

## Pemanfaatan Data Pengukuran Mobile Laser Scanner Analisis untuk Perubahan Elevasi Ruas Tol

Megan Rahmadiansyah<sup>a\*</sup>, Muhammad Iqbal Taftazani<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

### Research Article

#### DOI:

10.22146/jgst.v2i1.6097

#### correspondence:

megan.rahmadiansyah@gmail.com

#### Article history:

#### Received:

28-09-2022

#### Accepted:

29-11-2023

#### Published:

30-07-2024

### ABSTRACT

The rapid development of toll roads in Indonesia must be balanced with good monitoring. One method that can be used for toll road monitoring is the Mobile Laser Scanner (MLS) method, which is quite efficient for monitoring toll road elevation. This study uses MLS data for the Terbanggi Besar Pematang Panggang Kayu Agung Toll Road (TBPPKA) STA 27+500 to STA 30+212 taken in 2020 and 2021, which is processed using Global Mapper software with the subtract surface method to determine the value of elevation changes. The results of this study found that there was a change in the elevation of the TBPPKA toll road from 2020 to 2021 on Track A of -0.017 m to 0.022 m and on Track B of -0.025 m to 0.019 m.

**Keywords:** toll roads, monitoring, elevation, Mobile Laser Scanner, Global Mapper

### INTISARI

Pembangunan jalan tol di Indonesia yang semakin pesat di Indonesia perlu diimbangi pengamatan yang baik. Salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk monitoring jalan tol adalah metode Mobile Laser Scanner (MLS) yang cukup efisien, salah satunya untuk monitoring elevasi jalan tol. Penelitian ini menggunakan data MLS Ruas Tol Terbanggi Besar Pematang Panggang Kayu Agung (TBPPKA) STA 27+500 s.d. STA 30+212 yang diambil pada tahun 2020 dan 2021 yang diolah menggunakan perangkat lunak Global Mapper dengan metode subtract surface untuk mengetahui nilai perubahan elevasinya. Hasil dari penelitian ini ditemukan adanya perubahan elevasi ruas tol TBPPKA dari tahun 2020 ke 2021 di Track A sebesar -0,017 m s.d. 0,022 m dan di Track B sebesar -0,025 m s.d. 0,019 m.

**Kata kunci:** jalan tol, monitoring, elevasi, Mobile Laser Scanner, Global Mapper

## 1. Pendahuluan

Pembangunan jalan tol di Indonesia sedang mengalami peningkatan yang pesat sehingga semua bidang yang terlibat dituntut untuk bekerja dengan cepat dan efisien. Ruas jalan tol perlu dilakukan monitoring secara berkala untuk mengetahui kondisi jalan. Menurut van der Horst dkk., (2019), deteksi kerusakan jalan penting untuk menentukan keselamatan jalan dan perencanaan pemeliharaan jalan. Salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk monitoring jalan tol adalah metode Mobile Laser Scanner (MLS). Metode ini cocok digunakan untuk monitoring jalan tol secara cepat (van der Horst dkk., 2019).

PT Utama karya telah mengimplementasikan metode MLS pada ruas jalan tol di Sumatera untuk monitoring elevasi jalan tol. Salah satu ruas tol di Sumatera yakni Ruas Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang-Kayu Agung (TBPPKA) merupakan salah satu ruas dengan total panjang 189 KM. Ruas TBPPKA terletak di Provinsi Lampung dan Sumatera Selatan. Ruas Tol TBPPKA terbagi menjadi 3 bagian, yaitu ruas tol Terbanggi Besar yang terletak di Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung, dan ruas tol Pematang Panggang dan Kayu Agung yang terletak di Kabupaten Ogan Komering Ilir, Provinsi Sumatera Selatan. Denah ruas tol TBPPKA dapat dilihat pada Gambar 1.

