

TESIS

**ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA METODE LIDAR DAN
TERESTRIAL DALAM PERHITUNGAN VOLUME GALIAN
DAN TIMBUNAN UNTUK MENCAPAI EFISIENSI BIAYA
DAN WAKTU**

**(STUDI KASUS: PROYEK JALAN TOL TRANS SUMATERA
RUAS PEKANBARU – BANGKINANG)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister Teknik Sipil**



MUH. ERRY SUGIHARTO

NIM: 19 914 022

**KONSENTRASI MANAJEMEN KONSTRUKSI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

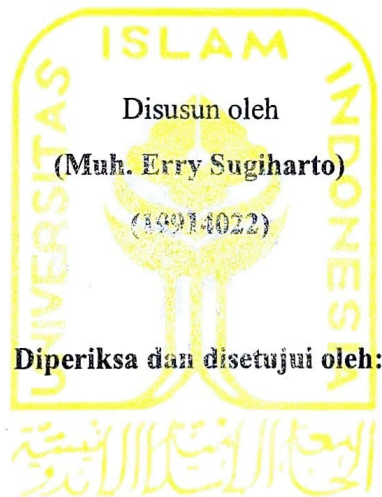
2023

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA METODE LIDAR DAN TERESTRIAL DALAM PERHITUNGAN VOLUME GALIAN DAN TIMBUNAN UNTUK MENCAPAI EFISIENSI BIAYA DAN WAKTU

(STUDI KASUS: PROYEK JALAN TOL TRANS SUMATERA
RUAS PEKANBARU – BANGKINANG)



Ir. Fitri Nugraheni, ST., MT., Ph.D., IP-M.
Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Taufik Dwi Laksono, ST., MT., IP-M.
Dosen Pembimbing II


Tanggal: _____


Tanggal: 11 FEBRUARI 2023

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA METODE LIDAR DAN TERESTRIAL DALAM PERHITUNGAN VOLUME GALIAN DAN TIMBUNAN UNTUK MENCAPAI EFISIENSI BIAYA DAN WAKTU

(STUDI KASUS: PROYEK JALAN TOL TRANS SUMATERA
RUAS PEKANBARU – BANGKINANG)

Disusun oleh

Muh. Erry Sugiharto

19914022

Telah diuji oleh Dewan Penguji
pada tanggal 1 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

(Susunan Dewan Penguji)

Dosen Pembimbing I,



(Ir. Fitri Nugraheni, ST., MT., Ph.D., IP-M.)

Dosen Pembimbing II,



(Dr. Ir. Taufik Dwi Laksono, ST., MT., IP-M.)

Dosen Penguji



(Dr. Rossy Armyn Machfudiyanto, ST., MT. IP-M.)

Yogyakarta, 17 Febr 2023

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Kebudayaan Program,



(Dr. Ir. Sri Anni Yuni Astuti, M.T.)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tesis yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Master di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Februari 2023
Yang membuat pernyataan,



Muh. Erry Sugiharto
(19914022)

ABSTRAK

Tantangan dalam pemenuhan kebutuhan peta topografi skala besar di proyek raksasa seperti jalan tol Trans Sumatera secara cepat, tepat dan terjangkau, perlu adanya penerapan teknologi seperti BIM (*Building Information Modelling*). Pembuatan 3D Model Jalan Tol memerlukan data peta dasar yang detail untuk menghasilkan output biaya yang detail. Penggunaan metode terestrial seringkali bersifat subyektif karena banyak dipengaruhi oleh *human error*. Penggunaan data topografi non terestrial yang tidak akurat menyebabkan ketidaktepatan perencanaan dan estimasi biaya. Sehingga dibutuhkan data LIDAR yang memiliki tingkat kedetailan yang baik dikarenakan memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan teknologi lain seperti terestrial. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan data LIDAR dengan terestrial dalam aspek waktu dan biaya pada Model BIM tahapan Perencanaan Jalan Tol. Perlu dilakukan pengujian validitas data LIDAR terhadap data terestrial dalam memenuhi ketelitian peta dasar yang disyaratkan, serta melakukan analisis perbandingan volume galian dan timbunan dari kedua metode tersebut ditinjau dari aspek biaya dan waktu yang diperlukan. Hasil penelitian yang didapat adalah data LIDAR pada ruas Pekanbaru-Bangkinang memenuhi toleransi peta skala 1:1000 kelas 1 yang tertuang pada Standar Pedoman Teknis Peta Skala Besar oleh BIG, dimana hal tersebut dapat dilihat dari nilai LE90 sebesar 17.6 cm dengan nilai rujukan sebesar 20 cm. Keandalan data LIDAR dalam perhitungan volume pekerjaan tanah diperoleh dari efisiensi volume timbunan 8.83% dan efektifitas dalam perhitungan volume galian karena mampu mendeteksi 57.82% material timbunan yang tidak terdeteksi pada survei terestrial. Selain itu dengan pemanfaatan LIDAR, diperoleh efisiensi waktu dan selisih biaya pekerjaan tanah yaitu masing-masing sebesar 62.9% dan 9.03%.

Kata Kunci: LIDAR, terestrial, Akurasi, Efisiensi Waktu, dan Selisih Biaya

ABSTRACT

The challenge in fulfilling the need for large-scale topographic maps in massive projects like the Trans Sumatera Toll Road requires the implementation of technology such as BIM (Building Information Modelling). The creation of a Toll Road 3D Model requires detailed base map data to produce a detailed cost output. The use of terrestrial methods is often subjective as it is heavily influenced by human error. The use of inaccurate non-terrestrial topographical data leads to inaccurate planning and cost estimation. Thus, the use of LIDAR data with good levels of detail is needed as it has higher spatial resolution compared to terrestrial. The aim of this study is to compare LIDAR data with terrestrial in terms of time and cost in the Toll Road Planning stage of the BIM Model. The validity of LIDAR data compared to terrestrial data in meeting the required accuracy of the base map must be tested and an analysis of the comparison of excavation and embankment volumes from both methods must be conducted from the aspects of cost and time required. The results of the study showed that LIDAR data on the Pekanbaru-Bangkinang route met the tolerance of the 1:1000 class 1 scale map as specified in the BIG's Standard Guidelines for Large-Scale Maps, as seen from the LE90 value of 17.6 cm with a reference value of 20 cm. The LIDAR reliability in earthwork volume calculation obtained from the efficiency of fill volume 8,83% and the effectivity while calculating the cut volume could detected 57.82% of fill material which not detected in terrestrial survey. In addition, with the use of LIDAR, time efficiency and a difference in earthwork costs were obtained, respectively at 62.9% and 9.03%.

Keywords: LIDAR, Terrestrial, Accuracy, Time Efficiency, and Cost Difference.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas berkat dan rahmat yang telah diberikan oleh-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisis Perbandingan antara Metode LIDAR dan terestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan untuk Mencapai Efisiensi Biaya dan Waktu (Studi Kasus : Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru - Bangkinang)”, sebagai salah satu persyaratan yang wajib dipenuhi oleh mahasiswa Universitas Islam Indonesia, yang berguna untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil. Tidak pernah lupa juga penulis panjatkan Shalawat serta salam bagi junjungan Nabi Muhammad SAW dan juga para sahabat yang tak henti-hentinya memberikan tuntunan dalam berkehidupan untuk umat muslim di seluruh dunia dan khususnya di Indonesia. Penulis menyampaikan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalangan serta pihak yang telah memberikan dorongan dalam menyusun penulisan tesis ini, antara lain:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Magister
2. Ir. Fitri Nugraheni, ST., MT., Ph.D., IPM selaku Dosen Pembimbing Pertama
3. Dr. Ir. Taufik Dwi Laksono, ST., MT., IPM selaku Dosen Pembimbing Kedua
4. Dr. Rossy Armyn Machfudiyanto, ST., MT selaku Dosen Penguji
5. Ibunda Hj. Siti Bari'ah
6. Ananda Rafi M. Reysa
7. Ananda Tsabita Chalisha Reysa
8. Ananda M. Athala Razka Sugiharto
9. Kawan – kawan PT. Hutama Karya (Persero)
10. Para *expert reviewer*: Bapak Dedy Gunawan, ST., MSc.; Bapak Ir. Koentjoro, MBA., dan Bapak Ir. Iwan Hermawan, ST., MT.

Akhir kata penulis ucapkan terimakasih, semoga Tesis ini dapat berguna bagi kita semua, dan memberikan banyak manfaat bagi setiap orang yang membutuhkan ilmu pengetahuan serta bahan-bahan informasi.

Yogyakarta, Februari 2023

Muh. Erry Sugiharto
19914022

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Analisa Perbandingan Volume dan Ketelitian ICP dari 3 Alat (<i>Total Station (TS), Global Navigation Satellite System (GNSS), dan Terrestrial Laser Scanner (TLS)</i>).....	7
2.2 <i>Study of the LIDAR Accuracy in Mapping Forest Road Alignments and Estimating the Earthwork Volume</i>	9
2.3 <i>Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects</i>	10
2.4 <i>Development and Utilization of Aerial Photogrammetry Survey using Nonmetric Camera Drone with Open-source Software: Case Study on Tugu Dam Project</i>	13
2.5 Analisis Gap Penelitian Terdahulu	16
BAB III LANDASAN TEORI.....	18
3.1 Pengertian Proyek Konstruksi	18
3.2 Pihak yang Terlibat dalam Proyek	19
3.3 Macam-Macam Proyek	22
3.4 Tahapan Proyek Konstruksi	23

3.5	Ruang Lingkup Proyek.....	24
3.5.1	Biaya Proyek Konstruksi	25
3.5.2	Waktu Proyek Konstruksi	26
3.6	Proyek Jalan Tol	27
3.6.1	Proyek JTTS Ruas Pekanbaru-Bangkinang	28
3.7	Pengukuran dengan Metode Konvensional	29
3.8	Pengertian LIDAR.....	30
3.9	Konsep LIDAR.....	30
3.9.1	<i>Point Cloud</i>	33
3.9.2	<i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	34
3.9.3	Kontur	34
3.10	Volume Galian dan Timbunan	35
3.10.1	Volume.....	36
3.10.2	Hubungan Perhitungan Volume terhadap Biaya dan Waktu	38
3.11	<i>Building Information Modelling (BIM)</i>	38
3.12	Statistika	39
3.12.1	Rata-Rata.....	40
3.12.2	Simpangan Baku	40
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	42
4.1	Alur Penelitian.....	42
4.2	Subjek dan Objek Penelitian	45
4.2.1	Subjek Penelitian.....	45
4.2.2	Objek Penelitian	45
4.3	Lokasi Penelitian	45
4.4	Jenis Penelitian	45
4.5	Alat yang Digunakan.....	45
4.6	Metode Pengumpulan Data	47
4.6.1	Perizinan Terbang	47
4.6.2	Perencanaan Survei	48
4.6.3	Proses Akuisisi Data	48
4.7	Pengolahan Data.....	49
4.8	Data yang diperoleh.....	50

4.8.1	Data Primer	50
4.8.2	Data Sekunder	50
4.9	Analisis Data	50
4.9.1	Perbandingan Volume	51
4.9.2	Biaya	51
4.9.3	Waktu	51
BAB V	DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN	53
5.1	Data	53
5.1.1	Data <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS)	53
5.1.2	Data LIDAR	54
5.1.2.1	Data <i>Trajectory</i>	54
5.1.2.2	Data LAS LIDAR	55
5.1.3	Data terrestrial	56
5.1.4	Data Pendukung	57
5.1.4.1	Jadwal Akuisisi dan Pengolahan	57
5.2	Analisis Data	59
5.2.1	Analisis Kualitas Data Topografi LIDAR	59
5.2.2	Analisa Tingkat Keandalan Data LiDAR Terhadap Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan	64
5.2.2.1	Perbandingan Profil LIDAR dan Terrestrial	64
5.2.2.2	Perbandingan Kedetailan <i>Surface</i> LIDAR dan Terrestrial	65
5.2.2.3	Analisa Perbandingan Volume Galian dan Timbunan antara Metode LIDAR dan Terrestrial	67
5.2.3	Analisis Perbandingan Biaya Berdasarkan Perbedaan Volume Galian dan Timbunan	70
5.2.3.1	Penyusunan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)	70
5.2.3.2	Penyusunan <i>Bill of Quantity</i> (BOQ)	71
5.2.3.3	Analisis Perbandingan Biaya	74
5.2.4	Analisa Perbandingan Waktu Akuisisi hingga Pengolahan Data LIDAR dan terrestrial	75
5.3	Pembahasan	82
5.3.1	Aspek Kualitas Data Topografi LiDAR	82
5.3.2	Aspek Tingkat Keandalan Data LiDAR Terhadap Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan	82

5.3.3	Aspek Biaya	84
5.3.4	Aspek Waktu.....	87
5.3.5	Validasi Pembahasan	89
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	93
6.1	Kesimpulan.....	93
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu antara Data LIDAR dan LTS (Matinnia et al, 2018).....	10
Tabel 2. 2 Uji Akurasi Horizontal (Oliver et al, 2022)	14
Tabel 2. 3 Uji Akurasi Vertikal (Oliver et al, 2022)	15
Tabel 5. 1 Standar Kualitas <i>Trajectory</i> disadur dari Perka BIG Nomor 1 Tahun 2020.....	55
Tabel 5. 2 Jadwal Kegiatan Survey LIDAR Ruas Pekanbaru-Bangkinang	58
Tabel 5. 3 Jadwal Kegiatan Survei terestrial Ruas Pekanbaru-Bangkinang	59
Tabel 5. 4 Uji Akurasi Elevasi LIDAR terhadap ICP di Ruas Pekanbaru-Bangkinang	61
Tabel 5. 5 Tabel Jumlah Titik Berdasarkan Kategori.....	62
Tabel 5. 6 Hasil Statistik Selisih Elevasi LIDAR dan ICP di Rencana Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang	63
Tabel 5. 7 <i>Summary</i> validasi Akurasi LIDAR pada Ruas Pekanbaru-Bangkinang	63
Tabel 5. 8 Tabel Perbandingan Densitas titik LIDAR dan terestrial.....	66
Tabel 5. 9 Tabel Perbandingan Volume Galian dan Timbunan	69
Tabel 5. 10 Kriteria Desain Geometrik Jalan Tol (Sumber: PT. Hutama Karya (Persero)).....	72
Tabel 5. 11 Tabel Perhitungan Biaya Berdasarkan Data terestrial.....	74
Tabel 5. 12 Tabel Perhitungan Biaya Berdasarkan Data LIDAR	74
Tabel 5. 13 Tabel Perhitungan Selisih Harga LIDAR dan terestrial	75
Tabel 5. 14 Tabel Perbandingan Kebutuhan Waktu Metode LIDAR dan terestrial	76
Tabel 5. 15 Tabel Kebutuhan Waktu Perizinan LIDAR Beserta Kebutuhan Waktu dan Dokumen	77
Tabel 5. 16 Tabel Kebutuhan Waktu Pengolahan hingga Penyajian Data.....	79
Tabel 5. 17 Tabel Kebutuhan Waktu Proses Survey terestrial.....	81
Tabel 5. 18 List <i>Major Item</i> Pekerjaan pada Proyek Jalan Tol Tras Sumatera Ruas Pekanbaru - Bangkinang	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan Model 3D dari TLS (a) dengan TS dan GNSS (b) (Khomsin et al, 2018).....	8
Gambar 2. 2 Lokasi trase hauling awal sebelum dilakukan survei lapangan (Oliver et al, 2022).....	13
Gambar 2. 3 Lokasi trase hauling setelah <i>re-design</i> dengan menggunakan data DTM hasil survey fotogrametri dengan UAV (Oliver et al, 2022).....	14
Gambar 3. 1 Keterlibatan Pihak pada Proyek.....	19
Gambar 3. 2 Kurva S (Khalid, 2008).....	27
Gambar 3. 3 Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang	28
Gambar 3. 4 Pengukuran Topografi Konvensional (Khomsin, 2019).....	29
Gambar 3. 5 Konsep LIDAR.....	31
Gambar 3. 6 Alur Pekerjaan Pengolahan Data LIDAR.....	33
Gambar 3. 7 <i>Point Cloud</i>	34
Gambar 3. 8 <i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	34
Gambar 3. 9 Garis Kontur	35
Gambar 3. 10 BIM 3D Model	39
Gambar 4. 1 Alur Penelitian	44
Gambar 4. 2 <i>Drone V-TOL Fixed Wing TRON F90+</i>	46
Gambar 4. 3 LIDAR Sensor <i>Yellowscan Surveyor Ultra</i>	46
Gambar 4. 4 GNSS Receiver Leica GS14	46
Gambar 4. 5 <i>Total Station Topcon ES65 Entry Level</i>	47
Gambar 4. 6 Prosedur Pengajuan Izin Terbang Pesawat Udara Tanpa Awak	47
Gambar 4. 7 Rencana Akuisisi Data.....	48
Gambar 4. 8 Proses Akuisisi Data GNSS.....	49
Gambar 4. 9 Proses Pengolahan Data LIDAR	50
Gambar 5. 1 Distribusi Titik BM dan ICP LIDAR Pada Rencana Ruas Tol Pekanbaru-Bangkinang	53
Gambar 5. 2 Data <i>Trajectory</i>	54
Gambar 5. 3 Data LIDAR Format LAS Ruas Pekanbaru-Bangkinang.....	56
Gambar 5. 4 Data terestrial Rencana Ruas Tol Pekanbaru-Bangkinang.....	57
Gambar 5. 5 DTM Rencana Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang	60
Gambar 5. 6 Grafik Selisih Elevasi LIDAR dan ICP	62
Gambar 5. 7 Profil Perbandingan LIDAR dan terestrial	64
Gambar 5. 8 Grafik Elevasi Hasil LIDAR terhadap terestrial.....	65

Gambar 5. 9 Perbandingan <i>Surface</i> dari metode survei terestrial (a) dan LIDAR (b).....	66
Gambar 5. 10 Kontur terestrial (a) dan LIDAR (b) Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang	67
Gambar 5. 11 <i>Surface Existing Ground</i> Ruas Pekanbaru-Bangkinang.....	67
Gambar 5. 12 Tipikal Potongan Melintang Ruas Pekanbaru-Bangkinang.....	68
Gambar 5. 13 Koridor Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang	68
Gambar 5. 14 Proses Penghitungan Volume Galian dan Timbunan dengan CAD	69
Gambar 5. 15 Hasil Perhitungan Volume Galian dan Timbunan.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Perhitungan Volume Galian dan Timbunan LIDAR dan terestrial dari Civil 3D
- Lampiran 2 Perbandingan Profile LIDAR dan terestrial
- Lampiran 3 *Expert Review* oleh Dedy Gunawan
- Lampiran 4 *Expert Review* oleh Koentjoro
- Lampiran 5 *Expert Review* oleh Iwan Hermawan
- Lampiran 6 Gantchart Jadwal Survey Topografi LIDAR Ruas Pekanbaru-Bangkinang
- Lampiran 7 Gantchart Jawal Survey Topografi Terestrial Ruas Pekanbaru-Bangkinang

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pemerintah Republik Indonesia melalui Peraturan Presiden Nomor 100 tahun 2014 dan Peraturan Presiden Nomor 117 tahun 2015 memberikan penugasan pengusahaan Jalan Tol Trans Sumatera dari Bakauheni sampai dengan Banda Aceh sepanjang 2770 kilometer. Sesuai dengan target waktu yang diberikan, keseluruhan Jalan Tol tersebut harus terbangun pada tahun 2024. Berdasarkan target waktu dan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam tahapan perencanaan sampai dengan konstruksi, diperlukan kegiatan percepatan yang terintegrasi dan terkontrol. Percepatan suatu pekerjaan identik dengan penambahan sumber daya manusia, penambahan alat dan pendukung lainnya yang berakibat pada penambahan biaya. Tantangan yang dihadapi dalam pengusahaan Jalan Tol Trans Sumatera ini adalah bagaimana menyajikan hasil pekerjaan dengan kualitas yang baik, sesuai target waktu dan tentunya dengan tidak terjadinya *cost overrun*. Berdasarkan hal tersebut diatas, pemilihan penggunaan teknologi sebagai alat untuk produksi dan modifikasi dalam penyelesaian permasalahan khususnya pada fase perencanaan konstruksi memegang peranan penting (Skibniewski et al, 2012).

Proses perencanaan jalan tol memerlukan berbagai tenaga ahli dan tim-nya sesuai disiplin ilmu yang mendukung proses perencanaan, antara lain tenaga ahli *highway*, struktur, hidrologi, arsitektur, geodesi dan lain-lain. Sebelum adanya teknologi *Building Information Model* (BIM), proses perencanaan secara konvensional masih berbasis 2D dan tidak terintegrasi satu sama lain. Penerapan BIM menuntut semua proses desain yang dilakukan oleh setiap disiplin ilmu terdigitalisasi dan terintegrasi, sehingga faktor tidak terintegrasinya desain antara tim *highway* dan struktur, atau tim arsitek dan struktur yang dapat menyebabkan proses *re-design* dan tidak efisien dari sisi waktu dapat diminimalkan. Berdasarkan dengan hal itu, penerapan BIM *Lifecycle* dengan *Level of Development* (LOD) 300

untuk fase *Design Development* diharapkan mampu menjawab beberapa persoalan dalam tahapan perencanaan jalan tol tersebut. Penerapan BIM tersebut dapat menghasilkan perencanaan yang detail sampai dengan tahap 4D dan 5D, dimana model 3D terbentuk secara detail dan ditambah dengan informasi scheduling setiap material sesuai urutan pekerjaannya dalam setiap tahapan, serta juga *Material Take Off* (MTO) untuk perhitungan volume nantinya. Dalam hal kaitannya terhadap perhitungan volume galian dan timbunan dengan metode konvensional, metode tersebut memiliki beberapa kekurangan seperti tidak efisien secara biaya dan waktu, serta tingkat akurasi yang tidak tinggi. Hal tersebut tentu dapat mempengaruhi dari kegiatan pekerjaan tanah secara keseluruhan. Salah satu alat yang dapat dipakai untuk memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam perhitungan volume adalah LIDAR yang dengan berbagai sensor lainnya dapat lebih efisien dalam proses perhitungan volume. Tingkat efisiensi pada aspek biaya, waktu serta kualitas data akan dikaji lebih mendalam pada penelitian ini.

Pembuatan 3D Model Jalan Tol yang merupakan bentuk representasi digital dari fisik Jalan Tol nantinya, sangat bergantung pada kondisi *terrain eksisting* yang tergambar dari data topografi area rencana. Semakin detail data topografi, semakin detail desain yang direncanakan dan semakin detail asumsi perhitungan biayanya. Pengambilan data topografi secara terestrial yang selama ini digunakan dalam berbagai fase dalam kegiatan perencanaan, merupakan metode yang paling teliti (Ramadhony et al, 2017). Namun demikian, metode ini kurang tepat jika digunakan untuk memperoleh data topografi yang detail dalam waktu yang relatif cepat. Penggunaan metode tersebut dalam waktu yang singkat untuk pemetaan area yang bervariasi terrain dan tutupan lahan-nya memerlukan banyak tim Survei. Jumlah tim Survei yang banyak untuk melakukan pengukuran secara erestrial cenderung berpotensi menimbulkan kesalahan yang bersifat *blunder* atau kesalahan akibat keceroban pengamat, yang hanya dapat dikoreksi dengan pengambilan data ulang. Kesalahan tersebut sangat sulit terdeteksi pada saat data topografi sudah diproduksi, dan mengakibatkan data yang dihasilkan menjadi tidak akurat.

Tingkat kedetailan data yang dihasilkan dari pengukuran secara terestrial bersifat subjektif, sehingga sangat tergantung pada interpretasi Surveyor dalam

membaca situasi dan terrain di lapangan. Data yang tidak detail dapat mengurangi informasi *terrain* yang sebenarnya tersedia dan mengakibatkan kesalahan dalam Menyusun rencana desain jalan tol. Ketidakdetailan data misalnya terjadi ketika surveyor tidak melakukan pengambilan data *spot height* yang rapat ketika memetakan terrain lembah, sehingga terrain tersebut tidak tersaji sesuai keadaan sebenarnya di peta yang berakibat pada kesalahan desain dan metode konstruksi.

Pengaruh penggunaan data topografi yang tidak detail untuk perencanaan Jalan Tol berimbas pada ketidaktepatan perhitungan volume pekerjaan tanah, yaitu galian dan timbunan pernah terjadi pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Dumai Seksi 1 sepanjang 9,5 Kilometer. Penggunaan data sekunder dengan ketelitian rendah sebagai data topografi berakibat pada perbedaan volume galian untuk ditimbun sebesar 102,54%, galian untuk dibuang sebesar 505,03% dan volume timbunan *Common Borrow Material* (CBM) sebesar 76,36% terhadap volume realisasi pekerjaan tanah yang datanya diperoleh secara terestrial. Perbedaan yang sangat besar terjadi dikarenakan kualitas data topografi yang rendah selain berakibat langsung pada perbedaan perhitungan volume pekerjaan tanah, juga berakibat pada ketidaktepatan perencanaan desain. Dalam perencanaan yang semula merupakan struktur, dikarenakan ketinggian timbunan yang melebihi hasil kajian daya dukung tanah berubah menjadi *at-grade* dengan tipikal potongan melintang berupa timbunan. Pengoptimalan dan efisiensi dari desain semula yang menggunakan data topografi sekunder dengan kualitas rendah mengakibatkan penambahan volume timbunan yang cukup besar, yang mana hal tersebut berpengaruh pada peningkatan kebutuhan biaya dan waktu suatu proyek (Kim J. et al, 2021).

Perbedaan volume pekerjaan tanah dan volume struktur di Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru-Bangkinang dikarenakan data topografi yang tidak tepat, sangatlah berdampak signifikan pada biaya perencanaan yang diestimasi oleh PT Hutama Karya (Persero) sebagai Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) atau pemilik pekerjaan. Ketidaktepatan estimasi biaya selain berdampak langsung pada biaya investasi, juga akan berdampak secara tidak langsung pada penetapan tarif jalan tol. Penetapan tarif jalan tol yang tidak tepat akan berpengaruh pada volume lalu lintas tol, pendapatan tol dan skema perhitungan *Return of Investment* (ROI) dalam

pengusahaan Jalan Tol tersebut. Dengan penugasan Jalan Tol Trans Sumatera sepanjang 2.770 Kilometer sampai tahun 2024, menuntut PT Hutama Karya (Persero) untuk dapat melakukan perencanaan dengan cepat dan tepat, dan tentunya menguntungkan secara bisnis bagi BUJT serta dapat meningkatkan perekonomian masyarakat di sekitar jalan tol. Hal-hal yang menjadi perhatian tersebut salah satunya dipengaruhi oleh kualitas data topografi yang digunakan pada fase perencanaan.

Light Detection and Ranging (LIDAR) merupakan suatu teknologi pemetaan yang memanfaatkan *laser* dengan panjang gelombang tertentu untuk mendapatkan informasi objek di lapangan, yang direpresentasi kedalam bentuk titik (*point cloud*) pada suatu sistem koordinat tertentu. Penggunaan teknologi LIDAR mampu meminimalkan jenis kesalahan blunder yang tidak konsisten sehingga menyebabkan ketidakakuratan data topografi. Selain itu, pengukuran dengan metode LIDAR yang menghasilkan titik *point cloud* dengan *density point* yang rapat, dapat menjawab permasalahan ketidakdetailan hasil pengukuran dengan metode terestrial. Menurut Matinnia et al (2018), saat ini perkembangan teknologi Survei terestris juga mengalami perkembangan yang cukup signifikan dalam hal akurasi, namun pada kondisi kritis seperti area dengan kemiringan lereng yang curam dan area berbahaya lainnya, Survei secara konvensional menjadi tidak memungkinkan untuk dilaksanakan. Sehingga dengan pemanfaatan teknologi LIDAR, kendala tersebut dapat teratasi dengan lebih efisien secara waktu dan biaya yang selengkapny akan dianalisis lebih lanjut pada penelitian kali ini.

Pemanfaatan data topografi hasil LIDAR yang digunakan dalam tahapan pembuatan *3D design model* dalam *BIM workflow*, dapat menghasilkan representasi *terrain* dengan tingkat kedetailan yang tinggi dan akurasi yang memenuhi syarat sesuai ketelitian peta dasar. Dalam penelitian ini juga akan dikaji mengenai dampak dari penerapan teknologi LIDAR terhadap efisiensi waktu pelaksanaan pekerjaan Survei topografi dan pengaruhnya terhadap biaya pada pekerjaan konstruksi jalan tol.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas data topografi yang dihasilkan dari penggunaan teknologi LIDAR?
2. Bagaimana kehandalan penggunaan teknologi LIDAR bila dibandingkan dengan terestrial dalam perhitungan volume galian dan timbunan tanah?
3. Bagaimana tingkat efisiensi penggunaan teknologi LIDAR dibandingkan dengan terestrial dari segi biaya dan waktu pada pekerjaan galian dan timbunan tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Menganalisis kualitas data topografi yang dihasilkan dari penggunaan teknologi LIDAR.
2. Menganalisis kehandalan penggunaan teknologi LIDAR terhadap terestrial dalam perhitungan volume galian dan timbunan tanah.
3. Menganalisis tingkat efisiensi penggunaan teknologi LIDAR dibandingkan dengan terestrial dari segi biaya dan waktu pada pekerjaan galian dan timbunan tanah.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Proyek yang akan dijadikan penelitian adalah proyek jalan tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru - Bangkinang
2. Item pekerjaan yang menjadi variabel pada penelitian kali ini yaitu pekerjaan tanah berupa galian dan timbunan.
3. Jenis metode terestrial yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tachymetry* menggunakan alat Total Station

4. Teknologi LIDAR yang digunakan dalam penelitian ini yaitu LIDAR yang dipasangkan ke UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)/ *Drone* V-TOL tipe TRON F90+.
5. Sistem LIDAR yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Yellowscan Surveyor Ultra* dengan sensor Velodyne VLP-32
6. Aspek biaya yang menjadi variabel dalam penelitian ini berdasarkan perhitungan biaya konstruksi untuk item pekerjaan timbunan, *common borrow material* (cbm), galian untuk ditimbun dan galian untuk dibuang untuk STA 9+075 - 24+275
7. Aspek waktu yang menjadi variabel dalam penelitian ini berdasarkan waktu pelaksanaan survei yang diperlukan metode LIDAR dan terestrial mulai dari pengambilan data sampai penyajian data untuk STA 0+000 – STA 40+000

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi praktisi dan industri konstruksi
 - a. Dapat memberi gambaran alternatif yang dapat digunakan dalam menghitung volume galian dan timbunan proyek dalam kaitannya dengan biaya dan waktu yang ditetapkan.
 - b. Pemanfaatan teknologi dengan tingkat akurasi yang tinggi dapat meningkatkan tingkat kedetilan dari *construction design* secara lebih komprehensif.
2. Bagi Ilmu pengetahuan
 - a. Adanya penelitian ini memberikan gambaran tentang penggunaan teknologi LIDAR yang dapat memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam menghitung volume galian dan timbunan
 - b. Memberikan gambaran bahwa pemanfaatan Teknologi LIDAR secara teori dapat dimanfaatkan sebagai Metode penyediaan data topografi untuk pekerjaan tanah proyek konstruksi secara detail dan akurat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Perbandingan Volume dan Ketelitian ICP dari 3 Alat (*Total Station* (TS), *Global Navigation Satellite System* (GNSS), dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS))

Studi yang dilakukan oleh (Khomsin et al, 2018) bertujuan untuk membandingkan nilai Volume dari Pekerjaan Galian dan Timbunan yang diukur dengan 3 alat berbeda (TS, GNSS, dan TLS). Subjek penelitiannya adalah penggunaan 3 tipe alat berbeda (TS, GNSS dan TLS) pada proyek pertambangan batubara. Metode penelitian yang dilakukan adalah membuat *Surface* berdasarkan dari *Pointcloud* dari TLS, dan membuat *Surface* berdasarkan data koordinat yang diukur dengan GNSS dan TS. Data *Pointcloud* dari TLS diolah dengan Metode *Cloud to Cloud*, Data koordinat TS didapat dari pengukuran Metode *tachymetry*, dan Data koordinat GNSS diukur dengan Metode RTK. Pemodelan yang didapatkan dari pengolahan model *Surface* dengan *Software AutoCAD* memiliki format .dxf kemudian dibandingkan volumenya.

Studi Kasus yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran pada Area *Stockpile 1*

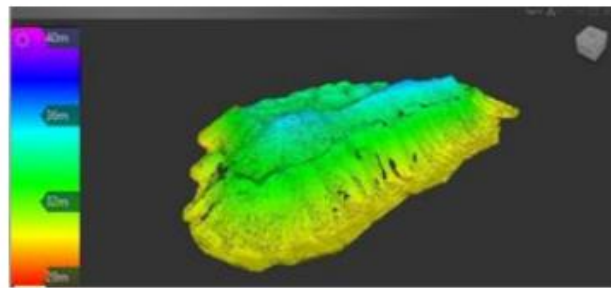
Pada pengukuran *stockpile* batubara di area 1 dilakukan dengan pengukuran 7 kali berdiri alat TLS, dengan jumlah titik *pointcloud* mencapai 2.238.385 titik. Selanjutnya, pengukuran TS dilakukan dengan 5 kali berdiri alat dengan jumlah titik ukuran yang diperoleh sebanyak 253 titik. Sedangkan, pengukuran GNSS mendirikan 2 alat sekaligus (*Rover* dan *Base*) untuk mendapatkan 253 titik.

