketentuan pada akuisisi data *laser scanner*.
- b. Titik *base station*
Titik *base station* dilakukan pengukuran statik dengan *post processing* dengan akurasi minimal:
 - 1). Horizontal: 3 mm + 0,1 ppm; dan
 - 2). Vertikal : 3,5 mm + 0,4 ppm.
- c. Pengolahan trajektori
Hasil pengolahan trajektori harus memenuhi nilai sebagai berikut:
 - 1). Nilai *Position Dilution of Precision* (PDOP) < 3,5;
 - 2). Ketelitian posisi horizontal dan vertikal ≤ 2 cm; dan
 - 3). Ketelitian orientasi $\omega \leq 0,005^\circ$, $\phi \leq 0,005^\circ$, $\kappa \leq 0,01^\circ$.
- d. Control *point* dan *check point*
 - 1). *Control point* dan *check point* dipasang sesuai dengan ketentuan pada Nomor 18 Akuisisi dan Pengolahan Data *Laser Scanner*,
 - 2). Pengukuran titik *control point* dan *check point* dilakukan secara independen terikat dengan CORS dengan RMSE maksimal 5 cm untuk koordinat X, Y dan Z, nilai PDOP maksimal 3,5, serta ambiguitas *fixed*.
 - 3). Perhitungan selisih titik uji dapat disajikan seperti pada Tabel 6. Nilai CE 90 dan LE 90 maksimum tergantung dari penggunaan kebutuhan *output* data atau dapat merujuk pada SNI 8202:2019 tentang Ketelitian Peta Dasar. Apabila hasil hitungan CE 90 dan LE 90 melebihi nilai maksimumnya, maka hasil pengukuran menggunakan *laser scanner* perlu diolah kembali.

Tabel 6 - Format perhitungan ketelitian posisi

Nama Titik	Koordinat <i>Point Cloud</i>			Koordinat Lapangan			Selisih			Kuadrat Selisih	
	X	Y	Z	X	Y	Z	d X	dY	dZ	(d X) ² + (dY) ²	(dZ) ²
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
							Jumlah			$\sum (dX)^2 + (dY)^2$	$\sum (dZ)^2$
							Rata-rata			Jumlah/n	Jumlah/n
							RMSE			$\sqrt{\text{Rata-Rata}}$	$\sqrt{\text{Rata-Rata}}$
										CE 90 = 1,5175 x RMSE	LE 90 = 1,6499 x RMSE

Hasil monitoring pelaksanaan dan pengolahan data survei *laser scanner* ini dibuktikan dengan penyampaian laporan monitoring pelaksanaan dan pengolahan data survei *laser scanner* termasuk perhitungan ketelitian posisinya.

e. Validasi Dimensi Objek

Dimensi objek dari hasil pemindaian laser berbasis *point cloud* dapat divalidasi melalui perbandingan dengan hasil pengukuran objek yang sama menggunakan peralatan konvensional, seperti EDM, pengukur pita presisi, atau *total station*. Deviasi antara kedua metode pengukuran dapat diterima sepanjang berada dalam batas toleransi yang ditentukan berdasarkan tujuan akuisisi data.

26. Penyajian Data *Laser Scanner*

Hasil pengukuran *laser scanner* perlu dilakukan standarisasi penyajian data baik dalam bentuk ketentuan teknis penyajian data serta format datanya. Hal tersebut agar data yang diakuisisi mudah untuk diintegrasikan dengan data lainnya, memudahkan dalam mengetahui asal-usul data serta memudahkan pencarian terhadap lokasi data digital tersebut. Ketentuan penyajian data *laser scanner* minimal adalah seperti tercantum pada Tabel 7 dan dapat diperinci kembali sesuai dengan tujuan penggunaan data *laser scanner*. Adapun format data yang diterima dalam akuisisi data *laser scanner* adalah seperti tercantum pada Tabel 8 dimana data tersebut harus dapat diintegrasikan dengan sistem eksisting yang menggunakan data serupa sebagai *input*, sebagai contoh CDE Bina Marga.