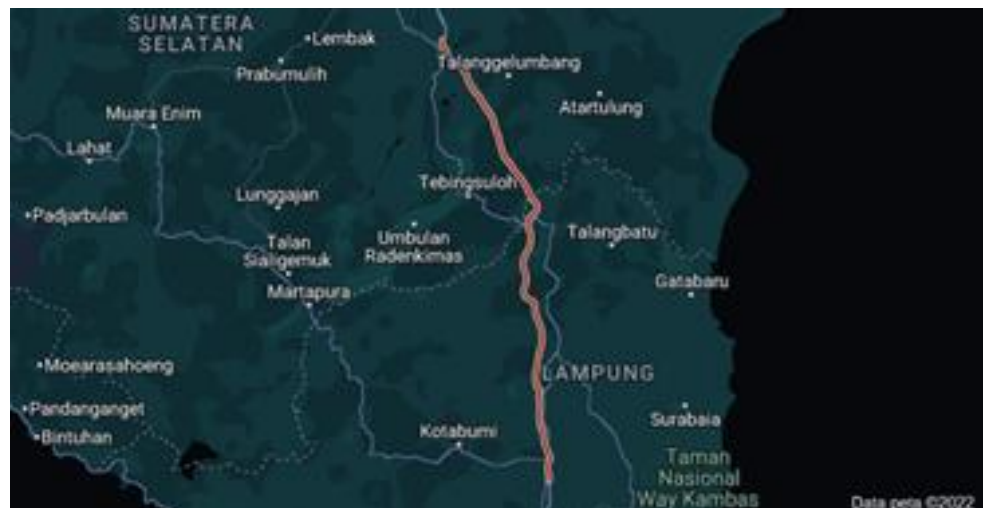
Artikel ini membahas tentang analisis perubahan elevasi yang terjadi pada Ruas Tol TBPPKA menggunakan hasil pengukuran MLS. Dalam hal ini, memonitor ruas tol TBPPKA khususnya pada STA 27+500 s.d. STA 30+212.

### 1.1. Jalan Tol

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Nomor 15 Tahun 2005, jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan

membayar tol. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 Pasal 6 jalan tol harus mempunyai spesifikasi:

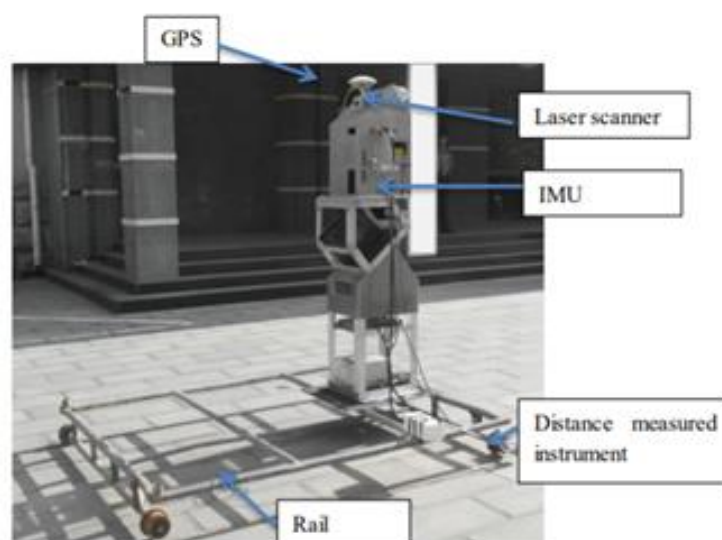
- tidak ada persimpangan sebidang dengan ruas jalan lain atau dengan prasarana transportasi lainnya;
- jumlah jalan masuk dan jalan keluar ke dan dari jalan tol dibatasi secara efisien dan semua jalan masuk dan jalan keluar harus terkendali secara penuh;
- jarak antar simpang susun, paling rendah 5 (lima) kilometer untuk jalan tol luar perkotaan dan paling rendah 2 (dua) kilometer untuk jalan tol dalam perkotaan;
- jumlah lajur sekurang-kurangnya dua lajur per arah;
- menggunakan pemisah tengah atau median; dan
- lebar bahu jalan sebelah luar harus dapat dipergunakan sebagai jalur lalu-lintas sementara dalam keadaan darurat.



Gambar 1. Denah Ruas Tol TBPPKA. Garis merah menandakan ruas tol TBPPKA.