2. Pengukuran pada Area *Stockpile 2*

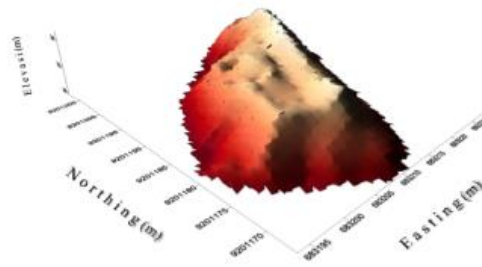
Pada pengukuran *stockpile* batubara di area 2 menghasilkan 2.812.508 titik dari alat TLS dengan 9 kali berdiri alat, 218 titik dihasilkan dari alat TS dengan 5 kali berdiri alat, dan 218 titik dari pengukuran GNSS dengan Metode yang sama dengan area 1.

Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa data model 3D yang dihasilkan dari TLS memiliki tingkat kedetailan yang lebih baik jika dibandingkan dengan alat GNSS dan TS. Hal tersebut dikarenakan densitas titik yang dihasilkan dari TLS

jauh lebih rapat dibandingkan alat lainnya dalam merepresentasikan objek di lapangan. Sedangkan secara kualitas, ketelitian data yang didapat dari TLS dan TS memiliki tingkat akurasi yang tidak jauh berbeda (4mm dan 5mm), selain itu dengan GNSS memiliki tingkat ketelitian yang tidak lebih baik dari TLS maupun TS (2cm).



(a)



(b)

Gambar 2. 1 Perbandingan Model 3D dari TLS (a) dengan TS dan GNSS (b)
(Khomsin et al, 2018)

Kelebihan dari penelitian ini adalah terobosan penggunaan 3 alat berbeda dalam suatu studi kasus yang sama. Sehingga, dengan pemanfaatan teknologi Survei digital seperti TLS, TS dan GNSS dapat saling melengkapi dari kekurangan masing-masing dalam meningkatkan kualitas data topografi untuk pekerjaan tanah.

Kekurangan dari penelitian ini adalah belum mengaitkan hubungan kualitas data terhadap aspek lain seperti biaya dan waktu yang dibutuhkan, dan belum diuji coba pada proyek infrastruktur yang memiliki perlakuan yang berbeda.

2.2 Study of the LIDAR Accuracy in Mapping Forest Road Alignments and Estimating the Earthwork Volume

Studi yang dilakukan oleh (Matinnia et al, 2018) bertujuan untuk membuat alinyemen horizontal dan vertikal dari data LIDAR, dan mengestimasi nilai volume galian dan timbunan menggunakan data LIDAR serta membandingkan hasil perhitungannya terhadap data dari pengukuran TS. Subjek dari studi ini adalah penggunaan data LIDAR untuk acuan pengadaan alinyemen horizontal dan vertikal Jalan. Latar belakang masalah dari studi ini adalah Pengukuran secara terestris dalam pekerjaan tanah memiliki biaya yang tinggi, tingkat akurasi yang rendah, dan memerlukan waktu yang lama untuk pemetaan topografi dengan skala yang besar. Lokasi penelitian dari studi ini dilakukan di Turki dengan Panjang Jalan sekitar 28km. Kondisi area penelitian memiliki kanopi vegetasi yang cukup rapat hingga 75-85 persen dari total keseluruhan areanya.

Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan Survei lapangan menggunakan alat *Total Station* dengan Metode pengukuran *cross section* untuk mendapatkan nilai volume dari suatu area tertentu. Selain itu, dengan LIDAR, data *pointcloud* yang sudah diolah serta diklasifikasikan, kemudian dimodelkan menjadi model elevasi (DTM) dan membuat *surface* pada aplikasi AutoCAD Civil 3D 2014. Analisa yang dilakukan meliputi kualitas data dari kedua alat yang dihasilkan dengan parameter *Mean Difference* dan Standar Deviasi, perbandingan waktu yang dihabiskan dengan alat LIDAR dan terestrial, serta kaitannya dengan biaya yang dihabiskan.

Kesimpulan dan hasil dari studi ini meliputi:

1. Penggunaan Data LIDAR memenuhi standar untuk Analisa *terrain* secara kuantitatif dengan kualitas yang baik
2. Penggunaan Data LIDAR dapat dimanfaatkan untuk menentukan rencana trase Jalan di area yang tidak bisa diakses dengan pengukuran konvensional (terestrial)
3. Analisa perbandingan data LIDAR dan TS pada aspek mutu dimana LIDAR dapat merekam data fluktuasi vertikal per 1m sedangkan TS per 5m.

4. Pemanfaatan data LIDAR dapat menangani Pekerjaan Tanah Proyek Jalan lebih cepat dibandingkan TS
5. Hasil analisa kebutuhan biaya dan waktu yang dihabiskan untuk menyelesaikan pemetaan data topografi dengan Data LIDAR dan terestrial memiliki perbedaan yang cukup signifikan

Tabel 2. 1 Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu antara Data LIDAR dan LTS (Matinnia et al, 2018)

Time (min·km ⁻¹)		Cost (USD·km ⁻¹)	
LTS	LiDAR	LTS	LiDAR
1,800	90	790	100

Berdasarkan penelitian ini dilakukan pada 2 studi kasus yang berbeda, area pertama berada pada area yang terbuka dan area kedua berada pada area yang tertutup dengan vegetasi yang lebat. Terbukti berdasarkan Analisa yang telah dilakukan, akurasi posisi dari kedua area tersebut memiliki selisih perbedaan yang cukup signifikan (0.23m pada area 1 dan 0.47. pada area 2). Hal tersebut pula membuktikan bahwa LIDAR memiliki keterbatasan pada area-area yang memiliki tutupan vegetasi yang rapat. Sedangkan pada perhitungan volume galian dan timbunan suatu area, data LIDAR dapat memberikan hasil yang baik tergantung dari kondisi area (tutupan vegetasi) dan tingkat kekasaran suatu *terrain*, semakin terbuka dan *terrain* yang tidak terlalu fluktuatif akan memberikan kualitas data yang lebih baik.

2.3 Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects

Studi yang dilakukan oleh (Chong et al, 2016) bertujuan untuk menganalisa penggunaan BIM dan hubungannya dengan proyek infrastruktur jalan di Australia dan China dari segi waktu dan biaya. Subjek dari studi ini adalah Model BIM dan dokumen pendukung di Australia dan China. Latar belakang masalah dari penelitian ini yaitu kebutuhan riset BIM yang lebih mendalam untuk menghasilkan suatu gagasan kualitatif berdasarkan dari perspektif pengguna diberbagai budaya dan proyek pekerjaan pembangunan jalan yang beragam. Metode pendekatan dari penelitian ini yaitu dengan mengadopsi dua studi kasus yang berbeda, kemudian

dibandingkan secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan aspek budaya, penggunaan teknologi, dan manajemen pemanfaatan BIM pada gedung dan jalan tol. Proses pengumpulan data dilakukan secara substansial dari data BIM dan dokumen terkait, dan pengamatan langsung di lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran pekerjaan secara lebih jelas.

Studi kasus yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus proyek jalan di Australia

Proyek jalan yang telah diteliti berada di negara Australia bagian Barat. Tujuan dari proyek ini yaitu untuk mengurangi kepadatan jalan dengan melakukan pekerjaan pelebaran jalan dari 4 lajur ke 6 lajur sepanjang 4.2 kilometer, selain pelebaran jalan pekerjaan ini juga membangun median jalan dan mengembangkan fasilitas-fasilitas pendukung di sekitarnya. Pemanfaatan BIM pada proyek jalan di Australia dimanfaatkan pada tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Tahapan Pra-Konstruksi

Pemanfaatan BIM pada tahapan ini meliputi analisis *engineering*, quantity take off, dan *clash detection* yang berguna untuk mendukung dan menyelaraskan keterkaitan informasi model BIM 3D, 4D, dan 5D. Selain itu penggunaan BIM pada tahapan ini yaitu simulasi manajemen transportasi dan lalu lintas untuk mendapatkan besaran volume kendaraan yang akan melewati jalan tersebut.

- b. Tahapan Konstruksi

Model BIM dapat dimanfaatkan sebagai data acuan untuk Survei lapangan dan pematokan. Tingkat ketelitian yang tinggi dari model BIM sangat membantu kontraktor untuk menentukan batas proyek secara presisi dan akurat, dan membantu kontraktor untuk melakukan pekerjaan tanah di lapangan.

- c. Tahapan Setelah Konstruksi

Pemanfaatan BIM pada proyek pasca konstruksi hingga saat ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Perlu adanya studi lanjutan tentang pemanfaatan BIM pada tahapan ini. Contoh pekerjaan yang bisa didukung dengan model BIM yaitu, pemeliharaan, manajemen jalan, dan penelusuran jalan secara geospasial.

2. Studi Kasus proyek Jalan di China

Studi kasus proyek jalan di China terletak di Kota Shanghai untuk membangun jalan lebar dengan 4 lajur sepanjang 500 meter. Jarak proyek tersebut berdekatan dengan jalan eksisting mengakibatkan adanya ketidakleluasaan untuk para pekerja. Sehingga penggunaan BIM dapat dimanfaatkan oleh kontraktor untuk memastikan agar proyek yang akan dilakukan tidak menyebabkan gangguan-gangguan terhadap kondisi lalu lintas dan infrastruktur eksisting di lapangan. Pemanfaatan BIM pada proyek jalan di China dimanfaatkan pada tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Tahapan Pra Konstruksi

Penggunaan Umum BIM secara 3D, 4D, dan 5D dimanfaatkan pada tahapan proyek ini seperti quantity take off dan clash detection. Selain itu terdapat tambahan informasi virtual geoteknik dan kondisi tanah yang bertujuan untuk memberikan gambaran dan hubungan antara proyek dengan lingkungan sekitar, bermanfaat dalam membantu perencanaan membuat dokumen perencanaan secara komprehensif.

b. Tahapan Konstruksi

Pemanfaatan BIM pada proyek ini diintegrasikan dengan alat theodolite untuk membantu proses pematokan di lapangan secara lebih akurat dan presisi. Selain itu dengan pemanfaatan sistem tambahan seperti CCTV yang diintegrasikan dengan Model BIM pada perangkat lunak Autodesk Naviswork dapat menampilkan progress secara visual untuk membantu pemangku kepentingan berkomunikasi dan mengambil keputusan.

c. Tahapan Setelah Konstruksi

Pemanfaatan BIM pada proyek jalan di China belum dimanfaatkan secara maksimal.

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dimana dengan pemanfaatan BIM pada proyek di kedua negara tersebut sudah diimplementasikan secara baik yang memberikan dampak positif pada aspek manajerial dan budaya kerja. Selain itu secara kuantitatif dengan pemanfaatan BIM dapat memberikan efisiensi secara waktu dan biaya di kedua proyek tersebut. Efisiensi biaya yang dihasilkan di Australia mencapai 15% (pengurangan biaya sebesar 22.500.000 USD dari total

145.000.000 USD), sedangkan untuk penggunaan waktu untuk pekerjaan proyek jalan di Australia mengalami penghematan hingga 75% (proyek diselesaikan selama 3 bulan dari 12 bulan target).

2.4 Development and Utilization of Aerial Photogrammetry Survey using Nonmetric Camera Drone with Open-source Software: Case Study on Tugu Dam Project

Studi yang dilakukan oleh (Oliver et al, 2022) bertujuan untuk memperoleh analisis kualitas data hasil pemetaan menggunakan metode Fotogrametri dengan kamera non-metrik menggunakan software *open-source* pada perencanaan trase *hauling* pembangunan Bendungan Tugu di Trenggalek.

Penggunaan metode Fotogrametri dipilih dikarenakan lokasi rencana untuk trase *hauling* berada pada area perbukitan di Desa Suko Kidul dengan *slope* yang ekstrim, seperti pada Gambar berikut.



Gambar 2. 2 Lokasi trase hauling awal sebelum dilakukan survei lapangan
(Oliver et al, 2022)

Selain kondisi topografi yang cukup ekstrim, adanya tuntutan dari manajemen proyek Bendungan Tugu untuk dapat melakukan survei kondisi lapangan dan finalisasi trase *hauling* dalam waktu yang relative singkat. Hal ini yang menyebabkan, penggunaan metode Fotogrametri dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sangat tepat.

Setelah dilakukan proses survey topografi dengan fotogrametri dan diperoleh data *Digital Surface Model* (DSM) lokasi rencana awal, kemudian

dianalisis dan disimpulkan bahwa trase rencana sesuai **Gambar 2. 2** Lokasi trase hauling awal sebelum dilakukan survei lapangan (Oliver et al, 2022) sangat ekstrim dan tidak cocok secara geometri dan keamanan sebagai jalur *hauling*. Kemudian direncanakan trase yang baru berdasarkan data *Digital Terrain Model* (DTM). DTM diperoleh dengan proses *filtering* terhadap data *dense cloud* hasil Fotogrametri menggunakan *software open source Meshroom*. Trase usulan sebagai revisi rencana trase awal dapat dilihat sesuai gambar berikut.



Gambar 2. 3 Lokasi trase hauling setelah *re-design* dengan menggunakan data DTM hasil survey fotogrametri dengan UAV (Oliver et al, 2022)

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis kualitas data DTM yang diperoleh dari hasil fotogrametri dengan tujuan untuk menentukan apakah nantinya data tersebut dapat digunakan untuk *detailed design*. Pengujian akurasi untuk koordinat X,Y dan Z dilakukan terhadap 2 titik (LJ.1 dan LJ.2) yang diperoleh secara terestrial menggunakan alat *Total Station* sesuai Tabel berikut.

Tabel 2. 2 Uji Akurasi Horizontal (Oliver et al, 2022)

Point ID	Point Name	(X Map)	X (Actual)	(D X)	(D X) ²	Y (Map)	Y (Actual)	(D Y)	(D Y) ²	(D X) ² + (D Y) ²
1	LJ.1	563016.373	563014.973	1.400	1.960	9109617.138	9109605.718	11.420	130.416	132.376
2	LJ.2	563011.031	563009.404	1.627	2.647	9109612.223	9109600.508	11.715	137.241	139.888
Sum										272.265
Average										136.132
RMSEr										11.668
CE90										17.706

Tabel 2. 3 Uji Akurasi Vertikal (Oliver et al, 2022)

Point ID	Point Name	Z (Map)	Z (Actual)	(D Z)	(D Z) ²
1	LJ.1	671.542	692.415	-20.873	435.682
2	LJ.2	655.432	679.453	-24.021	577.008
Sum					1012.691
Average					506.345
RMSEz					22.502
LE90					37.126

Berdasarkan **Tabel 2. 2** dan **Tabel 2. 3**, bahwa nilai CE90 sebesar 17.706 m dan nilai LE90 sebesar 37.126 m. Jika merujuk pada Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar sesuai Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018, Nilai CE90 yang diperoleh masuk ke toleransi horizontal untuk peta dengan skala 1:50.000 Kelas 3, sedangkan nilai LE90 yang diperoleh masuk ke toleransi vertikal untuk peta dengan skala 1 : 100.000 Kelas 3. Dengan nilai evaluasi kualitas LE90 dan CE90 yang cukup besar, dapat disimpulkan bahwa hasil DTM dari penelitian ini tidak dapat digunakan untuk *detailed design* yang memerlukan setidaknya peta skala 1 : 1000.

Pada penelitian ini juga disampaikan bahwa nilai *error* yang cukup besar, sesuai representasikan nilai CE90 dan LE90 terjadi karena pada penelitian ini tidak menggunakan Ground Control Point (GCP). Penulis menyampaikan bahwa penggunaan GCP dirasa tidak memungkinkan untuk dilakukan di sekitar trase hauling dikarenakan kondisi *terrain* yang curam dan ekstrim. Selain itu, penggunaan *software open source Meshroom* tidak dapat menghasilkan hasil klasifikasi *ground* yang bebas dari objek-objek *non-ground*, khususnya pohon. sehingga proses klasifikasi vegetasi dilakukan secara manual.

Namun demikian, pada akhirnya hasil DSM dan DTM yang diperoleh secara fotogrametri dengan kamera non-metrik menggunakan UAV masih dapat dimanfaatkan untuk kegiatan *engineering* yakni sebagai data dasar untuk pengembangan dan perencanaan desain dengan *Building Information Modeling* (BIM). Selain itu, penulis juga menyampaikan bahwa penggunaan fotogrametri yang teliti dengan menggunakan GCP dan dilakukan pada kondisi tanpa vegetasi, dapat digunakan sebagai data dasar untuk penggunaan automasi alat berat

excavator dalam pekerjaan tanah sesuai yang telah digunakan di proyek sirkuit Mandalika di Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Proyek Bandara Dhoho di Kediri.

2.5 Analisis Gap Penelitian Terdahulu

Berdasarkan dari penelitian-penelitian terdahulu yang terkait, menunjukkan bahwa kombinasi teknologi survei dengan LIDAR dan terestrial, serta pemanfaatan BIM pada proyek konstruksi jalan dan pertambangan sudah dimanfaatkan secara optimal. Studi kasus di proyek pertambangan, mengenai perbandingan nilai akurasi dan kedetailan data topografi dengan tiga metode berbeda, sudah secara komprehensif membandingkan pada aspek mutu dari data yang dihasilkan. Namun demikian, penelitian tersebut belum mengkaji aspek kebutuhan biaya dan waktu dari penggunaan tiga metode tersebut.

Kemudian untuk penelitian pemanfaatan metode Survei LIDAR dengan wahana pesawat di koridor jalan negara Turki juga telah menyampaikan secara komprehensif dari aspek kualitas, waktu serta biaya dibandingkan dengan Survei secara terestrial. Namun demikian, penelitian tersebut masih menggunakan pesawat terbang sebagai wahana untuk Survei data LIDAR di lapangan. Penggunaan pesawat terbang memerlukan biaya operasional yang tinggi, ketersediaan infrastruktur landasan udara yang dekat dengan area Survei, serta memerlukan perizinan terbang yang kompleks.

Berdasarkan penelitian mengenai pemanfaatan wahana UAV menggunakan sensor kamera non-metrik dengan metode fotogrametri untuk penyediaan data topografi rencana trase *hauling* di Bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur, secara lengkap membahas mengenai penggunaan UAV dalam melakukan survey di daerah *remote* dan dengan topografi yang cukup ekstrim, Namun demikian penelitian tersebut menggunakan sensor kamera dengan metode fotogrametri dan *software open-source*, yang secara metode tidak cocok untuk menghasilkan data topografi dengan kualitas yang tinggi untuk kegiatan perencanaan *detailed design*.

Selain itu pada penelitian pemanfaatan BIM di negara China dan Australia, secara lengkap telah membahas mengenai pentingnya BIM pada aspek manajerial

dan budaya kerja untuk tahapan pra konstruksi, konstruksi dan setelah konstruksi yang didukung oleh data topografi yang teliti. Namun studi kasus di kedua negara tersebut diaplikasikan di jalan umum.

Berdasarkan dari analisa *gap* dari penelitian-penelitian tersebut, penelitian yang akan disusun pada tesis kali ini akan mengkaji kapabilitas penggunaan data topografi memanfaatkan UAV dengan sensor LIDAR pada proyek jalan tol yang kemudian akan digunakan sebagai *basemap* BIM dalam kegiatan perencanaan desain. Selain kapabilitas penggunaan metode LIDAR, juga akan dikaji aspek biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan, yang mana belum dibahas secara komprehensif pada penelitian terdahulu.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Proyek Konstruksi

Proyek adalah gabungan dari berbagai sumber daya, yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara untuk mencapai suatu sasaran tertentu. Kegiatan atau tugas yang dilaksanakan pada proyek berupa pembangunan/perbaikan sarana fasilitas (gedung, jalan, jembatan, bendungan dan sebagainya) atau bisa juga berupa kegiatan penelitian, pengembangan. Dari pengertian di atas, maka proyek merupakan kegiatan yang bersifat sementara (waktu terbatas), tidak berulang, tidak bersifat rutin, mempunyai waktu awal dan waktu akhir, sumber daya terbatas/tertentu dan dimaksudkan untuk mencapai sasaran yang telah ditentukan (Cleland et al, 1987).

Pemahaman proyek pada kasus ini dibatasi pada pengertian proyek konstruksi yaitu proyek yang berkaitan dengan bidang konstruksi (pembangunan) meliputi pembangunan, renovasi, perbaikan dan lain sebagainya. Secara umum proyek konstruksi dapat dibagi menjadi beberapa jenis meliputi:

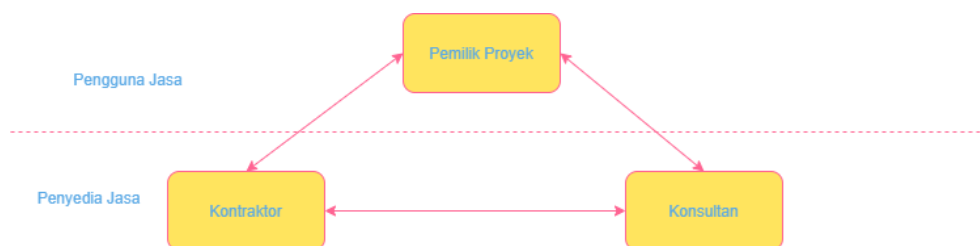
1. **Proyek Konstruksi Perumahan** Proyek konstruksi ini melibatkan pembangunan, perbaikan, dan pemodelan ulang struktur untuk tujuan perumahan orang, perlengkapan, atau peralatan. Contoh proyek konstruksi bangunan perumahan/residential adalah apartemen, townhouse, kondominium, panti jompo, asrama, dll. Selain itu, garasi dan bangunan luar seperti Gudang utilitas yang dianggap sebagai bangunan tempat tinggal.
2. **Proyek Konstruksi Bangunan Gedung** Jenis proyek konstruksi ini mencakup kebutuhan proyek Gedung komersial/institusional. Contoh proyek konstruksi Gedung diantaranya pembangunan sekolah, stadion olahraga, pusat perbelanjaan, universitas, rumah sakit, stadion, toko ritel, Gudang, pabrik, Gedung pencakar langit dan proyek lain dengan berbagai ukuran dan jenis.
3. **Proyek Konstruksi Bangunan Industri** Proyek konstruksi ini merupakan konstruksi khusus yang melibatkan struktur bangunan yang memerlukan

spesialisasi tingkat tinggi, serta keterampilan teknis dalam perencanaan, konstruksi, dan desain. Contoh proyek konstruksi bangunan industri misalnya pada industri kimia dapat membangun kilang minyak dan industri pembangkit listrik dapat membangun struktur pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga surya, dan kilang minyak.

4. **Proyek Konstruksi Teknik Sipil** Jenis konstruksi ini umumnya dilakukan untuk kepentingan umum dan sering dilakukan oleh instansi pemerintah maupun perusahaan swasta besar.
5. **Proyek Konstruksi Jalan Raya** Proyek konstruksi jalan raya meliputi perbaikan, struktur konstruksi, dan perubahan jalan raya, gang, area parkir, landasan pacu, dan jalan tol. Segmen ini mencakup semua konstruksi yang terkait dengan proyek pembangunan jalan raya.

3.2 Pihak yang Terlibat dalam Proyek

Secara umum ada beberapa pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi terbagi atas pengguna jasa dan penyedia jasa. Sejalan dengan berkembangnya teknologi dan pola kontrak, ada perubahan dalam tugas dan kewajiban para pihak.



Gambar 3. 1 Keterlibatan Pihak pada Proyek

1. Pemilik Proyek

Pemilik proyek atau pengguna jasa atau pemberi tugas adalah orang/badan yang memiliki proyek dan memberikan pekerjaan atau menyeluruh memberikan pekerjaan kepada pihak penyedia jasa dan yang membayar biaya pekerjaan tersebut. Pemilik proyek dapat berupa perseorangan,

badan/Lembaga/instansi pemerintah maupun swasta yang hak dan kewajibannya antara lain:

- a. Memberikan fasilitas baik berupa sarana dan prasarana yang dibutuhkan oleh pihak penyedia jasa untuk kelancaran pekerjaan
- b. Menyediakan lahan untuk tempat pelaksanaan pekerjaan
- c. Menyediakan dana dan kemudian membayar kepada pihak penyedia jasa sejumlah biaya yang diperlukan untuk mewujudkan sebuah bangunan
- d. Ikut mengawasi jalannya pelaksanaan pekerjaan yang direncanakan dengan cara menempatkan atau menunjuk suatu badan atau orang untuk bertindak atas nama pemilik
- e. Mengesahkan perubahan dalam pekerjaan
- f. Menerima dan mengesahkan pekerjaan yang telah selesai dilaksanakan oleh penyedia jasa jika produknya telah sesuai dengan apa yang dikehendaki.

Sedangkan wewenang pemilik proyek adalah sebagai berikut:

- 1) Memberitahukan hasil lelang secara tertulis kepada masing-masing kontraktor
- 2) Dapat mengambil alih pekerjaan secara sepihak dengan cara memberitahukan secara tertulis kepada kontraktor jika terjadi hal-hal di luar kontrak yang ditetapkan.

Pemilik proyek dapat menggunakan jasa manajemen konstruksi sebagai berikut:

- a. Konsultan Perencana

Konsultan perencana dapat berupa perseorangan maupun badan hukum yang bergerak dalam bidang perencanaan pekerjaan bangunan secara lengkap baik bidang arsitektur, sipil, maupun bidang lain. Hak dan kewajiban konsultan perencana antara lain:

- 1) Membuat perencanaan secara lengkap yang terdiri dari gambar rencana, rencana kerja, dan syarat-syarat, hitungan struktur, rencana anggaran biaya
- 2) Memberikan usulan serta pertimbangan kepada pengguna jasa dan pihak kontraktor tentang pelaksanaan pekerjaan
- 3) Memberikan jawaban dan penjelasan kepada kontraktor tentang hal-hal yang kurang jelas dalam gambar rencana, rencana kerja, dan syarat – syarat

- 4) Membuat gambar revisi bila terjadi perubahan perencanaan.

b. Kontraktor

Kontraktor adalah orang/badan yang menerima pekerjaan dan menyelenggarakan pelaksanaan sesuai dengan biaya yang telah ditetapkan berdasarkan gambar rencana dan peraturan dan syarat-syarat yang ditetapkan. Kontraktor dapat berupa perusahaan perseorangan yang berbadan hukum atau sebuah badan hukum yang bergerak dalam bidang pelaksanaan pekerjaan dengan hak dan kewajibannya sebagai berikut

- 1) Melaksanakan pekerjaan sesuai dengan gambar rencana, peraturan dan syarat-syarat tambahan yang telah ditetapkan oleh pengguna jasa
- 2) Membuat gambar-gambar pelaksanaan yang disahkan oleh konsultan pengawas sebagai wakil dari pengguna jasa
- 3) Menyediakan alat keselamatan kerja seperti yang diwajibkan dalam peraturan untuk menjaga keselamatan pekerja dan masyarakat
- 4) Membuat laporan hasil pekerjaan berupa laporan harian, mingguan, dan bulanan 10
- 5) Menyerahkan seluruh atau sebagian pekerjaan yang telah diselesaikan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Sedangkan wewenang kontraktor adalah sebagai berikut:

- 1) Permintaan pembayaran atas prestasi pekerjaan yang telah dicapai sesuai dengan yang telah disepakati
- 2) Dapat meminta penjelasan pada konsultan perencanaan ataupun pengawas apabila terdapat bagian gambar yang kurang jelas.

c. Subkontraktor

Subkontraktor adalah kontraktor yang ditunjuk oleh kontraktor utama dengan persetujuan dari pemilik proyek melalui pihak konsultan untuk melaksanakan pekerjaan yang lebih spesifik dengan hak dan kewajibannya adalah

- 1) Melaksanakan pekerjaan menurut kontrak yang telah disepakati
- 2) Menganalisis gambar kerja dan spesifikasi teknis

- 3) Membuat laporan bulanan atau data yang meliputi perkembangan pekerjaan pada jangka waktu tertentu
- 4) Bertanggung jawab atas kesalahan pelaksanaan pekerjaan.

3.3 Macam-Macam Proyek

Menurut (Cleland, 1987) pemahaman proyek pada kasus ini dibatasi pada pengertian proyek konstruksi yaitu proyek yang berkaitan dengan bidang konstruksi (pembangunan) meliputi pembangunan, renovasi, perbaikan dan lain sebagainya. Secara umum proyek konstruksi dapat dibagi menjadi beberapa jenis meliputi:

1. **Proyek Konstruksi Perumahan** Proyek konstruksi ini melibatkan pembangunan, perbaikan, dan pemodelan ulang struktur untuk tujuan perumahan orang, perlengkapan, atau peralatan. Contoh proyek konstruksi bangunan perumahan/residential adalah apartemen, townhouse, kondominium, panti jompo, asrama, dll. Selain itu, garasi dan bangunan luar seperti Gudang utilitas yang dianggap sebagai bangunan tempat tinggal.
2. **Proyek Konstruksi Bangunan Gedung** Jenis proyek konstruksi ini mencakup kebutuhan proyek Gedung komersial/institusional. Contoh proyek konstruksi Gedung diantaranya pembangunan sekolah, stadion olahraga, pusat perbelanjaan, universitas, rumah sakit, stadion, toko ritel, Gudang, pabrik, Gedung pencakar langit dan proyek lain dengan berbagai ukuran dan jenis.
3. **Proyek Konstruksi Bangunan Industri** Proyek konstruksi ini merupakan konstruksi khusus yang melibatkan struktur bangunan yang memerlukan spesialisasi tingkat tinggi, serta keterampilan teknis dalam perencanaan, konstruksi, dan desain. Contoh proyek konstruksi bangunan industry misalnya pada industry kimia dapat membangun kilang minyak dan industry pembangkit listrik dapat membangun struktur pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga surya, dan kilang minyak.
4. **Proyek Konstruksi Teknik Sipil** Jenis konstruksi ini umumnya dilakukan untuk kepentingan umum dan sering dilakukan oleh instansi pemerintah maupun perusahaan swasta besar.

5. Proyek Konstruksi Jalan Raya Proyek konstruksi jalan raya meliputi perbaikan, struktur konstruksi, dan perubahan jalan raya, gang, area parkir, landasan pacu, dan jalan tol. Segmen ini mencakup semua konstruksi yang terkait dengan proyek pembangunan jalan raya.

3.4 Tahapan Proyek Konstruksi

Secara umum tahapan proyek konstruksi dapat dibagi menjadi beberapa bagian besar meliputi tahapan Perencanaan, Perancangan, Pengadaan, dan Pelaksanaan (Ervianto, 2005). Penjabaran tahapan tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap perencanaan (*Planning*) Merupakan penetapan garis-garis besar rencana proyek, mencakup: rekrutmen konsultan (MK, perencana) untuk menterjemahkan kebutuhan pemilik, pembuatan Kerangka Acuan Kerja (KAK), Survei, studi kelayakan proyek, pemilihan desain, mendesain suatu skema, penyusunan program dan pembiayaan. Pada tahap Perencanaan diharapkan dapat menghasilkan beberapa poin seperti tahap pengelolaan (*briefing*), evaluasi dan program yang mencakup hal-hal teknis ekonomis, lingkungan, dan lain sebagainya.
2. Tahap perancangan (*Design*) Tahap Perancangan terdiri dari:
 - a. *Preliminary Design* (Pra Rancangan) yang mencakup kriteria desain, skematik desain, proses diagram blok plan, rencana tapak, potongan, denah, gambar situasi/site plan tata ruang, estimasi cost (kerja global).
 - b. *Design Development* (Pengembangan Rancangan) Merupakan tahap pengembangan dari pra rancangan yang sudah dibuat dan perhitungan-perhitungan yang lebih detail yaitu terdiri dari perhitungan detail struktural maupun non-struktural secara terperinci, gambar-gambar detail, keluaran spesifikasi, estimasi biaya untuk konstruksi secara terperinci.
 - c. *Final Design & Construction Document* (Desain akhir dan penyiapan dokumen pelaksanaan) Merupakan tahap akhir dari perencanaan dan persiapan untuk tahap pelaksanaan yaitu terdiri dari gambar-gambar detail untuk seluruh bagian

pekerjaan, detail spesifikasi, *bill of quantity* (daftar volume), estimasi biaya konstruksi, syarat-syarat umum administrasi dan peraturan umum.

3. Tahap pengadaan/pelelangan Pengadaan/pelelangan dilakukan untuk:

a. Pengadaan konsultan

1) Konsultan Perencanaan/MK setelah gagasan awal/TOR telah tersedia.

2) Konsultan Pengawas/Supervisi setelah dokumen lelang ada

b. Pengadaan kontraktor setelah dokumen lelang telah tersedia.

