

**PENINGKATAN LEGER JALAN DARI MODEL 2D
MENJADI MODEL 3D UNTUK KEGIATAN PRESERVASI
JALAN**

TESIS

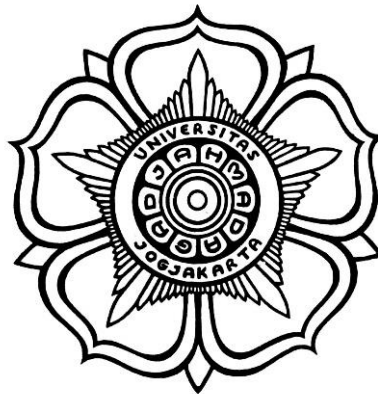


LUTHVIASARI ASTUDIRO
20/467411/PTK/13472

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2023**

UPGRADING 2D MODEL ROAD LEDGER TO 3D MODEL FOR ROAD PRESERVATION

THESIS



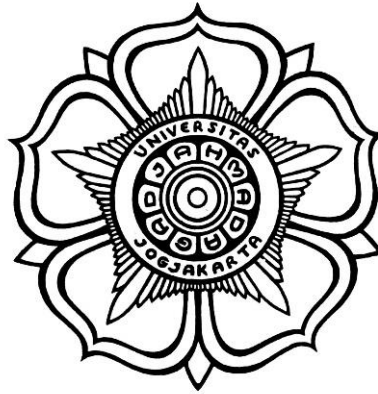
LUTHVIASARI ASTUDIRO
20/467411/PTK/13472

MASTER STUDY PROGRAM OF GEOMATIC ENGINEERING
DEPARTMENT OF GEODETIC ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2023

PENINGKATAN LEGER JALAN DARI MODEL 2D MENJADI MODEL 3D UNTUK KEGIATAN PRESERVASI JALAN

TESIS

Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam mencapai derajat Magister Teknik
Program Studi Teknik Geomatika



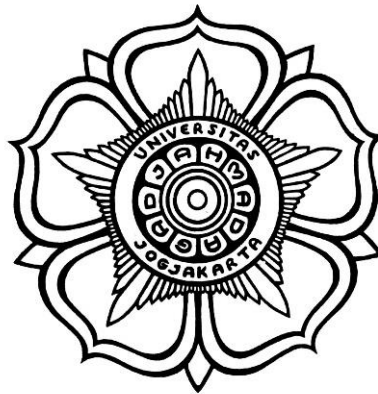
LUTHVIASARI ASTUDIRO
20/467411/PTK/13472

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2023**

UPGRADING 2D MODEL ROAD LEDGER TO 3D MODEL FOR ROAD PRESERVATION

THESIS

Submitted as a partial fulfillment of the requirements for obtaining the degree of
Magister of Engineering in the Study Program of Geodetic Engineering



LUTHVIASARI ASTUDIRO
20/467411/PTK/13472

MASTER STUDY PROGRAM OF GEOMATIC ENGINEERING
DEPARTMENT OF GEODETIC ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2023



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Peningkatan Leger Jalan Dari Model 2D Menjadi Model 3d Untuk Kegiatan Preservasi Jalan

LUTHVIASARI ASTUDIRO, Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.

Universitas Gadjah Mada, 2023 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

TESIS
PENINGKATAN LEGER JALAN DARI MODEL 2D
MENJADI MODEL 3D UNTUK KEGIATAN PRESERVASI
JALAN

LUTHVIASARI ASTUDIRO

20/467411/PTK/13472

telah disetujui Pembimbing

Pembimbing


Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.

NIP. 19750422 200212 1 002



TESIS
PENINGKATAN LEGER JALAN DARI MODEL 2D MENJADI MODEL
3D UNTUK KEGIATAN PRESERVASI JALAN

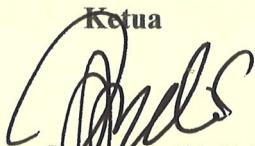
LUTHVIASARI ASTUDIRO

20/467411/PTK/13472

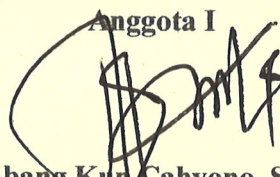
telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 18 Juli 2023

Susunan Tim Penguji:

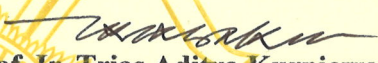
Ketua


Dr. Eng. Ir. Purnama Budi Santosa,
S.T., M.App.Sc., IPM
NIP. 197209251998031001

Anggota I


Dr. Bambang Kun Cahyono, S.T., M.Sc.
NIP. 198103222005011005

Anggota II


Prof. Ir. Trias Aditya Kurniawan M, S.T.,
M.Sc., Ph.D., IPU.
NIP. 197504222002121002

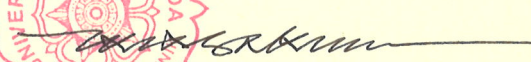
Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Magister
Tanggal 18 Juli 2023

Ketua Program Studi Magister Teknik Geomatika


I Made Andi Arsana, S.T., M.E., Ph.D
NIP. 197805122002121001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geodesi


Prof. Ir. Trias Aditya Kurniawan M, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.
NIP. 197504222002121002

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Luthviasari Astudiro
NIM : 20/467411/PTK/13472
Tahun terdaftar : 2020
Program Studi : Magister Teknik Geomatika
Fakultas : Teknik

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tesis ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Tesis ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Yogyakarta, Juli 2023



Luthviasari Astudiro
20/467411/PTK/13472

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini aku persembahkan untuk kedua orang tuaku, keluarga kecilku, keluarga besarku, adik-adikku, dan generasi setelahku.

Karena sejatinya *urip iku urup*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia_nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah dengan judul “Peningkatan Leger Jalan Dari Model 2D Menjadi Model 3D Untuk Kegiatan Preservasi Jalan”. Tujuan dari penyusunan tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister pada program studi Magister Teknik Geomatika, Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Selama persiapan, penyusunan hingga penyelesaian tesis ini penulis mendapatkan banyak dorongan, bimbingan, saran dan masukan dari berbagai pihak. Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas dan melimpahkan segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Pak Suami, Mamah, Bapak, serta seluruh keluarga besar baik di Jogja, Cilacap juga Lampung atas segala doa, kasih sayang, perhatian dan dukungan yang telah diberikan;
2. Bapak Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU. sebagai pembimbing tesis ini sekaligus Kepala Departemen Teknik Geodesi UGM untuk ilmu yang diberikan serta kesabarannya dalam menghadapi segala persoalan penulis untuk menyelesaikan tesis ini;
3. Tim Penguji Bapak Dr. Eng. Ir. Purnama Budi Santosa, S.T., M.App.Sc., IPM dan Bapak Dr. Bambang Kun Cahyono, S.T., M.Sc., yang telah menyediakan waktu untuk memberikan kritik dan saran terhadap penelitian ini;
4. Bapak I Made Andi Arsana, S.T., M.E., Ph.D selaku ketua program studi Magister Teknik Geomatika dan Ibu Ir. Nurrohmat Widjajanti, M.T., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng sebagai ketua program studi Magister Teknik Geomatika periode sebelumnya untuk arahannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini. Tidak lupa penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Bapak Afiat Edy Darmawan atas bantuannya dalam memenuhi administrasi perkuliahan;

5. Bapak ibu dosen Magister Teknik Geomatika yang telah berbagi ilmu, sehingga penulis mendapatkan tambahan ilmu dan pengalaman baru selama proses perkuliahan;
6. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memeberikan penulis kesempatan untuk melanjutkan pendidikan pada tingkat magister;
7. Sekretaris BPSDM Kementerian PUPR, Sekretaris Dirjen Bina Marga serta Direktur Bina Teknik atas izin belajar yang telah diberikan sehingga penulis mendapat kesempatan untuk mengembangkan ilmu yang penulis miliki;
8. Teman-teman leger jalan dan Hirfi Studio atas dukungan, tukar pikiran dan kebersamaan yang selama ini terjalin;
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyadari penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna mengingat keterbatasan kemampuan, pengalaman dan pengetahuan penulis. Oleh karenanya penulis meminta maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun bagi penyempurnaan tesis ini. Akhir kata penulis berharap tesis ini dapat berguna bagi pembaca.

Yogyakarta, Juli 2023



Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
INTISARI	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Pertanyaan Penelitian	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	4
I.6. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
I.7. Tinjauan Pustaka	4
BAB II LANDASAN TEORI	7
II.1. Leger Jalan	7
II.2. Pemodelan dan Visualisasi 3D	9
II.2.1. CityGML	10
II.2.2. IFC (Industry Foundation Classes).....	13
II.3. <i>Building Information Modelling</i> (BIM)	15
II.4. GeoBIM.....	18
II.5. Uji Kualitas Pemodelan.....	20
II.1.1 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	20
II.1.2 Simpangan Baku.....	21
II.1.3 Pengujian Hipotesis	21
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN	23
III.1. Persiapan	23
III.1.1. Lokasi Kegiatan.....	23
III.1.2. Peralatan	24
III.1.3. Bahan	24
III.2. Pelaksanaan	25
III.1.1 Identifikasi data leger jalan.....	27



III.1.2	Pembuatan Model 3D Dari Data Pengukuran Leger	29
III.1.3	Uji Kualitas Model 3D	37
III.1.4	Konversi dan analisis model IFC ke CityGML	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
IV.1	Hasil Identifikasi Data Leger Jalan	40
IV.2	Hasil Pemodelan 3D	44
IV.2.1	Hasil Pemodelan 3D Tiang Pancang	46
IV.2.2	Hasil Pemodelan 3D <i>Girder</i> dan Lapisan Aspal	48
IV.2.3	Hasil Pemodelan 3D Pengaman Jalan dan Perlengkapan Jalan	50
IV.2.4	<i>Georeferencing</i> Hasil Pemodelan 3D Leger Jalan	52
IV.3	Hasil Uji Kualitas Model 3D	53
IV.4	Hasil Konversi Model 3D dari IFC ke CityGML	57
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	62
V.1	Kesimpulan	62
V.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	.....	64
LAMPIRAN	.....	68
LAMPIRAN A	.....	69
LAMPIRAN B	.....	77
LAMPIRAN C	.....	82
LAMPIRAN E	.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Prosedur pembuatan leger jalan	8
Gambar II.2. Representasi objek spasial.....	10
Gambar II.3 LOD pada CityGML	11
Gambar II.4. UML model bangunan pada CityGML	11
Gambar II.5. Model bangunan pada CityGML.....	12
Gambar II.6. UML model bangunan pada IFC.....	14
Gambar II.7. Model bangunan pada IFC	14
Gambar II.8 Siklus BIM	16
Gambar II.9 Dimensi BIM.....	17
Gambar II.10 Tumpang tindih perkembangan GIS dan BIM	18
Gambar III.1 Lokasi tol layang AP Pettarani.....	23
Gambar III.2 Diagram alir	26
Gambar III.3 Tampilan situasi dan titik pengukuran pada <i>AutoCAD</i>	27
Gambar III.4 Data non spasial pada dokumen leger.....	28
Gambar III.5 Penampang memanjang pada konstruksi jalan tol layang AP Pettarani	30
Gambar III.6. Penampang melintang pada konstruksi jalan tol layang AP Pettarani.....	30
Gambar III.7 Pengaturan <i>import file</i> CAD	30
Gambar III.8 Contoh lapisan aspal	35
Gambar III.9 Jenis-jenis pengaman jalan.....	35
Gambar III.10. Pengisian nilai elevasi rambu.....	36
Gambar IV.1 Perbandingan hasil pemodelan 3D dari dokumen leger jalan dan TLS.....	45
Gambar IV.2 Hasil pemodelan tiang pancang	47
Gambar IV.3 Hasil pemodelan 3D <i>girder</i>	48
Gambar IV.4 Bentuk model 3D perlengkapan jalan lainnya	51
Gambar IV.5 Perbedaan koordinat model 3D sebelum dan setelah <i>georeferencing</i>	52
Gambar IV.6 Elevasi model 3D patok LJ1	53
Gambar IV.7 Selisih volume tiang pancang model	54
Gambar IV.8 Selisih nilai koordinat model 3D hasil leger dan data pengukuran leger	55
Gambar IV.9 Perbedaan elevasi dasar pemodelan 3D dan model 3D TLS	56
Gambar IV.10 <i>Mapping</i> konversi model 3D Revit, IFC dan CityGML.....	57
Gambar IV.11 Pengaturan <i>export</i> IFC ke CityGML pada FZKViewer.....	58
Gambar IV.12 Tampilan <i>properties</i> pada CityGML	60



DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kebutuhan Akurasi Bangunan pada CityGML	13
Tabel II.2 Jenis dan Deskripsi <i>Level of Development</i> (Guillen dkk., 2016)	15
Tabel II.3. Perbedaan GIS 3D dan BIM (Julin dkk., 2018)	18
Tabel II.4. Tabel Perbandingan Metode Integrasi BIM dan GIS (Liu dkk., 2017)	20
Tabel III.1 Contoh tabel parameter pada Revit.....	29
Tabel III.2 Bagian-bagian <i>pier</i> dan pengukuran dimensinya.....	32
Tabel III.3 Bagian-bagian <i>pile slab</i> dan pengukuran dimensinya	33
Tabel III.4 Dimensi <i>Girder</i>	34
Tabel IV.1 Koordinat pengukuran leger	41
Tabel IV.2 Klasifikasi model 3D hasil pengukuran TLS	42
Tabel IV.3 Klasifikasi model 3D dari data leger jalan	44
Tabel IV.4. Jumlah Hasil Pemodelan 3D Tiang Pancang.....	47
Tabel IV.5 Jumlah Hasil Pemodelan 3D <i>Girder</i>	49
Tabel IV.6 Jumlah dan volume hasil pemodelan lapisan aspal	49
Tabel IV.7 Parameter hasil pemodelan 3D pengaman jalan.....	50
Tabel IV.8 Jumlah model 3D perlengkapan jalan yang terbentuk.....	51
Tabel IV.9 Perbedaan titik referensi TLS dan Leger Jalan.....	57
Tabel IV.10 Perbandingan hasil konversi elemen jalan IFC dan CityGML.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi Pilar Model 3D Jalan Utama Tol Layang AP Pettarani.....	70
Lampiran 2. Dimensi Pilar Model 3D <i>Ramp On</i> Boulevard.....	73
Lampiran 3. Dimensi Pilar Model 3D <i>Ramp Off</i> Boulevard	74
Lampiran 4. Dimensi Pilar Model 3D <i>Ramp On</i> Allaudin	75
Lampiran 5. Dimensi Pilar Model 3D <i>Ramp Off</i> Allaudin	76
Lampiran 6. Volume Pilar Model 3D Pengukuran TLS	78
Lampiran 7. Model 3D Jalan Tol Ujung Pandang Seksi 3 (Tol Layang AP Pettarani).....	83
Lampiran 8. Tabel Parameter Model 3D Tiang Pancang	80
Lampiran 9. Tabel Parameter Model 3D <i>Girder</i>	85
Lampiran 10. Tabel Parameter Model 3D Lapisan Aspal	89
Lampiran 11 Perbandingan Volume dan Perhitungan RMSE	94
Lampiran 12 Perbandingan Volume Aspal.....	96
Lampiran 13 Perbandingan Koordinat Hasil Modeling 3D dan Data Leger Jalan	98



INTISARI

Pembangunan infrastruktur nasional khususnya jalan merupakan salah satu prioritas Pemerintah Indonesia dalam beberapa tahun terakhir. Program pembangunan jalan akan diikuti dengan kegiatan selanjutnya untuk mempertahankan kondisi optimal jalan yang disebut preservasi jalan. Salah satu kegiatan dalam preservasi jalan adalah inventori aset jalan. Beberapa data inventori aset jalan yang dibutuhkan dalam kegiatan inventarisasi aset jalan terdapat pada dokumen leger jalan. Dokumen leger jalan merupakan dokumen yang memuat riwayat perkembangan suatu ruas jalan. Pada dokumen leger jalan terdapat data identitas jalan, lokasi jalan, jenis dan material jalan serta kondisi jalan. *Upgrading* dokumen leger jalan dari 2D menjadi 3D memiliki potensi yang besar dalam menunjang kegiatan preservasi jalan khususnya inventori aset jalan. Penerapan teknologi seperti BIM dan GeoBIM juga dapat diterapkan dalam kegiatan preservasi apabila data-data penunjang di-*upgrade* sesuai dengan format BIM ataupun GeoBIM. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *upgrading* dokumen leger jalan dari 2D ke 3D dan analisis format data 3D-nya untuk menunjang kegiatan preservasi jalan khususnya inventarisasi aset jalan.

Penelitian ini secara garis besar terbagi dalam tiga tahapan yaitu persiapan, pembuatan model 3D dan analisis hasil model 3D yang terbentuk. Persiapan merupakan tahapan untuk menyiapkan dokumen leger yang akan di-*upgrade*. Pada tahapan ini juga dilakukan indentifikasi data-data pada dokumen leger yang sekiranya dapat digunakan sebagai inventori data aset jalan. Model 3D jalan dibangun dari data-data dimensi yang ada pada dokumen leger jalan. Bagian jalan yang dimodelkan secara 3D adalah tiang pancang, *girder*, lapisan aspal serta dinding pengaman jalan. Model 3D yang terbentuk kemudian dibandingkan volumenya dengan model 3D hasil pengukuran TLS dimana volume hasil pengukuran TLS dianggap sebagai nilai yang benar. Koordinat model 3D juga diuji dengan koordinat hasil pengukuran leger jalan menggunakan GNSS. Model 3D yang dibentuk dalam *software* Revit 2022 ini kemudian diekspor format data 3D-nya menjadi IFC. IFC merupakan format data standar yang digunakan dalam implementasi BIM. Kemudian dari format IFC data 3D ini transformasi kembali format datanya menjadi CityGML dimana format data ini merupakan format standar data 3D GIS. Hasil ekspor dari model 3D yang terbentuk kemudian dievaluasi dan dianalisis untuk dilihat kesesuaiannya dengan hasil model 3D yang telah terbentuk di awal.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *upgrading* leger jalan dari 2D menjadi 3D dapat dilakukan dengan menggunakan dokumen leger jalan hanya untuk jalan yang menempel di atas tanah tanpa ada konstruksi lain seperti jembatan ataupun terowongan. Sedangkan untuk jalan yang lebih kompleks seperti jalan layang, jembatan maupun terowongan dibutuhkan data-data yang lebih lengkap dan pengukuran yang lebih terperinci. Rata-rata perbedaan volume tiang pancang antara model 3D dari dokumen leger dan model 3D hasil pengukuran TLS adalah sebesar $0,002 \text{ m}^3$. Hasil RMSE koordinat pada pemodelan 3D menggunakan dokumen leger adalah $\text{seb}=\text{nilai } 0,157 \text{ m}$. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa format data CityGML lebih menyerupai bentuk model 3D awal dibandingkan dengan format data IFC. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat kompleksitas geometri bangunan yang terbentuk. Semakin kompleks bentuk geometri suatu elemen, maka tingkat kesuksesan transformasi format data akan semakin kecil.

Kata Kunci : Leger Jalan, Model 3D, BIM, 3D GIS, GeoBIM

ABSTRACT

One of the Indonesian Government's priorities in the recent year is the development of national infrastructure especially highway infrastructure. The road construction will be followed by further activities to maintain the optimal condition of the road which is called road preservation. Road asset inventory is one of road preservation job desk. Road ledger document provide some data needed in inventory road assets. Road ledger is a document contain of development road history. The substance of this document is road identity, location of the road, type, material, and also road condition. Upgrading 2D road model in road ledger to 3D model will make road preservation more effective and efficient, especially in road asset inventory. Technology such as BIM and GeoBIM can be applied in road preservation if the data is upgraded into BIM or GeoBIM format. This study aims to upgrade road ledger document from 2D model to 3D model and analyze 3D data format for supporting road preservation, especially in road asset inventory

This research is generally divided into three main steps: preparation, 3D modeling, and analysis of the 3D model. The preparation is the stage to upgrade road ledger from 2D to 3D. Data in road ledger was identified to provide road asset inventory. The road 3D model was built using alignment data in road ledger document. The road 3D model consists of piers, girders, asphalts, and barriers. The volume of a 3D model was then compared with a 3D model created from TLS where the volume was considered as a true value. The coordinates of the 3D model were also tested with coordinates from road ledger measurements using GNSS. The 3D model was created using Revit 2022 and then exported into IFC format. IFC is the standard data format used in BIM. After that 3D model in IFC format was converted into CityGML which is a data format used in 3D GIS. The IFC model and CityGML model were then evaluated and analyzed to see if they are in accordance with the former 3D model.

The results of this study indicate that 3D model road ledger upgraded from 2D model using data from the road ledger document can only be done for landed road. Meanwhile, complex roads such as flyovers, bridges and tunnels need more complete and details measurements. The average of volume differences between the 3D model from road ledger and TLS is 0,002 m³. The value of coordinates RMSE is 0,157 m. This study shows that CityGML 3D model is more similar to the former 3D model than the IFC one. The IFC model is influenced by the complexity of the geometry building element. The more complex the geometry of an element the success rate of data format conversion will be lower.

Keywords : *Leger Jalan, Model 3D, BIM, 3D GIS, GeoBIM*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Salah satu prioritas Pemerintah Indonesia dalam beberapa tahun terakhir ini adalah pembangunan infrastruktur nasional khususnya jalan. Setelah pembangunan jalan selesai dilakukan diperlukan kegiatan untuk menjamin operasional dan pemeliharaan jalan. Kegiatan ini selanjutnya disebut dengan preservasi jalan. Menurut Peraturan Menteri PUPR Nomor 5 Tahun 2023 preservasi jalan adalah kegiatan penanganan jalan untuk mempertahankan kondisi jalan agar tetap berfungsi secara optimal melayani lalu lintas hingga mencapai umur rencana (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). Salah satu kegiatan preservasi jalan adalah pengumpulan data inventori dan kondisi jaringan jalan. Data inventori mencakup jenis, lokasi, jumlah, dimensi, material, tahun pembuatan dan umur layanan dari aset (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021). Kegiatan pengumpulan data inventori merupakan salah satu bagian dari manajemen aset yang mendukung kegiatan preservasi jalan.

Efisiensi pengumpulan data inventori jalan dapat dilakukan dengan memanfaatkan data dalam dokumen leger jalan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan, leger jalan adalah dokumen yang memuat data mengenai perkembangan suatu ruas jalan (Pemerintah Republik Indonesia, 2006). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 78 Tahun 2005 menyebutkan bahwa dokumen leger jalan sekurang-kurangnya memuat data identitas jalan, data teknis jalan dan jembatan, peta lokasi jalan, data ruang milik jalan (rumija) serta data lain seperti tanggal perwujudan, nilai aset jalan dan bangunan utilitas yang terdapat pada rumija dan ruang pengawasan jalan (ruwasja) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2005). Data leger jalan disimpan dalam format dokumen leger serta disimpan dalam bentuk peta digital 2 dimensi. Pada jalan yang terdapat jembatan khusus diperlukan satu pengukuran tambahan berupa pengukuran *terrestrial laser scanner* (TLS) untuk mengetahui kondisi jembatan khusus tersebut.

Pemanfaatan teknologi dan penguatan basis data dapat menambah efisiensi dan percepatan bukan hanya dalam pembangunan infrastruktur nasional tetapi juga operasional dan pemeliharannya. Salah satunya adalah penerapan *Building Information Modelling* (BIM) yang merupakan representasi digital dari bentuk fisik dan fungsional suatu objek. Penerapan BIM



mulai banyak digunakan dalam pekerjaan proyek konstruksi di Indonesia salah satunya untuk pembangunan jalan. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2021 menyebutkan “BIM diterapkan dalam proses perencanaan teknis, konstruksi, dan pemeliharaan jalan dan jembatan yang meliputi pembangunan jalan, jalan bebas hambatan dan jalan tol, terowongan serta jembatan khusus” (Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR, 2021). Disampaikan juga dalam artikel berita Bina Marga 23 Juni 2023 bahwa Ditjen Bina Marga tengah melakukan eksplorasi penggunaan BIM dalam pengendalian proyek dengan memanfaatkan 4D dan 5D BIM, serta integrasi BIM untuk pengalaman virtual melalui simulasi berkendara (Admin, 2023)

BIM merupakan teknologi terkini dalam industri arsitek, *engineer* dan konstruksi (AEC) yang saat ini banyak diadopsi dalam pembangunan bangunan fisik (Estman dkk., 2011). Model 3D yang tersimpan dalam BIM dapat dihasilkan dari pembuatan desain model dengan perangkat lunak tertentu ataupun dengan pengukuran di lapangan melalui UAV fotogramteri, Lidar serta TLS. Model bangunan yang dihasilkan pada BIM tidak hanya memiliki geometri tetapi juga data lainnya seperti jumlah, biaya, jadwal serta daftar bahan yang membantu dalam pengambilan keputusan selama siklus pembangunan konstruksi (Ahn & Cha, 2014). BIM yang diintegrasikan dengan *Virtual Reality* (VR) diklaim dapat meningkatkan kualitas visualisasi model 3D, penurunan biaya konstruksi, hingga peningkatan keselamatan kerja konstruksi (Afzal & Shafiq, 2021; Johansson & Roupé, 2019; Kieferle & Woessner, 2015; Lin dkk., 2020).

Meskipun sudah banyak penelitian yang mengaitkan potensi BIM terhadap efisiensi setiap tahapan konstruksi bangunan (Guzman & Ulloa, 2020; Kocakaya dkk., 2019; Nugrahini & Permana, 2020), tetapi belum banyak pembahasan mengenai potensi GeoBIM pada preservasi jalan. Dokumen leger jalan mengandung data konstruksi serta geoinformasi suatu ruas jalan. Dokumen leger jalan disimpan dalam bentuk dokumen cetak sedangkan dokumen digital disimpan sebagai kumpulan file leger. Data pada leger jalan memiliki potensi untuk dapat dimodelkan dan diintegrasikan dengan GeoBIM sehingga dapat menjadi sumber data pada siklus konstruksi (*life cycle*) tahapan preservasi jalan.