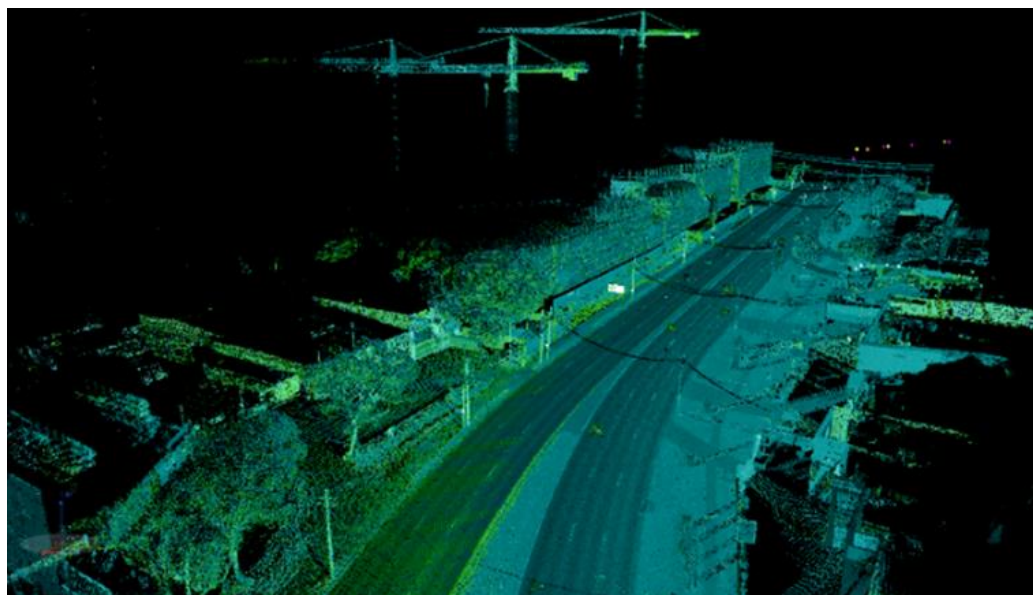
## 1.2. Mobile Laser Scanner

Menurut Bosché dkk., (2015), akuisisi informasi 3D dengan laser scanner dapat digunakan untuk monitoring struktur dari suatu konstruksi yang telah dibangun. Mobile Laser Scanner (MLS) adalah teknologi untuk melakukan rekonstruksi model riil menjadi model digital dengan memanfaatkan teknologi berbasis sinar laser. Keluaran dari MLS berupa point cloud yang memiliki visual dan geometri yang menyerupai bentuk asli dari objek yang dipindai. Menurut Elberink dkk., (2013), MLS dapat menghasilkan pengukuran 3D yang akurat dari semua objek yang ada dalam lingkungan pengukuran. Menurut Puente dkk., (2012), MLS yang akuisisi datanya dinamis sehingga cocok diaplikasikan pada jalan tol. Adapun komponen-komponen MLS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen MLS. GPS, Laser Scanner, IMU, Distance Measured Instrument, dan Rail. (Youmei Han, Bogang Yang, & Yinan Zhen, 2016).

Hasil dari pemindaian MLS berupa point cloud merupakan kumpulan titik-titik dengan kerapatan tertentu sehingga dapat menyerupai objek asli yang dipindai. Contoh hasil akuisisi data point cloud menggunakan Mobile Laser Scanner dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Akuisisi. Data Mobile Laser Scanner. (BCE Spatial, t.thn.).

### 1.3. Elevasi

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia elevasi adalah ketinggian suatu tempat terhadap daerah sekitarnya (di atas permukaan laut). Pada penelitian ini elevasi digunakan untuk mendefinisikan ketinggian permukaan jalan ruas tol. Elevasi suatu lokasi dapat dinyatakan dalam satuan meter. Elevasi suatu lokasi dapat berubah-ubah dan kejadian ini disebut penurunan elevasi atau penurunan tanah.

Penurunan tanah dapat didefinisikan turunnya elevasi permukaan tanah terhadap bidang referensi yang dianggap stabil. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah. Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter (Whittaker & Reddish, 1989). Adapun beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah, (Whittaker & Reddish, 1989), yaitu :

- a. Penurunan muka tanah alami (natural subsidence) akibat proses-proses geologi.
- b. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan cair dari bawah tanah.
- c. Penurunan muka tanah akibat adanya beban-beban berat di atasnya.
- d. Penurunan muka tanah akibat bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).