4. Tahap Pelaksanaan (*Construction*) Merupakan pelaksanaan pembangunan konstruksi fisik yang telah dirancang pada tahap design. Pada tahap ini, setelah kontrak ditandatangani, SPK dikeluarkan, maka pekerjaan pelaksanaan dapat segera dilaksanakan, Adapun untuk pekerjaan pelaksanaan dapat ditampilkan sebagai berikut:

a. Rencana Waktu Kerja (*Time Schedule*)

b. Pembagian Waktu Secara merinci

c. Rencana Lapangan (*site plan/installation*) rencana peletakan bahan, alat dan bangunan bangunan pembantu lainnya.

d. Organisasi Lapangan

e. Pengadaan bahan/material

f. Pengadaan dan mobilisasi alat

g. Pengadaan dan mobilisasi tenaga

h. *Stake Out*

3.5 Ruang Lingkup Proyek

Menurut Schwalbe yang dikutip dari buku yang ditulis oleh Dimiyati (2014), setiap proyek akan dibatasi dengan ruang lingkup (*scope*), waktu (*time*) dan biaya (*cost*). Batasan-batasan ini seringkali digunakan kedalam manajemen proyek sebagai tiga batasan utama. Agar proyek berhasil, manajer proyek harus mempertimbangkan hal berikut. Pertama, ruang lingkup pekerjaan yang akan dilakukan sebagai bagian dari proyek tersebut, serta produk dan layanan atau hasil yang diinginkan oleh pelanggan (sponsor) yang dapat dihasilkan dalam suatu

proyek. Kedua, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek. Ketiga, biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek.

Setiap proyek memiliki tujuan khusus, dan dalam proses pencapaian tujuan tersebut ada tiga konstrain yang harus dipenuhi, yang dikenal dengan *Trade-Off Triangle* atau *Triple Constraints*. *Triple Constraints* adalah usaha pencapaian tujuan yang berdasarkan batasan sebagai berikut (Dimyati, 2014).

3.5.1 Biaya Proyek Konstruksi

Biaya merupakan salah satu aspek yang terpenting pada manajemen suatu proyek. dimana biaya yang mungkin timbul harus dikendalikan seminimal mungkin. Pengendalian biaya juga harus disertai dengan pengendalian waktu, karena terdapat hubungan yang erat antara waktu dan biaya. Hubungan antara waktu dan biaya sangat penting dalam perencanaan suatu proyek konstruksi. Menurut hubungan biaya dengan sesuatu yang dibiayai, Biaya proyek secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yakni:

1. Biaya Langsung (*direct cost*)

Biaya langsung adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek. Biaya langsung meliputi biaya bahan/material, upah buruh, biaya peralatan, biaya sub-kontraktor.

2. Biaya Tidak Langsung (*indirect cost*)

Biaya tidak langsung adalah pengeluaran untuk manajemen, jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi atau produk permanen, tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek. Biaya tidak langsung meliputi biaya overhead, biaya tak terduga (*contingencies*), dan keuntungan/profit.

Biaya langsung dan tidak langsung secara keseluruhan membentuk biaya proyek. Baik biaya langsung dan biaya tidak langsung akan berubah sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek. Meskipun tidak dapat diperhitungkan dengan rumus tertentu, makin lama proyek berjalan maka makin tinggi kumulatif biaya tidak langsung yang diperlukan.

Biaya yang diperlukan untuk suatu proyek dapat mencapai jumlah yang sangat besar dan tertanam dalam kurun waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, perlu

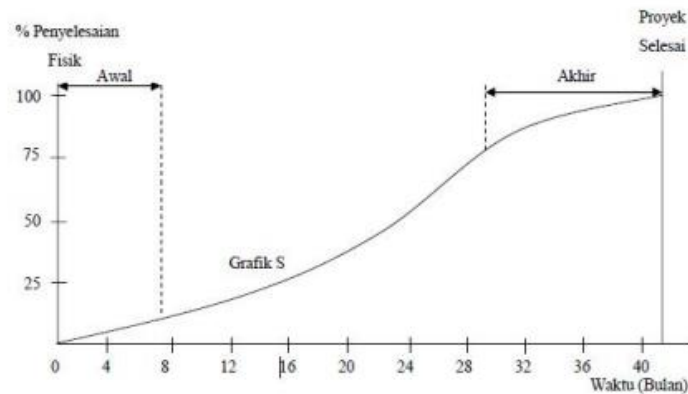
dilakukan identifikasi biaya proyek dengan tahapan perencanaan biaya proyek sebagai berikut:

1. Tahapan pengembangan konseptual, biaya dihitung secara global berdasarkan informasi desain yang minim. Dipakai perhitungan berdasarkan unit biaya bangunan berdasarkan harga per kapasitas tertentu.
2. Tahapan desain konstruksi, biaya proyek dihitung secara agak detail berdasarkan volume pekerjaan dan informasi harga satuan.
3. Tahapan pelelangan, biaya proyek dihitung oleh beberapa kontraktor agar didapat penawaran terbaik, berdasarkan spesifikasi teknis dan gambar kerja yang cukup dalam usaha mendapatkan kontrak pekerjaan.
4. Tahapan pelaksanaan, biaya proyek pada tahapan ini dihitung lebih detail berdasarkan kuantitas pekerjaan, gambar shop drawing dan metode pelaksanaan dengan ketelitian yang lebih tinggi. Untuk menentukan biaya suatu unit pekerjaan sebagai bagian dari kegiatan proyek, dilakukan estimasi biaya (Husen, 2009).

3.5.2 Waktu Proyek Konstruksi

Waktu merupakan salah satu aspek yang terpenting pada manajemen suatu proyek, dimana waktu yang sudah digunakan dan yang akan digunakan harus seefektif dan seefisien mungkin. Pengendalian waktu juga harus disertai dengan pengendalian biaya, karena terdapat hubungan yang erat antara waktu dan biaya. Hubungan antara waktu dan biaya sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek Konstruksi, untuk itu perlu adanya suatu pengendalian waktu untuk menjaga agar waktu pelaksanaan sesuai dengan rencana yang telah dipersiapkan.

Hal tersebut dimaksudkan agar rencana waktu yang telah ada dapat digunakan sebagai tolak ukur terhadap pelaksanaan untuk mengetahui kemajuan pekerjaan. Pengendalian waktu 14 pelaksanaan proyek dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu jadwal pelaksanaan seperti *Bar Chart Schedule*, kurva S sebagai indikator terlambat tidaknya proyek dan formulir – formulir pengendalian jadwal yang lebih rinci (Khalid, 2008).



Gambar 3. 2 Kurva S (Khalid, 2008)

3.6 Proyek Jalan Tol

Berdasarkan Undang-Undang No.13 Tahun 1980, jalan adalah suatu prasarana perhubungan darat dalam bentuk apapun meliputi bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu-lintas. Bagian jalan yang dimaksud adalah Daerah Manfaat Jalan (DAMAJA), Daerah Milik Jalan (DAMIJA), Daerah Pengawasan Jalan (DAWASJA).

Berdasarkan PP No. 15 Tahun 2005 tentang jalan tol, dijelaskan bahwa definisi jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Tol merupakan sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Besarnya tarif tol berbeda untuk setiap golongan kendaraan dan ketentuan tersebut telah ditetapkan berdasarkan keputusan presiden. Sedangkan ruas jalan tol adalah bagian atau penggal dari jalan tol tertentu yang pengusahaannya dapat dilakukan oleh badan usaha tertentu.

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia dijelaskan mengenai definisi jalan tol sebagai jalan untuk lalu lintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh, baik merupakan jalan terbagi ataupun tak-terbagi. Adapun tipe jalan tol yaitu dua-lajur dua-arah tak terbagi (2/2 UD), empat-lajur dua-arah terbagi (4/2 D) dan jalan tol terbagi dengan lebih dari empat lajur. Jalan bebas hambatan yang dikenal dengan jalan tol memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jalan biasa/jalan non-tol. Beberapa kelebihan ini meliputi:

1. Berkurangnya waktu tempuh jika dibandingkan pada jalan non-tol. Saat melewati persimpangan, pengguna jalan diharuskan berhenti dan menunggu. Kondisi tersebut menyebabkan banyak waktu yang terbuang.
2. Pertimbangan keselamatan lalu-lintas diprioritaskan. Tingkat kecelakaan pada jalan tol dipengaruhi oleh faktor geometrik jalan. Sebagai contoh, dengan pelebaran lajur, pelebaran bahu jalan, tersedianya lajur pendakian dan pemisah tengah (median) dapat mengurangi tingkat kecelakaan lalu-lintas.
3. Penghematan biaya operasi, konsumsi bahan bakar, polusi udara dan kebisingan. Pengoperasian kendaraan yang lebih halus dan penghentian kendaraan sesedikit mungkin dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Berkurangnya konsumsi bahan bakar selanjutnya mengurangi polusi udara.
4. Kendaraan dapat bergerak tanpa rintangan sepanjang waktu tanpa terhalang akibat adanya persimpangan atau perpotongan sebidang dengan jalan non-tol.

3.6.1 Proyek JTTS Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Ruas Pekanbaru-Bangkinang merupakan proyek Konstruksi dengan Panjang 40 km yang dikerjakan oleh PT. Utama Karya Infrastruktur selaku kontraktor dan Konsultan Perencana. JTTS Pekanbaru-Bangkinang yang menghubungkan daerah kota Pekanbaru dengan Kecamatan Bangkinang.



Gambar 3. 3 Lokasi Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang

3.7 Pengukuran dengan Metode Konvensional

Volume merupakan suatu hal yang penting dalam banyak pekerjaan teknik. Akurasi bentuk dan estimasi volume dari material tersebut penting dalam banyak aplikasi misalnya studi erosi, estimasi pengambilan bahan tambang dan penilaian lahan untuk konstruksi.

Suatu obyek sering dilakukan. Bahkan penentuan volume yang dilakukan dalam bidang pembangunan juga berpengaruh dalam bidang lain seperti bidang perekonomian serta digunakan dalam berbagai riset dalam rangka pengembangan teknologi. Obyek yang ditentukan volumenya bisa memiliki bentuk beraturan (geometris) seperti gudang dan kontainer, maupun tidak beraturan (non-geometris) seperti endapan di laut, tanah urugan (eksisting), dan material pertambangan. Dalam bidang geodesi, penentuan volume dibantu dengan alat-alat ukur. Alat ukur di bidang geodesi berkembang dari awalnya dalam bentuk analog sampai ke bentuk digital. Penentuan volume dengan pengukuran metode tachymetri yang dibantu alat TS, GPS RTK sering dilakukan dalam berbagai pekerjaan teknik. Pengukuran dilakukan dengan menghitung koordinat (x, y, z), menentukan ketinggian objek dari jauh, menghitung jarak pada permukaan obyek yang dianggap merepresentasikan bentuk suatu obyek yang akan dihitung volumenya. Semakin tidak beraturan bentuk suatu obyek, semakin banyak pula data yang harus dikumpulkan (Khomsin,2009).



Gambar 3. 4 Pengukuran Topografi Konvensional (Khomsin, 2019)

3.8 Pengertian LIDAR

LIDAR adalah singkatan dari *Light Detection and Ranging*, terkadang juga disebut sebagai *Laser Altimetry* atau *Airborne Laser Terrain Mapping (ALTM)*. Sistem LIDAR pada dasarnya terdiri dari integrasi tiga teknologi, yaitu *Inertial Navigation System (INS)*, LASER, dan GPS. *Global Positioning System (GPS)* telah beroperasi penuh selama lebih dari satu dekade, dan selama periode ini, teknologi telah membuktikan potensinya di berbagai bidang aplikasi. Beberapa aplikasi penting dari GPS adalah studi deformasi kerak, sistem panduan kendaraan, dan baru-baru ini, di LIDAR (Soetaat, 2009)

Informasi Geospasial merupakan masukan penting bagi semua kegiatan perencanaan dan pembangunan terutama di era pemetaan digital dan sistem pendukung keputusan. LIDAR jauh lebih cepat daripada teknologi fotogrametri konvensional dan menawarkan keunggulan berbeda dibandingkan fotogrametri di beberapa area aplikasi.

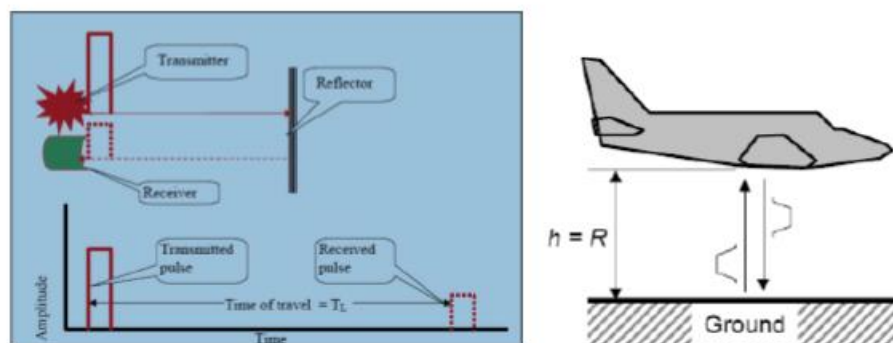
LIDAR berguna untuk pengumpulan data ketinggian dalam kasus hutan lebat, di mana fotogrametri gagal mengungkapkan informasi medan yang akurat, karena tutupan kanopi yang rapat. Tidak dibatasi oleh kondisi lingkungan yang membatasi fotografi udara, LIDAR di udara muncul sebagai alternatif yang menarik dari teknologi tradisional untuk pengambilan data geospasial skala besar. Karena merupakan sensor iluminasi aktif, sistem laser dapat mengumpulkan data di malam hari dan dapat dioperasikan dalam cuaca apa pun dan pada sudut matahari rendah yang melarang fotografi udara. Daerah pedesaan dan terpencil dapat disurvei dengan mudah dan cepat karena setiap titik XYZ memiliki geo-referensi individual, triangulasi udara atau orthorektifikasi data tidak diperlukan.

3.9 Konsep LIDAR

LIDAR (*Light Detection and Ranging*) merupakan salah satu teknologi pemetaan yang menjadi aplikasi sistem penginderaan jauh dengan menggunakan sinar laser untuk memperoleh informasi ketinggian ataupun kedalaman dari suatu objek. LIDAR merupakan sistem penginderaan jauh aktif menggunakan sinar laser yang dapat menghasilkan informasi mengenai karakteristik topografi permukaan tanah dalam posisi horizontal dan vertikal. Sinar laser tersebut dapat menembus

celah dedaunan untuk mencapai permukaan tanah dan dipantulkan kembali untuk ditangkap oleh sensor laser. Terdapat 3 komponen utama dalam sistem LIDAR, yaitu Sensor LIDAR, GPS (*Global Positioning System*), dan IMU (*Inertial Measuring Unit*).

LIDAR bekerja dengan memancarkan pulsa dan memindai objek pada permukaan bumi kemudian pulsa laser tersebut akan diukur waktu tempuhnya dari suatu objek sampai kembali ke sensor untuk menghitung jarak sensor ke objek. IMU akan mengoreksi hasil nilai dan jarak yang didapatkan untuk mendapatkan koreksi pergerakan wahana. GPS digunakan untuk terus mengatur ulang IMU agar mampu mendapatkan posisi dengan akurasi tinggi. Posisi GPS telah diikatkan pada sebuah stasiun pengamat, dan stasiun ini memberikan faktor koreksi bagi unit GPS yang terpasang di wahana. LIDAR dapat menghasilkan kerapatan titik (*point cloud*) 1-9 titik/ 2, hal ini bergantung dari beberapa faktor, di antaranya adalah metode akuisi (tinggi terbang, jenis konfigurasi sensor dan jenis permukaan), sudut pandang sensor ke permukaan bumi (*field of view*) (Kandia, 2012). Resolusi DEM yang dihasilkan menggunakan data LIDAR berkisar antara 20 – 100 cm (Shamsi, 2005). Waktu tempuh sinar laser diukur antara batas tepi awal antara sinar yang dipancarkan dan dipantulkan.



Gambar 3. 5 Konsep LIDAR

Pengolahan data LIDAR merupakan suatu Teknik mendapatkan informasi yang cukup komprehensif dan memerlukan keahlian khusus untuk melakukannya secara benar. Dalam pelaksanaannya, proses pengolahan data sangatlah rumit dari

data mentah (*Raw Data*) hingga menjadi data yang sudah siap untuk dianalisa (*Kelas Ground*). Selengkapnya akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Pengolahan GPS (*Global Positioning System*)

Data GPS yang diperoleh dari metode pengukuran PPK (*Precise Point Kinematic*) untuk mendapatkan informasi posisi dari *Base Station* kemudian diolah dengan suatu perangkat lunak untuk diikatkan ke sistem koordinat tertentu yang sesuai dengan regulasi yang telah ada.

2. Pengolahan *Trajectory*

Pengolahan *Trajectory* berfungsi untuk menentukan posisi dan elevasi dari *laser pulse* yang dipancarkan kemudian diterima pada saat proses akuisisi data. Pengolahan *trajectory* memiliki peranan yang sangat penting untuk mencapai tingkat akurasi tinggi. Pengolahan *trajectory* prinsipnya yaitu mengkombinasikan suatu data yang diperoleh dari GPS *Receiver* yang terpasang pada LIDAR dan IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang dikalibrasi dengan proses tertentu untuk mendapatkan parameter kalibrasi.

3. Proses *Matching*

Proses *matching* prinsipnya yaitu melakukan suatu *adjustment* pada data LIDAR yang diolah secara sendiri-sendiri kemudian digabungkan hingga menjadi suatu kesatuan data. Metode untuk melakukan *matching* dengan menggunakan perangkat lunak *Microstation* yaitu dengan metode *Tie Lines* dan *Find Match*.

4. Klasifikasi

Proses klasifikasi dilakukan untuk menginterpretasikan suatu data yang sudah diolah pada tahap sebelumnya kedalam suatu kelas-kelas tertentu sesuai dengan kebutuhan *user*. Pada umumnya, proses klasifikasi data LIDAR yaitu memisahkan suatu keseluruhan data menjadi beberapa kelas tertentu seperti *Ground*, *Vegetation*, *Building*, dan lain sebagainya. Metode proses klasifikasi dapat dilakukan dengan suatu algoritma tertentu yang dibuat sedemikian rupa untuk mendapatkan parameter yang paling tajam.

5. QA dan QC

Setelah proses klasifikasi telah dilakukan, selanjutnya data hasil pengolahan tersebut diuji terhadap titik uji yang diukur dengan berbagai macam metode pengukuran seperti GNSS, *Waterpass*, *Total Station*, dan lain sebagainya. Tujuannya yaitu untuk mengkuantifikasikan kualitas data olahan kemudian diuji secara statistik untuk dinilai apakah sudah sesuai dengan regulasi atau belum.

Secara ringkas proses pengolahan LIDAR dapat diilustrasikan pada gambar sebagai berikut.

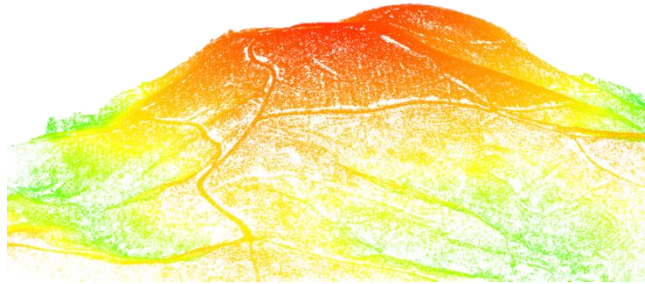


Gambar 3. 6 Alur Pekerjaan Pengolahan Data LIDAR

Salah satu keunggulan dari Teknologi LIDAR yaitu pengadaan data topografi yang merepresentasikan kenampakan bumi seperti fisik dan karakteristik obyek alami dan buatan manusia dengan berbagai tipe data. Data keluaran LIDAR yaitu berupa *Point Cloud*, *Digital Terrain Model* (DTM), dan Kontur dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

3.9.1 *Point Cloud*

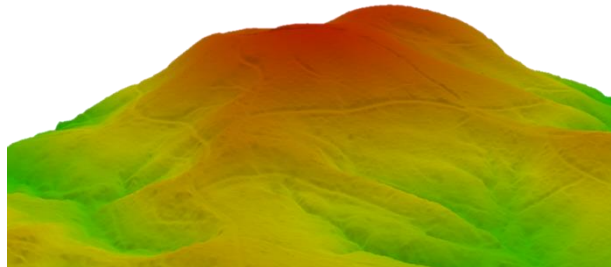
Point Cloud merupakan data yang dihasilkan dari pengolahan LIDAR dalam bentuk titik yang merepresentasikan objek/benda secara 3D dan berada pada suatu sistem koordinat tertentu. Data *Point Cloud* dapat digunakan untuk membuat model tiga dimensi permukaan bumi seperti *Digital Terrain Model* (DTM) yang akan dijelaskan pada poin berikutnya.



Gambar 3. 7 *Point Cloud*

3.9.2 *Digital Terrain Model (DTM)*

Point Cloud yang telah melalui proses klasifikasi seperti Vegetasi, Bangunan, dan objek selain *Ground* yang telah dihilangkan, kemudian disajikan kedalam suatu model 3D dengan persebaran titik secara diskrit dengan nilai elevasi yang berbeda-beda disebut sebagai *Digital Terrain Model (DTM)*.



Gambar 3. 8 *Digital Terrain Model (DTM)*

3.9.3 **Kontur**

Garis kontur merupakan suatu garis yang menggambarkan sebagian bentuk dari permukaan bumi yang diperoleh dengan melakukan pengolahan interpolasi linier antara titik-titik ketinggian yang berdekatan dan memiliki nilai elevasi yang sama. Pembuatan garis kontur diperoleh dengan memanfaatkan data permukaan tanah yang salah satunya dihasilkan dari DTM.



Gambar 3. 9 Garis Kontur

3.10 Volume Galian dan Timbunan

Galian dan timbunan berdimensi volume (meter kubik). Volume dapat diperoleh secara teoritis melalui perkalian luas dengan panjang. Galian dan timbunan untuk keperluan teknik sipil dan Perencanaan diperoleh melalui perolehan luas rata-rata galian atau timbunan di dua buah profil melintang yang dikalikan dengan jarak mendatar antara kedua profil melintang tersebut. Galian dan timbunan banyak digunakan untuk kepentingan pembuatan jalan raya, saluran irigasi, dan aplikasi lain, seperti pembangunan kavling untuk perumahan (Pratama, 2017).

Galian dan timbunan (*cut and fill*) merupakan proses pengerjaan tanah dengan cara menggali sejumlah massa tanah untuk kemudian ditimbun di tempat lain. Pada suatu proyek konstruksi, pekerjaan galian dan timbunan tanah (*cut and fill*) hampir tidak pernah dapat dihindarkan. Hal tersebut diakibatkan adanya perbedaan letak permukaan tanah asli dan permukaan tanah rencana yang disebabkan topografi daerah yang berbeda-beda. Kedua proses galian dan timbunan (*cut and fill*) dilakukan di satu lokasi yang menjadi target pengerjaan. Pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill*) memerlukan perencanaan sehingga jumlah tanah yang dibuang atau diambil di tempat lain tidak kurang atau lebih sehingga mengurangi biaya transportasi. Perencanaan pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill*) biasanya dilakukan setelah dilakukan pengukuran pada lahan sehingga diperoleh peta situasi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur atau diperoleh langsung dari lapangan melalui pengukuran sipat datar profil melintang sepanjang koridor jalur proyek atau bangunan (Pratama et al, 2017).

Teknologi pengukuran dan pemetaan yang digunakan saat ini sudah sangat demikian berkembang. Survei lapangan dapat diperoleh secara cepat dan tepat menggunakan peralatan *Total Station* atau GPS (*Global Positioning System*) dan diikuti oleh sistem perekaman data yang dapat langsung diolah oleh komputer dan dengan menggunakan berbagai macam perangkat lunak CAD dapat langsung disajikan informasi grafis beserta luas dan nilai galian timbunannya.

3.10.1 Volume

Dalam survei rekayasa, penentuan volume tanah adalah suatu hal yang sangat lazim. Seperti halnya pada perencanaan pondasi, galian dan timbunan pada rencana irigasi, jalan raya, jalan kereta api, penanggulangan sepanjang aliran sungai, perhitungan volume tubuh bendung, dan lain-lain, tanah harus digali dan dibuang ke tempat lain atau sebaliknya. Semua kegiatan menggali, mengangkut dan menimbun serta memadatkannya memerlukan biaya yang cukup besar. Biaya tersebut dapat dirancang apabila perencanaan dapat menghitung terlebih dahulu berapa volume tubuh tanah yang dibutuhkan atau harus dibuang (Jayadi, 2017).

Pada dasarnya penentuan volume tubuh tanah dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu:

a. Metode irisan melintang (*cross section*)

Irisan melintang diambil tegak lurus terhadap sumbu proyek dengan interval jarak tertentu dalam metode ini. Metode ini cocok digunakan untuk pekerjaan yang bersifat memanjang seperti perencanaan jalan raya, jalan kereta api, saluran, penanggulan sungai, penggalian pipa dan lain-lain. Cara penentuan volume dengan metode melintang di bagi menjadi beberapa metode yaitu:

i. Metode Potongan Melintang Rata-Rata

Dalam rumus ini volume didapat dengan mengalikan luas rata-rata dari irisan yang ada dengan jarak antara irisan awal dan akhir. Apabila irisan-irisan tersebut $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}, A_n$ dan jarak antara irisan A_1 ke $A_n = L$ maka:

$$Volume = V = \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n}{n} \right) \cdot L \quad (1)$$

ii. Metode Jarak Rata

Metode ini digunakan untuk perhitungan volume yang memiliki tampang irisan yang hampir sama antara $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}, A_n$ dengan jarak irisan yang berbeda-beda yang dinyatakan dengan L_1, L_2, L_3 dan seterusnya. Rumus perhitungan volumenya dinyatakan dengan persamaan:

$$Volume = V = A \cdot \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) \quad (2)$$

iii. Metode Prismoida

Metode ini adalah metode yang paling baik di antara metode - metode yang lain. Prisma adalah sebuah bangun yang bidang sisinya berupa bidang datar, sedangkan bidang alas dan atasnya sejajar. Rumus prismoida dinyatakan dengan persamaan:

$$Volume = V = \frac{h}{6} \cdot (A_1 + 4A_M + A_2) \quad (3)$$

Dengan h adalah tinggi prisma, A_1 dan A_2 adalah luas alas dan atas, dan A_M adalah luas penampang tengah yang diperoleh dari:

$$A_M = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (4)$$

b. Metode *Borrow Pit/ Spot Level*

Metode ini banyak dipakai pada pekerjaan penggalian yang besar dan luas. Pelaksanaanya di lapangan meliputi pembuatan jarring-jaring grid yang berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang dengan panjang sisi yang tertentu, misal 10meter, 15meter atau yang lain. Titik-titik grid di lapangan ditandai dengan patok kayu, kemudian diadakan pengukuran sipat datar untuk mengetahui ketinggian setiap patok.

Selisih tinggi untuk setiap patok dapat dihitung apabila penggalian akan dikerjakan hingga pada level yang tertentu, atau apabila penggalian dilakukan terlebih dahulu baru dihitung volume tanah yang telah digali, maka setelah penggalian dilakukan pengukuran sipat datar lagi pada patokpatok tersebut untuk mengetahui kedalaman penggalian di setiap patok. Dari selisih-selisih ketinggian

tersebut kemudian dihitung volumenya dengan rumus prismoida dengan alas prisma berupa empat persegi panjang atau segitiga, sedangkan tinggi prisma di ambil dari rata-rata dalamnya penggalian di titik-titik grid.

c. Metode Kontur

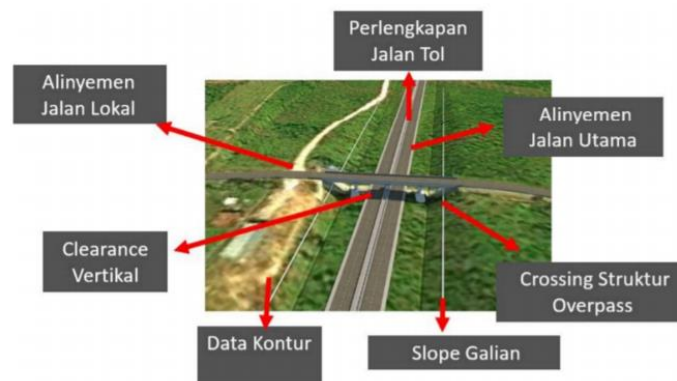
Garis kontur pada peta adalah garis-garis yang menghubungkan tempat-tempat yang sama tinggi sehingga bidang yang terbentuk oleh sebuah garis kontur akan berupa bidang datar. Apabila kita mempunyai peta yang bergaris kontur, maka volumenya dapat dihitung sebagaimana menghitung volume pada peta yang memiliki penampang melintang. Luas setiap penampang di sini adalah luasan yang dibatasi oleh suatu garis kontur, sedangkan tinggi atau jarak antar penampang adalah besarnya interval garis kontur, yaitu beda harga antara dua garis kontur yang berurutan.

3.10.2 Hubungan Perhitungan Volume terhadap Biaya dan Waktu

Pada kasus proyek Jalan tol pada umumnya memiliki nilai biaya investasi yang tidak murah. Desain Konstruksi yang optimal memegang peranan penting dalam mengestimasi kebutuhan biaya serta waktu untuk tahap pembangunan secara lebih efektif. Kondisi *terrain* sangatlah mempengaruhi seberapa besar nilai volume galian atau timbunan untuk mengestimasi Biaya serta Waktu yang diperlukan pada tahap Perencanaan Desain. Sehingga, data topografi yang memiliki kualitas serta kedetailan yang tinggi pada tahap Perencanaan desain dapat menggambarkan kondisi *terrain* secara lebih jelas. Untuk itu, dengan pemanfaatan data dengan kualitas yang tinggi akan menghasilkan besaran volume yang representatif dengan kondisi di lapangan, jika dibandingkan dengan penggunaan data dengan kualitas yang rendah. (Razieh, 2017).

3.11 Building Information Modelling (BIM)

BIM merupakan representasi digital dari karakteristik fisik dan karakter fungsional dari suatu Bangunan. Karena itu, di dalamnya terkandung semua Informasi mengenai elemen-elemen Bangunan tersebut yang digunakan sebagai basis pengambilan keputusan dalam kurun waktu siklus umur Bangunan mulai dari konsep hingga demolisi (BIM PUPR, 2018).



Gambar 3. 10 BIM 3D Model

Dengan menggunakan BIM dapat diperoleh 3D, 4D, 5D, 6D dan bahkan sampai 7D. Dimana 3D berbasis obyek pemodelan parametric, 4D adalah urutan dan penjadwalan material, pekerja, luasan area, waktu, dan lain-lain, 5D termasuk estimasi biaya dan part-lists, dan 6D mempertimbangkan dampak lingkungan termasuk analisis energi dan deteksi konflik, serta 7D untuk fasilitas manajemen (Modul 6 Permodelan 3D, 4D, 5D, 6D, DAN 7D Serta Simulasinya Dan *Level of Development* (LOD) (BIM PUPR, 2018).

3.12 Statistika

Statistika adalah cabang ilmu untuk merencanakan, mengumpulkan, menganalisis, menginterpretasikan dan mempresentasikan suatu data. Secara singkatnya, statistika merupakan ilmu yang berkaitan dengan data yang biasanya berbentuk numerik.

Cabang ilmu statistika yang mempelajari bagaimana pengumpulan, peringkasan, penyajian, dan analisis data lebih dikenal dengan istilah statistika deskriptif. Selain itu terdapat juga statistik yang digunakan untuk menganalisis data sampel, dan hasilnya kemudian akan digeneralisasikan untuk populasi dimana sampel diambil, hal tersebut biasa disebut dengan statistik inferensial.

3.12.1 Rata-Rata

Rata-Rata atau rerata merupakan salah satu konsep sentral dalam statistika matematis yang menjadi bagian penting dalam berbagai penurunan berbagai metode statistika. Singkatnya rerata merupakan suatu angka representasi yang menggambarkan atau mewakili data secara keseluruhan. Proses perhitungan rerata dapat menggunakan suatu persamaan yang dapat ditampilkan sebagai berikut.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n} \quad (5)$$

Dimana:

x = Rata- Rata

$\sum_{i=1}^k x_i$ = sigma dari penjumlahan data sampel

n = banyaknya data

3.12.2 Simpangan Baku

Simpangan baku atau standar deviasi merupakan salah satu dari teknik statistik untuk menjelaskan homogenitas dari sekelompok data. Dengan kata lain, simpangan baku digunakan untuk mengukur kedekatan data dengan reratanya. Secara umum simpangan baku kembali dibagi menjadi dua macam yaitu simpangan baku populasi dan simpangan baku sampel. Selengkapnya untuk perhitungan kedua jenis simpangan baku tersebut dapat ditampilkan pada persamaan sebagai berikut.

i. Simpangan Baku Populasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x)^2} \quad (6)$$

Dimana:

N = Jumlah Data

$\sum_{i=1}^N (x_i - x)^2$ = Penjumlahan dari selisih kuadrat dari sampel dengan rerata

ii. Simpangan Baku Sampel

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

N = Jumlah Data

$\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$ = Penjumlahan dari selisih kuadrat dari sampel dengan rerata

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alur Penelitian

Dalam memperoleh hasil analisis efisiensi biaya dan waktu, alur penelitian yang telah dilampirkan pada **Gambar 4. 1** menjelaskan secara merinci tentang gambaran proses penelitian yang telah dilakukan. Diawali dengan penyusunan latar belakang, hal tersebut penting dibuat untuk menjustifikasi permasalahan-permasalahan yang akan dijadikan sebagai acuan penyusunan tujuan maupun hasil yang akan diperoleh. Tujuan penelitian merupakan dasar untuk menentukan tidak hanya hasil akhir yang akan diperoleh, namun juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan metode akuisisi hingga pengolahan data yang akan dilakukan. Aspek proses akuisisi data didetailkan dari tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian kali ini, dimana setiap proses akuisisi secara garis besar terbagi menjadi beberapa bagian seperti bagian perencanaan, akuisisi, pengolahan hingga analisis data. Pada proses perencanaan akuisisi data, data sekunder seperti citra satelit, area ROW (*Right of Way*) Jalan Tol, dan data lainnya dapat mendukung proses perencanaan akuisisi data yang berfungsi sebagai penentuan lokasi maupun batas area akuisisi.