Tabel 7 - Ketentuan penyajian data *laser scanner*

Output	Ketentuan
1. Aspek Geospasial	a. Datum: SRGI terbaru (dapat dilihat pada laman https://srgi.big.go.id); b. Sistem Proyeksi: UTM sesuai zona lokasi pekerjaan; dan c. Sistem Referensi Tinggi: INAGEOID terbaru (dapat dilihat pada laman https://srgi.big.go.id).
2. Densitas <i>Point Cloud</i>	a. Densitas <i>point cloud</i> minimal pada tahap pra-perencanaan adalah 50 titik/m ² ; b. Densitas <i>point cloud</i> minimal pada tahap perencanaan adalah 100 titik/m ² ; c. Densitas <i>point cloud</i> minimal pada tahap pembebasan lahan adalah 100 titik/m ² ; d. Densitas <i>point cloud</i> minimal pada tahap konstruksi adalah 1.000 titik/m ² ; dan e. Densitas <i>point cloud</i> minimal pada tahap operasi dan pemeliharaan adalah 500 titik/m ² .
3. Skala	a. Untuk kebutuhan pra-perencanaan, perencanaan dan pengadaan tanah, skala peta hasil pemindaian <i>laser scanner</i> adalah minimal 1:5.000; b. Untuk kebutuhan konstruksi serta operasi dan pemeliharaan skala peta hasil pemindaian <i>laser scanner</i> adalah minimal 1:2.000; dan c. Untuk kebutuhan pemodelan 3D skala minimal 1:500.

Tabel 8 - Spesifikasi format data *laser scanner*

Jenis Data		Ekstensi
1. Data <i>Laser Scanner</i>		
	a. <i>Point Cloud</i>	*.las, laz, e57
	b. Trajektori	*.kml, *.laz
	c. Image	*.jpg
2. Data GNSS		
	a. <i>Raw Data GNSS Statik</i>	RINEX
	b. <i>Raw Data GNSS RTK</i>	*.txt
3. Model 3D		*.rvt atau *.ifc
4. Laporan-laporan, yang terdiri dari:		*.pdf
	a. Laporan Kalibrasi	
	b. Laporan Pengolahan <i>Baseline</i> GNSS	
	c. Laporan Perataan Jaring GNSS	
	d. Laporan Kontrol Kualitas	
	e. Laporan Lain	
	f. Metadata	

27. Metadata *Laser Scanner*

Metadata memberikan informasi terkait properti, asal-usul, struktur, dan aspek lain dari data utama. Metadata *laser scanner* sekurang-kurangnya memuat informasi mengenai:

- Detail kegiatan (nama paket pekerjaan, lokasi, nama jalan, waktu pelaksanaan (awal dan akhir), dan deskripsi pekerjaan);
- Detail pemilik pekerjaan (organisasi, nama penanggung jawab, jabatan, email, dan telepon);
- Detail pelaksana pekerjaan (organisasi, nama penanggung jawab, jabatan, email, dan telepon);
- Detail geoinformasi (titik referensi, sistem referensi, model geoid, dan sistem koordinat); dan
- Detail hasil (jenis alat yang digunakan, jenis file keluaran, skala, resolusi data, dan ketelitian data).

Jenis kegiatan menerangkan pemindaian tersebut dilakukan dalam tahapan konstruksi tertentu. Hal tersebut diperlukan sebagai indikasi awal kondisi lapangan serta ketelitian produk yang akan dihasilkan. Jenis file diperlukan pada metadata untuk menerangkan apakah file tersebut berupa *point cloud*, trajektori, atau file gambar. Pada penggunaan jenis *laser scanner* seperti MLS dan PLS ketiga file tersebut merupakan file yang harus disimpan untuk kebutuhan pengolahan data *laser scanner* serta klasifikasi *point cloud*. Formulir Kelengkapan Metadata pada LAMPIRAN A.

28. Penamaan Data dan Penyusunan Folder Penyimpanan

Data yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *laser scanner* merupakan *dataset* yang besar sehingga penyusunan penyimpanan dan penamaan data perlu diatur agar mempermudah pencarian data yang diperlukan, menjamin keterurutan, dan keterlacakan *dataset*, serta mendukung integrasi data dalam sistem. Setiap folder dan *file* diberi nama berdasarkan struktur yang mencerminkan informasi utama dari metadata, dengan format umum sebagai berikut:

[Tahun,Bulan]_[NamaPaket]_[JenisAlat]_[SegmentID]

[Tahun,Bulan]_[NamaPaket]_[JenisAlat]_[SegmentID]_[JenisFile].[Ekstensi]

Keterangan:

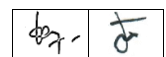
- NamaPaket : Singkatan atau kode nama paket pekerjaan
- JenisAlat : Jenis *laser scanner* (contoh: TLS, MLS, PLS)
- SegmentID : Kode segmen atau ruas yang dipindai (misalnya: STA0200-0400)
- JenisFile : Jenis *file*, misalnya RAW, TRAJ, IMG
- Ekstensi : Sesuai tipe *file*, misalnya .las, .jpg, .traj