### 1.4. Point Sampling

Point Sampling adalah strategi pengambilan sampel yang hanya mempertimbangkan kepadatan sampel secara seragam. Sampel tersebar sedemikian rupa sehingga probabilitas titik permukaan yang diambil sampelnya sama untuk semua titik. Metode ini dipilih karena sederhana, efisien, dan tidak bias (Nehab & Shilane, 2004). Sebagai contoh untuk pengukuran elevasi jalan bisa dilakukan point sampling dengan menempatkan titik-titik pada bagian bahu jalan kiri, as jalan, dan bahu jalan kanan setiap 25 m dari titik awal hingga titik akhir pengukuran. Titik-titik yang sudah ditempatkan kemudian diukur sesuai dengan kebutuhannya misal untuk pengukuran elevasi. Nilai elevasi pada masing-masing bagian pada tiap track kemudian dihitung nilai selisihnya menggunakan rumus pada Persamaan 1 berikut.

$$\Delta H X_1 \text{ Track } X = X_1 \text{ Track } X (2021) - X_1 \text{ Track } X (2020)$$

$$\Delta H X_2 \text{ Track } X = X_2 \text{ Track } X (2021) - X_2 \text{ Track } X (2020)$$

$$\Delta H X_3 \text{ Track } X = X_3 \text{ Track } X (2021) - X_3 \text{ Track } X (2020)$$

⋮

$$\Delta H X_n \text{ Track } X = X_n \text{ Track } X (2021) - X_n \text{ Track } X (2020) \quad (1)$$

Dalam hal ini,  $\Delta H X_n$  : Nilai selisih elevasi bagian X set data ke-n,  $X_n$  : Bagian titik sampel set data ke-n (bahu kiri, centerline lajur, bahu kanan), dan Track X : Track yang diolah (Track A atau Track B).

Nilai rerata hasil perhitungan selisih elevasi di bahu kiri, centerline lajur, dan bahu kanan di tiap track memiliki nilai rerata masing-masing, kemudian ketiga nilai rerata tersebut dihitung lagi nilai reratanya sehingga akan ditemukan nilai rerata selisih elevasi pada masing-masing track seperti pada Persamaan 2 berikut.

$$\begin{aligned}\overline{\Delta H} \text{ Track A} &= \frac{\Delta H J \text{ Track A} + \Delta H K \text{ Track A} + \Delta H L \text{ Track A}}{3} \\ \overline{\Delta H} \text{ Track B} &= \frac{\Delta H J \text{ Track B} + \Delta H K \text{ Track B} + \Delta H L \text{ Track B}}{3}\end{aligned}\quad (2)$$

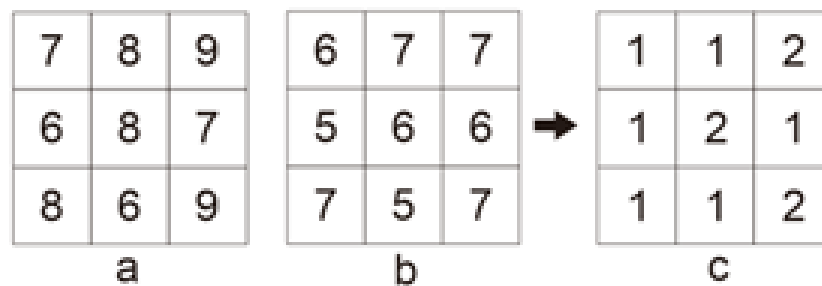
Dalam hal ini,  $\Delta H$  : Rerata selisih elevasi, J : Bahu kiri, K : Centerline lajur dan L : Bahu Kanan.

### 1.5. Subtract Surface

Subtract Surface merupakan proses pengolahan data raster dengan membandingkan dua surface yang berada di lokasi yang sama sehingga menghasilkan surface baru (Włodarczyk-Sielicka dkk., 2022). Subtract Surface akan melakukan overlay dua layer surface yang dibentuk dari data MLS 2021 dan MLS 2020. Dalam melakukan overlay kedua surface harus berada pada nilai koordinat yang sama sehingga tidak ada pergeseran pada kedua surface tersebut.

$$\text{rentang perubahan elevasi} = \text{surface}_{\text{akhir}} - \text{surface}_{\text{awal}} \quad (3)$$

Dalam hal ini, Surface akhir : surface 2021, Surface awal : surface 2020.