Selanjutnya, proses akuisisi dilaksanakan dengan dua metode yang berbeda yaitu metode LIDAR dan terrestrial. Pengambilan data dengan UAV LIDAR memperoleh beberapa macam data dari berbagai sensor yang diperoleh dari satu sistem LIDAR. Data tersebut meliputi Data GNSS (*Global Navigation Satellite System*) dari alat GPS Geodetik, data *Trajectory* yang merupakan lintasan terbang Pesawat yang berisi informasi posisi dan orientasi pesawat dan data *raw pointcloud* LIDAR. Setelah data akuisisi telah diperoleh, ketiga data tersebut kemudian perlu dilakukan kontrol kualitas terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pengolahan data. Jika tidak memenuhi kualitas sesuai spesifikasi yang disyaratkan, maka harus dilakukan pengambilan data ulang hingga kualitas yang diperoleh telah memenuhi syarat.

Survei GNSS dilakukan untuk 2 tujuan berbeda, yaitu sebagai base station LIDAR untuk pengolahan LIDAR dan Independent Check Point (ICP) untuk

pengecekan akurasi. Data GNSS sebagai *base station* berisikan tentang informasi posisi orbit satelit, jam satelit dan informasi atmosfer yang diperoleh dengan metode radial. Data *base station* digunakan untuk melakukan koreksi posisi UAV LIDAR, sehingga memperoleh ketelitian yang lebih akurat jika dibanding tanpa menggunakan *base station*. Sedangkan, data *Independent Check Point* (ICP) merupakan data GNSS yang diperoleh dari pengambilan data di lokasi yang terbuka. Data ICP tidak digunakan dalam pengolahan LIDAR, melainkan hanya digunakan untuk mengetahui seberapa akurat data LIDAR yang dihasilkan.

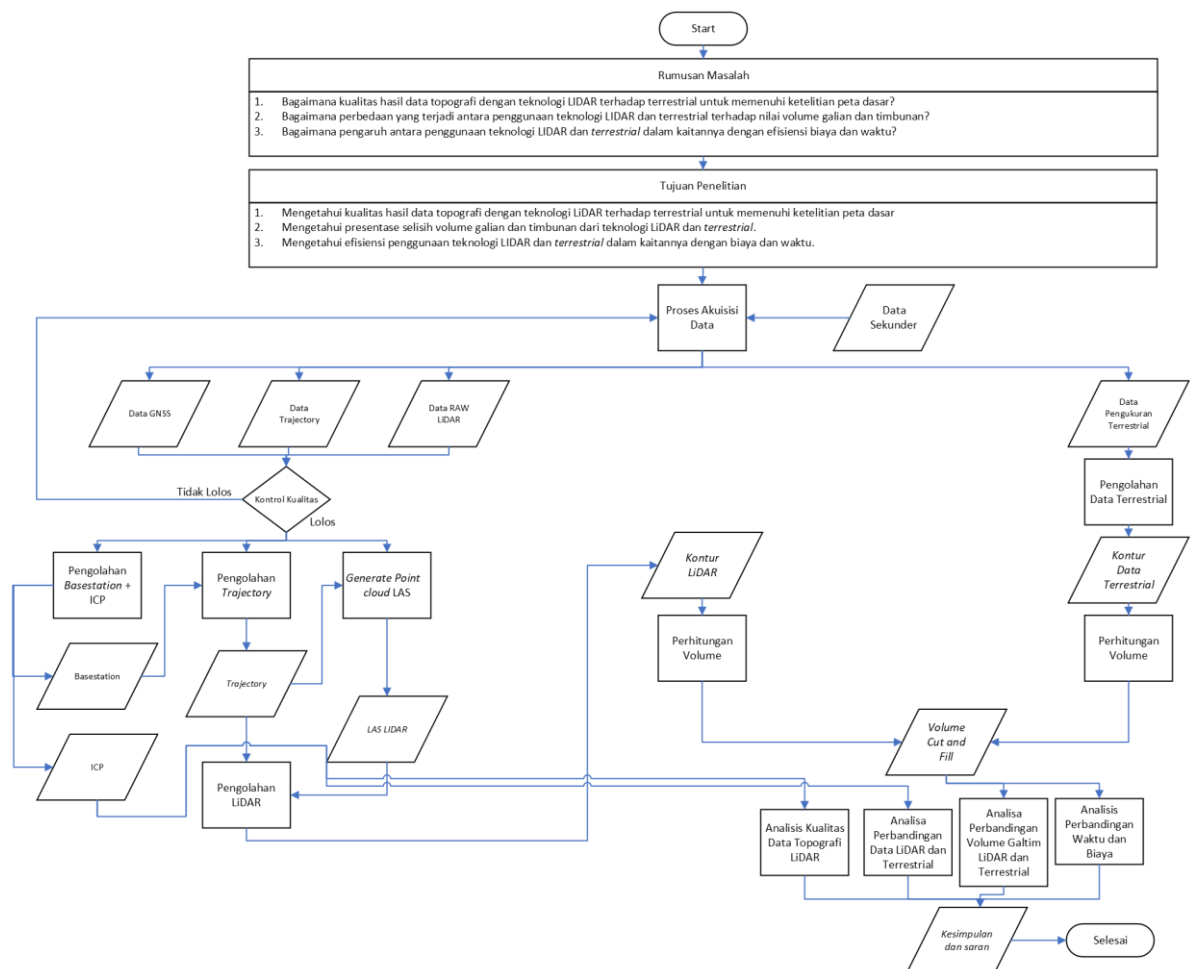
Data *base station* yang diperoleh dari Survei GNSS kemudian digunakan dalam pengolahan *trajectory*. Data *trajectory* yang mengandung informasi posisi dan orientasi pesawat pada saat terbang, diperlukan untuk proses georeferensi titik *point cloud* LIDAR dimana membuat data *raw* LIDAR yang sebelumnya belum diidentifikasi pada sistem koordinat global, menjadi memiliki nilai koordinat global yang lebih teliti. Selain itu, data *trajectory* digunakan dalam proses *generate point cloud* LIDAR dalam format LAS. Kemudian, setelah memperoleh data *point cloud* beserta *trajectory* yang telah dikoreksi, kemudian dilanjutkan proses pengolahan data LIDAR.

Setelah memperoleh *pointcloud* hasil pengolahan LIDAR, data tersebut kemudian diolah dengan melakukan proses-proses seperti *filtering* data menjadi *pointcloud ground* dimana objek-objek seperti pohon, kendaraan, dan bangunan sudah dibersihkan. Selanjutnya, hasil data olahan *filtering* tersebut diolah menjadi data kontur yang mana suatu data yang merepresentasikan kenampakan bumi kedalam bentuk garis-garis, yang dalam penelitian ini disebut sebagai Kontur LIDAR.

Di sisi lain, proses akuisisi metode terestrial memperoleh data posisi dilokasi area proyek setiap 25meter yang menyusuri sepanjang rencana trase jalan tol. Keluaran hasil yang diperoleh berupa data koordinat posisi X, Y dan Z atau elevasi dengan metode maupun alat yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Kemudian, data tersebut diolah untuk memperoleh output berupa kontur yang dalam penelitian ini disebut kontur terestrial.

Kontur dari masing-masing metode LIDAR maupun terestrial kemudian diolah untuk memperoleh data *Surface* yang mana suatu representasi digital dari kenampakan permukaan bumi untuk selanjutnya diperlukan untuk proses perhitungan volume galian dan timbunan pada tahap selanjutnya.

Nilai volume galian dan timbunan tersebut kemudian digunakan sebagai acuan untuk analisis kualitas data analisis kualitas data topografi dimana data ICP hasil pengolahan GNSS berperan penting dalam berbagai aspek analisis seperti perbandingan volume galian dan timbunan dari data LIDAR dan terestrial, dan analisis perbandingan waktu dan Biaya. Adapun secara bagan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Alur Penelitian

4.2 Subjek dan Objek Penelitian

4.2.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah informan, yang berarti orang pada latar penelitian yang dimanfaatkan untuk memberikan informasi tentang situasi dan kondisi latar penelitian (Moleong, 2010). Adapun subjek pada penelitian kali ini yaitu Data Topografi untuk *Basemap* BIM dari Pengukuran dengan LIDAR dan terestrial.

4.2.2 Objek Penelitian

Variabel yang diteliti oleh peneliti ditempat penelitian yang dilakukan (Supriati, 2015). Adapun objek pada penelitian kali ini yaitu pengaruh penggunaan metode pengukuran data Lidar dan terestrial pada aspek biaya dan waktu pada pekerjaan tanah untuk proyek konstruksi di jalan tol trans Sumatera ruas Pekanbaru - Bangkinang.

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di area Proyek Konstruksi Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, Indonesia.

4.4 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian *Applied Research* yaitu Penelitian yang dilaksanakan secara hati-hati, sistematis, dan berkelanjutan terhadap suatu masalah dengan tujuan untuk digunakan segera untuk menyelesaikan suatu masalah. Selain itu, ditambah dengan penelitian Survei di lapangan yang bertujuan untuk menguji suatu teori secara ilmiah yang kemudian dapat diaplikasikan langsung terhadap kegiatan proyek yang sedang/akan berjalan untuk memecahkan suatu masalah yang dihadapi secara tepat waktu dan tepat guna.

4.5 Alat yang Digunakan

Alat yang akan digunakan dalam kasus penelitian kali ini terdiri atas rangkaian alat LIDAR beserta dengan wahana dan alat pendukungnya dan peralatan pengukuran secara terestrial, list peralatan yang akan digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut



Gambar 4. 2 Drone V-TOL Fixed Wing TRON F90+

- Up to 250 m AGL
- Up to 90 minutes Fly
- Up to 2kg Maximum Payload
- Up to 13.5 kg Maximum Takeoff
- Terrain Following Technology
- Up to 20 m/s Cruise Speed



Gambar 4. 3 LIDAR Sensor Yellowscan Surveyor Ultra

Scanner	Velodyne VLP-32
Wavelength	903 nm
Precision ^{(1) (3)}	10 cm
Accuracy ^{(2) (3)}	5 cm
Scanner field of view	360°
Shots per second	600k
Echoes per shot	Up to 2
GNSS-Inertial solution	Applanix APX-15 UAV



Gambar 4. 4 GNSS Receiver Leica GS14

- GPS L1L2 Frequency
- Ketelitian Horizontal 3mm+0.5ppm
- Ketelitian Vertikal 5mm+0.5ppm
- Koneksi Internet dengan GSM dan CDMA (Pengukuran Metode RTK)



- *Reflectorless*
- *Angle Accuracy 5 second*
- *15 Hour Battery Life*
- *Laser Pointer*
- *Dual Axis Compensation*
- *RS232 Connector and USB Port*

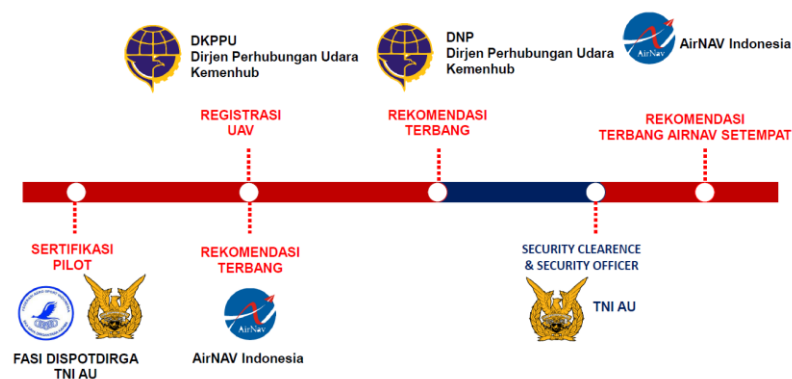
Gambar 4. 5 *Total Station Topcon
ES65 Entry Level*

4.6 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yaitu suatu skema secara sistematis yang dilaksanakan untuk memperoleh data yang akan pada penelitian kali ini. Adapun Metode pengukuran Topografi dengan LIDAR dapat dijelaskan sebagai berikut:

4.6.1 Perizinan Terbang

Perizinan terbang dilaksanakan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 163 Tahun 2015 tentang peraturan keselamatan penerbangan sipil Bagian 107 tentang Sistem Pesawat Udara Tanpa Awak (*Drone*), dimana berisikan mengenai prosedur untuk menerbangkan pesawat udara tanpa awak sesuai dengan standar dan keselamatan yang berlaku. Prosedur Langkah perizinan terbang tersebut akan dijelaskan secara singkat pada **Gambar 4. 6** berikut



Gambar 4. 6 Prosedur Pengajuan Izin Terbang Pesawat Udara Tanpa Awak

4.6.2 Perencanaan Survei

Perencanaan survei dilakukan untuk mendapatkan informasi serta penentuan teknis lapangan sebelum melakukan akuisisi data di lapangan. Hal-hal yang perlu diketahui pada proses ini yaitu

1. Rencana Terbang (Kecepatan Pesawat, Panjang/Luas Area, dan Tinggi Terbang).
2. Kondisi Cuaca,
3. Kondisi *Terrain*,
4. Rencana Mobilisasi serta penempatan *Base Station*.

4.6.3 Proses Akuisisi Data

1. Akuisisi Data LIDAR

Proses akuisisi data dilaksanakan setelah perizinan dan Perencanaan Survei telah didapat dan selesai dilakukan. Proses akuisisi data memerlukan tim sekurang-kurangnya 2 orang untuk mengoperasikan Pesawat Udara Tanpa Awak dengan tugasnya sebagai pilot pesawat dan sebagai *observer*, dimana tugas dari seorang pilot yaitu memastikan penoperasikan pesawat tanpa awak sesuai dengan SOP yang berlaku sekaligus memastikan data yang diakuisisi di lapangan sudah terakuisisi. Sedangkan seorang *observer* bertugas untuk membantu pilot untuk memastikan keselamatan pesawat sesaat setelah dan sebelum pesawat tanpa awak terbang.

Proses akuisisi di ruas Pekanbaru-Bangkinang terbagi menjadi 2 *flight/project* yang berbeda. Masing-masing *project* memiliki panjang jalur terbang sekitar 20 kilometer dengan lebar koridor 100 meter, ketinggian terbang berada pada 80 meter dan kecepatan sekitar 20 m/s.



Gambar 4. 7 Rencana Akuisisi Data

3 Akuisisi Data GNSS

Akuisisi Data GNSS terbagi menjadi 2 (dua) pekerjaan yang memiliki maksud dan tujuan yang berbeda. Tujuan pertama yaitu untuk mengukur koordinat acuan *Benchmark* (BM) sebagai dasar hitungan sebagai inputan pada tahapan pengolahan data. Dimana metode pengukuran dengan metode statik jaring orde 3 dengan lama pengamatan kurang lebih selama 1 jam ditiap sesinya.

Selain itu, akuisisi GNSS dimaksudkan untuk dijadikan sebagai *base/master* untuk akuisisi data LIDAR. Tujuan dari pengukuran GNSS sebagai *base* yaitu sebagai koreksi posisi XYZ pesawat agar menghasilkan data dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi.



Gambar 4. 8 Proses Akuisisi Data GNSS

4.7 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilaksanakan setelah proses akuisisi data di lapangan sudah diperoleh, proses pengolahan data dilaksanakan dengan prosedur yang sudah ditentukan pada SOP (*Standard Operational Procedure*) yang telah dibuat sebelumnya. Secara baku proses pengolahan data LIDAR dapat dijabarkan pada bagan sebagai berikut



Gambar 4. 9 Proses Pengolahan Data LIDAR

4.8 Data yang diperoleh

Data yang mendukung dalam melaksanakan suatu penelitian kali ini terbagi kedalam dua macam data yaitu Data Primer dan Data Sekunder.

4.8.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari pengamatan/pengukuran yang dilakukan. Pada penelitian kali ini Data primer yang dimaksud yaitu:

1. Data topografi hasil pengolahan dari pengukuran LIDAR
2. Data topografi hasil pengolahan dari pengukuran terestrial

4.8.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dengan membaca dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Pada kasus penelitian kali ini, data sekunder yang dimaksud adalah Informasi pendukung dari pekerjaan lapangan (durasi pengukuran (*schedule*), RAB (Rencana Anggaran Biaya), dokumen pengecekan kualitas disetiap proses akuisisi seperti *logbook* dan lain sebagainya).

4.9 Analisis Data

Berdasarkan data lapangan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya, kemudian selanjutnya data keseluruhan lapangan tersebut akan dianalisa dan diambil sampel pada area-area yang akan dijadikan sebagai lokasi penelitian yang akan dianalisa seperti contoh akan menganalisa pada area yang datar, curam, dan

bervegetasi lebat dari pengamatan LIDAR dengan Metode terestrial sebagai *Basemap* BIM dari dalam aspek waktu dan biaya. Adapun penjelasan mengenai aspek tersebut akan dijelaskan sebagai berikut

4.9.1 Perbandingan Volume

Analisis perbandingan volume dapat diperoleh setelah proses pengolahan Data LIDAR maupun terestrial telah diselesaikan. Data masukan yang diperlukan untuk analisis perbandingan volume yaitu berupa kuantifikasi nilai volume galian dan timbunan dari masing-masing teknologi yang diperoleh dari perangkat lunak *Civil 3D*. Kemudian, nilai dari volume tersebut dikalkulasi dengan suatu koefisien harga satuan tertentu yang nantinya nilai tersebut diperlukan untuk analisis biaya pada tahapan selanjutnya.

4.9.2 Biaya

Analisa biaya suatu pekerjaan tanah dengan data *Basemap* dari LIDAR untuk dan terestrial, dapat dianalisa dengan cara sebagai berikut:

1. Kebutuhan *Manpower* dari masing-masing Metode dalam satuan jumlah orang per Panjang ruas Jalan tol yang berdampak pada kebutuhan biaya operasional di lapangan
2. Waktu pengadaan data dari tahap Perencanaan hingga finalisasi desain yang diperlukan berdampak pada biaya operasional yang dikeluarkan

Metode Analisis perbandingan biaya diperoleh berdasarkan dari hasil perhitungan volume galian dan timbunan. Besaran nilai volume yang didapat dari data LIDAR dan terestrial kemudian dikalkulasi dengan nilai harga satuan tertentu untuk memperoleh nilai biaya total. Sehingga pada akhirnya, nilai total biaya dari dua teknologi yang berbeda kemudian dibandingkan satu sama lain, dan selisih nilai volume tersebut nantinya digunakan untuk penarikan kesimpulan.

4.9.3 Waktu

Analisa perbandingan Metode pengukuran *Basemap* dengan LIDAR ataupun secara konvensional dengan terestrial dapat dianalisa dengan waktu yang diperlukan untuk mengakuisisi data pada saat di lapangan. Adapun tahapan yang dilakukan meliputi tahap perencanaan survei, tahap perizinan, pengambilan data,

hingga pemrosesan data secara *on-desk* di kantor. Selain itu, akan dianalisa mengenai faktor-faktor penyebab terjadinya selisih kebutuhan waktu yang signifikan dengan kaitannya terhadap biaya operasional yang dikeluarkan. Proses validasi pada aspek waktu, memerlukan dokumen pendukung seperti timeline perencanaan maupun aktual dari survei LIDAR maupun terestrial, dimana parameter-parameternya yaitu durasi terbang pesawat per satuan jarak, serta kebutuhan waktu untuk mobilisasi tim di lapangan.

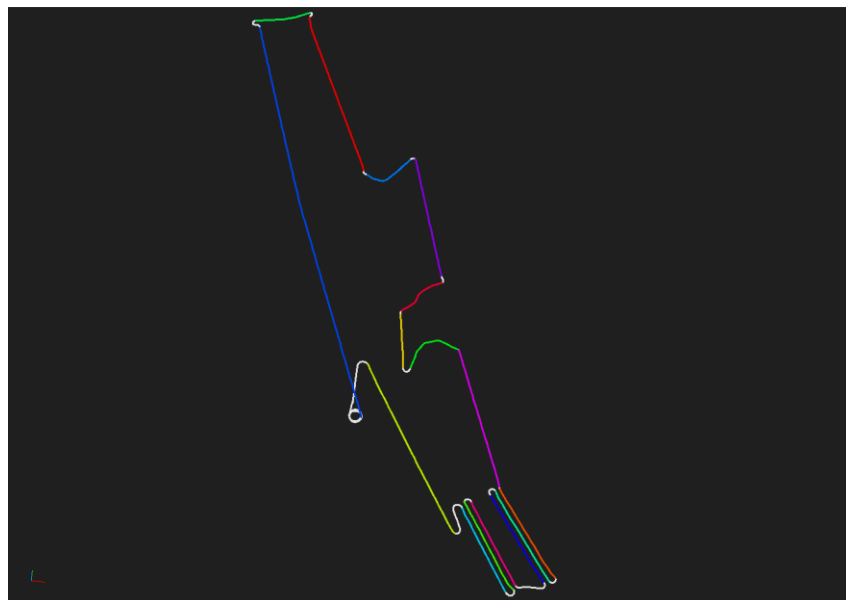
Metode analisis perbandingan waktu diawali dengan mengkompilasi kebutuhan waktu disetiap item pekerjaan, menjumlah kebutuhan total waktu yang diperlukan dari tahapan perencanaan hingga penyajian data, total kebutuhan hari tersebut dijadikan dasar untuk menghitung efisiensi atau produktifitas pekerjaan, kemudian akhirnya nilai efisiensi tersebut digunakan untuk penarikan kesimpulan.

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1.2 Data LIDAR

5.1.2.1 Data *Trajectory*

Menurut Hussnain (2021) data *trajectory* merupakan suatu informasi yang diperkirakan dari suatu sistem yang mengintegrasikan persamaan observasi seperti posisi, rotasi, dan beberapa variabel lainnya seperti kecepatan suatu wahana, dimana data tersebut diperlukan untuk proses kalibrasi data pada tahapan pengolahan data. Data *trajectory* memegang peranan penting untuk memastikan kualitas data LIDAR yang diperoleh.



Gambar 5. 2 Data *Trajectory*

Berdasarkan dengan hal tersebut, kualitas data *trajectory* harus segera dimitigasi sedini mungkin dengan mengacu pada regulasi yang berlaku. Regulasi yang dimaksud yaitu Peraturan Kepala (Perka) BIG No.1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar, dimana parameter kualitas *trajectory* yang harus dipenuhi dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 1** sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Standar Kualitas *Trajectory* disadur dari Perka BIG Nomor 1 Tahun 2020

Indeks Position Dilution of Precision (PDOP)	Kurang dari 3.5
Ketelitian Posisi Horizontal dan Vertikal	Kurang dari 2 cm

DOP (*Dilution of Precision*) merupakan suatu indeks yang digunakan pada navigasi satelit pada keilmuan Geodesi untuk mendefinisikan nilai propagasi error dari suatu kekuatan geometri posisi satelit ke dalam suatu Bahasa matematis dalam menentukan tingkat presisi dari suatu data. Secara konsep, nilai DOP digunakan untuk melihat seberapa besar dampak error pengolahan terhadap suatu nilai estimasi posisi secara geometris. Sehingga, semakin kecil nilai indeks DOP maka tingkat propagasi error akibat posisi satelit tidak mempengaruhi nilai estimasi posisi akhir suatu titik. Artinya, semakin kecil nilai DOP maka semakin baik kualitas datanya.

5.1.2.2 Data LAS LIDAR

Data LAS merupakan suatu format data *binary* yang dibuat untuk menyimpan dan pengarsipan data *pointcloud* seperti posisi, metadata dan lain-lain yang telah distandarisasi oleh *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (Garnero, 2018). Sehingga untuk bertukar serta membuka data *pointcloud*, output dari Akuisisi LIDAR yang diunduh langsung dari sistem LIDAR selain data *trajectory* yaitu data pindai laser yang selanjutnya dikonversi menjadi format LAS. Proses konversi data mentah menjadi LAS memerlukan informasi data *trajectory* yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Setelah proses konversi tersebut selesai, selanjutnya data LAS yang sudah memiliki nilai koordinat global perlu dipastikan seperti kelengkapan datanya dan tingkat akurasi kualitatif seperti kesesuaian visualisasi objek lapangan di data sebelum dilanjutkan pada tahapan pengolahan data oleh tim pengolah data.



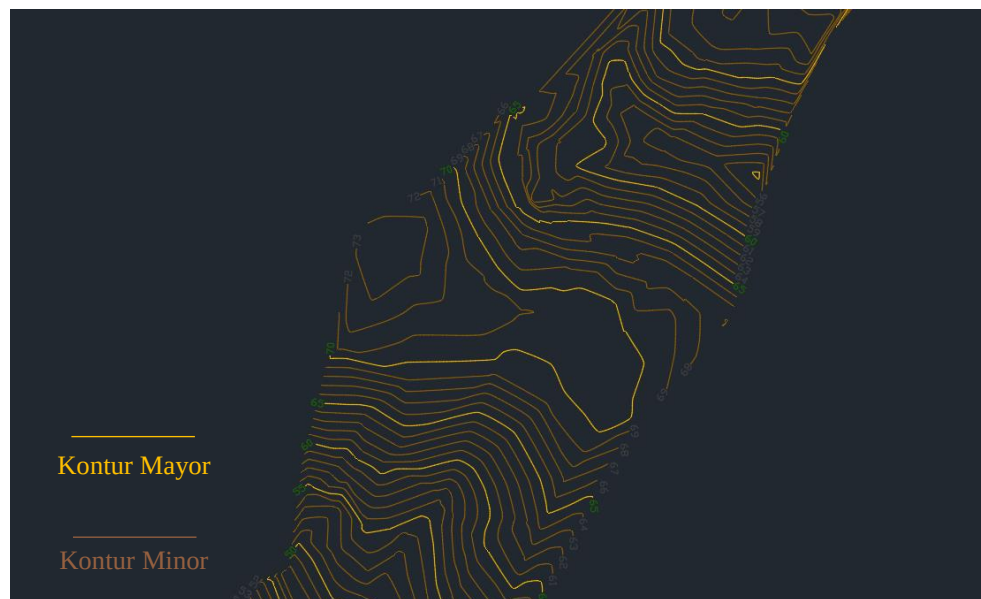
Gambar 5. 3 Data LIDAR Format LAS Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Dapat dilihat pada **Gambar 5. 3** yaitu berupa visualisasi data LIDAR yang telah terakuisisi dan dikonversi menjadi format LAS, serta dicek akurasi secara kualitatif. Hal-hal yang perlu diperiksa secara kualitatif untuk memastikan seluruh area telah terakuisisi, memastikan kesesuaian data yang diperoleh dengan kondisi di lapangan. Sedangkan, untuk proses pengecekan secara kuantitatif dimaksudkan untuk memastikan tidak adanya *shifting* atau pergeseran secara vertikal antara 2 *flight* yang berbeda. Dimana data *shifting* akibat kesalahan sistematis alat dapat mengakibatkan adanya bias kelerengan (*slope*) yang berpengaruh pada kesalahan elevasi (Hodgson, 2004). Selanjutnya, jika data tersebut sudah lulus uji, maka data tersebut dapat diolah oleh tim pengolah data.

5.1.3 Data terrestrial

Data topografi dalam desain Jalan Tol Trans Sumatera dimanfaatkan sebagai sumber informasi untuk menggambarkan situasi terbaru di lapangan. Data topografi tersebut memuat berbagai macam informasi seperti elevasi, detail planimetris area rencana, fasilitas umum dan fasilitas sosial. Selain itu, data topografi badan air dapat diperoleh untuk mendapatkan informasi-informasi seperti pasang surut muka air, kedalaman, dan arah aliran air. Sehingga, dengan adanya data topografi yang teliti dapat memberi gambaran bagi seorang desainer untuk membuat desain Jalan Tol secara komprehensif pada tahapan *Detailed Engineering Design* (DED).

Berdasarkan dengan hal tersebut, dalam rangka penyusunan DED dengan standar yang telah ditetapkan, data topografi harus dalam skala 1:1000, dimana maksud dari nilai tersebut yaitu setiap 1 cm di peta mewakili 1000 cm pada jarak sebenarnya. Selain penentuan skala, interval kontur yang digunakan data topografi juga telah ditentukan sebesar 1 meter, dengan indeks kontur mayor sebesar 5 meter. Perbedaan antara kontur mayor dan minor yaitu, kontur mayor merupakan indeks kontur yang ditampilkan dengan garis yang lebih tebal setiap selang tertentu, sedangkan untuk kontur minor yaitu garis kontur yang tergambar diantara kontur mayor dengan selang kontur sama dengan interval yang ditentukan. Data topografi yang terdapat kontur dari pengukuran terestrial rencana jalan tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang dapat ditampilkan pada **Gambar 5. 4**.



GNSS hingga pelaporan dilaksanakan kurang lebih selama 3 minggu. Tahapan pengolahan data yang berdurasi lebih lama dari tahapan lainnya yaitu pada tahapan klasifikasi data. Hal tersebut dikarenakan karena tingkat kompleksitas dari kondisi permukaan bumi dilapangan, serta variasi dari jenis tutupan lahan. Adapun, jadwal Kegiatan Akuisisi LIDAR secara lengkap dapat ditampilkan pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5. 2 Jadwal Kegiatan Survey LIDAR Ruas Pekanbaru-Bangkinang

No	Kegiatan	Bulan Ke-1			Bulan Ke-2	
		Minggu Ke-1	Minggu Ke-2	Minggu Ke-3	Minggu Ke-2	Minggu Ke-3
1	Perizinan Terbang					
a	Pengajuan Rekomendasi Terbang dari AirNav					
b	Penerbitan Security Clearance dari TNI AU					
c	Penerbitan NOTAM dari AirNav					
2	Kegiatan Akuisisi					
a	Mobilisasi ke Kota Pekanbaru					
b	Survey Pendahuluan					
c	Akuisisi LiDAR dan ICP					
d	Demobilisasi					
3	Pengolahan Data					
a	Pengolahan GNSS					
b	Pengolahan LiDAR					
c	Kontrol Kualitas					
4	Penyajian & Pelaporan					
a	Penggabungan Data Topografi					
b	Penyajian & Analisis					
c	Pelaporan					

Disisi lain, kegiatan akuisisi hingga pelaporan survei topografi secara terestrial memerlukan waktu yang relatif lebih panjang dibandingkan dengan LIDAR, yaitu selama kurang lebih 7 minggu. Hal tersebut dikarenakan kegiatan survei secara terestrial bergantung pada berbagai macam faktor seperti, kondisi cuaca, kondisi *terrain*, perizinan dengan pemilik lahan, dan faktor keselamatan personil. Adapun jadwal secara merinci dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 3** .

Tabel 5. 3 Jadwal Kegiatan Survei terestrial Ruas Pekanbaru-Bangkinang

No	Kegiatan	Bulan Ke-1	Bulan Ke-2				Bulan Ke-3	
		Minggu Ke-4	Minggu Ke-1	Minggu Ke-2	Minggu Ke-3	Minggu Ke-2	Minggu Ke-3	Minggu Ke-4
1	Kegiatan Akuisisi							
a	Mobilisasi ke Kota Pekanbaru							
b	Survey Pendahuluan							
c	Akuisisi Jalur Darat							
d	Demobilisasi							
2	Pengolahan Data							
a	Pengolahan GNSS							
b	Pengolahan Data Terestris							
c	Kontrol Kualitas							
3	Penyajian & Pelaporan							
a	Penggabungan Data							
b	Analisis & Penyajian							
c	Pelaporan							

5.2 Analisis Data

5.2.1 Analisis Kualitas Data Topografi LIDAR

Dalam penelitian ini, telah dilakukan pengambilan data topografi dengan metode LIDAR sepanjang kurang lebih 44 kilometer dengan berbagai macam hasil maupun kualitas. Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa pengambilan data LIDAR menggunakan suatu wahana pesawat *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *Fixed Wing* V-TOL yang telah terpasang sensor LIDAR. Penggunaan LIDAR pada wahana UAV diyakini memiliki kemampuan untuk mendapatkan data secara akurat dan relatif lebih cepat untuk koridor rencana jalan tol Ruas Pekanbaru-Bangkinan sepanjang 40 kilometer. Selain itu, isu tentang uji akurasi tentu menjadi perhatian utama, dimana untuk memenuhi kualitas pada standar yang diregulasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk peta skala besar skala 1:1000 perlu dilakukan pengujian secara statistik terhadap data ICP. Namun, sebelum dilakukan proses pengujian akurasi, data LIDAR yang telah dikonversi dan dikoreksi antar lajur terbang selanjutnya harus diklasifikasi kedalam kelas *ground* yang bertujuan untuk mengeliminasi objek/fitur selain *ground* contohnya yaitu rumah, pohon, vegetasi, SUTT dan lain sebagainya. Dapat

ditampilkan pada **Gambar 5. 5** yang merupakan visualisasi dari data LIDAR dalam bentuk DTM (*Digital Terrain Model*), DTM merupakan *surface* yang sudah dibersihkan dari objek/fitur *non-ground* pada tahapan klasifikasi.