Terminologi GeoBIM mengacu pada integrasi 3D GIS dan BIM (Noardo dkk., 2019). Intergrasi antara 3D GIS dan BIM dilakukan untuk memanfaatkan kelebihan 3D GIS pada BIM maupun sebaliknya (de Laat & van Berlo, 2011). Jika digunakan bersama 3D GIS dan BIM mampu menyediakan gambaran proyek pembangunan yang detail dan menyeluruh (Fosu dkk., 2015). Oleh karenanya GeoBIM dapat menjadi salah satu solusi yang efektif dan efisien pada setiap kegiatan siklus konstruksi jalan.



I.2. Rumusan Masalah

Pemanfaatan teknologi terkini seperti BIM maupun GeoBIM dapat menambah efisiensi dan efektivitas kegiatan preservasi jalan. Saat ini perencanaan kegiatan preservasi jalan dilakukan dengan survey kondisi langsung di lapangan yang tentunya membutuhkan waktu dan biaya. Di sisi lain dokumen leger jalan menyediakan informasi inventori aset jalan yang dibutuhkan untuk perencanaan kegiatan preservasi jalan. Dokumen leger jalan yang tersedia saat ini disimpan dalam bentuk dokumen cetak dua dimensi, sedangkan data-data digital hanya disimpan dalam bentuk kumpulan file leger. Kegiatan preservasi yang berjalan selama ini belum terintegrasi dengan kegiatan pembuatan leger jalan ataupun memanfaatkan pada dokumen leger jalan. Selama ini belum terdapat kajian untuk mengubah format data leger jalan sehingga dapat diintegrasikan dengan BIM maupun GeoBIM yang dapat dimanfaatkan sebagai data inventori aset jalan yang mendukung kegiatan preservasi jalan.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengubah format leger jalan yang dapat mendukung format BIM ataupun integrasinya dengan 3D GIS untuk kegiatan preservasi jalan. Selanjutnya tujuan khusus yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *upgrading* leger jalan dari 2D menjadi 3D untuk menunjang kegiatan preservasi;
2. Menampilkan visualisasi pemodelan 3D jalan dan jembatan yang mendukung format GeoBIM;
3. Melakukan evaluasi geometri hasil *upgrading* data leger jalan dibandingkan model 3D hasil pengukuran TLS;

I.4. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan-pertanyaan yang ditimbulkan dari latar belakang penelitian ini antara lain adalah:

1. Kebutuhan data apa saja yang disediakan dokumen leger untuk *upgrading* leger jalan dari model 2D jalan menjadi model 3D sehingga dapat menunjang kegiatan preservasi jalan?
2. Bagaimana proses pemodelan 3D dari data leger jalan hingga menjadi model 3D yang mendukung format GeoBIM?



3. Bagaimana kesesuaian hasil model 3D dari data leger jalan dibandingkan dengan model 3D hasil pengukuran TLS?

I.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu mendukung salah satu kegiatan dalam preservasi jalan yaitu inventarisasi jalan. Kegiatan ini memanfaatkan data 2D jalan yang sudah ada menjadi model 3D jalan yang lebih merepresentasikan kondisi jalan eksisting. Format data model 3D yang terbentuk diharapkan dapat terintegrasi dengan BIM dan 3D GIS sehingga dapat mendukung efektivitas dan efisiensi kegiatan yang terkait dengan preservasi jalan khususnya pengelolaan aset jalan dan jembatan.

I.6. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini khusus membahas pembuatan model 3D menggunakan data leger jalan serta format data 3D yang dihasilkan. Data leger jalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data leger jalan pada jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (tol layang A.P Pettarani Makassar) tahun 2020. Hasil pemodelan 3D dari data leger jalan ini kemudian dibandingkan dengan pemodelan 3D dari TLS pada ruas jalan yang sama yang diambil pada tahun yang sama.

I.7. Tinjauan Pustaka

BIM telah banyak dimanfaatkan dalam setiap tahapan konstruksi, mulai dari pra-konstruksi, konstruksi maupun pada tahapan operasional dan pemeliharaan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Raflis dkk., (2019) pada perusahaan kontraktor dan konsultan di DKI Jakarta, penggunaan BIM memberikan manfaat komunikasi dalam kolaborasi *stakeholder*. Penggunaan BIM dapat meningkatkan efektivitas perencanaan serta meningkatkan kualitas dan performa bangunan (Nugrahini & Permana, 2020; Rayendra, 2014). Selain itu BIM juga dapat digunakan untuk menghitung efisiensi biaya dan waktu (Azhar, 2011; Kocakaya dkk., 2019). Penggunaan BIM pada tahapan operasional juga telah dilakukan diantaranya oleh Guzman & Ulloa (2020) dan Valdepeñas dkk., (2020) dengan kesimpulan bahwa penggunaan BIM dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi dan produktifitas SDM.

Xu dkk., (2014) mengungkapkan bahwa potensi BIM untuk keseluruhan siklus proyek konstruksi belum sepenuhnya diperhitungkan. Namun pada penelitiannya dapat disimpulkan



pentingnya penggunaan BIM pada tiap fase proyek. BIM tidak hanya digunakan sebagai database tunggal, tetapi juga alat manajemen informasi, dimana dapat membantu mewujudkan desain kolaboratif dengan memberikan informasi konstruksi serta menyimpan informasi sehingga dapat digunakan untuk konstruksi lebih lanjut.

BIM menggunakan model 3D sebagai representasi objeknya. Akuisisi data untuk pemodelan 3D dapat dilakukan dengan UAV fotogramteri (Qin dkk., 2012; Remondino dkk., 2012), LiDAR (Lesparre & Gorte, 2012; Tse dkk., 2008) maupun TLS (Hendriatiningsih dkk., 2015; Rahmawati dkk., 2021) Selain itu pemodelan 3D dapat dilakukan dengan menggunakan data 2D berupa *as built drawing* ditambah dengan data ketinggian menggunakan data pada *cross section* (Aditya dkk., 2021). Pemodelan 3D ini dilakukan dengan menggunakan format IFC 2x3 yang kemudian divisualisasikan dengan tujuan menampilkan bentuk fisik dan legal dari bangunan 3D. Dalam pemodelan 3D ketelitian model dapat dianalisis dengan membandingkan model 3D hasil georeferensi dengan koordinat hasil pengukuran di lapangan sesuai dengan syarat akurasi LOD-nya (Cahyono & Ulinnuha, 2016).

Penggunaan BIM tidak hanya digunakan dalam proyek konstruksi bangunan. Pada proyek pembangunan jalan, BIM dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas pada setiap siklus konstruksi jalan sehingga dapat mengurangi resiko kecelakaan kerja (Jian, 2020) Pembangunan jalan sangat terkait dengan kondisi geografis dan geologinya, sehingga dalam perencanaanya dibutuhkan integrasi antara BIM dan GIS (Zhao dkk., 2019).

Menurut Guillen dkk., (2016) hingga saat ini kajian pemanfaatan BIM telah banyak dilakukan, tetapi pemanfaatan BIM dalam tahap operasional dan pemeliharaan belum banyak dan masih perlu diusulkan dan diuji untuk pengembangan kasus penggunaan BIM dalam sistem informasi manajemen asset. Penelitian terkait BIM umumnya dilakukan untuk kepentingan perencanaan proyek terutama konstruksi gedung.

Integrasi antara BIM dan GIS dilakukan dengan konversi standar data BIM dan GIS (de Laat & van Berlo, 2011; Hijazi dkk., 2009; Isikdag & Zlatanova, 2009). Konversi format data BIM (IFC) ke GIS (CityGML) dapat dilakukan menggunakan beberapa *software* konversi. Putra, (2022) dalam penelitiannya telah membandingkan 3 perangkat lunak untuk mengonversi format data IFC ke format data CityGML. Dalam penelitiannya, dilakukan pengecekan koordinat dan volume sebagai perbandingan antara format data IFC dan CityGML.

Penelitian kali ini terfokus pada *upgrading* dokumen leger jalan dari 2D menjadi 3D serta integrasi yang mungkin dapat dilakukan terhadap model 3D yang berbasis BIM dengan



model 3D yang berbasis GIS. Pembuatan model 3D jalan bersumber pada data 2D yaitu data leger jalan. Validasi model 3D yang terbentuk dilakukan terhadap model 3D hasil pengukuran TLS pada lokasi dan waktu yang bersamaan.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. Leger Jalan

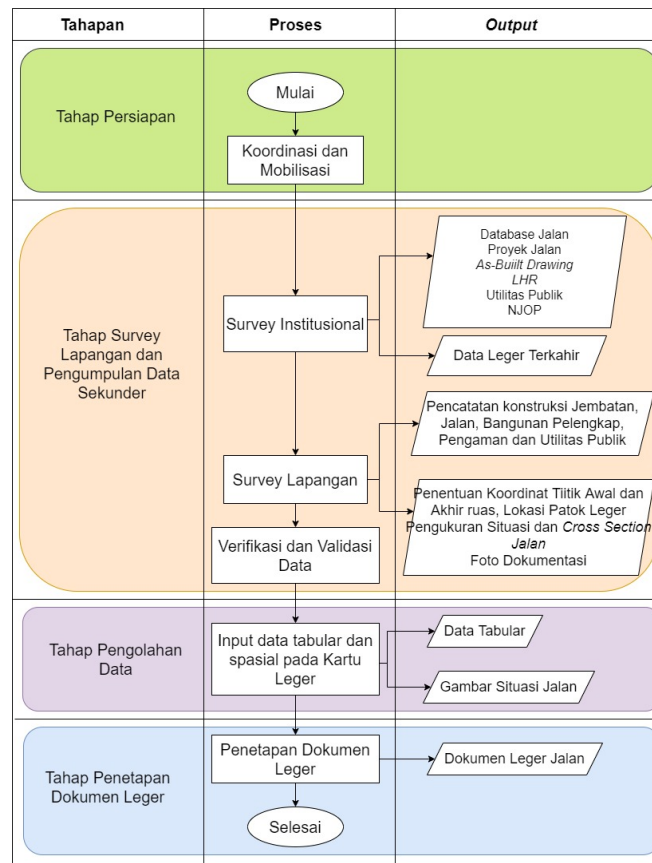
Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 mewajibkan setiap penyelenggara jalan untuk mengadakan leger jalan yang diwujudkan dalam bentuk kartu maupun digital (Pemerintah Republik Indonesia, 2006). Salah satu kegunaan dokumen leger jalan yang disebutkan pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 78/PRT/M/2005 Tentang Leger Jalan adalah untuk penyusunan rencana dan program penyelenggaraan jalan. Permen PU No 78/2005 juga menyebutkan bahwa leger jalan harus senantiasa dalam keadaan mutakhir. Pemutakhiran leger jalan dilakukan setidaknya 5 tahun sekali (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga, 2008b).

Dokumen leger jalan memuat satu ruas jalan yang terdiri dari ringkasan data, kartu jalan dan kartu jembatan serta digambarkan pada kertas A3 (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga, 2008a). Kartu jalan berisi data teknis, situasi potongan jalan dan penampang melintang serta memanjang jalan. Kartu jembatan berisi data teknis, potongan memanjang dan melintang jembatan, serta kenampakan jembatan dari atas. Prosedur pembuatan dokumen leger jalan mengacu pada Buku-2 Pedoman Teknis Leger Jalan. Prosedur ini terdiri dari 4 tahapan yaitu tahap persiapan, tahap survey lapangan dan pengumpulan data sekunder, tahap pengolahan data dan tahap penetapan dokumen leger. Prosedur lengkap pembuatan leger jalan dapat dilihat pada Gambar II.1. Kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan adalah koordinasi dan mobilisasi. Tahap survey lapangan dan pengumpulan data sekunder terdapat 3 kegiatan yaitu survey institusional, survey lapangan serta verifikasi serta validasi data. Data yang diperoleh pada survey institusional adalah data identitas jalan, data proyek pada ruas jalan yang akan dibuat dokumen legernya, *as built drawing*, lintas harian rata-rata, data nilai aset jalan, serta dokumen leger terakhir jika jalan tersebut telah dilegerkan sebelumnya. Dalam dokumen leger terakhir didapatkan informasi berupa koordinat titik awal dan akhir ruas, lokasi patok leger, gambar situasi dan potongan melintang jalan serta foto dokumentasi jalan. Apabila dokumen leger tidak tersedia, maka informasi tersebut dapat diperoleh dari survey lapangan. Selain itu, data yang didapatkan pada survey lapangan adalah konstruksi jembatan, konstruksi jalan, bangunan pelengkap jalan, bangunan pengaman jalan serta utilitas publik. Kegiatan terakhir pada tahap survey lapangan dan pengumpulan data



sekunder adalah verifikasi dan validasi data yang telah diambil baik dari survey institusional maupun survey lapangan.

Pada tahapan pengolahan data kegiatan yang dilakukan adalah menginput data baik data tabular maupun gambar situasi dan profil memanjang serta melintang jalan dan jembatan pada kartu leger jalan. Tahapan akhir dari pembuatan leger jalan adalah penetapan leger jalan oleh penyelenggara jalan.