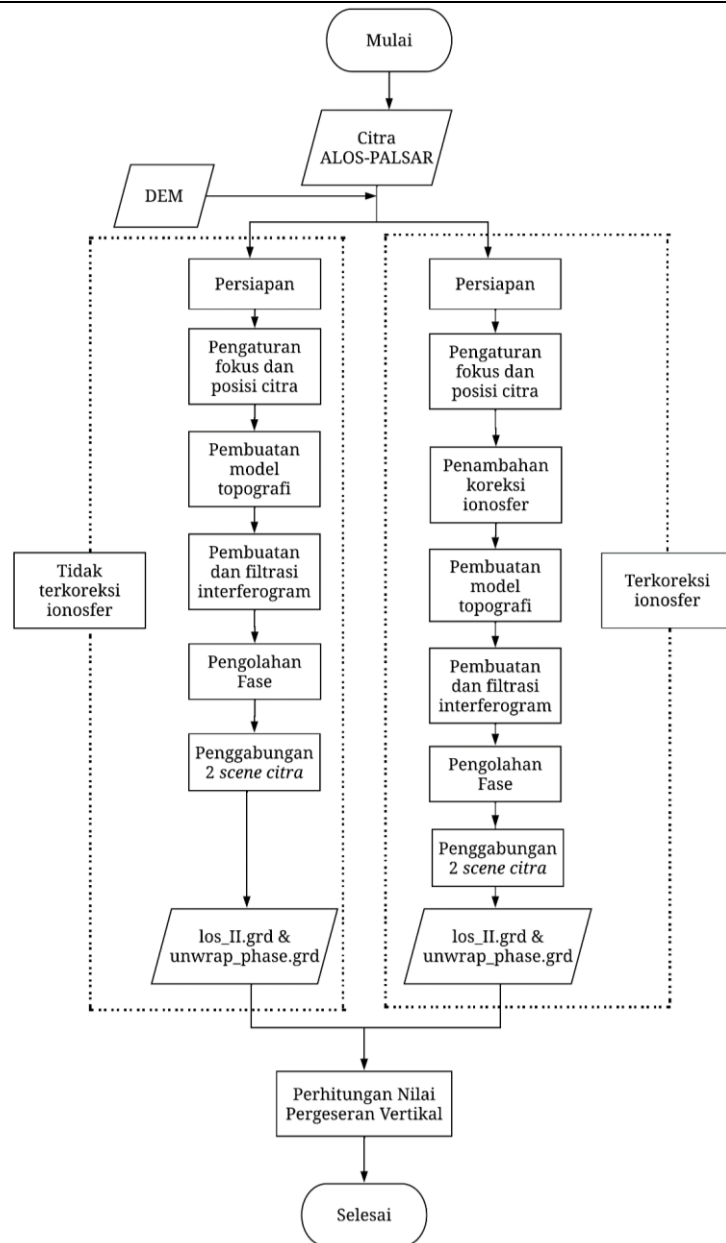
**Gambar 4. Ilustrasi Subtract Surface.** Nilai elevasi pada subtract surface diperoleh dari pengurangan surface (a) dengan (b) sehingga akan diperoleh nilai elevasi pada surface (c). (ArcGIS, Minus (3D Analyst), t.thn.).

Bahan yang digunakan dalam analisis elevasi ruas tol ini yaitu Centerline Ruas Tol TBPPKA STA 27+500 s.d. STA 30+212 serta data Mobile Laser Scanner ruas Tol TBPPKA STA 27+500 s.d. STA 30+212 tahun 2020 dan 2021 dengan format data .las dari alat Mobile Laser Scanner Leica Pegasus Two Ultimate yang terpasang pada wahana mobil Mitsubishi Pajero Sport dengan kecepatan pergerakan wahana 50 km/jam.

Pengukuran MLS menggunakan GPS dalam penentuan koordinat horizontal dan vertikal. Datum yang digunakan adalah WGS-84 dengan Sistem Koordinat UTM. Lokasi penelitian terletak pada UTM Zona 48S dengan koordinat titik STA 27+500 adalah 521.380,8587 M, 9.487.281,2868 M dan koordinat titik STA 30+212 adalah 520.830,7442 M, 9.489.575,636 M. Bidang referensi yang digunakan untuk elevasi adalah bidang referensi elipsoid.