Gambar 5. 5 DTM Rencana Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang

Mengutip dari penelitian yang dilaksanakan oleh (Ahmed et.al, 2019) bahwa pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan data LIDAR terhadap data pengukuran terestrial sebagai nilai yang dianggap sudah benar (*true value*). Perbandingan nilai yang dilakukan yaitu membandingkan elevasi data LIDAR (Z) terhadap nilai elevasi BM yang sudah berada pada sistem koordinat yang sama. Titik BM dan ICP yang dimaksud tersebar sepanjang area rencana Jalan Tol sepanjang ± 40 KM, dimana distribusinya sesuai pada **Gambar 5. 1** di sub bab 5.1.1. Untuk nilai perbandingan tersebut dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 4** sebagai berikut.

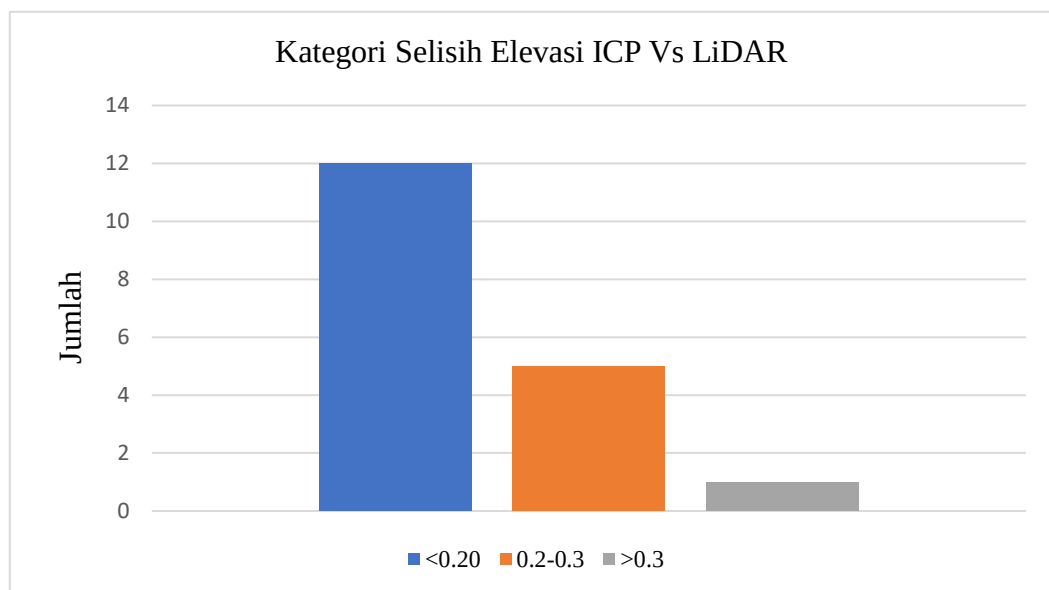
Tabel 5. 4 Uji Akurasi Elevasi LIDAR terhadap ICP di Ruas Pekanbaru-Bangkinang

No	Nama ICP	STA	(1) Elevasi GNSS (m)	(2) Elevasi LIDAR (m)	Selisih Elevasi (1) dan (2) (m)
1	CP.5	35+100	66.402	66.788	0.386
2	HKI.1'	1+100	19.706	19.48	0.226
3	HKI.1A'	1+100	19.473	19.43	0.043
4	HKI.2'	6+000	22.052	22.092	0.040
5	HKI.2A'	6+000	21.35	21.287	0.063
6	HKI.3'	10+500	42.514	42.381	0.133
7	HKI.3A'	10+500	42.765	42.737	0.028
8	HKI.5	23+200	54.797	54.804	0.007
9	HKI.8	33+300	68.851	69.062	0.211
10	HKI.8A	33+300	69.299	69.598	0.299
11	HKI.9	36+500	38.553	38.345	0.208
12	HKI.9A	36+500	38.664	38.742	0.078
13	HKJT.32	2+900	19.306	19.225	0.081
14	HKJT.32A	2+900	19.116	19.109	0.007
15	HKJT.34	13+600	32.232	32.328	0.096
16	HKJT.34A	13+600	31.279	31.484	0.205
17	HKJT.35A	16+700	39.582	39.713	0.131
18	HKJT.5	35+100	63.454	63.724	0.270

Setelah dilakukan proses pengurangan elevasi titik antara Elevasi berdasarkan GNSS dan LIDAR pada **Tabel 5. 4**, kemudian dilanjutkan untuk mengkategorikan menjadi beberapa kelas untuk mempermudah proses analisis data. Kategorisasi data terbagi menjadi 3 kelas yang berbeda yaitu selisih data dibawah 20cm, selisih data diantara 20 dan 30 cm, dan lebih dari 30 cm. Jumlah dari titik dengan kategori-kategori tersebut dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 5**, selain itu juga dikategorikan nilai selisih data elevasi antara LIDAR dan titik uji ditampilkan dapat divisualisasikan secara grafik pada **Gambar 5. 6**.

Tabel 5. 5 Tabel Jumlah Titik Berdasarkan Kategori

No	Kategori	Jumlah Titik
1	Kurang dari 20cm	12
2	Diantara 20 dan 30cm	5
3	Lebih dari 30cm	1



Gambar 5. 6 Grafik Selisih Elevasi LIDAR dan ICP

Selain itu, berdasarkan hasil yang ditampilkan pada **Tabel 5. 5** dan **Gambar 5. 6** menunjukkan bahwa secara umum selisih elevasi di 66.67 % titik uji memiliki nilai dibawah 20 cm, 27.78 % titik uji memiliki nilai selisih elevasi pada rentang 20 hingga 30 cm, sedangkan 5.55 % memiliki selisih lebih dari 30 cm. Kemudian dapat ditampilkan pula berupa analisa statistik secara deskriptif berupa nilai maksimum, minimum, rerata dan simpangan baku. Selengkapanya tentang analisis statistik secara deskriptif dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 6** sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Statistik Selisih Elevasi LIDAR dan ICP di Rencana Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Hasil statistik selisih elevasi metode terestrial dan LIDAR (m)			
Minimum	Maksimum	Rerata	Simpangan Baku
0,007	0,386	0,140	0,107

Berdasarkan tabel diatas, data LIDAR yang paling akurat memiliki kedekatan nilai terhadap titik ICP yang diukur secara dengan perbedaan hanya 0,007 m atau 7 mm yaitu pada titik uji ICP HKI 5 dan HKJT.32 A, sedangkan selisih terbesar atau nilai LIDAR yang paling tidak akurat adalah 0,386 m atau 38,6 cm yaitu pada titik ICP CP5. Secara rerata, selisih antar kedua metode yaitu 0,14 m atau 14 cm, serta memiliki nilai simpangan baku yang cukup baik yaitu 0,107 m atau 10,7 cm. Nilai simpangan baku yang semakin kecil menandakan estimasi dalam suatu populasi semakin tepat (Alfiani et al, 2020).

Setelah mendapatkan hasil Analisa statistik secara deskriptif untuk mengidentifikasi awal berupa kualitas data, kemudian dilanjutkan dengan membandingkan data tersebut terhadap standar acuan yang sudah terstandarisasi oleh Pemerintah melalui Badan Informasi Geospasial (BIG), yang tertuang pada Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar sesuai Peraturan Kepala BIG Nomor 6 Tahun 2018, dengan membandingkan nilai *Linear Error* 90% (LE 90) ketelitian geometrik vertikal (Z) LIDAR terhadap ICP yang diukur dengan metode GNSS. Selengkapnya dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 7** sebagai berikut.

Tabel 5. 7 *Summary* validasi Akurasi LIDAR pada Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Kesimpulan Uji akurasi data LIDAR Ruas Pekanbaru - Bangkinang				
Rerata	Simpangan Baku	LE 90	Toleransi Elevasi Peta Skala 1: 1000 Kelas 1	Keterangan
0,140	0,107	0,176	0,20	Diterima

Sesuai hasil Analisa perbandingan pada **Tabel 5. 7**, perhitungan secara statistik dapat dihitung dengan menghitung nilai LE90 dimana hasilnya sebesar 17.6 cm, hasil tersebut telah memenuhi toleransi yang tercantum pada Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar Skala 1:1000 Kelas 1 dengan nilai rujukannya sebesar 20 cm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, data LIDAR hasil pengolahan data telah memenuhi toleransi dan standar yang telah ditetapkan,serta dapat dipertanggung jawabkan berdasarkan dari peraturan yang berlaku untuk peta dasar skala 1:1000 kelas 1.

5.2.2 Analisa Tingkat Keandalan Data LiDAR Terhadap Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

Analisa perbandingan Data LIDAR dan terrestrial dapat ditinjau melalui beberapa aspek seperti, kedetailan data *surface* LIDAR dan terrestrial, dan Perbandingan Profil LIDAR dan terrestrial.

5.2.2.1 Perbandingan Profil LIDAR dan Terrestrial

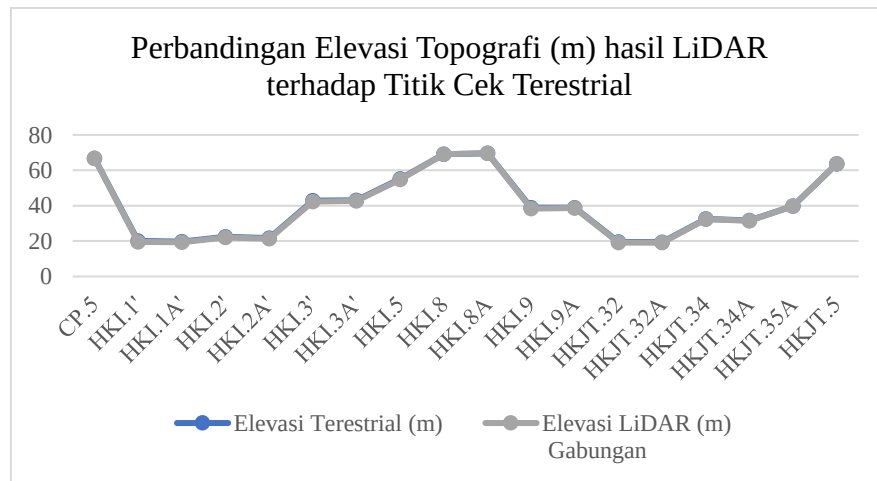
Berdasarkan dari *sample plotting* yang didapat dari kontur LIDAR dan terrestrial di lokasi yang sama yaitu di STA 10+220 – 10+320 Ruas Tol Pekanbaru-Bangkinang, didapat selisih perbandingan secara visual tidak mengalami perbedaan yang signifikan, visualisasi dari perbandingan tersebut dapat ditampilkan melalui **Gambar 5. 7** sebagai berikut. Untuk hasil perbandingan profil antara LIDAR dan terrestrial pada keseluruhan jalan tol dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 5. 7 Profil Perbandingan LIDAR dan terrestrial

Sesuai dengan visualisasi dari Profil Perbandingan pada **Gambar 5. 7**, perlu juga didukung dengan perhitungan secara statistik terhadap elevasi ICP, dimana

hasil hitungan tersebut saling berhimpit satu sama lain antara data LIDAR dan terestrial. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data tersebut secara visual maupun perhitungan statistik tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Adapun visualisasi dari grafik elevasi LIDAR dan terestrial terhadap ICP dapat ditampilkan pada **Gambar 5. 8** sebagai berikut.

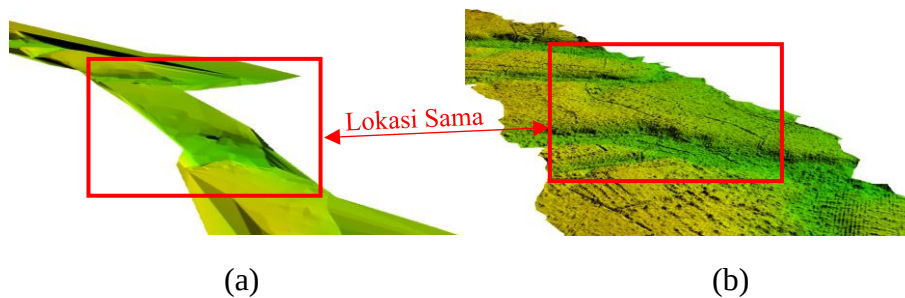


Gambar 5. 8 Grafik Elevasi Hasil LIDAR terhadap terestrial

5.2.2.2 Perbandingan Kedetailan *Surface* LIDAR dan Terestrial

Berdasarkan pada aspek kedetailan data LIDAR dan terestrial terdapat perbedaan yang cukup signifikan diantara keduanya. Hal tersebut terjadi karena disebabkan oleh berbagai macam aspek, salah satunya yaitu densitas titik.

Dalam kaitannya analisa kedetailan dapat dilihat secara visual bahwa perbedaan antara data *surface* LIDAR dan terestrial cukup berbeda signifikan. Perbandingan yang berada di lokasi yang sama tersebut dapat ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Perbandingan *Surface* dari metode survei terestrial (a) dan LIDAR (b)

Berdasarkan **Gambar 5. 9** yang menerangkan secara visual dari *Surface* DTM yang didapat dari proses pemodelan dapat dilihat bahwa kedetailan dari data LIDAR memiliki informasi data elevasi yang jauh lebih detail jika dibandingkan dengan *Surface* DTM terestrial yang menggunakan metode pemodelan yang sama. Selain dilihat secara visual, kedetailan data juga dapat direpresentasikan secara kuantitatif dengan nilai densitas titik. Densitas titik dihitung dengan memperhitungkan jumlah titik per satuan luas suatu area. Untuk hasil perhitungan densitas tersebut dapat ditampilkan melalui **Tabel 5. 8** sebagai berikut.

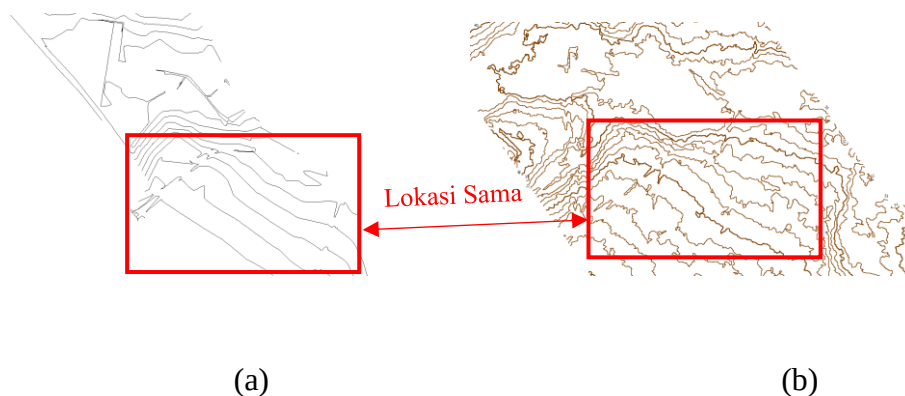
Tabel 5. 8 Tabel Perbandingan Densitas titik LIDAR dan terestrial

LIDAR	5-10 titik/m ²
terestrial	0.01 titik/m ²

Berdasarkan **Tabel 5. 8** dapat disimpulkan bahwa data LIDAR memiliki tingkat kerapatan titik yang lebih rapat dibandingkan dengan data terestrial di area yang sudah diklasifikasikan secara *ground*, hal tersebut dapat menjelaskan bahwa *Surface* LIDAR menghasilkan densitas titik yang tinggi menghasilkan *spacing* yang lebih rapat dan berakibat pada peningkatan akurasi suatu perhitungan terhadap *true value* nya (Matinnia, 2018).

5.2.2.3 Analisa Perbandingan Volume Galian dan Timbunan antara Metode LIDAR dan Terestrial

Data *Surface* LIDAR dan terestrial yang selanjutnya dilakukan pengolahan lanjutan untuk mendapatkan Kontur dengan menggunakan perangkat lunak GIS (*Geographic Information System*). Kontur yang didapat dari hasil pengolahan LIDAR dan terestrial di Ruas Pekanbaru-Bangkinang akan ditampilkan pada **Gambar 5. 10** sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Kontur terestrial (a) dan LIDAR (b) Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang

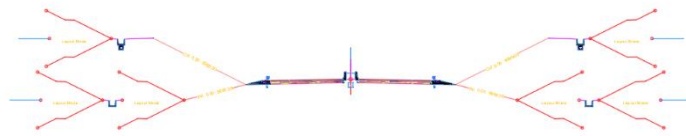
Kemudian dilanjutkan proses *setting* untuk menyesuaikan interval kontur minor dan mayor yang akan dihasilkan, kemudian di-*running* untuk mendapatkan *surface existing ground* (EG) sesuai dengan **Gambar 5. 11** sebagai berikut



Gambar 5. 11 *Surface Existing Ground* Ruas Pekanbaru-Bangkinang

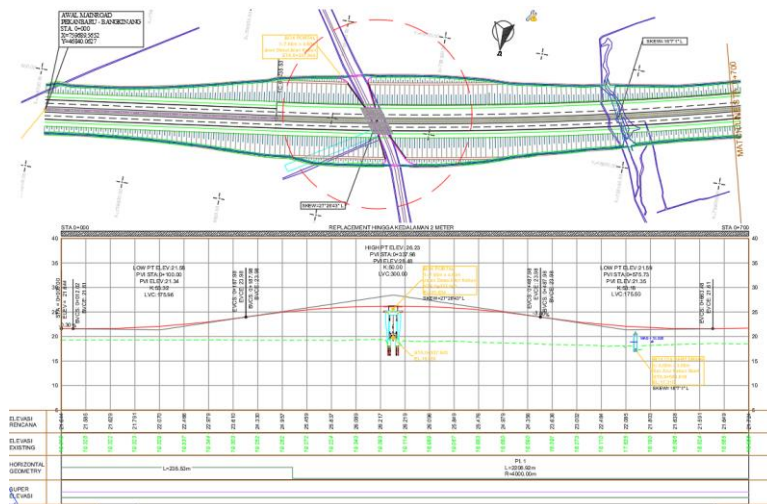
Setelah *surface* tersebut didapat yaitu proses pembuatan alinyemen horizontal dan vertikal sesuai dengan standar yang sudah ada. Kemudian berdasarkan alinyemen tersebut dilanjutkan dengan pembuatan tipikal potongan melintang jalan sesuai dengan acuan dan kondisi (galian, timbunan, superelevasi, dan lain

sebagainya). Adapun ilustrasi tipikal potongan melintang dapat ditampilkan pada **Gambar 5. 12** sebagai berikut.



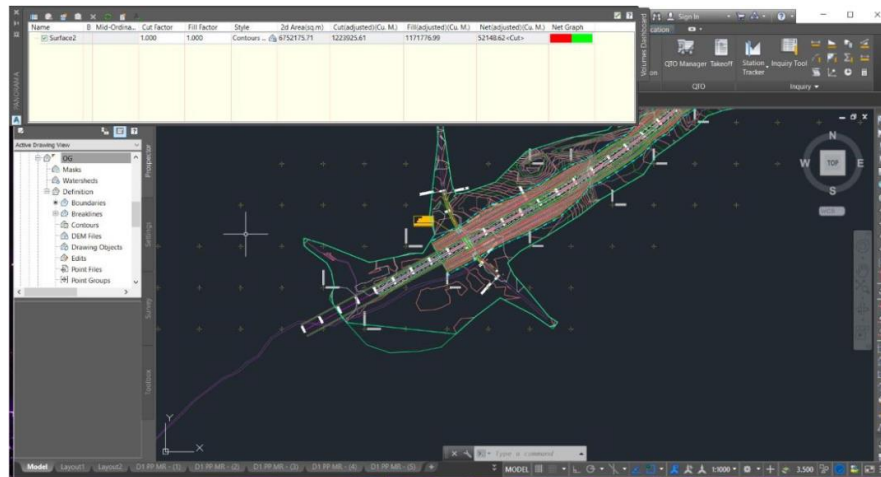
Gambar 5. 12 Tipikal Potongan Melintang Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Tipikal tersebut dibuat sesuai dengan rencana jalan tol yang akan dibangun, mencakup tiap lapisan jalan seperti TSG, Base A (ketebalan 15cm), *Lean Concrete* (LC) dengan ketebalan 10cm, dan *Rigid Pavement* dengan ketebalan 30cm. Kemudian berdasarkan data tipikal tersebut, dilanjutkan dengan pembuatan koridor jalan tol, yang terdiri atas lajur jalan, bahu jalan, saluran samping, serta lokasi galian dan timbunan telah termodelkan sesuai dengan ilustrasi pada **Gambar 5. 13** sebagai berikut.



Gambar 5. 13 Koridor Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang

Proses selanjutnya yaitu *running data surface*, koridor, dan tipikal untuk mendapatkan nilai volume galian dan Timbunan. Proses tersebut dapat ditampilkan pada **Gambar 5. 14** sebagai berikut.



Gambar 5. 14 Proses Penghitungan Volume Galian dan Timbunan dengan CAD

Berdasarkan proses tersebut kemudian dihasilkan suatu pelaporan mengenai rangkuman hasil perhitungan volume galian dan timbunan yang dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 9** sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Tabel Perbandingan Volume Galian dan Timbunan

	Volume LIDAR (m ³)	Volume terrestrial (m ³)	Selisih Volume (m ³)	% Selisih
Volume Timbunan	1.375.331	1.508.558	-133.227	-8.83%
Volume Galian	179.041	75.516	103.526	57.82%
Galian untuk ditimbun	107.425	45.309	62.115	57.82%
Galian untuk dibuang	71.616	30.206	41.410	57.82%
<i>Common Borrow Material</i>	1.267.906	1.463.249	-195.342	-13.35%

Berdasarkan pada **Tabel 5. 9** didapat nilai volume galian dan timbunan, dimana selisih volume timbunan dan galian, masing-masing sebesar 8.83% dan

57.82%. Perbedaan mencolok antara selisih kedua volume tersebut diakibatkan dari tingkat kedetailan morfologi permukaan tanah dan densitas titik kanopi yang berbeda (Xiao et al, 2017), berdasarkan pada Sub Bab 5.2.2 tentang pembahasan tingkat kedetailan dua *surface* terdapat perbedaan yang cukup signifikan, sehingga hal tersebut yang membuat selisih nilai volume timbunan mencapai 8.83%.

5.2.3 Analisis Perbandingan Biaya Berdasarkan Perbedaan Volume Galian dan Timbunan

Dalam penentuan total biaya pekerjaan tanah berupa galian dan timbunan diperlukan beberapa tahapan, dimulai dari (1) pengumpulan dokumen Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang dilakukan oleh PT Utama Karya Infrastruktur (HKI) sebagai kontraktor proyek ini, dan dilanjutkan dengan penyusunan (2) *Bill of Quantity* (BOQ) berdasarkan volume pekerjaan yang diperoleh pada **Sub Bab 5.2.2.3** baik untuk data terestrial dan LIDAR, setelah itu dilakukan (3) analisis perbandingan biaya dengan menghitung selisih dari total biaya yang dihasilkan dari kedua metode dan prosentase selisihnya.

5.2.3.1 Penyusunan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Estimasi biaya Pemilik merupakan suatu perkiraan dari suatu nilai (*value*), jumlah (*amount*), ukuran (*size*), dan berat (*weight*) yang diperlukan untuk pemilik proyek dalam melaksanakan aktivitas konstruksi. Dalam melaksanakan penyusunan nilai estimasi biaya yg diperlukan suatu proyek, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) yang tertuang pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, dibuat untuk memandu pelaksana konstruksi dalam menyusun suatu Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). AHSP terdiri atas berbagai komponen utama seperti, komponen personil, material, dan alat berat untuk menghasilkan harga satuan pekerjaan termasuk untuk pekerjaan tanah seperti galian dan timbunan proyek jalan tol.

Dalam penyusunan AHSP, pihak pelaksana/BUJT perlu menentukan beberapa hal seperti, jumlah item, volume pekerjaan, dan nilai harga dari masing-masing

item. Penetapan nilai harga material dan alat berat harus melalui survei secara langsung ke lokasi, hal tersebut dikarenakan besaran harga sangat bergantung pada area lokasi proyek yang berbeda-beda di setiap wilayah Indonesia. Selain itu, dalam proses penyusunan Analisis Harga Satuan, dibutuhkan data pendukung seperti spesifikasi konstruksi yang berisikan informasi mengenai, bahan, dimensi, metode kerja dan Analisa Teknik dari hasil kajian sebelumnya. Output dari penyusunan AHSP yaitu berupa dokumen yang berisikan mengenai uraian item, satuan, dan nilai harga satuan dari masing-masing komponen (personil, material, dan alat berat). Nilai harga satuan tersebut selanjutnya dijadikan dasar untuk perhitungan kebutuhan biaya per item pada sebuah BOQ.

5.2.3.2 Penyusunan *Bill of Quantity* (BOQ)

Bill of Quantity (BOQ) merupakan suatu dokumen yang menyajikan uraian item pekerjaan beserta estimasi biaya totalnya secara detail berisikan seperti uraian item, kuantitas, nilai harga satuan, dan estimasi biaya total termasuk didalamnya untuk pekerjaan tanah seperti galian dan timbunan. Aspek kuantitas merupakan suatu besaran yang diperoleh dari hasil hitungan pada rancangan teknis tahapan perencanaan, sedangkan untuk nilai harga satuan merupakan harga per satuan yang diperoleh dari output AHSP. Nilai kuantitas dan harga satuan tersebut kemudian dikalkulasi untuk memperoleh estimasi biaya total yang diperlukan oleh pelaksana konstruksi pada item-item tertentu. Adapun nilai dari kuantitas volume yang dikerjakan berdasarkan dari hasil perhitungan volume dari hasil data topografi LIDAR maupun terestrial yang diperoleh pada tahap sebelumnya.

Secara merinci, proses perhitungan BOQ dengan data topografi LIDAR dan terestrial meliputi beberapa tahapan yang sudah disampaikan pada **Sub Bab 5.2.3** seperti *import* data topografi, membuat *alinyemen* jalan tol, membuat *profile* jalan tol, membuat *assembly* jalan tol, membuat *corridor* jalan tol, membuat *superelevation* jalan tol dan perhitungan volume galian dan timbunan. Parameter-parameter untuk memperoleh nilai volume galian dan timbunan sangat berpengaruh pada kualitas data topografi dan desain jalan tol yang ingin dibangun. Dalam mendesain jalan tol di Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang perlu memperhitungkan kondisi topografi untuk menentukan desain yang tepat dan aman

untuk pengguna jalan tol. Berdasarkan data topografi yang diperoleh, kondisi di Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang cukup berbukit atau *hilly*. Sehingga berdasarkan dengan kriteria desain jalan tol Trans Sumatera, kondisi tersebut cocok menggunakan model jalan tol dengan kriteria geometrik jalan utama untuk kecepatan 80 km/jam. Maka dari itu, dalam membuat *assembly* atau model tipikal jalan tol harus mengikuti standar/kriteria model geometrik yang sudah disusun oleh PT. Hutama Karya (Persero) khususnya untuk kriteria desain kecepatan 80 km/jam yang kriteria-kriterianya dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 10** berikut.

Tabel 5. 10 Kriteria Desain Geometrik Jalan Tol (Sumber: PT. Hutama Karya (Persero))

No	Parameter Geometrik	Satuan	Usulan Kriteria Desain
1.	Kecepatan Rencana	Km/jam	80
2.	Parameter Potongan Melintang ▪ Lebar Lajur Lalu Lintas m 3,60 ▪ Lebar Bahu Luar m 3,00 ▪ Lebar Bahu Dalam m 1,50 ▪ Lebar Median (termasuk bahu dalam) m 5,50 ▪ Kemiringan Melintang Normal Jalur Lalu lintas % 2,00 ▪ Kemiringan Melintang Normal Bahu Luar (bahu luar berupa <i>Rigid Pavement</i>) % 2,00 ▪ Kemiringan Melintang Normal Bahu Luar (bahu luar berupa <i>Flexible Pavement</i>) % 4,00 ▪ Lebar ruang bebas (minimal) m 30,0 ▪ Kedalaman ruang bebas (minimal) m 1,50 ▪ Superelavasi Maksimum % 8,00 ▪ Tinggi Ruang Bebas Vertikal Minimum m 5,10 ▪ Tinggi Ruang Bebas diatas Jalan Rel Kereta Api m 6,50 ▪ Tinggi Ruang Bebas Vertikal Saluran Udara - Tegangan Tinggi/Extra Tinggi-PLN: - SUTT 66 kV m 8,00 - SUTT 150 kV m 9,00 - SUTET 275 kV m 11,00 - SUTET 500 kV m 15,00		
3.	Jarak Pandang Henti Minimum	m	130
4.	Parameter Alinemen Horizontal ▪ Jari-jari Tikungan Minimum m 400 ▪ Jari-jari Tikungan Minimum Dengan Kemiringan Normal m 3.500 ▪ Panjang Minimum Lengkung m 140 ▪ Panjang Lengkung Peralihan Minimum m 70 ▪ Jari-jari Tikungan Minimum Tanpa Lengkung Peralihan m 1.000 ▪ Kemiringan Permukaan Relatif Maks - 1/200 ▪ Bagian Lurus Maksimum m 4.200		
5.	Parameter Alinemen Vertikal ▪ Landai Maksimum (daerah pegunungan) % 4,00 ▪ Landai Minimum % 0,30 ▪ Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal : - Cembung m 4.500 - Cekung m 3.000 ▪ Panjang Minimum Lengkung Vertikal m 70		

Setelah model *assembly*, data topografi, data alinyemen, dan data lainnya diperoleh selanjutnya membuat *corridor* untuk melakukan analisis dan perhitungan lebih detail seperti perhitungan ketinggian, perhitungan *slope*, perhitungan ketinggian bahu jalan, dan perhitungan volume galian dan timbunan. Perhitungan volume galian dan timbunan dilakukan dengan menentukan parameter *horizontal baselines*, *vertical baselines*, dan *offset target*, dimana nilai yang diinputkan sebesar 25 meter yang artinya bahwa perhitungan volume galian dan timbunan setiap 25 meter. Cuplikan hasil perhitungan volume galian dan timbunan menggunakan perangkat lunak *Civil 3D* berdasarkan model desain dan data topografi menggunakan LIDAR dan terestrial di Ruas Jalan Tol Trans Sumatera Pekanbaru-Bangkinang ditampilkan pada **Gambar 5. 15** sebagai berikut dan secara lengkap dilampirkan pada **Lampiran 1**.

Volume Report
 Alignmen
 t: ALT4-S
 EG1 (2)
 Sample
 Line
 Group: S
 L LDR
 DEFAULT

Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusabl e Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)	Cum. Reusabl e Vol. (Cu.m.)	Cum. Fill Vol. (Cu.m.)	Cum. Net Vol. (Cu.m.)
9+075.00	0	0	0	11.69	146.16	0	0	146.16	-146.16
9+100.00	0	0	0	67.68	992.16	0	0	1138.32	-1138.3
9+125.00	0	0	0	133.21	2511.14	0	0	3649.46	-3649,5
9+150.00	0	0	0	191.07	4053.57	0	0	7703.03	-7703
9+175.00	0	0	0	234.45	5319.05	0	0	13022.1	-13022
9+200.00	0	0	0	306.33	6759.7	0	0	19781.8	-19782
9+225.00	0	0	0	322.76	7863.56	0	0	27645.3	-27645
9+250.00	0	0	0	360.52	8541.01	0	0	36186.4	-36186
9+275.00	0	0	0	394.07	9432.37	0	0	45618.7	-45619
9+300.00	0	0	0	389.32	9792.3	0	0	55411	-55411
9+325.00	0	0	0	358.11	9342.82	0	0	64753.8	-64754
9+350.00	0	0	0	362.47	9007.27	0	0	73761.1	-73761
9+375.00	0	0	0	345.32	8847.45	0	0	82608.6	-82609
9+400.00	0	0	0	287.11	7905.4	0	0	90514	-90514
9+425.00	0	0	0	155.36	5530.86	0	0	96044.8	-96045
9+450.00	0	0	0	42.51	2473.42	0	0	98518.3	-98518

Gambar 5. 15 Hasil Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

5.2.3.3 Analisis Perbandingan Biaya

Secara ringkas perhitungan estimasi biaya total dari pekerjaan tanah galian dan timbunan, dimana besaran kuantitas volume diperoleh sesuai dengan penjelasan pada **Sub Bab 5.2.2.3**, dan nilai harga satuan dari AHSP pada masing-masing teknologi LIDAR dan terestrial dapat dilampirkan pada **Tabel 5. 11 dan Tabel 5. 12** sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Tabel Perhitungan Biaya Berdasarkan Data terestrial

Item	Volume (m ³)	Harga Satuan (m ³)	Total Harga
Volume Timbunan	1,508,557.940		
Volume Galian	75,515.560		
Galian untuk ditimbun	45,309.336	Rp 98,900	Rp 4,481,093,330
Galian untuk dibuang	30,206.224	Rp 89,230	Rp 2,695,301,368
Common Borrow Material	1,463,248.604	Rp 166,030	Rp 242,943,165,722
		Total Harga	Rp 250,119,560,420

Tabel 5. 12 Tabel Perhitungan Biaya Berdasarkan Data LIDAR

Item	Volume (m ³)	Harga Satuan (m ³)	Total Harga
Volume Timbunan	1,375,330.950		
Volume Galian	179,041.170		
Galian untuk ditimbun	107,424.702	Rp 98,900	Rp 10,624,303,028
Galian untuk dibuang	71,616.468	Rp 89,230	Rp 6,390,337,440
Common Borrow Material	1,267,906.248	Rp 166,030	Rp 210,510,474,355
		Total Harga	Rp 227,525,114,823

Tabel 5. 13 Tabel Perhitungan Selisih Harga LIDAR dan terestrial

	Total Harga terestrial	Total Harga LIDAR
Galian untuk ditimbun	Rp 4,481,093,330	Rp 10,624,303,028
Galian untuk dibuang	Rp 2,695,301,368	Rp 6,390,337,440
CBM	Rp 242,943,165,722	Rp 210,510,474,355
Total Harga	Rp 250,119,560,420	Rp 227,525,114,823
Selisih	Rp 22,594,445,597	
% Selisih	9.03%	

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 5. 13** berupa ringkasan dari hasil perhitungan biaya dari perhitungan dengan data terestrial dan LIDAR, dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat selisih nilai total harga yang cukup signifikan yaitu sebesar 9.03%. Total Harga tersebut diakibatkan karena berbagai macam faktor dan banyak aspek, salah satunya yaitu akibat akurasi dan tingkat kedetailan dari data topografi.