Gambar II.1. Prosedur pembuatan leger jalan
(Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga, 2008b)

Pengisian kartu leger jalan mengacu pada Buku – 3 Pedoman Pengisian Form Kartu Leger Jalan. Seperti tertera pada prosedur pembuatan leger jalan pada Gambar II.1 tahapan pengolahan data, data pada dokumen leger jalan terdiri dari data tabular dan gambar situasi jalan. Informasi yang ditampilkan dalam bentuk tabular antara lain adalah informasi mengenai identitas jalan, data jalan dan jembatan, data bangunan dan pelengkap jalan. Informasi tersebut mengandung data mengenai jumlah, dimensi, jenis material yang digunakan dan kondisi bangunan. Selain itu data spasial yang ditampilkan dalam bentuk tabular adalah koordinat titik awal dan akhir ruas serta deskripsi lokasi. Data koordinat (X, Y dan Z) yang tertera pada kolom

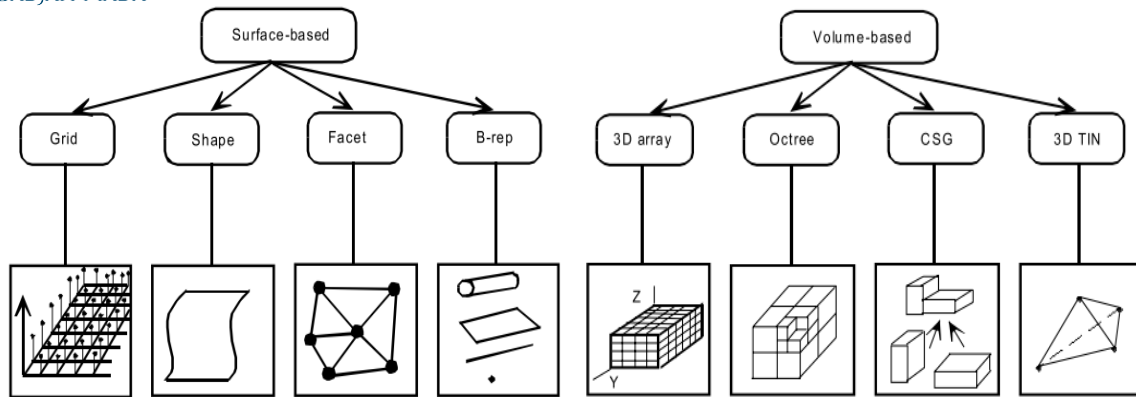


identitas jalan diambil dari hasil pengukuran di lapangan. Data perlengkapan jalan diambil di setiap bagian jalan baik di kiri, kanan maupun median jalan.

Gambar situasi jalan berisi peta situasi dan gambar penampang jalan dan jembatan. Peta situasi diambarkan satu ruas utuh, sedangkan detail potongan ruas digambarkan tiap segmen. Informasi koordinat awal dan akhir ruas serta kenampakan situasi jalan hingga batas ruwasja digambarkan sesuai dengan ketentuan yang ada pada Buku Pedoman – 3 Pada gambar tersebut terdapat informasi mengenai koordinat awal dan akhir ruas, serta kenampakan situasi jalan secara umum. Tidak ada skala baku untuk penggambaran ruas secara umum. Skala peta diberikan pada penggambaran potongan. Penggambaran potongan ruas dalam kota maksimal 375 m dengan skala 1 : 1000 sedangkan ruas luar kota maksimal sepanjang 750 m dengan skala 1 : 2000 (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga, 2008c). Pada detail situasi sepanjang ruang pengawasan jalan (ruwasja) lebih terlihat jelas, seperti bangunan sepanjang ruwasja, bangunan pelengkap jalan serta lampu jalan. Potongan memanjang dan melintang digambarkan dengan skala 1 : 500 yang menggambarkan gradien jalan serta dimensi jalan.

II.2. Pemodelan dan Visualisasi 3D

Objek di permukaan bumi, baik objek alam maupun buatan dapat direpresentasikan Abdul-Rahman & Pilouk, (2008) menyebutkan Li (1994) membagi representasi objek spasial sebagai *surface-based* dan *volume-based*. Representasi objek spasial disebut *surface-based* apabila objek spasial tersebut direpresentasikan sesuai permukaan primitifnya, dan disebut representasi objek spasial *volume-based* apabila interior objek spasial tersebut dideskripsikan sebagai objek yang solid. Representasi *surface-based* antara lain adalah *grid*, *shape model*, *facet model* dan *boundary representation* (B-rep), dan representasi *volume-based* antara lain adalah *3D array*, *octree*, *constructive solid geometry* (CSG) dan *3D TIN* (TEN). Secara ringkas penggambaran representasi objek di permukaan bumi dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II.2. Representasi objek spasial
(Rahman & Pilouk, 2008)

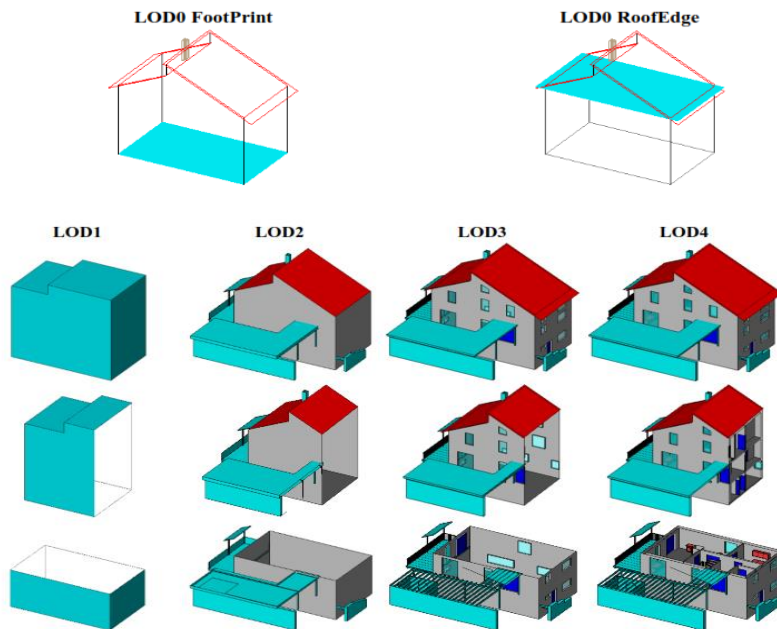
Aplikasi pemodelan 3 dimensi banyak dimanfaatkan dalam pemodelan kota. Noardo dkk., (2019) menyebutkan terdapat 2 sumber data yang digunakan dalam aplikasi perkotaan, yaitu model kota 3D (*3D city model*) dan BIM. Model kota 3D umumnya digunakan untuk merepresentasikan objek-objek perkotaan dengan tujuan untuk menganalisis, mengatur dan menata kota serta navigasi. Sedangkan BIM lebih digunakan untuk desain bangunan dan infrastruktur yang menunjang manajemen proyek dan asset. Standar format data yang digunakan untuk kepentingan pemodelan kota 3D lebih mengarah ke format data CityGML sedangkan BIM menggunakan format data IFC (*Industry Foundation Classes*) (Noardo dkk., 2019).

II.2.1. CityGML

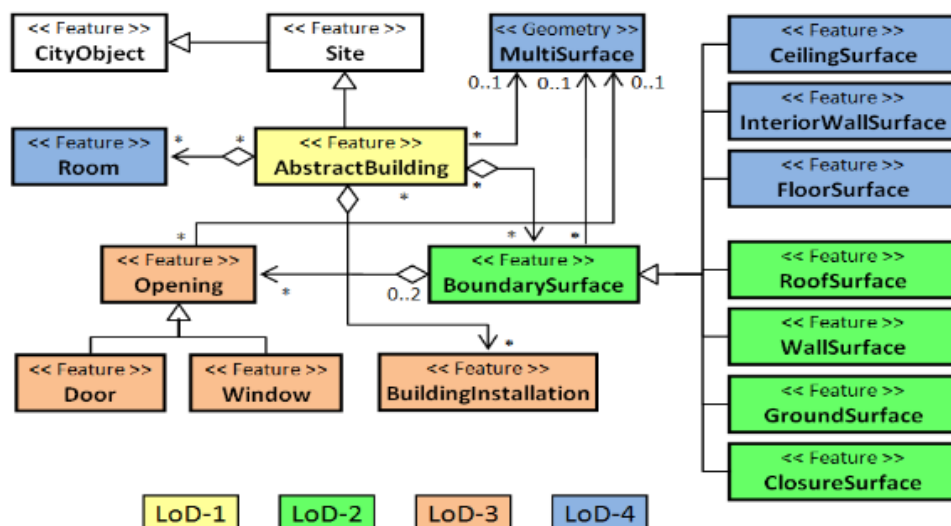
CityGML dikembangkan oleh *Special Interest Group 3D* (SIG 3D) di Jerman pada tahun 2002, yang kemudian diterima sebagai standar OGC pada tahun 2008 (Gröger & Plümer, 2012). CityGML merupakan skema GIS pertama yang mendukung informasi semantik. CityGML mendukung pemodelan berbasis komponen dimana komponen bangunan yang berbeda diberikan ID, nama dan deskripsi yang unik (Deng dkk., 2016). CityGML dikembangkan sebagai model data dengan skema XML.

Gröger dkk., (2012) menyebutkan terdapat 5 tingkat kedetilan data 3D pada CityGML yang dikenal dengan LoD (*Level of Detail*), yaitu LoD 0 hingga LOD 4 seperti ditunjukkan pada Gambar II.3. Digambarkan pada Gambar II.3 LOD 0 merupakan bidang 2,5D baik berupa tapak bangunan ataupun atap bangunan pada permukaan 3 dimensi. LoD 1 digambarkan pada Gambar II.3 sebagai model bangunan blok dengan atap datar. Pada Gambar II.3 *feature* bangunan mulai terbentuk pada LoD 2 seperti permukaan atap, dinding dan lantai yang menjadi

batas dan membentuk suatu bangunan. Pada LoD 3 terdapat *feature opening* bangunan seperti jendela dan pintu serta instalasi bangunan lainnya. LoD 4 merupakan model bangunan paling kompleks dengan detail interior, langit-langit serta permukaan lantai yang terdapat di dalam bangunan tersebut.



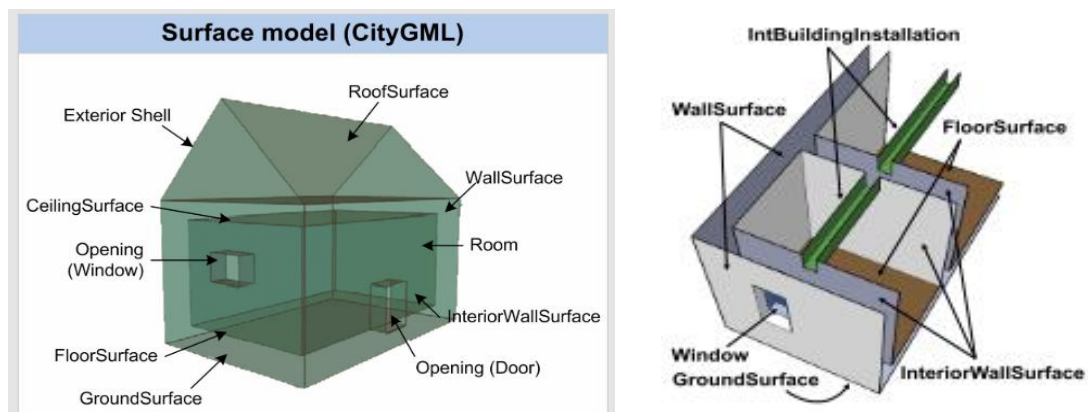
Gambar II.3 LOD pada CityGML
(Gröger dkk., 2012)



Gambar II.4. UML model bangunan pada CityGML
(El-Mekawy dkk., 2012)

UML model bangunan pada CityGML digambarkan pada Gambar II.4 dimana setiap warnanya menunjukkan *feature* pada setiap tingkatan LoD. Dijelaskan pada Gambar II.4 bahwa LOD 1 memiliki *feature AbstractBuilding*. Kemudian pada LOD 2 mulai terbentuk *feature RoofSurface*, *WallSurface*, *GroundSurface* dan *ClosureSurface* yang kemudian menjadi suatu *feature BoundarySurface*. Pada LOD 3 *feature opening* seperti *Door* dan *Window* terbentuk dan menempel pada *BoundarySurface*. Kemudian pada LOD4 *feature BoundarySurface* juga dilengkapi dengan *feature CeilingSurface*, *InteriorWallSurface* dan *FloorSurface*.

Bentuk model 3D lengkap dari CityGML digambarkan pada Gambar II.5. Representasi objek 3D pada CityGML menggunakan *BRep* (Deng dkk., 2016) dimana bentuk bangunan merupakan gabungan dari permukaan dinding dan lantai. *BRep* (*Boundary Representation*) merupakan representasi objek dengan menggunakan kombinasi titik, garis batas, permukaan maupun volume (Rahman & Pilouk, 2008). Gambar II.5 menunjukan pada CityGML bangunan terdiri dari gabungan permukaan-permukaan objek 3 dimensi.



Gambar II.5. Model bangunan pada CityGML
(Nagel, 2007; Nagel dkk., 2009)

Ketelitian pemodelan 3D dapat dilihat dari beberapa aspek. Fan (2009) merujuk Albert dkk (2003) merangkum kebutuhan akurasi pada berbagai LoD CityGML dalam Tabel II.1.