Contoh Penamaan:

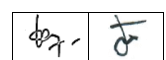
- 202403_JalanLingkarBarat_TLS_STA0200-0400_RAW.las
- 202403_JalanLingkarBarat_TLS_STA0200-0400_TRAJ.traj
- 202403_JalanLingkarBarat_TLS_STA0200-0400_IMG001.jpg
- 202403_Metadata_JalanLingkarBarat_20250705_DOC01.pdf

Bibliografi

- Badan Informasi Geospasial. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar. Badan Informasi Geospasial.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.
- California Department of Transportation. (2018). Caltrans. Surveys Manual.
- Gopi, S. (2007). *Basic Civil Engineering*. Pearson Education India.
- Habib, A., & Ghanma, M. (2010). *Integrating LiDAR and Digital Imagery for Highway Infrastructure Mapping*. ASCE Journal of Transportation Engineering, 136(2), 196–204.
- Jaselskis, Edward J., & Gao, Zhili. 2003. *Pilot Study On Improving The Efficiency Of Transportation Projects Using Laser Scanning*. Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Midwest Transportation Consortium.
- Kaartinen, H., et al. (2012). *Mobile Mapping—The New Standard for Road Surveys? The Photogrammetric Record*, 27(137), 66–85.
- Lichti, D. D. (2005). *Error Modelling, Calibration, and Analysis of an Airborne Laser Scanner System*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59(5), 307–324.
- Liu, X., et al. (2011). *Airborne LiDAR Applications in Transportation Planning and Modeling*. Computers, Environment and Urban Systems, 35(4), 320–331.
- Mainroads Western Australia, *Mobile Laser Scanning Standard D14#152062*, Asset and Geospatial Information Branch Survey and Mapping Section,
- Olsen, M. J., Roe, G. V., Glennie, C., & Persi, F. (2013). *Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications*. Transportation Research Board.
- Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2024 tentang Jalan Tol (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 85) Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6919)
- Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655)
- Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Informasi Geospasial (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 55, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6657)
- Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 366)
- Ravani, Bahram.m, et al, (2015). *Application of Mobile Laser Scanning for Lean and Rapid Highway Maintenance and Construction*. California Department of Transportation.
- Tysiac P, Miskiewicz M, Bruski D. *Bridge Non-Destructive Measurements Using a Laser Scanning during Acceptance Testing: Case Study. Materials (Basel)*. 2022 Nov 30;15(23):8533. doi: 10.3390/ma15238533. PMID: 36500028; PMCID: PMC9738297
- Shan, J., & Toth, C. K. (2009). *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press.
- Slob, S., & Hack, R. (2004). *3D Terrestrial Laser Scanning as a New Field Measurement and Monitoring Technique*. Engineering Geology, 68(1), 193–207.
- Staiger, R. (2003). *Terrestrial laser scanning technology, systems, and applications*.
- SNI 8202:2019, Ketelitian peta dasar



- Survey and Mapping Section, *Asset and Geospatial Information Branch*, Mainroads Western Australia, The Government of Western Australia. 2023. Mobile Laser Scanning Standard D14#152062.
- Proceedings of 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco. Retrieved from https://www.academia.edu/36528631/Terrestrial_Laser_Scanning
- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). *An Automated Technique for Generating a Digital Surface Model from UAV Imagery*. *Remote Sensing*, 4(4), 1392–1410.
- Vosselman, G., & Maas, H.-G. (2010). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing.
- Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856)
- Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 Tentang Informasi Geospasial (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 49, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5214) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856)
- Wehr, A., & Lohr, U. (1999). *Airborne Laser Scanning-An Introduction and Overview*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 68–82.
- Willkens, D. S., Liu, J., & Alathamneh, S. (2024). *A Case Study of Integrating Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Building Information Modeling (BIM) in Heritage Bridge Documentation: The Edmund Pettus Bridge*. *Buildings*, 14(7), 1940. <https://doi.org/10.3390/buildings14071940>



Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama		Unit Kerja
1.	Pemrakarsa	Subdirektorat Data dan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum	
2.	Koordinator	Ir. Pantja Dharma Oetojo, M.Eng.Sc	Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan
3.	Penyusun	Firman Permana Wandani, S.T., M.P.P.	Subdirektorat Data dan Sistem Informasi Jalan dan Jembatan
4.		Vito Borkat Harahap, S.T., M.M.G., M.P.W.K.	
5.		Luthviasari Astudiro, S.T., M.Eng.	
6.		Taufik Nur Adikusuma, S.T., M.Eng.	
7.		Wulan Puspita, S.T.	
8.		Heru Tri Saksena, S.T.	
9.		M. Aldinnur Biriansyah, S.T.	
10.		Yoga Aratama, S.T.	
11.	Narasumber	Dr. Dedi Atunggal S.P., S.T., M.Sc.	Universitas Gadjah Mada
12.		Ruli Andaru, S.T., M.Eng., P.hD.	Universitas Gadjah Mada
13.		Dr. Gusti Ayu Jessy Kartini, S.T., M.T.	Institut Teknologi Nasional Bandung
14.		Bhima Dhanardono, S.T., M.Eng.	Politeknik Pekerjaan Umum
15.	Praktisi	Febrian Adi Saputra, ST	Ahli Survei Pengukuran dan Pemetaan
16.		Haryo Widianing Wibowo, S.T.	Ahli Survei Pengukuran dan Pemetaan
17.		Aryma Yudi, S.T.	Ahli Survei Pengukuran dan Pemetaan
18.	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	

LAMPIRAN A
(Informatif)
Form Kelengkapan Metadata

INFORMASI UMUM

Nama Pekerja	Click or tap here to enter text.		
Nomor Kontrak	Click or tap here to enter text.		
Tanggal Kontrak	Click or tap to enter a date.		
Lama Pelaksanaan	Click or tap here to enter text.	Choose an item.	
Lokasi Pekerja			
Provinsi	Click or tap here to enter text.		
<i>Easting</i> : Click or tap here to enter text.		<i>Northing</i> : Click or tap here to enter text.	
Uraian Lokasi	Click or tap here to enter text.		

INFORMASI PENYEDIA JASA

Nama Perusahaan	Click or tap here to enter text.
Alamat Perusahaan	Click or tap here to enter text.
Nomor Telepon	Click or tap here to enter text.
Nama Kontak	Click or tap here to enter text.
Jabatan	Click or tap here to enter text.
<i>Email</i>	Click or tap here to enter text.
Nomor Telepon	Click or tap here to enter text.

INFORMASI PEMBERI PEKERJAAN

Unit Kerja	Click or tap here to enter text.
Alamat Unit Kerja	Click or tap here to enter text.
Nomor Telepon	Click or tap here to enter text.
Nama Kontak	Click or tap here to enter text.
Jabatan	Click or tap here to enter text.
<i>Email</i>	Click or tap here to enter text.
Nomor Telepon	Click or tap here to enter text.

INFORMASI GEOSPASIAL

Nomor Ruas Jalan	Click or tap here to enter text.
Nama Ruas Jalan	Click or tap here to enter text.
Proyeksi	Click or tap here to enter text.
Model Geoid	Click or tap here to enter text.
Datum Vertikal	Click or tap here to enter text.

Bounding Box (Dalam Easting Northing)

Kiri Atas : Click or tap here to enter text.

Kiri Bawah : Click or tap here to enter text.

Kanan Atas : Click or tap here to enter text.

Kanan Bawah : Click or tap here to enter text.

INFORMASI SURVEI

☐ Sertifikat Kalibrasi	☐ Lengkap	☐ Sebagian	
	☐ Berlaku	☐ Tidak Berlaku	
☐ Sertifikat Pilot			
Alat yang digunakan			
☐ ALS (Fixed Wings)	☐ MLS	☐ TLS	☐ PLS
☐ ALS (Multirotor)	☐ GNSS	☐ Total Stasion	☐ Lainnya
Waktu Pelaksanaan Survei			
Mulai : Click or tap to enter a date.		Selesai : Click or tap to enter a date.	

DETAIL POINT CLOUD

☐ Nilai Intensitas	☐ Nilai RGB
<i>Point Thickness</i> : Click or tap here to enter text.	
<i>Point Density</i> : Click or tap here to enter text.	
<i>RMS Trajectory Alignment</i> : Click or tap here to enter text.	
<i>RMS Point Cloud</i> : Click or tap here to enter text.	

HASIL

☐ <i>Point Cloud</i> , Ekstensi Click or tap here to enter text.	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ <i>Trajectory</i> , Ekstensi Click or tap here to enter text.	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Model 3D, Ekstensi Click or tap here to enter text.	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Laporan Pengolahan <i>Point Cloud</i>	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Laporan Pengujian Titik Sampling	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Raw Data GNSS	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Laporan Pengolahan GNSS	☐ Lengkap	☐ Sebagian
☐ Laporan Pekerjaan	☐ Lengkap	☐ Sebagian