5.2.4 Analisa Perbandingan Waktu Akuisisi hingga Pengolahan Data LIDAR dan terestrial

Selain perhitungan biaya berdasarkan dari perhitungan volume LIDAR maupun terestrial, metode yang digunakan yaitu membandingkan waktu yang diperlukan di setiap item pekerjaan, kemudian waktu tersebut dihitung efisiensinya untuk memperoleh gambaran produktifitas dari masing-masing metode. Detail kebutuhan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan data topografi dengan Teknologi LIDAR dan terestrial masing-masing dapat terlihat pada Lampiran 6 dan Lampiran 7. Untuk memsimplifikasi perhitungan kebutuhan waktu dari survei LIDAR dan terestrial tersebut dapat ditampilkan pada **Tabel 5. 14**.

Tabel 5. 14 Tabel Perbandingan Kebutuhan Waktu Metode LIDAR dan terestrial

	Pekerjaan Survei dan Pengolahan Data Topografi LIDAR dan terestrial				
	Persiapan/Perizinan (Hari)	Akuisisi (Hari)	Pengolahan (Hari)	Penyajian (Hari)	Total (Hari)
LIDAR	14	5	7	7	33
terestrial	7	40	21	21	89

Berdasarkan pada **Tabel 5. 14**, kebutuhan waktu yang diperlukan teknologi LIDAR untuk menyelesaikan pekerjaan pengadaan data topografi hampir 2.5 kali lipat lebih cepat dibandingkan secara konvensional atau terestrial.

Secara merinci, tahapan pertama untuk Survey LIDAR dengan UAV yaitu mengurus perizinan ke pihak-pihak berwenang sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani Indonesia. Untuk memperoleh Izin terbang yang legal harus melalui berbagai tahapan dan instansi pemerintahan. Untuk kebutuhan perizinan seperti dokumen dan waktu yang diperlukan secara rinci dilampirkan pada **Tabel 5. 15** sebagai berikut. Sesuai dengan **Tabel 5. 15** poin 1 Registrasi UAV dan Pilot di Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU), Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan telah dilaksanakan sebelum kegiatan survey dilaksanakan, lebih tepatnya saat unit pesawat tanpa awak tersebut dimiliki pertamakali, sehingga perhitungan waktu registrasi pesawat maupun pilot tidak diikut sertakan kedalam perhitungan. Lamanya kebutuhan waktu perizinan selama 14 hari diakibatkan oleh banyaknya dokumen-dokumen yang perlu divalidasi di tiap instansi yang berbeda seperti Kementerian Perhubungan, Kementerian Pertahanan, TNI-AU dan Airnav Indonesia sebagai pihak yang memiliki otoritas wilayah udara Republik Indonesia.

Tabel 5. 15 Tabel Kebutuhan Waktu Perizinan LIDAR Beserta Kebutuhan Waktu dan Dokumen

No	Item	Input	Output	Kebutuhan Waktu
1	Registrasi UAV dan Pilot pada Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU), Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan	Kebutuhan Dokumen: 1. Nama, kontak, kompetensi dan pengalaman pilot 2. Spesifikasi UAV dan Ground system 3. Rencana Penerbangan 4. Prosedur Pengoperasian dan Emergency 5. Sarana fasilitas komunikasi 6. Asuransi liabilitas pihak ketiga 7. Bukti kepemilikan drone	1. Sertifikat Drone Pilot 2. Dokumen Registrasi Drone	14 Hari*
2	Permohonan HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment) ke Airmav Indonesia	Kebutuhan Dokumen: 1. Nama, kontak, kompetensi dan pengalaman pilot 2. Spesifikasi UAV dan Ground system 3. Rencana Penerbangan 4. Prosedur Pengoperasian dan Emergency 5. Sarana fasilitas komunikasi 6. Asuransi liabilitas pihak ketiga	Dokumen HIRA (<i>Hazard Identification and Risk Assessment</i>)	4 Hari
3	Permohonan persetujuan pengoperasian drone pada Direktorat Navigasi Penerbangan, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan	Kebutuhan Dokumen: 1. Sertifikat Drone Pilot 2. Dokumen Registrasi Drone 3. Dokumen HIRA 4. Asuransi liabilitas pihak ketiga 5. Rencana penerbangan	Dokumen Persetujuan Pengoperasian Drone	5 Hari

No	Item	Input	Output	Kebutuhan Waktu
4	Permohonan Security Clearance dan Security Officer ke Direktorat Jenderal Strategi Pertahanan, Kementerian Pertahanan & TNI AU	Kebutuhan Dokumen: 1. Sertifikat Drone Pilot 2. Dokumen Registrasi Drone 3. Dokumen HIRA 4. Dokumen Persetujuan Pengoperasian Drone 5. Asuransi liabilitas pihak ketiga 6. Rencana penerbangan 7. Data Perusahaan 8. Data Tenaga Ahli 9. Data Personil 10. Data UAV 11. Data Peralatan	Dokumen Security Clearance dan Surat Perintah <i>Security Officer</i>	3 Hari
5	Pengajuan NOTAM ke Airtav Indonesia	Kebutuhan Dokumen: 1. Sertifikat Drone Pilot 2. Dokumen Registrasi Drone 3. Dokumen HIRA 4. Dokumen Persetujuan Pengoperasian Drone 5. Asuransi Liabilitas Pihak Ketiga 6. Dokumen Security Clearance 7. Surat Perintah Security Officer 8. Rencana Penerbangan	NOTAM	2 Hari

Setelah dokumen NOTAM yang diperoleh dari instansi Airtav Indonesia di wilayah udara area Pekanbaru, kegiatan survey LIDAR pun dapat dilakukan yang didampingi oleh Security Officer dari TNI-AU selama kegiatan akuisisi berlangsung. Kegiatan akuisisi dilaksanakan selama kurang lebih 5 hari untuk panjang area yang diakuisisi sepanjang ± 40 kilometer, dimulai dari Mobilisasi Tim dari Jakarta, kemudian Pemasangan BM sekaligus survey pendahuluan lokasi *takeoff* dan *landing* dan pengukuran GPS, akuisisi LIDAR sepanjang 40 kilometer yang terbagi menjadi 2 hari yang masing-masing mengakuisisi sepanjang 20

kilometer perharinya dengan personil 3 orang (pilot, *visual observer*, dan Surveyor GPS) dan ketinggian terbang disekitar 80-120 meter yang tetap memenuhi dari yang disyaratkan 150 meter menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 90 Tahun 2015, QC (*Quality Control*) data untuk memastikan kelengkapan data, dan demobilisasi tim kembali ke Jakarta.

Setelah data diperoleh dan dikumpulkan kemudian tahap pertama yaitu melakukan pengolahan data GNSS untuk memperoleh koordinat BM sebagai acuan pengolahan LIDAR, proses *Generate Point Cloud* atau ekstraksi *raw* data hingga *Deliverable* Data dilaksanakan kurang lebih 14 hari oleh 1 personil untuk memperoleh data output kontur dan DTM (*Digital Terrain Model*) yang digunakan sebagai bahan analisis selanjutnya. Walaupun pekerjaan pengolahan data dilakukan hanya oleh 1 personil, hal tersebut dimungkinkan karena prosesnya memanfaatkan perangkat lunak yang dapat memproses data secara *semi-automatic* dan *automatic*. Adapun rincian kegiatan akuisisi hingga penyajian data LIDAR lengkap dengan kebutuhan total waktu dapat dilampirkan pada **Tabel 5. 16** sebagai berikut.

Tabel 5. 16 Tabel Kebutuhan Waktu Pengolahan hingga Penyajian Data

No	Item	Kebutuhan Waktu	Total
1	Akuisisi Data		
a	Mobilisasi	1 Hari	5 Hari
b	Pemasangan BM dan Pengukuran GPS	1 Hari	
c	Akuisisi LIDAR	2 Hari	
d	QC Data & Demobilisasi	1 Hari	
2	Pengolahan Data		
a	Pengolahan Data GNSS	1 Hari	7 Hari
b	<i>Generate Point Cloud</i>	1 Hari	
c	<i>Convert Data</i>	1 Hari	
d	<i>Data Matching</i>	2 Hari	
e	Klasifikasi Data	2 Hari	
3	Penyajian Data		

No	Item	Kebutuhan Waktu	Total
a	<i>Breakline Data</i>	2 Hari	7 Hari
b	Membuat <i>Boundary</i>	1 Hari	
c	<i>Generate Kontur</i>	2 Hari	
d	QC Data	1 Hari	
e	<i>Deliverable Data</i>	1 Hari	

Selain survey LIDAR, dalam penelitian ini survei terestrial juga dilaksanakan untuk memperoleh data sebagai bahan analisis. Untuk memperoleh data terestrial dilakukan dengan beberapa tahapan seperti, persiapan kegiatan lapangan meliputi perizinan, akuisisi data, pengolahan data dan penyajian data. Pada tahapan persiapan kegiatan akuisisi yaitu melakukan tahapan perencanaan peletakan lokasi BM dan area-area yang akan diakuisisi berdasarkan dari data Rencana Design Ruas Jalan Tol Pekanbaru-Bangkinang. Setelah tahap persiapan, kemudian tim melaksanakan mobilisasi ke lokasi survei untuk melaksanakan survey pendahuluan untuk mengetahui kondisi lapangan, pematokan BM sesuai lokasi rencana, kemudian pengukuran kerangka dasar horizontal dengan alat *Total Station*, hingga ke proses pengukuran detil situasi setiap 25 meter, dengan total personil 3 orang dengan produktifitas sebesar 1km/hari, sehingga total kebutuhan waktu akuisisi sepanjang ± 40 km memerlukan sekitar 40 hari kerja.

Setelah data akuisisi diperoleh, kemudian dilanjutkan proses pengolahan data yang memerlukan waktu sekitar 3 minggu atau 21 hari kerja dengan tahapan proses meliputi *compile data*, *convert* data dari form kedalam digital sekaligus pengecekannya, menghitung perataan untuk meminimalisir kesalahan sistematis, dan dilakukan QC data. Setelah proses pengolahan data diperoleh, selanjutnya data tersebut perlu di *plot* kedalam CAD dan peta untuk menghasilkan output data berupa kontur dan digitasi. Proses pengolahan hingga penyajian data dikerjakan oleh 2 personil (1 orang pengolah data (*data processor*) dan 1 orang *drafter*) dalam waktu kurang lebih 42 hari, durasi waktu tersebut sangat dipengaruhi oleh metode pengerjaan secara manual, sehingga hal tersebut mengakibatkan lama waktu pengerjaan yang lebih lama dan lebih rentan kesalahan dibandingkan survey

LIDAR. Adapun penjelasan tersebut dilampirkan dalam bentuk tabulasi pada **Tabel 5. 17** sebagai berikut.

Tabel 5. 17 Tabel Kebutuhan Waktu Proses Survey terrestrial

No	Item	Kebutuhan Waktu	Total
1	Persiapan		
a	Perizinan ke Pihak Pemilik Lahan	2 Hari	7 Hari
b	Perencanaan titik Lokasi BM	1 Hari	
c	Persiapan Alat & Tim	2 Hari	
d	Mobilisasi	2 Hari	
2	Akuisisi Data		
a	Survey Pendahuluan		40 Hari
b	Pematokan/Pemasangan BM	5 Hari	
c	Pengukuran Kerangka Dasar Horisontal	14 Hari	
d	Pengukuran Detil Situasi	7 Hari	
e	Pengukuran Kerangka Dasar Vertikal	14 Hari	
3	Pengolahan Data		
a	Compiling Data	3 Hari	21 Hari
b	Digitalisasi Form	2 Hari	
c	Hitung Perataan	14 Hari	
d	QC Data	2 Hari	
4	Penyajian Data		
a	Plot Data	2 Hari	21 Hari
b	Pembuatan Kontur	5 Hari	
c	Digitasi	5 Hari	
d	Kartografi	7 Hari	
e	QC Data	1 Hari	
f	Deliverable Data	1 Hari	

Menurut (Handoko, 1995) efisiensi merupakan kemampuan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan secara benar. Proses penentuan efisiensi yaitu dengan membandingkan waktu yang diperlukan (waktu standar) dengan waktu aktual. Berdasarkan dengan hal itu dalam menentukan besaran efisiensi dapat diasumsikan pengukuran secara terrestrial merupakan acuan standar, sedangkan untuk LIDAR sebagai waktu aktual. Sehingga, dengan rumusan tersebut nilai efisiensi pekerjaan LIDAR terhadap terrestrial didapat sebesar 62.9%

5.3 Pembahasan

5.3.1 Aspek Kualitas Data Topografi LiDAR

Berdasarkan hasil analisis pada Sub Bab 5.2.1 membahas tentang akurasi topografi data LIDAR dibandingkan terhadap data terestrial, pengujian akurasi dilihat dari nilai LE90 di angka 17.6 cm dengan nilai rujukan sebesar 20 cm pada kelas 1. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan UAV dengan sensor LIDAR untuk memperoleh data topografi pada area dengan kondisi vegetasi lebat serta terrain yang berbukit menghasilkan data topografi akurat yang dapat digunakan untuk *Detailed Engineering Design* (DED).

Selain UAV dengan sensor LiDAR tersebut, penggunaan UAV dengan kamera non-metrik juga dapat menghasilkan data topografi dengan pertimbangan biaya jasa maupun investasi yang relatif lebih murah, tidak dapat menghasilkan data topografi akurat untuk *detailed design* seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Oliver et al, 2022). Dengan nilai RMEz 22.502 m mengakibatkan perbedaan antara elevasi di peta terhadap elevasi sebenarnya sebesar 22.502 m secara rerata. Hasil perhitungan LE90 sebesar 37.126 m menunjukkan bahwa ketelitian produk peta topografi yang dihasilkan termasuk dalam peta topografi skala 1 : 100.000 kelas 3. Hal ini mengindikasikan bahwa metode fotogrametri tanpa *Ground Control Point* (GCP) dengan penggunaan *software open-source* hanya tepat jika digunakan untuk kegiatan *preliminary design* atau *feasibility study*. Sehingga jelas bahwa untuk studi kasus perencanaan jalan tol, dimana kondisi eksisting-nya sebagian besar berupa tutupan vegetasi lebat di terrain ekstrim, penggunaan teknologi LIDAR menghasilkan data yang lebih detail dan akurat (Alex et al, 2020).

5.3.2 Aspek Tingkat Keandalan Data LiDAR Terhadap Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

Data LIDAR memiliki keunggulan pada aspek kedetailan data yang lebih detail dibandingkan data topografi terestrial, hal tersebut dikarenakan LiDAR memiliki tingkat kerapatan titik yang lebih rapat dibandingkan terestrial (Khomsin et al, 2018). Kedetailan data merupakan aspek yang cukup penting dalam perhitungan suatu volume galian dan timbunan, dimana diperlukan data yang paling representatif dengan kondisi aktual di lapangan. Hal tersebut sesuai dengan

pembahasan pada Sub Bab 5.2.1 dan **Tabel 5. 7**, mengenai ketelitian data LIDAR yang mencapai 20 cm dan densitas titik mencapai 5-10 titik/m² relatif lebih baik jika dibandingkan dengan data terestrial yang memiliki densitas titik sebesar 0.01 titik/ m².

Hasil pembahasan tersebut kemudian diperkuat oleh penelitian Contreras et al (2012), dimana penelitian tersebut diperoleh pada studi kasus proyek pembangunan jalan di Coeur d'Alene, Idaho, Amerika Serikat. Hasil penelitian perbandingan data dari kedua teknologi, yang diperoleh dari pengukuran secara konvensional atau terestrial dan LIDAR sepanjang kurang lebih 80 meter dengan resolusi spasial masing-masing sebesar 30meter dan 1 meter, menunjukan bahwa dengan data LIDAR dapat memberikan informasi variasi terrain yang lebih detail dan teliti. Setelah dilakukan proses verifikasi, hasil pemodelan dan perhitungan dengan data LIDAR menyajikan perhitungan volume galian dan timbunan serta merepresentasikan permukaan bumi secara lebih akurat jika dibandingkan dengan metode terestrial. Kesimpulan yang diperoleh yaitu, estimasi perhitungan volume galian dan timbunan akan semakin akurat jika resolusi spasial data semakin kecil.

Merujuk pada data hasil penelitian sesuai yang ditampilkan pada **Tabel 5. 9**, data LiDAR lebih handal dibandingkan dengan terestrial dalam mengidentifikasi volume timbunan dan galian sebesar 8.83% dan 57.82%. Dengan densitas data LIDAR yang memiliki jumlah 5-10 titik/m² membuat LIDAR lebih detail sehingga selisih 8.83% yang lebih kecil terhadap terestrial dalam perhitungan volume timbunan dianggap sebagai volume timbunan yang berlebih. Sedangkan untuk daerah galian, perbedaan volume data LIDAR yang lebih besar mengindikasikan nilai volume hasil survei LIDAR lebih detail dan memperhitungkan 103,526 m³ (57.82%) yang tidak terlihat pada perhitungan volume berdasarkan data terestrial. Penggunaan data terestrial pada studi kasus ini akan mengakibatkan adanya potensi *cost-overrun* pada item pekerjaan galian tanah sebesar 57,82%.

Untuk mendapatkan nilai volume Galian untuk ditimbun dan dibuang, perlu dikalikan dengan suatu koefisien penanganan tanah yang didapatkan dari hasil estimasi berdasarkan kondisi tanah aktual di lapangan, koefisien tersebut diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan penelitian karakteristik tanah di area proyek yang

mana masing-masing sebesar 0.6 untuk karakteristik tanah yang masih bisa digunakan untuk ditimbun kembali dan 0.4 yang memiliki karakteristik tanah yang harus dibuang. Perlu menjadi catatan bahwa nilai koefisien tersebut tidaklah baku di seluruh lokasi, melainkan tergantung dari kondisi tanah yang bervariasi di setiap daerah sesuai dengan hasil analisa penanganan tanah oleh pihak pelaksana dan disetujui oleh pemilik proyek. Sedangkan untuk mendapatkan nilai *Common Borrow Material* (CBM) didapatkan dari pengurangan volume timbunan dengan volume galian untuk ditimbun.

5.3.3 Aspek Biaya

Berdasarkan dari hasil perhitungan biaya yang dibutuhkan dalam pekerjaan tanah untuk galian dan timbunan antara LIDAR dan terestrial terdapat perbedaan yang cukup signifikan, nilai volume tersebut kemudian dikalkulasi dengan suatu nilai harga satuan untuk mendapatkan total harga. Hasilnya yaitu menunjukkan bahwa total harga perkiraan yang dihasilkan dari data LIDAR dan terestrial memiliki selisih 9.03% yang mana untuk proyek-proyek besar seperti konstruksi jalan tol cukup signifikan penghematannya.

Perhitungan pekerjaan galian dan timbunan yang detail sangat berpengaruh signifikan terhadap biaya keseluruhan proyek. Jika mengacu pada *Bill of Quantity* Proyek Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Bagkinang (PT. Utama Karya (Persero), 2019), hal tersebut terjadi karena pekerjaan galian dan timbunan termasuk dalam 10 major item dari total 178 item pekerjaan dalam kontrak sesuai **Tabel 5. 18**, berikut.

Tabel 5. 18 List *Major Item* Pekerjaan pada Proyek Jalan Tol Tras Sumatera Ruas Pekanbaru - Bangkinang

No	Item Pekerjaan	Prosentase terhadap Total Biaya Kontrak
1	Spesifikasi Khusus Interim Pekerjaan Percepatan Konsolidasi Tanah dengan Metode Penyalir Vertikal dengan Vakum dan PVD	11.587 %
2	Perkerasan Beton	10.877 %
3	Common Borrow Material 0 – 5 km	6.189 %
4	Common Borrow Material 5 - 10 km	5.557 %
5	Aspal Pen.60/70	4.451 %
6	Concrete Barrier, tipe – A (Tipe Double Barrier 1/2 Pasang)	3.666 %
7	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	3.568 %
8	Penyediaan tiang pancang Tipe B beton bulat pretensioned, dia. 60 cm	3.40 %
9	Asphalt Concrete Base Course	3.345 %
10	Common Borrow Material 10 - 15 km	3.299 %
TOTAL		55,941 %

Berdasarkan **Tabel 5. 18**, dapat dilihat bahwa 10 item pekerjaan yang hanya 0,05% dari keseluruhan item kontrak tersebut memiliki prosentase sebesar 55,941% dari total keseluruhan total biaya kontrak. Jika dilihat lebih detail, *item* pekerjaan tanah yaitu *Common Borrow Material* pada STA 0+000 s/d 15+000 (*item* pekerjaan nomor 3,4 dan 10) pada Ruas Pekanbaru – Bangkinang ini secara total memiliki prosentase 15,045%. Prosentase tersebut menempatkan item pekerjaan *Common Borrow Material* menjadi item dengan prosentase terbesar dari 10 *major item* di Proyek Jalan Tol Ruas Pekanbaru – Bangkinang tersebut.

Pekerjaan *Common Borrow Material* yang merupakan pekerjaan timbunan tanah dengan bahan timbunan bukan berasal dari galian di area eksisting (Tanjung, 2022), diperoleh dari selisih antara perhitungan antara volume timbunan yang dikerjakan terhadap volume galian untuk ditimbun. Pada saat perencanaan, volume pekerjaan tanah tersebut sangat dipengaruhi oleh data topografi yang digunakan, dikarenakan dalam prosesnya perhitungan volume galian dan timbunan hanya memerlukan 2 komponen utama, yaitu (1) data topografi dan (2) alinyemen jalan tol.

Kualitas data topografi sangat dipengaruhi resolusi spasial dari data LIDAR yang berbeda dengan terestrial, hal tersebut tercermin pada tampilan perbandingan DTM pada sub bab sebelumnya. Semakin tinggi resolusi spasial, maka akan semakin representatif juga data tersebut dengan keadaan aktual di lapangan. Selain itu, jika dibuat grafik hubungan aspek biaya dengan aspek kebutuhan waktu membentuk suatu grafik garis lurus, semakin lama waktu akuisisi dan pengolahan data, maka akan semakin besar pula kebutuhan biaya yang diperlukan. Hal tersebut secara garis lurus didukung oleh Matinnia et al (2018) pada penelitiannya. Sehingga faktor kedetailan data yang sudah diulas pada Sub Bab 5.2.1 yang mempengaruhi hasil perhitungan volume Galian dan Timbunan sesuai pada **Tabel 5. 9**, dan didukung oleh penelitian Matinnia et al (2018) akan sangat menentukan besarnya volume *Common Borrow Material*.

Selisih biaya antar kedua metode survey sebesar 9.03% yang diperoleh pada penelitian ini tergolong efisien. Hasil tersebut berbanding lurus dengan penelitian yang ditulis oleh Betlejewski et al (2015), dimana penggunaan teknologi baru yang ramah lingkungan pada suatu konstruksi bangunan di negara-negara eropa, mampu mereduksi biaya investasi sebesar 10% yang masuk dalam kategori efisien jika dibandingkan dengan penggunaan teknologi konvensional. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan teknologi LIDAR untuk perhitungan item pekerjaan tanah berupa galian dan timbunan pada fase perencanaan, PT Utama Karya (Persero) selaku BUJT memperoleh efisiensi sebesar 9,03%.

Dalam penelitian (Serrador, 2014) dalam kajiannya mengenai hubungan antara efisiensi pada proyek terhadap kesuksesan sebuah proyek, tidak ada ukuran yang riil mengenai klasifikasi efisiensi. Terdapat 7 tingkatan atau skala untuk mengukur bagaimana pelaksana proyek mengelola biaya pelaksanaan terhadap biaya kontrak yang sudah disepakati. Skala 1 jika $>60\%$ *over budget*, skala 2 jika $45 - 59\%$ *over budget*, skala 3 jika $30 - 44\%$ *over budget*, skala 4 jika $15 - 29\%$ *over budget*, skala 5 jika $1 - 14\%$ *over budget*, skala 6 jika *on budget* dan skala 7 jika *under budget* (Serrador, 2014). Tidak terdapat klasifikasi untuk jenis proyek yang efisien secara biaya. Klasifikasi sesuai tingkatan skala hanya dilakukan untuk proyek yang *over budget* dengan tingkatan prosentase *over budget* yang berbeda-beda. Sehingga untuk proyek dengan biaya pelaksanaan yang lebih kecil dari biaya pada kontrak, termasuk dalam kategori kelas 7. Sehingga berdasarkan hal tersebut, tingkat efisiensi penggunaan LIDAR untuk perhitungan biaya pekerjaan tanah galian timbunan sebesar 9,03 termasuk efisien.

5.3.4 Aspek Waktu

Berdasarkan pada **Tabel 5. 14** mengenai durasi waktu pekerjaan survei dan pengolahan data, item pekerjaan yang durasinya berbeda secara signifikan yaitu pada akuisisi data, dengan efisiensi hingga 62.9%. Sesuai dengan penelitian (Serrador, 2014). Terdapat 7 tingkatan atau skala untuk mengukur bagaimana pelaksana proyek memenuhi waktu pelaksanaan terhadap target yang disyaratkan. Skala 1 jika $> 60\%$ *over time*, skala 2 jika $45 - 59\%$ *over time*, skala 3 jika $30 - 44\%$ *over time*, skala 4 jika $15 - 29\%$ *over time*, skala 5 jika $1 - 14\%$ *over time*, skala 6 jika *on time* dan skala 7 jika *ahead of schedule* (Serrador, 2014). Sehingga perbedaan waktu yang relatif lebih cepat atau *ahead of schedule*, yang dihasilkan dengan teknologi LIDAR terhadap terestrial sebesar 62.9% termasuk kedalam skala 7 dan termasuk dalam kategori efisien.

Faktor-faktor yang mempengaruhi lamanya durasi akuisisi data di lapangan dengan metode terestrial yaitu sebagian besar diakibatkan karena faktor medan, seperti tutupan vegetasi, akses yang cukup sulit karena harus melalui jurang, sungai, pegunungan dan lain sebagainya. Selain faktor alam, hal yang menyebabkan durasi

yang cukup lama yaitu dikarenakan faktor perizinan untuk akses lahan milik perusahaan ataupun masyarakat sekitar.

Disisi lain, dengan menggunakan wahana UAV kesulitan-kesulitan tersebut dapat teratasi secara efisien. Namun dengan UAV memakan waktu lebih lama pada saat tahapan perizinan, dikarenakan tim akuisisi perlu berkoordinasi dengan banyak pihak seperti TNI-AU, Kementerian Perhubungan, dan AirNAV yang merupakan pihak-pihak yang berwenang di Kawasan Udara Indonesia.

Disimpulkan bahwa dengan pemanfaatan UAV LIDAR dapat menghemat hingga 56 hari atau hampir 2 bulan dalam menghasilkan data topografi yang kualitasnya hampir sama bahkan bisa lebih baik pada kondisi-kondisi tertentu. Sehingga, penghematan selama hampir 2 bulan tersebut dapat mereduksi kebutuhan biaya untuk pengadaan data topografi, pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian oleh (Matinnia et al, 2018) dimana pemanfaatan UAV LIDAR dapat mengefisienkan durasi waktu pekerjaan secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan metode terestrial.

Berdasarkan hasil pembahasan pada aspek waktu, hal tersebut diperkuat dengan penelitian serupa yang dibuat oleh Matinnia et al (2018). Hasil penelitian tersebut yaitu waktu yang diperlukan teknologi terestrial dalam mengakuisisi data topografi proyek jalan di Iran sebesar 30 jam per 1 kilometer, sedangkan dengan LIDAR membutuhkan waktu 90 menit per 1 kilometer atau secara efisiensi diperoleh efisiensi sebesar 70.18%. Nilai tersebut diyakini dengan pemanfaatan LIDAR memberikan penghematan waktu yang jauh lebih efisien dibandingkan teknologi konvensional atau terestrial. Hal ini didukung oleh penelitian (Serrador et al, 2014), bahwa efisiensi sebuah proyek berkontribusi terhadap 60% kesuksesan proyek dan 56% efisiensi proyek berkorelasi terhadap kesuksesan proyek secara keseluruhan. Sehingga penggunaan LIDAR untuk perencanaan, dapat berkontribusi terhadap kesuksesan PT Utama Karya dalam melaksanakan penugasan Jalan Tol dalam waktu yang terbatas, yaitu sampai dengan tahun 2024.

Disamping itu, menurut Permen Perhubungan No. 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara Indonesia, bahwa ruang udara terbagi menjadi beberapa bagian seperti *Controlled Airspace*, *Restricted Area*, dan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP). Sebelum melakukan penerbangan, operator pesawat udara tanpa awak harus memiliki surat izin terbang terlebih dahulu dari pihak otoritas ruang udara dengan mematuhi rambu lalu lintas udara yang telah ditentukan. Tidak jarang pada saat proses perizinan memerlukan waktu koordinasi perizinan yang cukup lama mencapai hingga 1 bulan lebih yang diakibatkan oleh banyak faktor, seperti acara kenegaraan, kunjungan tamu VVIP, dan sedang diadakannya latihan militer pesawat tempur. Hal tersebut tentu saja akan menghambat kegiatan akuisisi di lapangan. Sehingga strategi untuk menangani hal tersebut yaitu, berkoordinasi dengan pihak otoritas untuk memperoleh pendampingan khusus agar proses akuisisi di lapangan dapat berjalan efektif dan efisien.

Selain itu, faktor cuaca merupakan faktor utama penyebab terhambatnya kegiatan akuisisi di lapangan, dalam mengoperasikan pesawat udara tanpa awak, kondisi cuaca meliputi kecepatan angin, kelembaban, dan curah hujan harus diperhatikan untuk menjamin keselamatan personil dan alat. Jika disuatu area survey memiliki kondisi cuaca yang tidak baik, maka penerbangan harus diundur ke hari selanjutnya hingga kondisi cuaca memungkinkan untuk terbang. Hal tersebut sangat berdampak besar pada operasional kegiatan, sehingga untuk memitigasi hal tersebut, perencanaan yang matang perlu dibuat agar kegiatan akuisisi di lapangan dapat berjalan secara efektif dan efisiensi waktu tercapai.

5.3.5 Validasi Pembahasan

Sesuai dengan pernyataan dari beberapa peneliti seperti (Matinnia et al, 2018) disampaikan bahwa dengan pemanfaatan sensor LIDAR dalam perhitungan pekerjaan tanah seperti volume galian dan timbunan memiliki kapasitas untuk menyelesaikan pekerjaan secara efisien tidak hanya pada aspek waktu, namun juga pada aspek biaya. Seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 5.2.4 tentang pembahasan analisis perbandingan waktu, bahwa LIDAR memiliki efisiensi

sebesar 62.9% atau hampir 3 kali lebih produktif dibandingkan menggunakan teknologi terrestrial.

Selain itu, pembahasan yang dijelaskan oleh (Matinnia et al, 2018) menjelaskan bahwa dengan data LIDAR dapat diperoleh kedetailan data yang lebih detail dibandingkan data terrestrial, hal tersebut dikarenakan data LIDAR memiliki resolusi yang lebih tinggi. Sehingga, data topografi yang diperoleh menggambarkan fitur kenampakan morfologi topografi lebih representatif dibandingkan dengan data terrestrial yang berpengaruh pada perhitungan volume galian dan timbunan yang lebih detail. Seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 5.3.1 tentang pembahasan perbedaan volume galian dan timbunan antara data LIDAR dan terrestrial diakibatkan salah satunya oleh tingkat kedetailan/resolusi data, dimana dengan data LIDAR menggambarkan kenampakan permukaan tanah lebih mendekati kondisi aktual dibandingkan terrestrial.

Selain divalidasi oleh penelitian terdahulu tersebut, hasil dalam penelitian ini juga divalidasi oleh *expert* yang secara langsung terlibat pada proses perencanaan jalan tol, antara lain (1) Dedy Gunawan, ST., MSc selaku Kepala Subdit Perencanaan Teknik Jalan Bebas Hambatan, Direktorat Jalan Bebas Hambatan, Ditjen Bina Marga, Kementerian PUPR, (2) Ir. Koentjoro, MBA selaku Direktur Operasi III PT Hutama Karya (Persero) dan (3) Ir. Iwan Hermawan, ST., MT selaku Executive Vice President Divisi Perencanaan Jalan Tol PT Hutama Karya (Persero), yang secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 3 s.d Lampiran 5**.

Menurut Dedy Gunawan, kedetailan data LIDAR dapat membantu para perencana jalan tol agar semakin mudah untuk mengintrepetasi kondisi permukaan bumi, sehingga kaitannya dengan perhitungan volume galian dan timbunan dapat memberikan Analisa yang lebih akurat yang berdampak pada efisiensi biaya khususnya pada penentuan lokasi *Right of Way* (ROW).