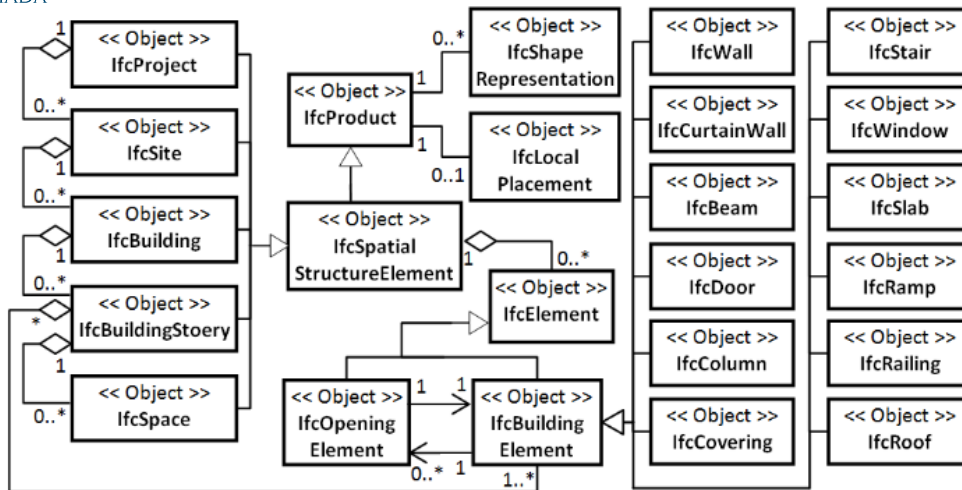


Tabel II.1 Kebutuhan Akurasi Bangunan pada CityGML

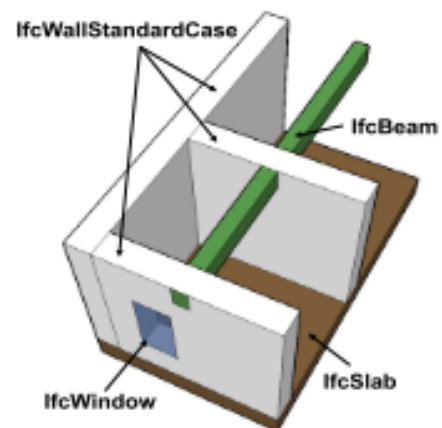
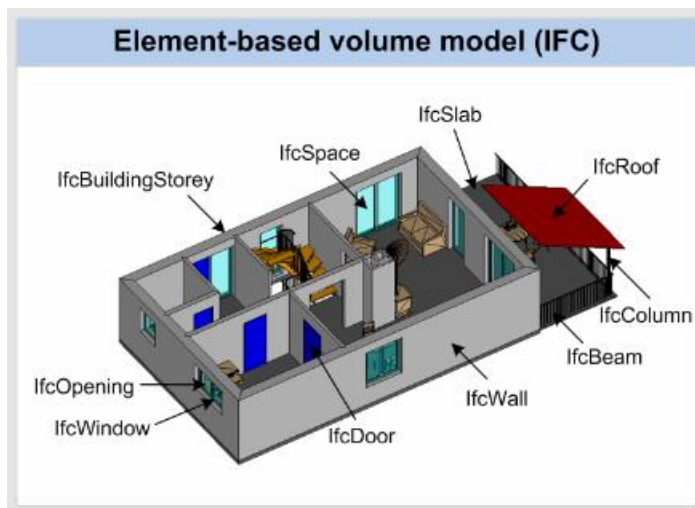
Aspek	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Deskripsi skala model	Kota	Distrik	Model arsitektur, <i>landmark</i>	Model arsitektur
Akurasi	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi posisi dan ketinggian	5 m	2 m	0.5m	0.2 m
Generalisasi	Generalisasi berupa objek blok; > 6 x 6 m	Generalisasi berupa objek blok; > 4 x 4 m	Objek sesuai bentuk nyata; > 2 x 2m	Menampilkan elemen-elemen konstruksi serta jendela dan pintu
Instalasi bangunan	-	-	Menampilkan efek eksterior	Sesuai bentuk asli
Struktur atap	Datar	Sesuai tipe atap	Sesuai bentuk asli	Sesuai bentuk asli

II.2.2. IFC (Industry Foundation Classes)

Deng dkk. (2016) menyebutkan IFC merupakan *open standar objek-oriented* yang dikembangkan buildingSMART pada tahun 1994, yang kemudian resmi didaftarkan sebagai ISO/PAS 16739. IFC merupakan standar pada data BIM yang dapat digunakan untuk pertukaran data pada proyek konstruksi maupun manajemen fasilitas (Guillen dkk., 2016). Pada IFC objek dengan bentuk yang kompleks dapat direpresentasikan menggunakan CSG (*Constructive Solid Geometry*) (Deng dkk., 2016). UML model bangunan pada IFC dan bentuk modeling bangunan pada IFC digambarkan pada Gambar II.6 dan Gambar II.7. Tidak seperti CityGML, elemen pembentuk bangunan pada IFC tidak bergantung pada tingkat kedetilan model. Setiap model pada IFC terdiri dari objek-objek solid seperti dinding, lantai, atap, kolom, pintu, jendela dan lainnya.



Gambar II.6. UML model bangunan pada IFC
(El-Mekawy dkk., 2012)



Gambar II.7. Model bangunan pada IFC
(Nagel, 2007; Nagel dkk., 2009)

Tingkat kedetilan suatu objek pada IFC dikenal dengan istilah *Level of Development* (LOD) yang diadopsi dalam AIA E202 (Guillen dkk., 2016). *Level of Development* (LOD) dan deskripsinya ditampilkan pada Tabel II.2



Tabel II.2 Jenis dan Deskripsi *Level of Development* (Guillen dkk., 2016)

<i>Level of Development</i>	Deskripsi
LOD 100 : Model Desain Semantik	Pemodelan keseluruhan bangunan pada suatu area tertentu. Tinggi volume, lokasi dan orientasi dimodelkan dalam 3D atau di ditampilkan dalam data yang lain.
LOD 200 : Model Desain Pengembangan	Generalisasi model dengan perkiraan jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi. Informasi non-geometrik dapat juga disematkan pada model.
LOD 300 : Model Dokumentasi Konstruksi	Pemodelan dengan bagian-bagian spesifik, dimana jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi akurat. Informasi non-geometrik dapat disematkan pada model.
LOD 400 : Model Konstruksi	Pemodelan dengan bagian-bagian spesifik dan lengkap, dimana jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi akurat, serta detail informasinya. Informasi non-geometrik dapat disematkan pada model.
LOD 500 : <i>Record Model</i>	Pemodelan bagian-bagian konstruksi yang akurat dan aktual, baik dalam ukuran, bentuk, lokasi, jumlah dan orientasinya. Informasi non-geometrik dapat disematkan pada model.

II.3. *Building Information Modelling (BIM)*

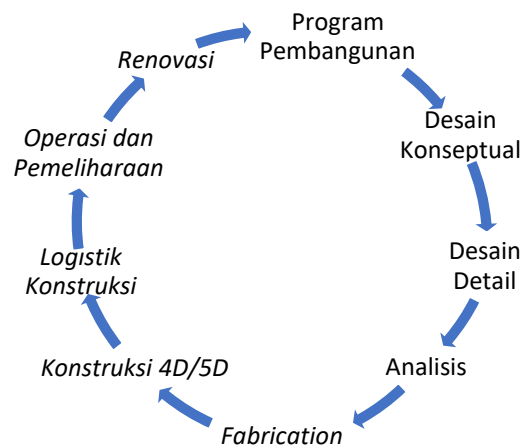
Building Information Modelling (BIM) merupakan representasi bentuk fisik dan fungsional bangunan secara komprehensif dalam bentuk digital (Borrmann dkk., 2018). Referensi lain menyatakan bahwa BIM merupakan serangkaian proses membantu dalam perencanaan desain, konstruksi hingga pemeliharaan gedung dan infrastruktur dalam bentuk 3D (Boukara & Naamane, 2015; Estman dkk., 2011). Pemodelan BIM mengkombinasikan objek 2D dan 3D beserta faktor eksternal seperti lokasi geografis serta kondisi sekitar objek untuk membangun suatu desain bangunan menjadi suatu virtual basis data bangunan yang menyediakan setiap informasi yang berkaitan dengan desain bangunan tersebut.

Atribut objek pada BIM merupakan parameter yang mendefinisikan informasi grafis maupun non grafis sehingga penggunaanya dapat menggunakannya untuk merepresentasikan bentuk geometrik dan relasi antar elemen bangunannya. Beberapa sifat ataupun parameter objek pada BIM antara lain adalah (Estman dkk., 2011) :

1. Terdiri dari geometri dan data serta aturan yang terkait;

2. Objek secara otomatis akan mengikuti bentuk geometri dari model bangunannya, contoh pintu akan menyesuaikan dengan dinding dan bentuk tembok bagian atas akan menyesuaikan dengan atap;
3. Suatu objek dapat didefinisikan pada berbagai tingkatan agregasinya, contoh jika berat subkomponen suatu dinding berubah, maka berat dinding tersebut juga akan berubah;
4. Ketidaklayakan objek baik dalam ukuran ataupun kualitas dapat terdeteksi;
5. Objek pada BIM dapat menerima, meneruskan, mengekspor atribut seperti struktur material, dari aplikasi dan model lain.

BIM dapat digunakan dalam seluruh siklus konstruksi mulai dari perencanaan pembangunan hingga operasional dan pemeliharaan konstruksi. Siklus konstruksi pada BIM dirangkum dalam Gambar II.8.

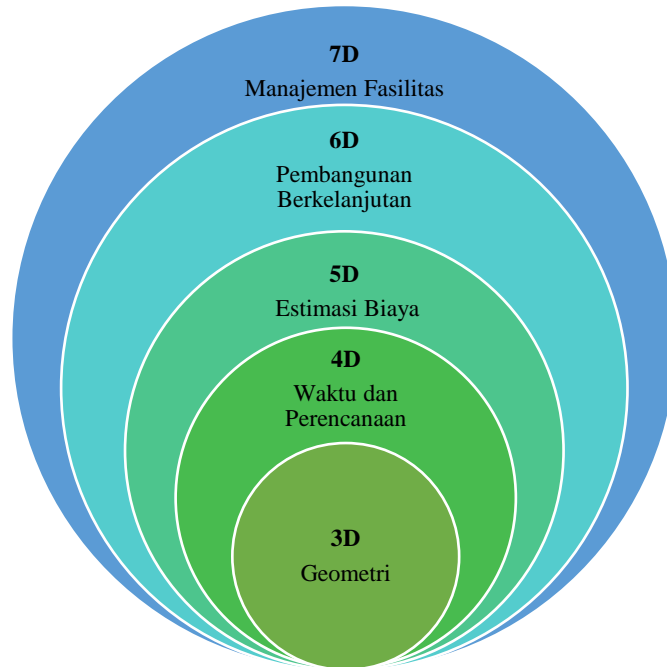


Gambar II.8 Siklus BIM
(Jourdan dkk., 2019)

BIM terbagi dari model 3D hingga 7D yang menggambarkan kemampuan ataupun fungsi tiap-tiap modelnya. Dimensi BIM digambarkan pada Gambar II.9 yaitu : (Guillen dkk., 2016):

1. Model 3D : BIM pada fase ini berupa desain 3D yang mengandung geometri;
2. Model 4D : penjadwalan proyek. BIM pada fase ini digunakan untuk perencanaan pengawasan proyek konstruksi;
3. Model 5D : Estimasi Biaya. Pada model ini BIM digunakan untuk memperkirakan biaya dan pengawasan biaya konstruksi;

4. Model 6D : Pembangunan yang berkelanjutan. BIM digunakan untuk mengawasi dampak konstruksi dan operasionalnya;
5. Model 7D : Manajemen fasilitas. BIM digunakan termasuk dalam perencanaan operasional dan pemeliharaan bangunan.



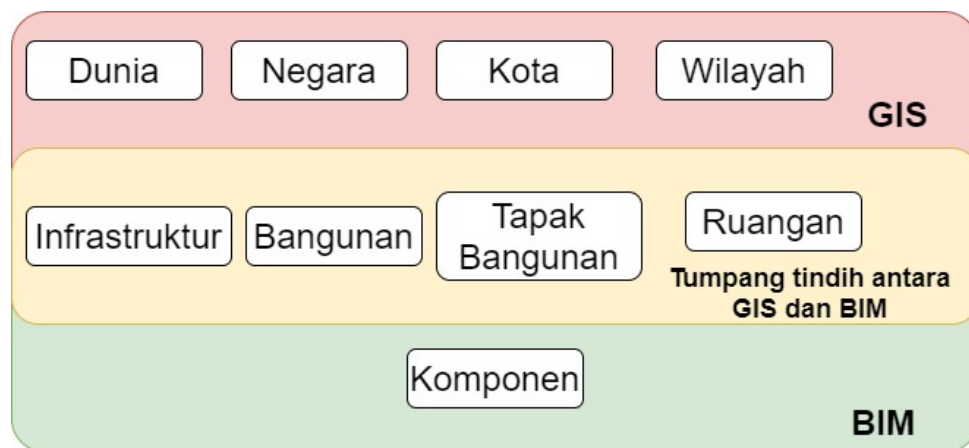
Gambar II.9 Dimensi BIM
(Akbarieh dkk., 2020)

Namli dkk., (2019) menyatakan keunggulan dari *Building Information Modelling* ini adalah antara lain adalah :

1. Peningkatan alur informasi dimana setiap tahapan pembangunan mulai dari desain, konstruksi hingga pemeliharaan dapat diakses oleh seluruh pihak yang terkait (arsitek, kontraktor, pengguna jasa dll)
2. Perkiraan biaya konstruksi yang lebih baik, BIM menyediakan informasi mengenai jenis dan jumlah material yang digunakan;
3. Mengurangi biaya konstruksi dengan perencanaan yang lebih terarah;
4. Menyediakan history dari proses desain, konstruksi hingga saat penggunaannya.