## 2. Metode

Tahapan pelaksanaan analisis elevasi ruas tol ini dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 5. Tahapan pertama yang dilakukan adalah melakukan point sampling untuk mengetahui nilai shifting elevasi antara MLS 2020 dan MLS 2021 sehingga bisa diketahui nilai koreksinya. Kemudian dilakukan pembuatan area pengolahan berupa batas track area mainroad yang di-crop dengan objek non-ground. Batas yang dibuat berdasarkan data centerline yang di-offset terhadap bahu jalan yang ada pada data MLS. Selanjutnya dilakukan adalah pembuatan surface MLS menggunakan metode grid "Binning (Average Value)" dengan Grid Spacing 0,01 cm dan parameter Loose. Hasil surface MLS 2021 kemudian dikoreksi berdasarkan hasil point sampling. Setelah seluruh surface MLS 2021 dan 2020 pada kedua track dibuat dilakukan subtract surface menggunakan operasi "Subtraction (Difference) - Signed" untuk mengetahui perubahan elevasi yang terjadi antara MLS 2020 dan MLS 2021. Setelah proses subtract surface selesai selanjutnya dilakukan analisis perubahan elevasi.



Gambar 5. Diagram alir pelaksanaan penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan point sampling menunjukkan adanya shifting elevasi pada MLS 2021 sekitar +25 cm akibat kesalahan sistematis saat pengukuran. Rerata hasil selisih elevasi point sampling dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi citra Satelit ALOS-PALSAR

Track A (meter)			CL Utama (meter)	Track B (meter)		
Bahu Kiri	CL Lajur	Bahu Kiri		Bahu Kiri	CL Lajur	Bahu Kiri
0,252	0,252	0,253	0,259	0,258	0,258	0,256
Rerata Track A (meter) 0,252				Rerata Track B (meter) 0,257		

Pada pembuatan area pengolahan pertama adalah Batas Track Area Mainroad. Setelah batas track dibentuk kemudian objek-objek non-ground diseleksi untuk nantinya dilakukan cropping. Objek-objek non-ground yang ditemukan diantaranya ada mobil, rambu, rubbercone, dan objek non-ground lain yang memiliki nilai elevasi yang ekstrem terhadap permukaan jalan.

Hasil surface MLS 2020 dan 2021 sebelum dilakukan subtract surface dilakukan koreksi pada surface MLS 2021 berdasarkan hasil point sampling. Hasil subtract MLS menunjukkan nilai perubahan

elevasi dan menampilkan visual pada seksi yang diolah. Hasil perubahan elevasi dituliskan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil analisis ditemukan adanya perubahan elevasi pada Track A dan Track B berupa kenaikan dan penurunan elevasi. Seksi yang mengalami perubahan elevasi cukup drastis ada pada seksi 8 di Track B yang terjadi penurunan sebesar 7,5 cm. Seksi 7 Track A, Seksi 7 Track B, dan Seksi 8 Track A nilai perubahan elevasinya hampir mendekati batas ketentuan PT Utama Karya yakni sebesar  $\pm 5$  cm. Seksi 7 Track A mengalami kenaikan sebesar 4,5 cm, Seksi 7 Track B mengalami kenaikan sebesar 4,7 cm, dan Seksi 8 Track A mengalami penurunan sebesar 4,8 cm. Berdasarkan nilai rerata keseluruhan nilai perubahan elevasinya sudah memenuhi ketentuan PT Utama Karya yakni kurang dari  $\pm 5$  cm meskipun ada beberapa seksi yang masih menjadi catatan karena nilai perubahannya mendekati atau melebihi  $\pm 5$  cm. Nilai rerata akhir perubahan elevasi pada Track A ada pada rentang -0,019 m s.d. 0,017 m, pada Track B ada pada rentang -0,025 m s.d. 0,019 m.