Sejalan dengan yang disampaikan oleh Dedy Gunawan, bahwa penambahan area ROW akibat ketidakakuratan data topografi juga berdampak pada penambahan waktu dan kelancaran pelaksanaan, dikarenakan harus diadakan pengadaan lahan

tambahan. Pembebasan lahan merupakan hal serius yang menyebabkan keterlambatan penyelesaian jalan tol (Sudirman, 2018). Pengadaan tanah yang melalui mekanisme musyawarah memerlukan kesepakatan antara pemerintah pusat, pemerintah daerah dan pemilik tanah. Sehingga kelancaran proses pengadaan tanah akan menentukan nasib kelancaran pembangunan jalan tol. Oleh karena itu, penggunaan data LIDAR untuk menghasilkan estimasi ROW yang lebih akurat secara tidak langsung merupakan tindakan preventif yang dapat mempengaruhi waktu pelaksanaan pekerjaan konstruksi jalan tol.

Menurut Koentjoro, dengan tingkat kedetailan data LIDAR yang tinggi dapat memberikan kenampakan bumi yang mendekati riil, sehingga hal tersebut dapat memudahkan *engineer* struktur dalam mendesain kebutuhan struktur yang cocok di area-area jalan tol. Hal tersebut memberikan dampak positif terhadap prakiraan biaya, karena dengan detailnya data topografi mengurangi resiko terjadinya misintrepetasi dan ketidaktepatan perencanaan yang dapat berakibat pada *underestimate* atau *overestimate* biaya.

Sejalan dengan yang telah disampaikan oleh Koentjoro dan telah disinggung pada Latar Belakang Masalah, bahwa penggunaan data topografi yang tidak akurat pernah menyebabkan ketidaktepatan perencanaan di Ruas Jalan Tol Pekanbaru – Dumai seksi 1, khususnya di akses Minas. Akibatnya adalah, setelah dilakukan survey topogrfi dan geoteknik yang lebih detail, disimpulkan bahwa perlu adanya struktur jembatan dan *pile slab* sepanjang 525 m yang berakibat pada penambahan biaya konstruksi. Berdasarkan pengalaman tersebut, PT Utama Karya selaku Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) perlu untuk melakukan kajian teknis pada saat *Feasibility Study* (FS) dan *Basic Design* (BD) yang detail, dalam rangka perhitungan nilai investasi yang tepat dan kesesuaian penetapan skema tarif dalam masa konsesi -nya. Sehingga penggunaan data LIDAR dengan kualitas seperti pada Sub Bab 5.2.1 menjadi sangat relevan dan tepat.

Menurut Iwan Hermawan, penelitian penulis berbanding lurus dengan pengalaman PT Utama Karya (Persero) yang sudah menerapkan teknologi ini untuk perencanaan hampir seluruh Jalan Tol Trans Sumatera, dimana LIDAR

memiliki kapabilitas yang lebih unggul dari sisi kedetailan. Menurut (Alex et al, 2020), densitas poin hasil survey LIDAR yang cukup rapat menghasilkan data *Digital Terrain Model* (DTM) dengan parameter *slope*, *aspect* dan *curvature* yang lebih tinggi dibanding hasil fotogrametri. Fakta tersebut yang membuat detail topografi hasil survey LIDAR memiliki representasi *terrain* yang menyerupai kondisi aktual di lapangan. Selain kedetailan, faktor akurasi data yang cukup tinggi dan pelaksanaannya yang dilakukan dalam waktu yang relatif cepat sangat bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi dari sisi biaya dan waktu dan tepat untuk digunakan dalam kegiatan percepatan perencanaan Jalan Tol Trans Sumatera.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian ini dapat dilampirkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan akurasi data LIDAR terhadap data terestrial, teknologi LIDAR memiliki tingkat akurasi nilai LE90 sebesar 17.6 cm, sehingga memenuhi persyaratan akurasi peta dasar untuk skala 1:1000 kelas 1.
2. LIDAR memiliki kehandalan dalam perhitungan volume galian dan timbunan tanah dibandingkan dengan terestrial dikarenakan mampu mengidentifikasi perbedaan galian dan timbunan tanah sebesar 57.82% dan 8.83 %. Perhitungan volume pekerjaan tanah menggunakan data LIDAR menghasilkan data yang lebih detail sehingga mengurangi potensi adanya deviasi volume *item* pekerjaan galian dan timbunan tanah yang besar.
3. Efisiensi waktu dan biaya dari penggunaan LIDAR dibandingkan dengan terestrial adalah 62.9 %, dan 9.03%. Secara kualitatif, ketercapaian waktu dan biaya dengan prosentase tersebut dikategorikan efisien.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan yang berguna untuk membangun penelitian-penelitian selanjutnya dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini, perhitungan volume galian dan timbunan terutama untuk item galian untuk dibuang dan galian untuk ditimbun masih menggunakan asumsi. Diperlukan verifikasi di lapangan apakah penggunaan koefisien 0,6 dan 0,4 berlaku untuk keseluruhan area sepanjang 40 Kilometer, atau bervariasi dan bersifat parsial dikarenakan kondisi tanah yang beragam. Penggunaan koefisien untuk penentuan volume galian untuk dibuang dan galian untuk ditimbun tersebut sangat mempengaruhi volume CBM yang dibutuhkan, dan juga mempengaruhi total biaya pekerjaan galian dan timbunan secara keseluruhan.

2. Perlu dilakukan analisis efisiensi biaya secara menyeluruh terkait implikasi penggunaan LIDAR dibandingkan dengan metode terestrial untuk penyediaan data topografi. Hal ini dikarenakan, efisiensi biaya yang dikaji pada penelitian ini terbatas pada biaya yang ditimbulkan pada pekerjaan tanah karena perbedaan kedua metode tersebut. Kajian belum menyeluruh dengan mempertimbangkan perbedaan biaya sewa alat atau investasi alat dengan kedua metode survei, biaya operasional yang timbul dengan perbedaan jumlah personel antara kedua metode dan juga Biaya Umum Langsung (BUL) proyek yang timbul karena perbedaan waktu pengambilan data untuk kedua metode tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, Chandrasekaran, Sridhar (2016). *“Imagining construction’s digital future by Mc Kinsey Company Singapore”*, tersedia di <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>, 24 Juni 2016.
- Ahmed M., Mogahed, Ragheb, dan Tokhey (2019). *“Comparative Assessment of terrestrial Laser Scanner”*, Volume 6, International Journal of Engineering and Applied Science (IJEAS), 2019.
- Alex, M. A., Víctor, G. M., & Jesús, Á. M. (2020). Comparison of Digital Terrain Models Obtained with LIDAR and Photogrammetry. In *Advances in Design Engineering: Proceedings of the XXIX International Congress INGEGRAF, 20-21 June 2019, Logroño, Spain* (pp. 576-585). Springer International Publishing.
- Alfiani, Anita D., (2014). *“Pengaruh Model Pembelajaran Cooperative Learning Tipe Student Teams Achievement Division (STAD) Terhadap Hasil Belajar IPA Siswa Kelas V di SD Negeri 1 Tersana Kecamatan Pabedilan Kabupaten Cirebon”*, IAIN Syekh Nurjati Cirebon, 2014.
- Betlejewski, R., Potkany, M. (2015). *“Construction Costs Analysis and Its Importance to The Economy”*, Volume 34, *Business Economics and Management 2015 Conference*, Halaman 35-42, 2015.
- BIM PUPR (2018). *“Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi”*, Pengenalan Building Information Modeling, 2018.
- Chu, Hone-Jay. Wang, Chi-Kuei. Huang, Min-Lang. Lee, Cheng Cheng. Liu, Chun Yu. Lin, dan Chih-Chiao (2014). *“Effect of Point Density and Interpolation of LIDAR-derived high-resolution DEMs on landscape scarp identification”*, Volume 51, *GIScience & Remote Sensing*, Halaman 731-747, 2014.
- Chong, H., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016), *“Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects”*, Volume 32, *Journal of Management in Engineering*, 2016.

- Cleland dan King W.R. (1987). *“System Analysis and Project Management”*, New York: Mc Graw Hill, 1987.
- Contreras, M., Aracena, P., Chung, W. (2012), *“Improving Accuracy in Earthwork Volume Estimation for Proposed Forest Roads Using a High-Resolution Digital Elevation Model”*, Volume 33, Croatian Journal of Forest Engineering, 2012
- Czmoch dan Adam (2014), *“Traditional Design versus BIM Based Design”*, Faculty of Civil Engineering, Warsaw University of Technology, Volume 91, *Procedia Engineering*, Halaman 210-215, 2014.
- Dimiyati, H. (2014). *Manajemen Proyek*. Jilid 2, CV. Pustaka Setia, Yogyakarta
- Ervianto, W. I. (2005). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Garnero Gabrielle, Righetti Giovanni (2018), *“The New Lidar Classification Format: The Lal Format and Its Applications”*, Volume 7, American Journal of Engineering Research (AJER), Halaman 131-136, 2018.
- Handoko, H. (1996). *Manajemen Personalia dan Sumber Daya Manusia*, BPFE Yogyakarta, Yogyakarta.
- Hasan, M. I. (2002). *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya, Edisi 1*, Ghalia Indonesia, Bogor.
- Husen, Abrar, (2009). *Manajemen Proyek (Perencanaan Penjadwalan dan Pengendalian Proyek)*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta.
- Hodgson, Michael, Bresnahan, Patrick. (2004). *“Accuracy of Airborne LIDAR-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget”*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 70. 331-339. 10.14358/PERS.70.3.331, 2004.
- Hussnain, Zille & Oude Elberink, Sander & Vosselman, George. (2021), *“Enhanced Trajectory Estimation of Mobile Laser Scanners Using Aerial Images”*, Volume 173, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Halaman 66-78. 10.1016/j.isprsjprs.2021.01.005. 2021.
- Indonesia. (1980). Undang-undang Nomor 13 Tahun 1980 tentang Jalan, Jakarta.
- Indonesia. (2014). Peraturan Presiden Nomor 100 Tahun 2014 tentang Percepatan Pembangunan Jalan Tol di Sumatera, Jakarta.

- Indonesia. (2015). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 90 Tahun 2015 tentang Pengendalian Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara Indonesia, Jakarta.
- Indonesia. (2015). Peraturan Presiden Nomor 117 Tahun 2015 tentang Penambahan Penyertaan Modal Negara Republik Indonesia ke Dalam Modal Saham Perusahaan Perseroan Terbatas (PT), Jakarta.
- Indonesia. (2020). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar, Bogor.
- Indonesia. (2020). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Indonesia. (2020). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani Indonesia, Jakarta.
- Jayadi, A., Anwar, Z. (2017). “Pemanfaatan Aplikasi SPSS untuk Meningkatkan Keterampilan Mahasiswa Mengolah Data Statistika”, Jurnal Visionary, Volume 4, Halaman 111-113, 2017.
- Kandia, P. (2012). “Pembentukan Model dan Parameter untuk Estimasi Kelapa Sawit Menggunakan Data LIDAR”, Teknik Geodesi dan Geomatika ITB, 2012.
- Khalid M., (2008). “Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pada Konstruksi Gedung dengan Metode SNI dan Lapangan”, Jurnal Universitas Islam Indonesia, 2018.
- Khomsin, Pratomo, dan Akbar (2018). “Analisa Perbandingan Volume dan Ketelitian ICP dari 3’S (TS, GNSS dan TLS)”, Volume 4, Geoid, Halaman 113-123, 2018.
- Kim, J., Lee, S., Seo, J., Lee, D., Choi, H. (2021). “*The Integration of Earthwork Design Review and Planning Using UAV-Based Point Cloud and BIM*”, Volume 11, MDPI, 2021.

- Majid, Abdul (2020). "Perhitungan Volume Galian dan Timbunan dan Estimasi Biaya Universitas Jember Kampus Bondowoso Sisi Barat.", Jurnal Teknik Sipil, Universitas Jember, 2020.
- Matinnia, Parsakhoo, Mohamadi, Shatee Jouibary (2018). "*Study of the LIDAR accuracy in mapping forest road alignments and estimating the earthwork volume*", Volume 64, J.For.Sci., Halaman 469-477.
- Moleong. (2010). Metode Penelitian Kualitatif. Bandung.
- Oliver, C.A.P.L., Nugraheni, F. (2022). "Development and Utilization of Aerial Photogrammetry Survey using Nonmetric Camera Drone with Open-source Software: Case Study on Tugu Dam Project". Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, 2022.
- Prastowo, T., Amin, M., Susetyo, B. (2021). "*Cost Efficiency During Construction*", Volume 15, *International Journal of Innovation*, 2021.
- PT. Utama Karya (Persero) (2019). "Dokumen Berita Acara Klarifikasi, Pembuktian & Negosiasi Harga", Jakarta, 2019.
- Pratama, Helmi (2017). "Analisa Volume Galian dan Timbunan pada Perencanaan Lahan Parkir Gedung Direktorat Politeknik Negeri Balikpapan.", Volume 1, Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil, Politeknik Negeri Balikpapan, Halaman 117-121, 2014.
- Ramadhony, A. B., Awaluddin M., Sasmito, B. (2017). Analisis Pengukuran Bidang Tanah dengan Menggunakan GPS Pemetaan, Volume 4, Jurnal Geodesi UNDIP, Halaman 305-315, 2017.
- Razieh Babapour (2018), "*New strategies for estimation of cut and fill areas in road design with different ground cross-section offsets*", Volume 33, *Scandinavian Journal of Forest Research*, Halaman 178-187, 2018.
- Sayidah, N. (2018). *Metodologi Penelitian Disertai Dengan Contoh Penerapannya Dalam Penelitian, Edisi 1*, Zifatama Jawa, Sidoarjo.
- Serrador, P., Turner, J. R. (2014). "The Relationship between Project Success and Project Efficiency", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 119, Pages 75-84, 2014.
- Shamsi, U. M. (2005). "*GIS Applications for water, wastewater, and Stormwater Systems*". United States of America, 2005.

- Singh, Kunwar K. (2015). “*Effects of LIDAR point density and landscape context on estimates of urban forest biomass*”, Volume 101, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, Halaman 310-322.
- Skibniewski dan Zavadskas (2013), “*Technology Development in Construction: a continuum from distant past into the future.*”, Journal of Civil Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Volume 19, Halaman 136-147, 2013.
- Soepranto. (2000). Statistik (Teori dan Aplikasi, Edisi Keenam). Yogyakarta.
- Soetaat. (2009). Pengantar LIDAR: Konsep, Proyek dan Aplikasi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sudirman, S. (2018). “Pembangunan Jalan Tol di Indonesia : Kendala Pembebasan Tanah untuk Pembangunan bagi Kepentingan Umum dan Gagasan Upaya Penyelesaiannya.”, BHUMI: Jurnal Agraria dan Pertanahan edisi 522-544, 2018.
- Sugiyono (2006). *Statistika untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Tanjung, D., Batubara, H., Sarifah, J., Pasaribu, A.P. (2022): Efisiensi Alat Berat pada *Borrow Material* Pada Jalan Tol Medan – Binjai Seksi 1. Jurnal Universitas Islam Sumatera Utara, Volume 17, Nomor 2, 2022.
- Xiao L., Wang R., Dai B., Fang Y., Liu D., Wu T. (2017): Hybrid conditional random field based camera-LIDAR fusion for road detection. *Information Sciences*, 432: 543–558.
- Worstell, Bruce B. Poppenga, Sandra K. Evans, Gayla A. Prince, dan Sandra A (2014). “*Lidar Point Density Analysis – Implication for Identifying Water Bodies*”, Volume 5191, USGS Scientific Investigation Report, 2014.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Perhitungan Volume Galian dan Timbunan LIDAR dan terestrial dari Civil 3D

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
9+075.000	0	146.16	0	1215.41
9+100.000	0	992.16	0	2183.19
9+125.000	0	2511.14	0	3395.54
9+150.000	0	4053.57	0	4766.91
9+175.000	0	5319.05	0	6248.96
9+200.000	0	6759.7	0	7765.3
9+225.000	0	7863.56	0	9165.97
9+250.000	0	8541.01	0	10106.56
9+275.000	0	9432.37	0	10398.31
9+300.000	0	9792.3	0	10266.31
9+325.000	0	9342.82	0	9958.79
9+350.000	0	9007.27	0	9588.67
9+375.000	0	8847.45	0	8984.39
9+400.000	0	7905.4	0	7856.53
9+425.000	0	5530.86	0	5788.15
9+450.000	0	2473.42	0	3212.1
9+475.000	191.88	635.77	26.82	1245.98
9+500.000	619.64	136.29	153.22	400.31
9+525.000	591.89	92.36	183.9	397.5
9+550.000	164.12	420.26	57.5	744.39
9+575.000	0	761.73	0	1286.7
9+600.000	0	894.95	0	1488.26
9+625.000	63.35	574.62	0	1188.98
9+650.000	134.54	115.37	0	814.23

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
9+675.000	141.14	36.04	0	473.85
9+700.000	83.38	101.14	0	437.81
9+725.000	21.46	324.93	0	725.18
9+750.000	8.03	546.98	0	1161.69
9+775.000	0	1017.12	0	1758.99
9+800.000	0	1868.92	0	2463.83
9+825.000	0	2631.02	0	3271.7
9+850.000	0	3271.63	0	4021.14
9+875.000	0	3932.31	0	4524.22
9+900.000	0	4552.84	0	4855.82
9+925.000	0	5112.86	0	5225.31
9+950.000	0	5539.27	0	5663.96
9+975.000	0	5782.07	0	6072.8
10+000.000	0	5829.86	0	6285.65
10+025.000	0	5667.38	0	6166.06
10+050.000	0	5429.3	0	5796.49
10+075.000	0	5104.66	0	5172.34
10+100.000	0	4140.42	0	4387.89
10+125.000	0	2776.79	0	3614.17
10+150.000	0	1898.36	0	2863.65
10+175.000	0	1663.99	0	2337.39
10+200.000	0	1903.33	0	2320.65
10+225.000	0	2258.67	0	2381.88
10+250.000	0	2053.9	0	1910.93
10+275.000	43.71	1044.25	0	1146.79
10+300.000	75.53	252.71	19.58	568.32
10+325.000	56.65	193.09	19.58	379.85

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
10+350.000	24.83	439.72	0	537.35
10+375.000	0	800.15	0	898.2
10+400.000	0	1089.5	0	1341.15
10+425.000	0	1561.52	0	1788.22
10+450.000	0	1821.36	0	2193.76
10+475.000	0	2111.95	0	2587.11
10+500.000	0	2973.17	0	3180.36
10+525.000	0	3400.61	0	3966.51
10+550.000	0	3551.99	0	4533.51
10+575.000	0	3934.77	0	4798.43
10+600.000	0	4752.79	0	5214.09
10+625.000	0	5511.78	0	5802.75
10+650.000	0	5774.71	0	6228.34
10+675.000	0	5986.16	0	6520.52
10+700.000	0	6121.65	0	6613.27
10+725.000	0	5839.88	0	6538.48
10+750.000	0	5172.04	0	6090.81
10+775.000	0	4640.3	0	5291.1
10+800.000	0	4643.7	0	4523.92
10+825.000	0	5902.13	0	4817.81
10+850.000	0	8563.37	0	6700.5
10+875.000	0	9809.8	0	7829.34
10+900.000	0	8120.69	0	6365.84
10+925.000	0	4877.74	0	4031.43
10+950.000	0	2204.87	0	2405.22
10+975.000	0	1207.26	0	1381.71
11+000.000	0	866.64	0	955.77

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
11+025.000	0	707.95	0	817.23
11+050.000	0	704.36	0	837.53
11+075.000	2.17	737.07	0	953.74
11+100.000	2.17	901.7	0	1019.63
11+125.000	0	1534.14	0	1146.11
11+150.000	0	2133.42	0	1591.45
11+175.000	0	2545.48	0	2115.2
11+200.000	0	3355.57	0	2451.83
11+225.000	0	4460.76	0	2808.56
11+250.000	0	4934.26	0	4349.55
11+275.000	0	4451.73	0	4929.85
11+300.000	0	3095.51	0	3197.93
11+325.000	0	1583.8	0	1750.33
11+350.000	0	749.43	0	970.74
11+375.000	76.94	347.96	3.73	454.09
11+400.000	329.01	132.04	76.06	137.25
11+425.000	514.76	46.31	272.48	15.92
11+450.000	604.82	35.39	465.1	0
11+475.000	443.88	158.29	317.28	55.82
11+500.000	101.75	480.86	52.34	286.3
11+525.000	240.74	338.48	36.57	287.82
11+550.000	1020.98	0	377.81	57.33
11+575.000	1908.12	0	966.13	0
11+600.000	2325.79	0	1494.2	0
11+625.000	2456.82	0	1884.23	0
11+650.000	2559.18	0	2085.84	0
11+675.000	2459.85	0	2052.88	0

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> (Cu.m.)	<u>Fill</u> <u>Volume</u> (Cu.m.)	<u>Cut Volume</u> (Cu.m.)	<u>Fill</u> <u>Volume</u> (Cu.m.)
11+700.000	1923.37	0	1755	0
11+725.000	999.91	15.8	1118.69	0
11+750.000	291.66	310.75	368.71	64.81
11+775.000	55.55	805.18	23.06	654.82
11+800.000	0	1210.42	0	1604.96
11+825.000	0	1622.66	0	2192.85
11+850.000	0	1744.48	0	2479.31
11+875.000	0	1458.99	0	2132.39
11+900.000	245.66	636.98	0	980.9
11+925.000	519.4	0	80.97	151.88
11+950.000	408.13	5.51	80.97	220.03
11+975.000	134.39	131.57	0	524.36
12+000.000	0	331.92	0	695.04
12+025.000	0	482.54	0	829.4
12+050.000	23.87	436.8	0	837.23
12+075.000	75.14	171.86	0	512.16
12+100.000	399.49	11.74	205.48	115.59
12+125.000	1184.35	0	692.3	0
12+150.000	1783.89	0	1249.28	0
12+175.000	2471.33	0	1905.14	0
12+200.000	3062.16	0	2544.03	0
12+225.000	3200.09	0	2823.01	0
12+250.000	3635.16	0	2809.85	0
12+275.000	3788.57	0	2712.84	0
12+300.000	3459.17	0	2491.56	0
12+325.000	2608.76	0	1821.57	0
12+350.000	1485.38	0	756.04	0.95

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
12+375.000	533.35	162.47	101.39	346.3
12+400.000	12.45	548.73	0	895.73
12+425.000	0	748.65	0	1113.69
12+450.000	4.02	674.52	0	1136.29
12+475.000	55.15	416.74	0	1159.7
12+500.000	56.7	730.55	0	1424.33
12+525.000	5.57	1377.23	0	1812.61
12+550.000	0	1355.64	0	1472
12+575.000	29.17	854.52	0	873.45
12+600.000	147.31	352.21	2.72	529.39
12+625.000	231.08	166.72	16.07	279.41
12+650.000	213.57	198.22	13.35	413.28
12+675.000	181.5	308	0	677.7
12+700.000	153.66	331.1	0	738.4
12+725.000	172.6	217.57	0	640.58
12+750.000	157.28	114.02	0	595.72
12+775.000	102.06	140.51	19.9	401.88
12+800.000	76.39	178.68	19.9	330.12
12+825.000	60.62	252.35	0	489.22
12+850.000	128.79	161.08	15.41	299.76
12+875.000	284.37	9.99	54.78	59.9
12+900.000	515.93	9.99	128.08	60.34
12+925.000	732.87	6.57	213.4	76.53
12+950.000	401.41	216.59	124.69	494.34
12+975.000	0.09	1199.23	0	1159.71
13+000.000	0	2354.98	0	1655.08
13+025.000	0	2471.29	0	1924.72

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
13+050.000	0	1943.6	0	1693.68
13+075.000	0	1247.29	0	1247.64
13+100.000	171.55	434.22	26.62	668.97
13+125.000	609.66	39.07	203.77	157.33
13+150.000	700.61	32.42	350.03	43.15
13+175.000	538.68	18.41	280.96	57.05
13+200.000	534.63	0.07	248.4	26.63
13+225.000	792.17	0	436.27	0.71
13+250.000	1204.84	0	816.12	0
13+275.000	1289.69	0	851.39	3.08
13+300.000	822.1	15.53	427.33	85.91
13+325.000	203.53	165.49	96.12	279.99
13+350.000	38.6	399.05	0	508.74
13+375.000	40.9	561.78	0	710.51
13+400.000	2.3	833.31	0	995.56
13+425.000	0	1373.95	0	1750.49
13+450.000	0	1592.69	0	2204.42
13+475.000	0	1534.69	0	1966.93
13+500.000	0	1625.04	0	1738.42
13+525.000	0	1557.53	0	1587.81
13+550.000	0	1485.9	0	1550.44
13+575.000	0	1566.87	0	1782.06
13+600.000	0	1974.13	0	2348.78
13+625.000	0	2806.5	0	3145.11
13+650.000	0	3693.99	0	4046.42
13+675.000	0	4462.56	0	4856.3
13+700.000	0	4834.07	0	5475.4

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
13+725.000	0	5356.28	0	6065.6
13+750.000	0	6040.09	0	6582.73
13+775.000	0	6366.85	0	6925.28
13+800.000	0	6586.22	0	6959.49
13+825.000	0	6555.46	0	6756.13
13+850.000	0	6224	0	6104.45
13+875.000	0	5305.83	0	4926.83
13+900.000	0	4131.43	0	3981.82
13+925.000	0	3145.37	0	3806.02
13+950.000	0	2370.66	0	3428.39
13+975.000	0	1916.89	0	2684.06
14+000.000	0	1872.05	0	2375.01
14+025.000	0	2079.61	0	2230.79
14+050.000	0	2115.44	0	2250.99
14+075.000	0	2053.4	0	2293.28
14+100.000	0	1934.01	0	2221.07
14+125.000	0	1613.94	0	1958.32
14+150.000	174.79	1149.29	0	2034.02
14+175.000	174.79	1036.13	0	2302.52
14+200.000	0	1686.33	0	2280.63
14+225.000	0	1712.93	0	2225.49
14+250.000	0	824.66	0	2086.19
14+275.000	0	1118.72	0	1938.13
14+300.000	0	1929.71	0	1876.48
14+325.000	0	2034.82	0	1988.91
14+350.000	0	2028.75	0	2184.99
14+375.000	0	2067.51	0	2158.43

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
14+400.000	0	2094.01	0	1995.32
14+425.000	0	1783.71	0	1885.27
14+450.000	27.98	1096.87	0	1300.51
14+475.000	315.06	362.24	124.48	391.6
14+500.000	802.64	1.8	343.71	2.74
14+525.000	957.84	0	461.29	0
14+550.000	803.35	0	424.91	0
14+575.000	629.17	0	315.43	5.29
14+600.000	500.31	1.93	195.35	82.2
14+625.000	288.42	94.91	70.69	336.63
14+650.000	56.21	523.36	7.93	854.79
14+675.000	0	1263.68	0	1495.47
14+700.000	0	2081.96	0	2113.69
14+725.000	0	3075.48	0	2882.69
14+750.000	0	4402.4	0	4250.89
14+775.000	0	5643.51	0	5586.19
14+800.000	0	6910.43	0	6107.1
14+825.000	0	7487.95	0	6294.16
14+850.000	0	6936.8	0	6516.91
14+875.000	0	5937.97	0	6927.8
14+900.000	0	4817.72	0	6757.71
14+925.000	0	4120.14	0	5709.76
14+950.000	0	3921.7	0	4618.82
14+975.000	0	3587.21	0	3875
15+000.000	0	3064.52	0	3264.98
15+025.000	0	2748.66	0	2597.68
15+050.000	0	2169.78	0	2080.61

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
15+075.000	0	1552.28	0	1659.57
15+100.000	0	1139.25	0	1273.99
15+125.000	0	695.74	0	905.6
15+150.000	0	439.71	0	631.25
15+175.000	24.76	303.13	0	500.56
15+200.000	24.76	227.35	0	544.83
15+225.000	0	756.69	0	1030.33
15+250.000	0	2198.83	0	2223.75
15+275.000	0	4669.59	0	4116.87
15+300.000	0	6557.76	0	6091.17
15+325.000	0	5775.56	0	6149.47
15+350.000	0	3713.35	0	4241.56
15+375.000	0	2354.19	0	2599.43
15+400.000	0	1729.99	0	1866.82
15+425.000	5.14	1266.68	0	1589.18
15+450.000	5.14	1063.47	0	1566.93
15+475.000	0	1234.27	0	1753.1
15+500.000	0	1590.03	0	2096.09
15+525.000	0	2455	0	2607.69
15+550.000	0	3322.72	0	3282.57
15+575.000	0	3980.81	0	4114
15+600.000	0	4901.18	0	5062.49
15+625.000	0	5624.04	0	5768.15
15+650.000	0	5955.14	0	6304.9
15+675.000	0	6091.16	0	6561.29
15+700.000	0	6016.78	0	6371.78
15+725.000	0	5832.66	0	6111.84

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
15+750.000	0	5980.9	0	6059.28
15+775.000	0	8484.06	0	8139.46
15+800.000	0	12245.96	0	12395.79
15+825.000	0	11979.59	0	12958.83
15+850.000	0	7790.75	0	8748.39
15+875.000	0	4111.97	0	4788.35
15+900.000	0	2018.63	0	2276.43
15+925.000	282.54	597.75	112.83	711.59
15+950.000	1067.8	2.32	753.56	90.25
15+975.000	1741.13	0	1290.22	0
16+000.000	1912.36	0	1454.62	0
16+025.000	1715.63	0	1660.29	0
16+050.000	1608.04	0	1723.24	0
16+075.000	1897.51	0	1771.94	0
16+100.000	1988.64	21.04	1785.23	24.9
16+125.000	1533.32	559.36	1312.03	483.06
16+150.000	738.59	1410.05	467.98	1526.05
16+175.000	145.3	2165.31	37.31	2787.89
16+200.000	0	2631.17	0	3287.72
16+225.000	0	2666.12	0	3081.24
16+250.000	0	2551.4	0	2721.66
16+275.000	0	1900.61	0	1917.13
16+300.000	709.73	816.43	15.44	962.67
16+325.000	2161.65	138.69	15.44	468.71
16+350.000	3401.19	0	0	378.29
16+375.000	3639.47	0	0	401.67
16+400.000	2937.17	0	0	658.91

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
16+425.000	2372.83	0	0	822.22
16+450.000	2380.26	0	0	829.01
16+475.000	2260.42	0	0	903.59
16+500.000	1477.44	0	0	1078.29
16+525.000	648.69	282.75	0	1426.94
16+550.000	177.26	1337.89	0	2006.44
16+575.000	0	2345.74	0	2842.7
16+600.000	0	2751.29	0	4181.04
16+625.000	0	4907.3	0	6286
16+650.000	0	9102.56	0	9305.93
16+675.000	0	12169.79	0	12235.24
16+700.000	0	11967.11	0	12578.58
16+725.000	0	9634.58	0.26	10419.33
16+750.000	0	7193.95	0.26	7725.01
16+775.000	0	5437.94	0	5676.77
16+800.000	0	4526.66	0	4580.09
16+825.000	0	3919.97	0	4002.42
16+850.000	0	3376.89	0	3639.21
16+875.000	0	2687.39	0	3102.42
16+900.000	0	1929.58	0	2319.68
16+925.000	0	1214.63	0	1541.77
16+950.000	1.24	668.78	0	997.13
16+975.000	1.24	507.48	0	813.9
17+000.000	0	1282.2	0	1531.25
17+025.000	0	2784.24	0	2980.37
17+050.000	256.46	2070.71	135.45	2156.18
17+075.000	570.29	520.49	364.13	603.48

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
17+100.000	313.84	1351.67	228.69	1339.02
17+125.000	0	2359.35	0	2529.05
17+150.000	0	2444.19	0	3027.04
17+175.000	0	2095.51	0	2724.9
17+200.000	0	1605.46	0	2194.46
17+225.000	0	1369.79	0	1653.1
17+250.000	282.69	1118.04	244.27	1110.05
17+275.000	805.66	773.28	614.16	849.21
17+300.000	587.98	728.06	438.43	937.98
17+325.000	65.01	819.07	68.53	901.19
17+350.000	480.12	452.64	187.6	542.97
17+375.000	1495.49	129.88	881.19	229.74
17+400.000	2014.75	91.38	1513.32	95.34
17+425.000	1834.74	39.88	1408.87	56.08
17+450.000	1599.68	97.59	1242.11	19.6
17+475.000	1602.91	118.87	1112.93	239.83
17+500.000	1425.62	457.1	893.37	713.48
17+525.000	879.86	1088.07	571.37	1101.76
17+550.000	315.37	1739.13	227.3	1537
17+575.000	22.52	2534.91	89.34	2329.16
17+600.000	0	3071.9	0	2863.12
17+625.000	29.86	2755.37	27.38	2726.73
17+650.000	84.93	2090.58	46.81	2485.53
17+675.000	157.55	1864.1	29.2	2324.56
17+700.000	129.33	1820.48	9.78	2164.31
17+725.000	26.85	1980.42	0	2317.75
17+750.000	0	1757.85	0	2108.53