II.4. GeoBIM

GeoBIM pada dasarnya adalah integrasi antara data BIM dan GIS. Data dalam format GIS dan BIM memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Data GIS lebih familier jika ditampilkan dalam format CityGML sedangkan data BIM biasanya mengacu pada IFC (*Industrial Foundation Club*). Terdapat beberapa perbedaan antara BIM dan GIS, diantaranya adalah perbedaan pengguna, skala spasial, koordinat sistem, representasi semantic dan geometrik, penyimpanan informasi dan metode akses (Liu dkk., 2017). Walaupun kedua teknologi tersebut mengalami perkembangan yang berbeda, tetapi juga memiliki gap dalam beberapa hal. Gap tersebut dapat digambarkan pada Gambar II.10. Secara umum perbedaan GIS 3 Dimensi dan BIM dituangkan dalam Tabel II.3.



Gambar II.10 Tumpang tindih perkembangan GIS dan BIM
(Liu et al., 2017)

Tabel II.3. Perbedaan GIS 3D dan BIM (Julin dkk., 2018)

Aspek	GIS 3D	BIM
Penggunaan model 3D	Dunia nyata	Data perencanaan
Kompleksitas	Sederhana baik geometri maupun semantik	Model lebih kompleks
Jangkauan	Kesuluruhan kota	Lokal, spesifik
Sistem koordinat	Global	Lokal
Penggunaan	Database	Siklus proses pembangunan
Otomatisasi pemodelan	Otomatis atau semi otomatis	Manual



Deng dkk. (2016) menyebutkan setidaknya terdapat 4 tantangan dalam integrasi antara BIM dan GIS yaitu :

1. Transformasi sistem koordinat. Lokasi objek pada IFC tidak tereferensi pada sistem koordinat global sedangkan GIS sangat memperhatikan sistem koordinat pada saat proses pemetaan;
2. Transformasi bentuk geometris dari model 3D BIM pada umumnya yaitu CSG (*Constructive Solid Geometry*) menjadi *BRep* yang merupakan representasi objek pada CityGML;
3. Penyamaan *Level of Detail* pada GIS dan BIM;
4. Kerawanan data hilang. BIM tidak dapat menyimpan data sistem koordinat, di sisi lain GIS tidak terfokus pada informasi bangunan seperti proses konstruksi, bahan bangunan dan sebagainya.

Liu dkk. (2017) juga menyebutkan integrasi antara BIM dan GIS dapat dibedakan menjadi 3 tingkatan, yaitu pada tingkat data, tingkat proses dan tingkat aplikasi. Integrasi pada tingkat data dapat dilakukan diantara adalah dengan pembuatan model dan standar data baru seperti adalah InfraGML, IndoorGML, UML serta Quasy ataupun dengan konversi data. Integrasi pada tingkatan data ini akan mengubah format data baik GIS maupun BIM sehingga format data yang baru diharapkan dapat compatible pada satu sistem.

Berbeda dengan integrasi pada tingkat data, integrasi BIM dan GIS pada tingkat proses tidak mengubah struktur dan format data asli. Terdapat 2 jenis integrasi pada level ini, yaitu *semantic web technologies* dan *service based method*. Integrasi pada tingkat aplikasi biasanya berupa *plug-in* ataupun skema tertentu. Selain tidak mengubah sumber data ataupun objek data, integrasi pada level ini juga tidak ada pengembangan *service* ataupun ontology. Namun, implementasi integrasi tingkat aplikasi ini terbatas untuk kasus tertentu.

Dari beberapa metode integrasi tersebut terdapat kelebihan serta kekurangannya masing-masing. Liu dkk., (2017) membandingkan metode-metode tersebut berdasarkan efektivitas, ekstensibilitas, tingkatan kesulitan (*effort*) dan fleksibilitas yang terangkum pada Tabel II.4.



Tabel II.4. Tabel Perbandingan Metode Integrasi BIM dan GIS (Liu dkk., 2017)

Metode Integrasi	Efektivitas	Ekstensibilitas	Effort	Fleksibilitas
Standar Data Baru	Bergantung pada kasus	Bergantung pada kasus	Bergantung pada kasus	Bergantung pada kasus
Konversi, translasi dan pengembangan standar data (manual)	Menengah	Tinggi	Tinggi	Menengah
Konversi, translasi dan pengembangan standar data (semi-otomatis)	Menengah	Menengah	Menengah	Menengah
<i>Semantic web technology</i>	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Medium
<i>Services-based methods</i>	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah
Aplikasi	Tergantung pada kasus	Rendah	Rendah	Rendah

II.5. Uji Kualitas Pemodelan

Suatu sampel data ukuran perlu diuji kualitasnya terhadap nilai yang dianggap benar dengan melakukan uji kualitas geometri. Pengujian kualitas geometri bertujuan untuk mendapatkan selisih antara nilai hasil pengukuran dengan nilai yang dianggap benar sehingga didapatkan nilai ketelitian dari hasil pengukuran (Widjajanti, 2011). Uji kualitas yang dapat diterapkan pada kegiatan ini adalah *Root Mean Square Error* (RMSE), nilai simpangan baku serta uji hipotesis. Pada kegiatan ini data yang diuji adalah sampel volume tiang pancang hasil modeling dari ABD dan volume tiang pancang yang dianggap benar dari hasil modeling 3D menggunakan TLS.

II.1.1 *Root Mean Square Error* (RMSE)

RMSE didapatkan dari hitungan akar kuadrat rata-rata selisih data yang dianggap benar dengan data hasil pengukuran atau pengolahan. Nilai RMSE yang kecil menunjukan tingkat akurasi yang makin baik dari pengukuran ataupun pengolahan data tersebut. RMSE dihitung dengan menggunakan rumus (II.1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n}} \dots\dots\dots (II.1)$$



Dalam hal ini :

RMSE : *Root Mean Square Error*

X_i : nilai hasil ukuran

X : nilai yang dianggap benar

n : banyak ukuran yang digunakan

II.1.2 Simpangan Baku

Nilai simpangan baku menunjukkan nilai estimasi kesalahan tiap data ukuran terhadap rata-rata keseluruhan datanya (Ghilani & Wolf, 2016). Variasi atau persebaran data sampel dapat ditentukan dengan menghitung nilai simpangan bakunya. Perhitungan nilai rata-rata dilakukan dengan rumus (II.2) dan nilai simpangan bakunya dihitung dengan rumus (II.3)

$$\Delta X_{rata-rata} = \frac{\Sigma \Delta X}{n} \dots \dots \dots (II.2)$$

$$S \Delta X = \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta X_i - \Delta X_{rata-rata})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (II.3)$$

Dalam hal ini :

ΔX : selisih nilai

$\Delta X_{rata-rata}$: rata-rata selisih nilai

$S \Delta X$: simpangan baku selisih nilai

II.1.3 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dapat digunakan untuk menentukan konsistensi nilai hitungan dengan nilai asumsi (Widjajanti dkk., 2017). Dalam melakukan pengujian statistik digunakan tingkat kepercayaan dalam penerimaan hasil. Umumnya tingkat kepercayaan yang digunakan dalam penerimaan hasil adalah sebesar 95% atau dengan taraf signifikansi (α) 5%. Ada beberapa cara untuk menguji hipotesis. Apabila sampel berjumlah besar atau lebih dari 30, maka pengujian hipotesis dapat menggunakan nilai Z dengan rumus (II.4).

$$Z_o = \frac{\bar{X} - \mu_o}{\sigma} \dots \dots \dots (II.4)$$

Dalam hal ini :

Z_o : Nilai Z hitung



- \bar{X} : Nilai rata-rata yang dianggap benar
 μ_o : Nilai rata-rata hasil hitungan atau modeling
 σ : simpangan baku

Uji hipotesis dilakukan dengan menggunakan hipotesis nol (H_o) dan hipotesis alternatif (H_1). H_o merupakan hipotesis yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan antara hasil modeling 3D dan nilai yang dianggap benar. H_1 merupakan hipotesis yang merupakan lawan dari H_o . Penentuan hasil hipotesis dilakukan dengan membandingkan nilai Z_o dengan Z pada tabel distribusi normal. H_o diterima apabila nilai $-Z_{\alpha/2} < Z_o < Z_{\alpha/2}$.

BAB III

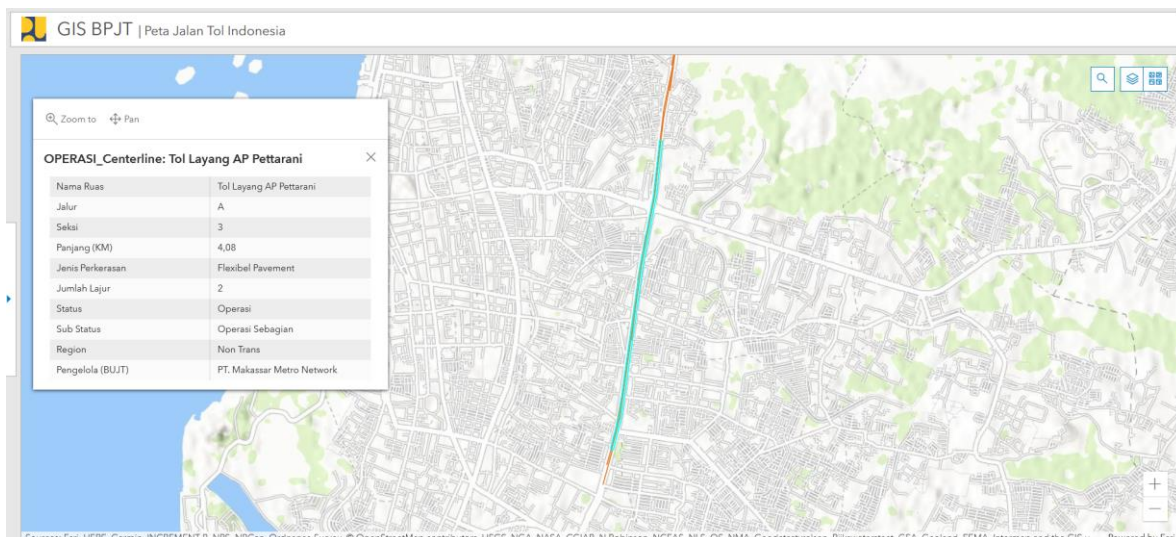
PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1. Persiapan

Tahapan persiapan diperlukan untuk menunjang penelitian agar maksud dan tujuannya tercapai. Rangkaian tahapan persiapan antara lain adalah studi literatur dan persiapan alat dan bahan. Studi literatur diperoleh dari buku, jurnal ilmiah, hasil konferensi maupun literatur lain yang menunjang kegiatan penelitian ini. Pada kegiatan persiapan alat dan bahan dilakukan juga identifikasi data yang sesuai dengan kebutuhan data pada tahapan preservasi jalan. Tahap persiapan ini termasuk juga tahapan instalasi beberapa perangkat lunak yang dibutuhkan untuk pengolahan serta mengunduh data yang akan digunakan.

III.1.1. Lokasi Kegiatan

Kegiatan ini dilakukan pada ruas jalan tol layang AP Pettarani Makassar sepanjang 4KM jalan utama, 2 Ramp On dan 2 Ramp Off (Ramp On Boulevard, Ramp Off Boulevard, Ramp On Allaudin serta Ramp Off Allaudin). Lokasi Tol layang AP Pettarani ditunjukkan pada Gambar III.1



Gambar III.1 Lokasi tol layang AP Pettarani
(Sumber : <https://sigi.pu.go.id>)



III.1.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengolahan penelitian ini adalah :

1. Laptop dengan spesifikasi *processor* Intel®Core™ i7-1065G7 CPU @1.3GHZ, RAM 16GB sebagai perangkat dalam pembuatan model 3D serta pembuatan laporan penelitian,
2. *Software* pengolah :
 - a. Sistem operasi Windows 10 64-bit;
 - b. Revit 2022 untuk pembuatan model 3D dari data pengukuran leger jalan;
 - c. Autocad 2022 untuk visualisasi gambar leger;
 - d. FZKViewer x64 V 6.5 digunakan sebagai perangkat lunak untuk menampilkan data model 3D yang dapat terintegrasi dengan BIM;
 - e. Office 365 digunakan untuk penyuntingan data dan pembuatan laporan.