Tabel 2. Tabel Rentang Perubahan Elevasi Ruas TBPPKA STA 27+500 s.d. 30+212

Seksi	STA Awal	STA Akhir	Track A (m)		Track B (m)	
			Min	Max	Min	Max
1	27+500	27+761	-0,027	0,016	-0,022	0,005
2	27+761	28+000	-0,004	0,019	-0,021	0,005
3	28+000	28+250	-0,002	0,026	-0,026	-0,008
4	28+250	28+500	-0,010	0,014	-0,024	0,014
5	28+500	28+750	-0,018	0,012	0,001	0,040
6	28+750	29+000	0,000	0,041	-0,002	0,050
7	29+000	29+250	-0,006	0,045	-0,024	0,047
8	29+250	29+500	-0,048	0,023	-0,075	0,020
9	29+500	29+750	-0,034	-0,006	-0,018	0,015
10	29+750	30+000	-0,032	-0,009	-0,026	0,019
11	30+000	30+212	-0,023	0,002	-0,037	0,005
		Rerata	-0,019	0,017	-0,025	0,019

Tabel 3. Spesifikasi Data GNSS

Stasiun	Tanggal Pengamatan	DOY (Day of Year)
BSAT	21/07/2007	197
BSAT	21/09/2007	264
SLBU	21/07/2007	197
SLBU	21/09/2007	264

Pengolahan data GNSS dilakukan untuk memperoleh koordinat titik stasiun SuGAR yaitu BSAT dan SLBU. Nilai koordinat dari hasil pengolahan data GNSS digunakan sebagai data acuan untuk dibandingkan dengan nilai koordinat hasil pengolahan citra satelit. Pengolahan GNSS dilakukan dengan menggunakan mode statik dengan jaring pengolahan seperti pada Gambar 5a dan 5b. Hasil pengolahan data GNSS berupa nilai koordinat latitude, longitude, dan ketinggian. Untuk memperoleh nilai pergeseran vertikal, nilai ketinggian saat DOY 264 dikurangkan dengan nilai ketinggian saat DOY 197. Nilai pergeseran vertikal tersebut dijadikan acuan dalam validasi hasil pengolahan citra satelit.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat ditarik beberapa kesimpulan. Pertama ruas tol TBPPKA pada STA 27+500 s.d. STA 30+212 telah dibentuk model surface-nya berdasarkan data pengukuran menggunakan MLS pada tahun 2020 dan 2021 dan juga telah dibentuk model subtract-nya yang merupakan hasil selisih elevasi antar periode pengukuran. Kedua perubahan elevasi yang terjadi pada ruas tol TBPPKA pada STA 27+500 s.d. STA 30+212 mengalami penurunan dan kenaikan di Track A dan Track B. Ketiga rerata nilai perubahan elevasi pada ruas tol TBPPKA pada STA 27+500 s.d. STA 30+212 Track A sebesar -0,019 m s.d. 0,017 m. Keempat Rerata nilai perubahan elevasi pada ruas tol TBPPKA pada STA 27+500 s.d. STA 30+212 Track B sebesar -0,025 m s.d. 0,019 m.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT Utama Karya yang telah memberikan izin dalam penggunaan data pengukuran MLS Ruas Tol TBPPKA sebagai bahan dalam penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Halim Wiranata dan Audita Widya Astuti dari PT Utama Karya dalam supervisi penulisan artikel ini.

## 6. Daftar Pustaka

- ArcGIS. (t.thn.). Minus (3D Analyst). Diambil kembali dari ArcGIS Pro Documentation: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/minus.htm>
- BCE Spatial. (t.thn.). BCE Spatial - Mobile Laser Scanning Princes HWY Sydney. Diambil kembali dari BCE Spatial: <https://www.bcespatial.com.au/project.php?projectid=16>
- Bosché, F., dkk. (2015). The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM. *Automation in Construction*.
- Elberink, S. O., dkk. (2013). Rail Track Detection and Modelling in Mobile Laser Scanner Data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W2, 2013, 223-228*.
- Nehab, D., & Shilane, P. (2004). Stratified Point Sampling of 3D Models. *Eurographics Symposium on Point-Based Graphics*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2005). Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol. Jakarta.
- Puente, I., dkk. (2011). Land-Based Mobile Laser Scanning Systems: A Review. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W12, 2011, 163-168*.
- van der Horst, B. B., Lindenbergh, R. C., & Puister, S. W. (2019). Mobile Laser Scan Data for Road Surface Damage Detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W13, 2019, 1141-1148*.
- Whittaker, B., & Reddish, D. (1989). *Subsidence: Occurrence, Prediction and Control*. Nottingham: Elsevier Science Publishing Company Inc.
- Youmei Han, Bogang Yang, & Yinan Zhen. (2016). Mobile 3D laser scanning technology application in the surveying of urban undergroundrail transit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 46*.