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
17+775.000	18.42	901.32	0	1171.98
17+800.000	274.63	223.46	10.34	396.51
17+825.000	604.66	15.03	56.64	72.64
17+850.000	557.05	1.18	91.74	63.94
17+875.000	586.81	1.18	153.42	66.75
17+900.000	993.26	0	286.97	4.38
17+925.000	1134	0	388.67	0.71
17+950.000	1091.86	0	451	0.71
17+975.000	1313.02	0	509.15	0
18+000.000	1734.08	0	633.55	0
18+025.000	1868.37	0	846.52	0
18+050.000	1810.25	0	1024.18	0
18+075.000	1836.08	0	1050.88	0
18+100.000	1839.46	0	1083.04	0
18+125.000	1770.76	0	1103.52	0
18+150.000	1726.05	0	805.25	0
18+175.000	1161.96	7.19	290.96	36.99
18+200.000	425.75	66.45	13.67	124.86
18+225.000	333.05	124.79	0	230.68
18+250.000	186.78	243.9	0	342.21
18+275.000	12.06	393.21	0	456.58
18+300.000	14.5	464.46	0	573.55
18+325.000	14.93	462.16	0	692.85
18+350.000	10.29	339.37	0	814.87
18+375.000	9.86	196.18	0	901.63
18+400.000	0	168.38	0	899.57
18+425.000	9.32	251.53	0	846.74

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
18+450.000	19.84	313.63	0	797.6
18+475.000	28.67	403.52	0	765.9
18+500.000	41.28	394.63	0	769.5
18+525.000	40.48	286.2	0	809.86
18+550.000	20.3	436.93	0	900.78
18+575.000	2.96	669.48	0	1028.37
18+600.000	0	765.97	0	1158.55
18+625.000	0	1008.22	0	1290.8
18+650.000	0	1323.26	0	1426.77
18+675.000	0	1430.91	0	1565.68
18+700.000	0	1604.3	0	1706.65
18+725.000	0	1636.71	0	1850.42
18+750.000	0	1666.31	0	1997.74
18+775.000	0	1937.83	0	2147.58
18+800.000	0	2117.41	0	2289.31
18+825.000	0	2130.43	0	2408.05
18+850.000	0	2165.06	0	2497.55
18+875.000	0	2338.81	0	2557.62
18+900.000	0	2503.14	0	2587.27
18+925.000	0	2583.8	0	2586.2
18+950.000	0	2505.01	0	2554.42
18+975.000	0	2375.12	0	2492.21
19+000.000	0	2032.88	0	2411.06
19+025.000	0	1639.39	0	2325.87
19+050.000	0	1513.62	0	2241.61
19+075.000	0	1489.1	0	2158.18
19+100.000	0	1551.31	0	2075.52

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
19+125.000	0	1811.99	0	1994.04
19+150.000	0	1913.69	0	1913.44
19+175.000	0	1708.72	0	1832.97
19+200.000	0	1518.25	0	1753.37
19+225.000	0	1340.29	0	1675.01
19+250.000	0	1003.03	0	1597.49
19+275.000	0	755.58	0	1520.75
19+300.000	0	665.31	0	1444.83
19+325.000	27.55	485.83	0	1369.76
19+350.000	27.55	418.52	0	1295.65
19+375.000	0	585.92	0	1222.42
19+400.000	0	545.45	0	1152.04
19+425.000	256.08	190.76	0	1097.75
19+450.000	669.62	3.44	0	1060.86
19+475.000	600.46	19.57	0	1032.95
19+500.000	223.7	32.29	0	1014.27
19+525.000	99.69	16.24	0	1004.65
19+550.000	183.76	3.52	0	1004.83
19+575.000	197.96	5.87	0	1009.09
19+600.000	77.11	274.54	0	1009.55
19+625.000	0	815.35	0	1002.72
19+650.000	0	1124.63	0	985.01
19+675.000	0	1218.59	0	955.96
19+700.000	0	1243.05	0	917.34
19+725.000	0	1152.36	0	870.82
19+750.000	0	958.23	0	828.58
19+775.000	0	474.3	0	802.97

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
19+800.000	72.02	105.08	0	801.3
19+825.000	72.02	230.19	0	815.89
19+850.000	0.05	1486.98	0	1709.04
19+875.000	0.05	3093.58	0	3215.57
19+900.000	0	3365.54	0	3625.24
19+925.000	550.59	1834.46	0	2574.35
19+950.000	4879.52	266.65	54.2	989.36
19+975.000	9881.4	0	183.02	121.74
20+000.000	8788.52	0	314.87	0
20+025.000	5482.92	0	371.34	0
20+050.000	3546.82	0	358.54	0
20+075.000	1775.25	0	304.95	0.58
20+100.000	543.31	2.45	167.42	33.64
20+125.000	81.19	39.77	49.78	79.82
20+150.000	14.95	257.34	14.07	291.87
20+175.000	1.76	568.77	0	465.53
20+200.000	0	947.9	0	806.56
20+225.000	0	1209.2	0	1041.25
20+250.000	0	875.59	0	800.47
20+275.000	0	437.29	0	574.96
20+300.000	69.21	174	3.3	355.16
20+325.000	95.47	23.65	28	191.5
20+350.000	30.14	81.28	71.97	96
20+375.000	23.26	139.8	135.19	37.19
20+400.000	260.82	79.91	241.32	7.66
20+425.000	610.88	0	384.09	0.55
20+450.000	790.29	0	422.84	0

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
20+475.000	577.54	0	320.2	0.27
20+500.000	156.67	270.69	154.95	19.57
20+525.000	0	702.64	26.89	124.26
20+550.000	0	921.71	0	404.34
20+575.000	0	1038.51	0	827.52
20+600.000	0	1157.66	0	1147.28
20+625.000	0	1279.15	0	1291.7
20+650.000	0	1402.98	0	1612.8
20+675.000	0	1529.15	0	2011.76
20+700.000	0	1657.67	0	1995.15
20+725.000	0	1788.54	0	1852.41
20+750.000	0	1921.74	0	1924.56
20+775.000	0	2057.29	0	2059.58
20+800.000	0	2178.19	0	2197.1
20+825.000	0	2318.43	0	2337.32
20+850.000	0	2477.71	0	2479.88
20+875.000	0	2622.64	0	2624.81
20+900.000	0	2770.2	0	2772.08
20+925.000	0	2913.03	0	2921.69
20+950.000	0	2890.16	0	3073.65
20+975.000	0	3036.82	0	3227.95
21+000.000	0	3368.29	0	3384.97
21+025.000	0	3541.7	0	3543.96
21+050.000	0	3703.03	0	3705.28
21+075.000	0	3855.54	0	3868.96
21+100.000	0	4005.49	0	4018.54
21+125.000	0	3967.26	0	4119.27

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
21+150.000	0	3722.71	0	4151.08
21+175.000	0	3254.07	0	4112.19
21+200.000	0	2941.97	0	3900.53
21+225.000	0	2646.1	0	3684.07
21+250.000	0	3095.87	0	3548.51
21+275.000	0	3771.75	0	3289.5
21+300.000	0	3051.34	0	2949.29
21+325.000	0	2432.11	0	2606.94
21+350.000	0	2258.5	0	2275.87
21+375.000	0	1941.73	0	1957.74
21+400.000	0	1680.5	0	1682.18
21+425.000	0	1480.35	0	1482.44
21+450.000	0	1359.55	0	1361.74
21+475.000	0	1224.3	0	1315.97
21+500.000	0	912.77	0	1343
21+525.000	0	722.97	0	1445.72
21+550.000	0	843.26	0	1480.56
21+575.000	0	981.37	0	1368.81
21+600.000	0	888.22	0	1033.31
21+625.000	0	897.26	0	1046.69
21+650.000	0	1459.57	0	1635.61
21+675.000	0	1916.1	0	2056.61
21+700.000	0	2128.86	0	2236.62
21+725.000	0	2268	0	2357.24
21+750.000	0	2137.31	0	2254.73
21+775.000	0	1905.79	0	1979.4
21+800.000	0	1486.3	0	1751.67

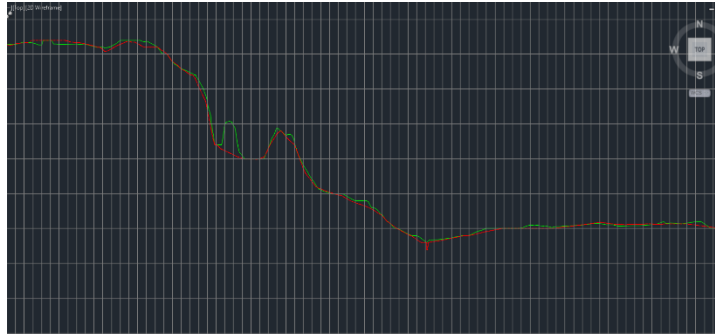
KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
21+825.000	0	1106.72	0	1471.03
21+850.000	0.52	755.78	0	1072.39
21+875.000	0.52	454.66	0	803.6
21+900.000	7.62	361.8	0	787.69
21+925.000	7.62	539.55	0	922.61
21+950.000	0	837.39	0	1240.74
21+975.000	0	1265.3	0	1772.94
22+000.000	0	2380.47	0	2522.07
22+025.000	0	3661.05	0	3507.72
22+050.000	0	4500.84	0	4439.46
22+075.000	0	5143.4	0	5145.65
22+100.000	0	5716.78	0	5719.03
22+125.000	0	6128.85	0	6130.72
22+150.000	0	6355.41	0	6357.66
22+175.000	0	6373.84	0	6376.23
22+200.000	0	6183.79	0	6306.12
22+225.000	0	5742.4	0	6191.76
22+250.000	0	5195.29	0	5910.32
22+275.000	0	4558.37	0	5443.69
22+300.000	0	3733.31	0	4723.67
22+325.000	0	2873.95	0	3808.59
22+350.000	0	2137.16	0	3035.82
22+375.000	0	1586.69	0	2531.79
22+400.000	0	1194.62	0	2091.2
22+425.000	0	939.26	0	1690.39
22+450.000	0	805.8	0	1602.11
22+475.000	0	999.48	0	1549.1

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
22+500.000	35.68	1102.75	0	1422.82
22+525.000	35.68	1190.67	0	1632.43
22+550.000	0.88	1458.8	0	1699.82
22+575.000	0.88	1601.95	0	1817.9
22+600.000	0	1721.04	0	1988.74
22+625.000	0	1822.52	0	2008.71
22+650.000	0	1848.19	0	2070.32
22+675.000	0	1740.44	0	2068.57
22+700.000	0	1723.55	0	2060.79
22+725.000	0	1803.51	0	1799.79
22+750.000	0	1653.09	0	1216
22+775.000	0	1298.42	0	872.09
22+800.000	0	1241.6	0	918.68
22+825.000	0	1127.64	0	926.24
22+850.000	0	949.66	0	966.33
22+875.000	0	1163.67	0	1173.96
22+900.000	0	1700.58	0	1554.19
22+925.000	0	2321.51	0	2070.45
22+950.000	0	3092.64	0	2755.68
22+975.000	0	4274.04	0	3620.11
23+000.000	0	5408.67	0	4565.49
23+025.000	0	6274.8	0	5632.88
23+050.000	0	7186.61	0	6868.51
23+075.000	0	8202.68	0	7990.06
23+100.000	0	8960.55	0	8922.71
23+125.000	0	8957.34	0	9592.99
23+150.000	0	8888.69	0	9920.81

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
23+175.000	0	9175.9	0	10083.58
23+200.000	0	9214.65	0	10492.66
23+225.000	0	9040.44	0	10324.56
23+250.000	0	8683.48	0	9278.19
23+275.000	0	8344.82	0	8262.01
23+300.000	0	7959.77	0	7324.56
23+325.000	0	7303.02	0	6351.19
23+350.000	0	6404.86	0	5289.63
23+375.000	0	5352.71	0	4452.03
23+400.000	0	4458.37	0	3871.73
23+425.000	0	4044.97	0	3370.42
23+450.000	0	3650.56	0	2822.52
23+475.000	0	2850.8	0	2294.11
23+500.000	0	2289.49	0	1974.6
23+525.000	0	1975.8	0	1808.6
23+550.000	0	1730.82	0	1753.22
23+575.000	0	1664.92	0	1772.06
23+600.000	0	1652.97	0	1871.1
23+625.000	0	1766.61	0	2051.02
23+650.000	0	2019.62	0	2276.45
23+675.000	0	2478.81	0	2522.81
23+700.000	0	2755.35	0	2779.92
23+725.000	0	2909.69	0	3001.48
23+750.000	0	3171.58	0	3171.86
23+775.000	0	3329.06	0	3346.69
23+800.000	0	3488.76	0	3649.48
23+825.000	0	3665.29	0	4086.25

KETERANGAN	LIDAR		TERRESTRIS	
<u>Station</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Cut Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>	<u>Fill</u> <u>Volume</u> <u>(Cu.m.)</u>
23+850.000	0	3826.82	0	4488.4
23+875.000	0	3979.26	0	4762.05
23+900.000	0	4253.27	0	4898.46
23+925.000	0	4714.47	0	4944.53
23+950.000	0	5077.83	0	4957.44
23+975.000	0	5106.61	0	4944.7
24+000.000	0	4964.01	0	4886.45
24+025.000	0	4792.05	0	4744.72
24+050.000	0	4613.85	0	4538.32
24+075.000	0	4438.05	0	4318.43
24+100.000	0	4192.36	0	4086.75
24+125.000	0	5469	0	3816.47
24+150.000	0	3742.89	0	3617.89
24+175.000	0	3719.48	0	3531.09
24+200.000	0	3728.32	0	3549.48
24+225.000	0	3545.15	0	3489.87
24+250.000	0	3320.12	0	3311.05
24+275.000	0	1633.3	0	3165.97
JUMLAH	179047.4	1375330.68	75515.56	1508557.94

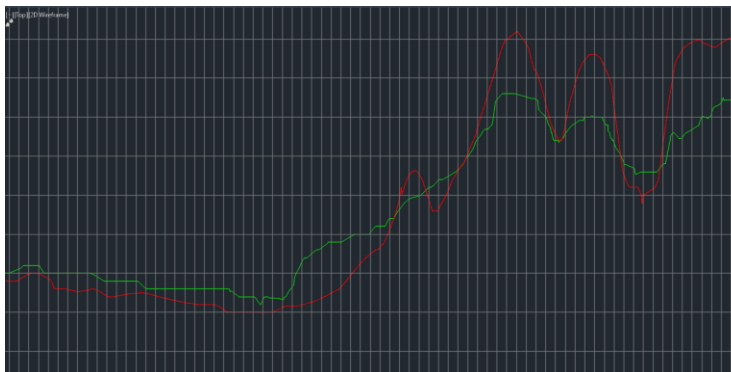
Lampiran 2 Perbandingan Profile LIDAR dan terestrial



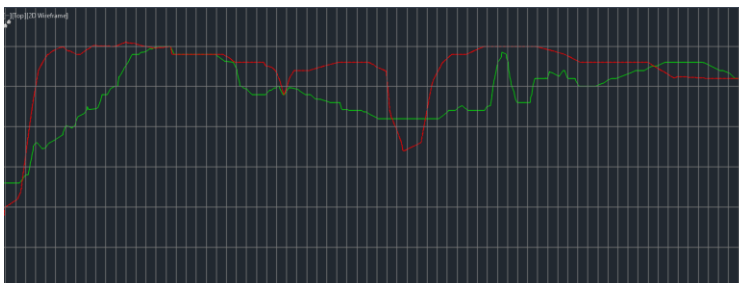
STA 0+000-2+000



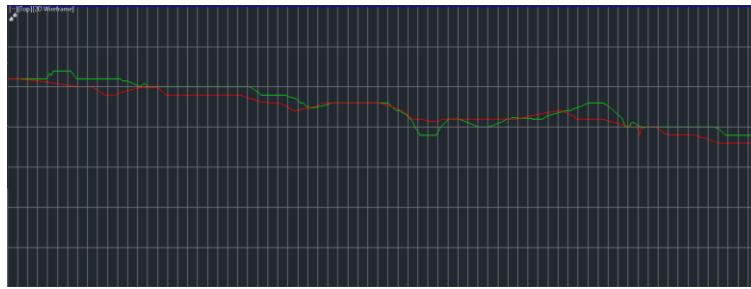
STA 2+000-4+000



STA 4+000-6+000



STA 6+000-8+000



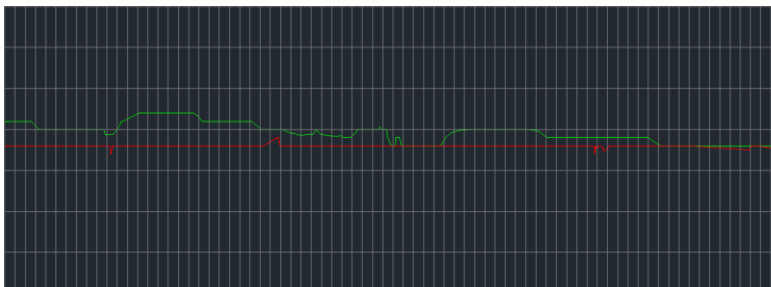
STA 8+000-10+000



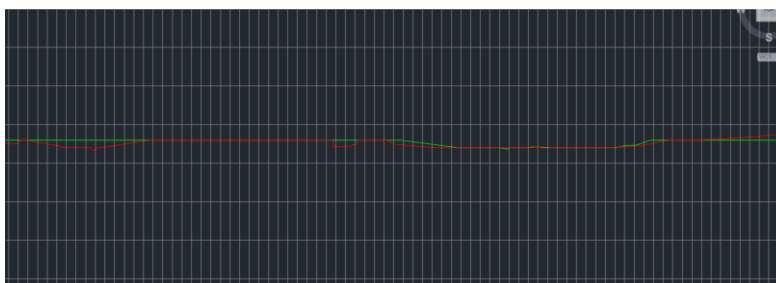
STA 10+000-12+000



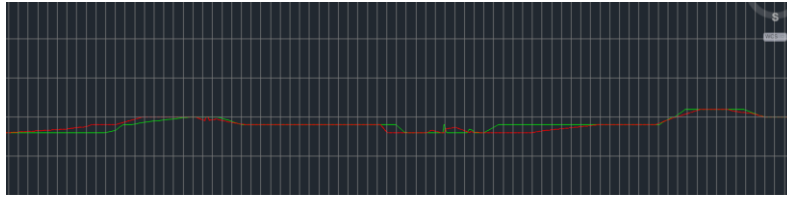
STA 12+000-14+000



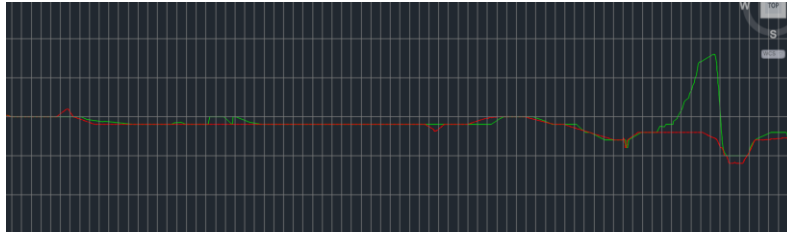
STA 14+000-16+000



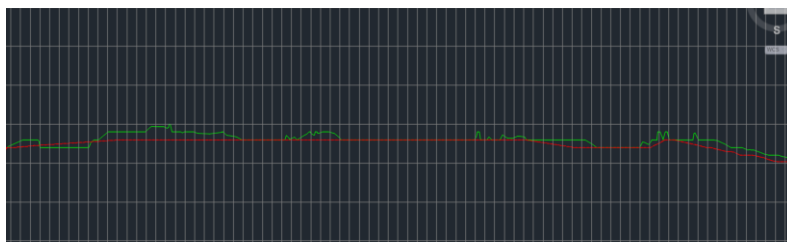
STA 16+000-18+000



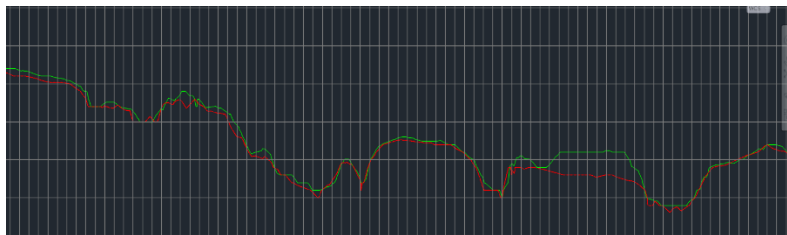
STA 18+000-20+000



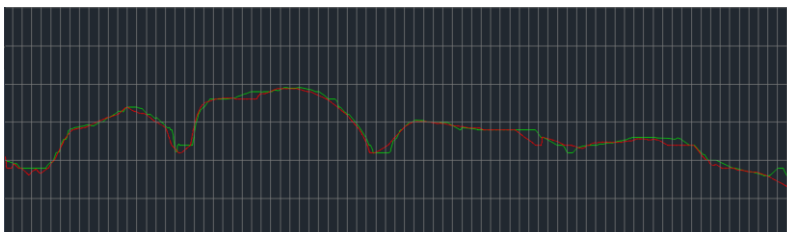
STA 20+000-22+000



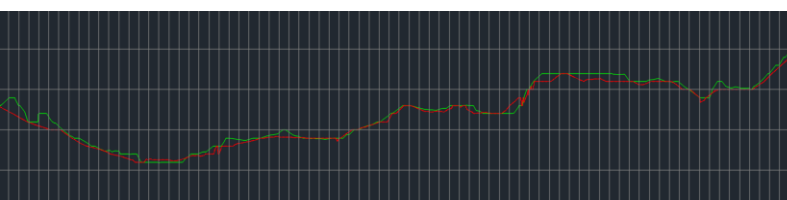
STA 22+000-24+000



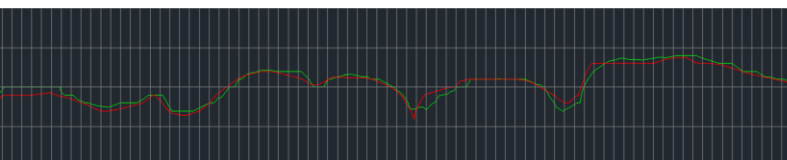
STA 24+000-28+000



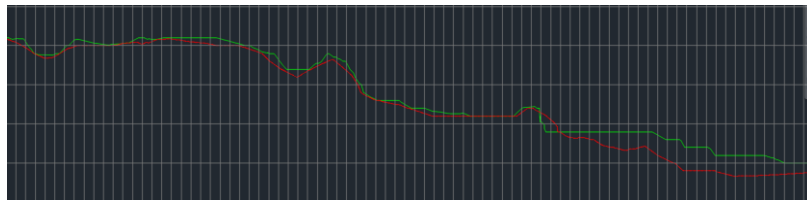
STA 28+000-30+000



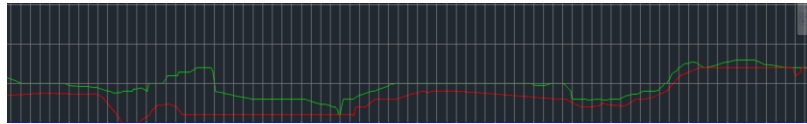
STA 30+000-32+000



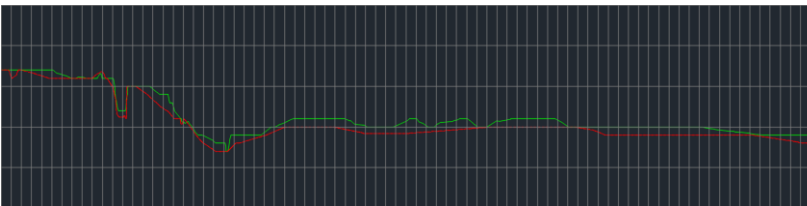
STA 32+000-34+000



STA 34+000-36+000



STA 36+000-38+000



STA 38+000-40+000



STA 40+000-41+800

Lampiran 3 *Expert Review* oleh Dedy Gunawan

Biografi singkat :

Dedy Gunawan menyelesaikan studi S1 Teknik Sipil ITB pada tahun 1999, kemudian melanjutkan studi Master mengenai Urban Infrastructure Engineering and Management di IHE Delf Belanda pada 2001 dan menyelesaikan studinya pada tahun 2003 dan saat ini beliau juga sedang mengambil program MBA di University of the People, Pasadena, California, Amerika Serikat. Beliau saat ini menjabat sebagai Kepala Subdit Perencanaan Teknik Jalan Bebas Hambatan, Direktorat Jalan Bebas Hambatan, Ditjen Bina Marga, Kementerian PUPR sejak September 2021, setelah sebelumnya menjabat sebagai Kepala Bidang Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan, Pusat Fasilitas Infrastruktur Daerah pada Februari 2019 sampai dengan September 2021. Beliau telah mengikuti berbagai pelatihan dan skala nasional hingga internasional sejak 2005, yang terkini beliau baru saja mengikuti Bloomberg ASEAN Business Summit. Beliau juga aktif melakukan publikasi jurnal ilmiah sejak 2004 dengan publikasinya yang terbaru berjudul *Delivery System* Pada Rencana Pembangunan Jalan Tol Jangka Panjang pada Jurnal HPJI Vol.8 No.1.

EXPERT REVIEW

OLEH

DEDY GUNAWAN, ST., MSc.

KEPALA SUBDIT PERENCANAAN TEKNIK JALAN BEBAS HAMBATAN

DIREKTORAT JALAN BEBAS HAMBATAN, DITJEN BINA MARGA

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

Tesis berjudul “Analisis Perbandingan Antara Metode LiDAR dan Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan untuk Efisiensi Aspek Biaya dan Waktu Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang” yang ditulis oleh Pak Erry Sugiharto, cukup inspiratif bagi pengembangan penyediaan data topografi untuk proyek konstruksi tidak hanya untuk jalan tol saja, namun bisa juga untuk proyek-proyek lain.

Berdasarkan dari hasil data topografi LiDAR, secara visual data LiDAR memberikan tingkat kedetailan yang cukup tinggi hampir mendekati dengan kondisi riil permukaan bumi dibandingkan data terrestrial. Dalam kaitannya dengan kedetailan yang dihasilkan, perhitungan volume pun juga dapat memberikan hasil yang akurat dengan pada saat tahap konstruksi. Dengan detailnya data yang dihasilkan dapat membantu perencana jalan tol mengefisiensi kebutuhan biaya khususnya pada proses penentuan ROW. Namun, teknologi terrestrial menurut kami masih sangat diperlukan di area-area yang sulit dijangkau oleh LiDAR seperti vegetasi lebat, area genangan dan lain sebagainya. Sehingga, kedua teknologi tersebut bukan saling menghilangkan satu sama lain, namun saling melengkapi kekurangan masing-masing.

Meskipun secara Analisa hasil yang diperoleh oleh Penulis sudah membahas pemanfaatan LiDAR dari hulu hingga hilir, perlu adanya pendetailan pada aspek lainnya misalnya analisis dampak lingkungan. Sehingga, praktisi mendapat gambaran apakah pemanfaatan teknologi LiDAR maupun Terrestrial dapat berpengaruh ke lingkungan atau tidak.

Jakarta, 23 Agustus 2022



Dedy Gunawan, ST., MSc.

Lampiran 4 *Expert Review* oleh Koentjoro

Biografi singkat :

Koentjoro menyelesaikan studi S1 Teknik Sipil di Universitas Diponegoro pada tahun 1993, kemudian melanjutkan studi S2 Manajemen Bisnis di ITB dan menyelesaikannya pada pertengahan tahun 2022 ini. Beliau merupakan jajaran direksi PT Hutama Karya (Persero) yang menjabat sebagai Direktur Operasi III PT Hutama Karya (Persero) yang membawahi bidang perencanaan jalan tol, pembangunan jalan tol dan pengoperasian serta pemeliharaan jalan tol. Selain menjabat sebagai Direktur Operasi III, saat ini beliau juga menjabat sebagai Komisaris Utama PT HK Aston, Dewan Pengawas Dapen PT Hutama Karya (Persero) dan Komisaris PT SIS.

EXPERT REVIEW

OLEH

Ir. KOENTJORO, MBA.

DIREKTUR OPERASI III PT. HUTAMA KARYA (PERSERO)

Tesis berjudul “Analisis Perbandingan Antara Metode LiDAR dan Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan untuk Efisiensi Aspek Biaya dan Waktu Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang” yang ditulis oleh Pak Erry Sugiharto, memberikan inovasi yang tentu sangat bermanfaat tidak hanya untuk penulis, namun juga untuk praktisi dalam memberikan gambaran perkembangan teknologi survey konstruksi yang ada di dunia saat ini.

Hal menarik yang dihasilkan dari pembahasan hasil yang diperoleh, menunjukan perbandingan profil memanjang dari teknologi LiDAR memberikan kenampakan yang sangat detail. Kedetailan tersebut sangat bermanfaat bagi *engineer* struktur dalam menentukan struktur apa yang cocok dibangun di area tersebut pada tahapan perencanaan desain. Sehingga, dengan informasi keadaan topografi tanah yang detail membuat proses perencanaan desain oleh engineer lebih tepat dan sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Hal tersebut dapat mengurangi resiko terjadinya *overestimate* dan *underestimate* pada aspek estimasi biaya.

Secara umum, penelitian yang ditulis oleh Pak Erry Sugiharto sudah cukup detail dan komprehensif dari segi pembahasan analisis yang diperoleh. Alangkah lebih baiknya jika penelitian tersebut dapat dikembangkan selanjutnya pemanfaatan digital survey hingga pada tahapan *maintenance* sehingga pembaca khususnya pemerintah semakin mendapat gambaran pengembangan teknologi survey canggih yang dapat meningkatkan efisiensi *digital survey* di berbagai proyek konstruksi.

Jakarta, 23 Agustus 2022


Ir. Koentjoro, MBA.

Lampiran 5 *Expert Review* oleh Iwan Hermawan

Iwan Hermawan merupakan alumni Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang menyelesaikan studi S1 Teknik Sipil pada 2004. Beliau kemudian mengambil keprofesian insinyur di universitas yang sama dan memperoleh gelar pada 2021, selanjutnya beliau melanjutkan studi S2 Teknik Sipil di Universitas Trisakti dan menyelesaikannya pada awal tahun 2022 ini. Beliau memulai karirnya di PT Utama Karya (Persero) pada tahun 2005 sebagai *Construction Engineer* Jembatan Suramadu *Approach Bridge* dan saat ini menjabat sebagai Executive Vice President Divisi Perencanaan Jalan Tol PT Utama Karya (Persero) yang secara langsung terlibat pada fase perencanaan & *engineering* serta pendanaan & investasi untuk *mega project* Jalan Tol Trans Sumatera yang membentang dari Bakauheni sampai dengan Aceh dengan Panjang sekitar 2.800 Kilometer. Beliau juga banyak meraih penghargaan sejak 2014 dengan raihan paling bergengsi berupa *Innovator of The Year* dalam Autodesk ASEAN *Innovator Award* pada tahun 2021. Selain itu, beliau juga aktif pada beberapa kegiatan organisasi antara lain HATTI dan HPJI.

EXPERT REVIEW

OLEH

Ir. IWAN HERMAWAN, ST., MT.

EXECUTIVE VICE PRESIDENT DIVISI PERENCANAAN JALAN TOL

PT. HUTAMA KARYA (PERSERO)

Tesis berjudul “Analisis Perbandingan Antara Metode LiDAR dan Terrestrial dalam Perhitungan Volume Galian dan Timbunan untuk Efisiensi Aspek Biaya dan Waktu Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Bangkinang” yang ditulis oleh Pak Erry Sugiharto, memberikan suatu perspektif baru tentang pengimplementasian teknologi LiDAR di proyek konstruksi khususnya pada aspek pekerjaan tanah tahapan Perencanaan Jalan Tol.

Pembahasan penelitian diawali dengan membahas alasan mengapa LiDAR menjadi salah satu solusi atas kebutuhan percepatan penyediaan data topografi pada fase perencanaan konstruksi, hal tersebut dikarenakan secara konvensional penyediaan data topografi pada fase perencanaan saat ini masih memanfaatkan teknologi terrestrial yang mana masih mengandalkan intervensi manusia yang rentan terhadap kesalahan blunder, memerlukan waktu yang lama, dan membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Sedangkan, kehadiran teknologi LiDAR UAV memberikan banyak manfaat seperti tingkat akurasi data yang mendekati konvensional namun memiliki tingkat kedetailan yang tinggi, dapat menyelesaikan penyediaan data topografi lebih cepat, dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai analisis lain seperti analisis *vertical clearance* SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi), deteksi bangunan otomatis dan lain sebagainya dengan satu data *point cloud* yang sama.

Secara garis besar, penelitian yang ditulis oleh Pak Erry sudah sangat komprehensif mengenai manfaat LiDAR untuk meningkat efisiensi dari segi biaya dan waktu di Proyek Jalan Tol. Namun, penelitian tersebut dapat dipertajam hingga Analisa ekonomi seperti contoh Laba dan Rugi yang diperoleh oleh BUJT pada saat proyek selesai dibangun. Sehingga, para praktisi dapat memperoleh gambaran perbandingan Laba dan rugi dari kedua teknologi tersebut agar inovasi pemanfaatan LiDAR bisa digunakan lebih masif.

Jakarta, 23 Agustus 2022



Ir. Iwan Hermawan, ST., MT.

Lampiran 6 Gantchart Jadwal Survey Topografi LIDAR Ruas Pekanbaru-Bangkinang

NO	ITEM OF WORK	PROGRES UNIT		Bulan ke 1																															Bulan ke 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</

Lampiran 7 Gantchart Jawal Survey Topografi Terrestrial Ruas Pekanbaru-Bangkinang