III.1.3. Bahan

Penelitian ini hanya menggunakan data hasil pengukuran di lapangan tanpa melakukan pengukuran mandiri. Adapun data yang digunakan pada kegiatan ini adalah :

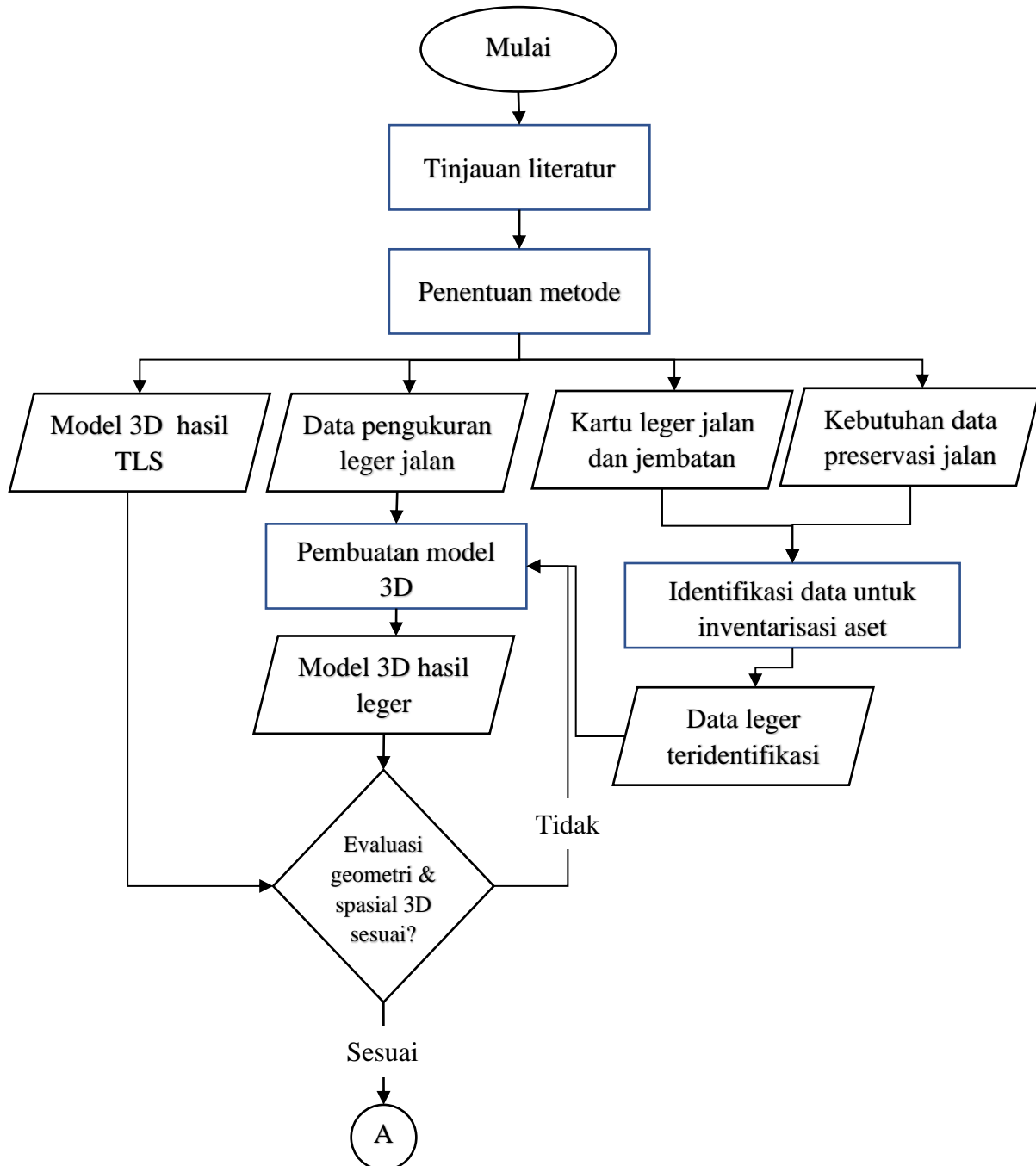
1. Hasil pengukuran leger jalan menggunakan perangkat *Global Navigation Satellite System* (GNSS) pada jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) tahun 2020. Hasil pengukuran ini ditampilkan dalam bentuk daftar nama titik dan koordinat.
2. Dokumen leger jalan jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) tahun 2020. Dokumen ini terdiri dari gambar leger jalan tol layang AP Pettarani dalam bentuk CAD, PDF kartu leger jalan tol layang AP Pettarani dan PDF kartu leger jembatan AP Pettarani. Penggambaran leger jalan tol layang AP Pettarani ini menggunakan sistem proyeksi UTM Zona 50S;
3. Data modelling 3D hasil pengukuran TLS jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) tahun 2020 dengan kerapatan titik pemodelan 3 mm - 6 mm.

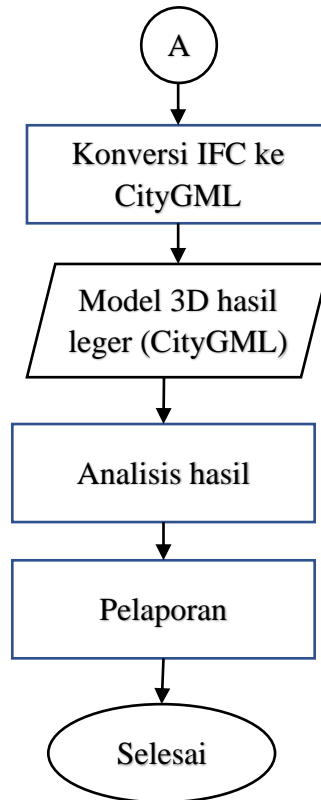
Penelitian ini menggunakan data leger jalan nasional tol dengan pertimbangan tingkat kompleksitas jalan nasional tol lebih tinggi dibandingkan dengan jalan nasional non-tol. Selain itu ketersediaan model 3D pembanding merupakan salah satu pertimbangan penggunaan data leger jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang AP. Pettarani Makassar) pada penelitian ini.



III.2. Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan kegiatan ini terbagi menjadi 2 tahapan utama, yaitu sinkronisasi kebutuhan data preservasi jalan yang dapat dipenuhi oleh data leger jalan dan pembuatan model 3D berdasarkan data leger jalan. Data yang akan dilakukan uji kualitasnya adalah data konstruksi jalan yang ada pada gambar teknis leger jalan. Adapun tahapan pelaksanaan digambarkan pada diagram alir sesuai pada Gambar III.2.





Gambar III.2 Diagram alir

Pelaksanaan kegiatan ini meliputi 3 kegiatan besar, yaitu persiapan, pemodelan 3D jalan tol layang, dan konversi model 3D dari IFC ke CityGM. Identifikasi data leger jalan menghasilkan data-data yang digunakan untuk memodelkan jalan tol layang AP Pettarani secara 3D beserta parameter non-spasialnya. Data dimensi dan koordinat digunakan untuk membuat model 3D serta mereferensikan model 3D yang terbentuk dalam sistem koordinat UTM Zona 50S. Parameter non-spasial digunakan sebagai data atribut tambahan yang berguna dalam tahapan preservasi jalan. Setelah model 3D dan parameternya terbentuk maka dilakukan evaluasi model 3D yang terbentuk terhadap model 3D yang sudah ada yaitu hasil dari pengukuran TLS. Model 3D hasil pengukuran TLS dianggap sebagai bentuk model yang benar, sedangkan koordinat model 3D tetap mengacu pada data pada dokumen leger jalan.

Model 3D yang terbentuk dari data leger dapat digunakan sebagai *input* pada BIM sehingga format model 3D yang terbentuk perlu disesuaikan dengan format standar BIM yaitu IFC. Untuk dapat diintegrasikan dalam format data yang dikenali dalam 3D GIS, maka model 3D ini perlu dikonversi ke dalam format CityGML. Hasil konversi ini kemudian dianalisis untuk melihat perubahan data dari format IFC ke format CityGML.

III.1.1 Identifikasi data leger jalan

Data leger jalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data leger jalan tol layang AP Pettarani yang diukur pada tahun 2020. Dalam dokumen leger jalan terdapat data spasial dan data non spasial. Data leger jalan yang dapat digunakan untuk kegiatan preservasi jalan, antara lain adalah data lokasi jalan, dimensi jalan serta kondisi jalan. Data lokasi jalan meliputi data koordinat jalan yang berupa data awal ruas dan akhir ruas jalan. Data dimensi jalan meliputi panjang jalan, lebar jalan serta elevasi jalan. Sedangkan untuk inventori aset jalan dibutuhkan pula data jumlah atribut jalan seperti lampu penerangan jalan.

III.6.1.1 Data Spasial

Data spasial pada leger jalan merupakan data koordinat tiap titik hasil pengukuran. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk gambar situasi leger jalan dalam format *.dwg. Koordinat titik-titik pengukuran dipilih untuk mewakili koordinat dan elevasi sepanjang trase ruas jalan tol layang AP Pettarani. Potongan situasi dan *plotting* titik koordinat ditunjukkan pada Gambar III.3.



Gambar III.3 Tampilan situasi dan titik pengukuran pada *AutoCAD*

III.6.1.2 Data non spasial

Data non spasial yang ada pada dokumen leger antara lain adalah data lapis pekerasan seperti lebar, tebal, jenis perkerasan serta kondisi bangunan jalan. Data non spasial lainnya



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

adalah jumlah lampu penerangan jalan serta panjang pagar pengaman. Data inventori jalan didapatkan dari lembar numerik leger jalan ditunjukkan pada Gambar III.4. Pada bagian (a) Gambar III.4 menunjukkan dimensi, jenis dan kondisi konstruksi jalan, sedangkan bagian (b) Gambar III.4 menunjukkan jumlah dan panjang perlengkapan jalan. Selanjutnya data non spasial disimpan dalam tabel parameter pada revit untuk melengkapi model data 3D yang terbentuk. Contoh tabel parameter yang dapat diisi pada Revit ditunjukkan pada Tabel III.1. Data dimensi jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) didapatkan dari dokumen leger jalan yang mengacu pada *As Built Drawing* jalan tol layang AP Pettarani.

DATA TEKNIK - 2								
ASAL TAHUN : 2020								
URAIAN KONSTRUKSI	JALUR KI				JALUR KA			
	LAJUR 1	LAJUR 2	LAJUR 3	LAJUR 4	LAJUR 4	LAJUR 3	LAJUR 2	LAJUR 1
A. LAPIS PERMUKAAN :								
LEBAR (M)	3.59	3.50	-	-	-	-	3.79	3.64
TEBAL (M)	0.05	0.05	-	-	-	-	0.05	0.05
JENIS	AC-WC	AC-WC	-	-	-	-	AC-WC	AC-WC
KONDISI	B	B	-	-	-	-	B	B
INDEKS KONDISI/IRI	-	-	-	-	-	-	-	-
B. LAP. PONDASI ATAS :								
LEBAR (M)	3.59	3.50	-	-	-	-	3.79	3.64
TEBAL (M)	0.20	0.20	-	-	-	-	0.20	0.20
JENIS	BTN	BTN	-	-	-	-	BTN	BTN
C. LAP. PONDASI BAWAH :								
LEBAR (M)	-	-	-	-	-	-	-	-
TEBAL (M)	-	-	-	-	-	-	-	-
JENIS	-	-	-	-	-	-	-	-
D. MEDIAN :								
LEBAR (M)	1.00				1.30			
TINGGI (M)	1.30				1.30			
JENIS	CONCRETE BARRIER				CONCRETE BARRIER			
KONDISI	B				B			
E. BAHU JALAN :								
LEBAR (M)	LUAR		DALAM		LUAR		DALAM	
TEBAL (M)	2.00		0.50		0.50		2.00	
JENIS	0.05		0.05		0.05		0.05	
POSISI	AC-WC		AC-WC		AC-WC		AC-WC	
KONDISI	DTR		DTR		DTR		DTR	
	B		B		B		B	

(a). Data Teknik 2

DATA TEKNIK - 4				
URAIAN PERLENGKAPAN JALAN		ASAL / TAHUN 2020		
		KI	MD	KA
A. PAGAR PENGAMAN				
- GUARDRAIL (BH/M)		-	1/471.678	-
- WIRE ROPE (BH/M)		-	-	-
- CONCRETE BARRIER (BH/M)		2/414.219	2/375.062	1/327.226
B. PAGAR BATAS OPERASIONAL		2/457.742	-	1/234.094
C. DINDING PENGAMAN (BH/M)		-	-	-
D. PATOK PEMANDU (BH)		-	-	-
E. PATOK KILOMETER (BH)		-	-	-
F. PATOK HEKTOMETER (BH)		-	2	-
G. PATOK LEGER JALAN (BH)		-	1	-
H. PATOK RUMIJA (BH)		-	-	-
I. MARKA JALAN (BH/M)		3/1203.538	-	3/1264.831
J. RAMBU LALU LINTAS (BH)		3	-	4
K. RAMBU PETUNJUK ARAH (BH)		1	-	-
L. LAMPU LALU LINTAS (BH)		1	-	1
M. LAMPU PENERANGAN (BH)		-	18	-
N. JEMBATAN PENYEBRANGAN ORANG (BH/M)		-	-	-
O. CERMIN JALAN (BH)		-	-	-
P. CCTV (BH)		-	-	-
Q. VARIABLE MESSAGE SIGN (BH)		-	-	-
R. REFLEKTOR GUARDRAIL (BH)		15	70	44
S. INFO TOL (BH)		-	-	-
T. ANTI SILAU (BH)		-	-	-
U. MANIK JALAN / MATA KUCING (BH)		-	-	-
V. INLET (BH)		32	-	87

(b) Data teknik 4

Gambar III.4 Data non spasial pada dokumen leger

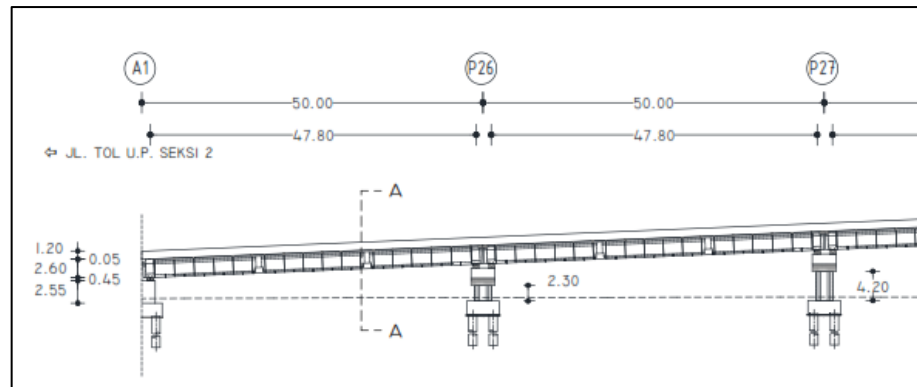


Tabel III.1 Contoh tabel parameter pada Revit

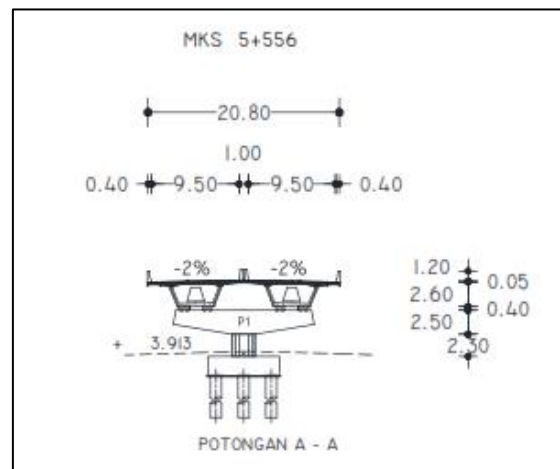
Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Aspal P30P31	Aspal	51.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P31P32	Aspal	51.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P32P33	Aspal	41.2m ³	Aspal	Baik
Aspal P33P34	Aspal	51.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P34P35	Aspal	51.5m ³	Aspal	Baik
Box P28P29	Box Girder	962.02m ³	Beton	Baik
Box P29P30	Box Girder	1071.41m ³	Beton	Baik
Box P30P31	Box Girder	963.98m ³	Beton	Baik
Box P31P32	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P32P33	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
P26	Pier	120.84m ³	Beton	Baik
P27	Pier	132.3m ³	Beton	Baik
P28	Pier	144.7m ³	Beton	Baik
P29	Pier	156.46m ³	Beton	Baik
P30	Pier	169.58m ³	Beton	Baik

III.1.2 Pembuatan Model 3D Dari Data Pengukuran Leger

Pembuatan model 3D menggunakan perangkat lunak Revit 2022. Pembuatan model 3D jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) meliputi pembuatan model 3D struktur jalan beton dan lapisan aspal serta struktur tiang penyangga. Dimensi tiang penyangga didapatkan dari buku leger jembatan yang berdasar pada *as built drawing*. Sedangkan untuk panjang setiap bentang menyesuaikan lokasi antar tiang penyangga. Penampang melintang dan memanjang pada jalan tol Ujung Pandang Seksi 3 (jalan tol layang A.P Pettarani Makassar) ditunjukkan pada Gambar III.5 dan Gambar III.6. Pada penampang memanjang melintang, panjang setiap bentang konstruksi beton ditunjukkan dengan garis horisontal kedua dari atas. Garis horisontal paling atas pada Gambar III.5 menunjukkan panjang perkerasan aspal setiap bentangnya. Segmen garis vertikal yang ditunjukkan pada Gambar III.5 dan Gambar III.6 menunjukkan dimensi tinggi dari konstruksi tiang pancang, kepala tiang pancang, bantalan tiang pancang, ketebalan konstruksi beton, ketebalan lapisan aspal serta tinggi beton pengaman samping (*guardrail*).

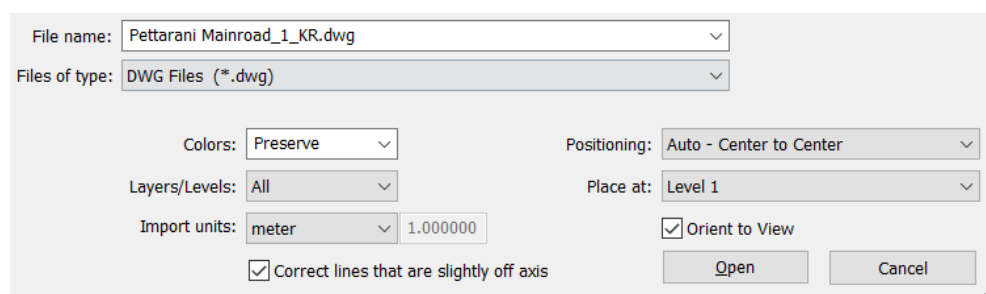


Gambar III.5 Penampang memanjang pada konstruksi jalan tol layang AP Pettarani



Gambar III.6. Penampang melintang pada konstruksi jalan tol layang AP Pettarani

Pembuatan model 3D diawali dengan memasukkan gambar situasi dalam bentuk CAD pada perangkat lunak Revit sebagai dasar trase jalan. Pengaturan satuan ukuran yang digunakan serta posisi origin pada perangkat lunak Revit diatur dengan *placement* situasi ada pada level 1. Pengaturan posisi serta satuan yang digunakan dalam pembuatan model 3D ditampilkan pada Gambar III.7.



Gambar III.7 Pengaturan *import file* CAD

Setelah dilakukan *import* CAD langkah selanjutnya adalah menentukan lokasi tiang pancang sesuai dengan STA yang tertera pada dokumen leger. Hal ini dilakukan karena data



koordinat dasar tiang pancang tidak tersedia. Data koordinat yang tersedia adalah titik-titik koordinat di atas jalan tol layang AP Pettarani. Elevasi dasar bangunan dihitung dengan cara mengurangi elevasi pada permukaan jalan tol layang dengan tinggi bangunan yang terdiri dari tebal lapisan aspal, tebal *girder* dan tinggi tiang pancang.

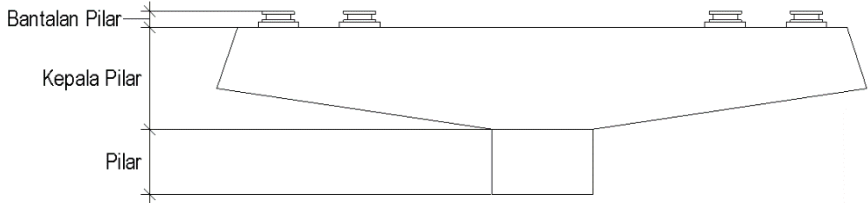
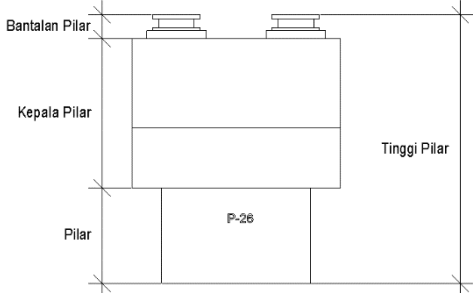
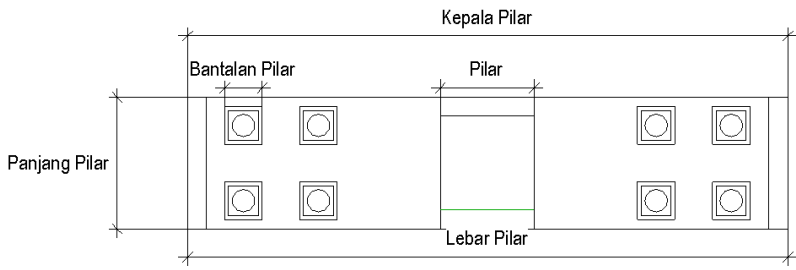
Model 3D jalan tol layang AP Pettarani (Tol Ujung Pandang Seksi 3) dibangun berdasarkan data-data dimensi jalan seperti ditunjukkan pada Gambar III.5 dan Gambar III.6. Pemodelan 3D jalan tol layang AP Pettarani dibangun pada 3 kategori *families* yaitu *structural column*, *column* dan *furniture* yang kemudian di-plot pada *project* dalam perangkat lunak Revit. Tiang pancang, *girder* dan lapisan aspal dimasukkan dalam *families structural column* agar dapat dihitung volume bangunannya. Pengaman jalan seperti tembok pengaman, *guardrail* dan *concrete barrier* dimasukkan dalam kategori *column* karena kebutuhan data sekundernya adalah perhitungan jumlah pengaman jalan. Atribut jalan lainnya seperti lampu dan rambu dimasukkan ke dalam kategori *furniture*.

Terdapat dua jenis tiang pancang dalam pemodelan 3D tiang pancang pada jalan tol AP Pettarani, yaitu bentuk *pier* dengan 1 tiang dan *pile slab*. *Pier* terdiri dari sebuah tiang yang menyangga kepala tiang dan bantalan tiang di atasnya. Elevasi dasar tiang disesuaikan dengan data pada kartu leger jalan dan jembatan. Tinggi tiang, tebal kepala tiang serta tebal bantalan juga mengacu pada kartu leger jalan dan jembatan yang mana memiliki nilai yang berbeda-beda untuk setiap tiangnya. Oleh karenanya pemodelan tiang pancang ini tidak dapat disimpan dalam satu nama *family* yang sama. Sama seperti pemodelan 3D *pier*, pemodelan 3D untuk *pile slab* juga tidak disimpan dalam satu nama *family*. Nama *family* disesuaikan dengan urutan *pile slab*. *Pile slab* terdiri dari tiang penyangga dan kepala tiang tanpa bantalan.

Bagian-bagian *pier* dan pengukuran dimensi tiang pancang ditampilkan pada Tabel III.2. Luasan tapak bawah *pier* berkisar antara 2 m x 2 m hingga 3,5 m x 3,5 m dengan tinggi yang bervariasi. Variasi bentuk kepala tiang dan bantalan tiang mengacu pada model 3D hasil pengukuran TLS. Terdapat 2 variasi tebal kepala pilar yaitu 2,5m untuk pilar jalan utama dan 1,5m untuk kepala pilar *ramp*.



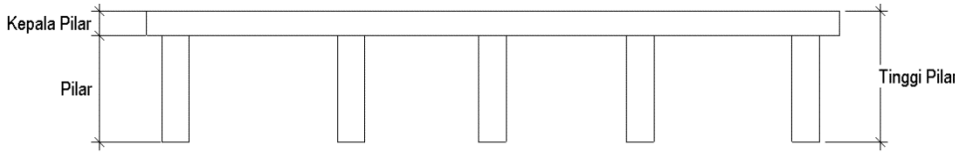
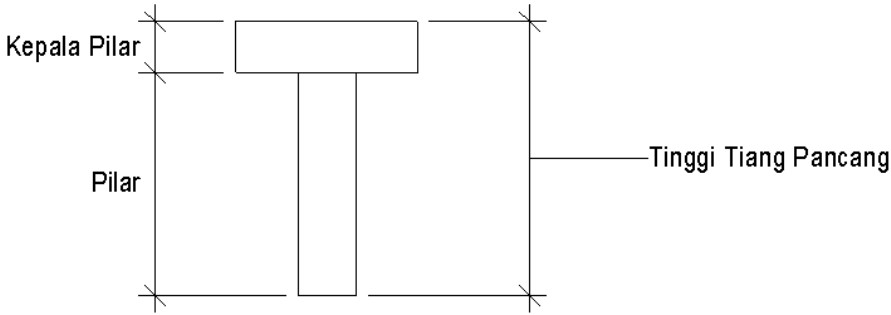
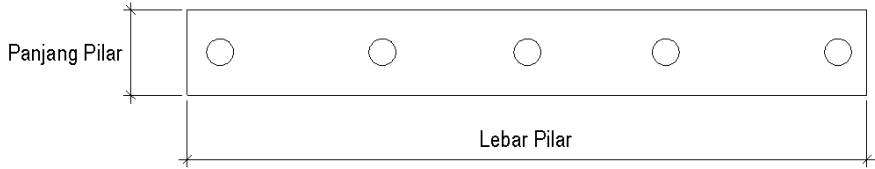
Tabel III.2 Bagian-bagian *pier* dan pengukuran dimensinya

Pengukuran Dimensi <i>Pier</i>		Keterangan
		Tampak Depan
		Tampak Samping
		Tampak Atas

Bagian-bagian *pile slab* dan pengukuran dimensinya ditampilkan pada Tabel III.3. *Pile slab* memiliki 5 pilar penyangga pada jalan utama dan 2 pilar penyangga pada *ramp*. Tebal kepala pilar pada *pile slab* sekitar 0,7m. Tinggi *pile slab* mengacu pada kartu leger jalan dan jembatan.



Tabel III.3 Bagian-bagian *pile slab* dan pengukuran dimensinya

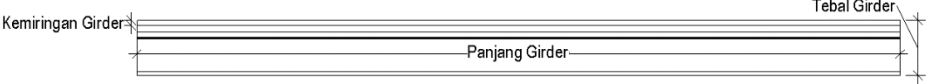
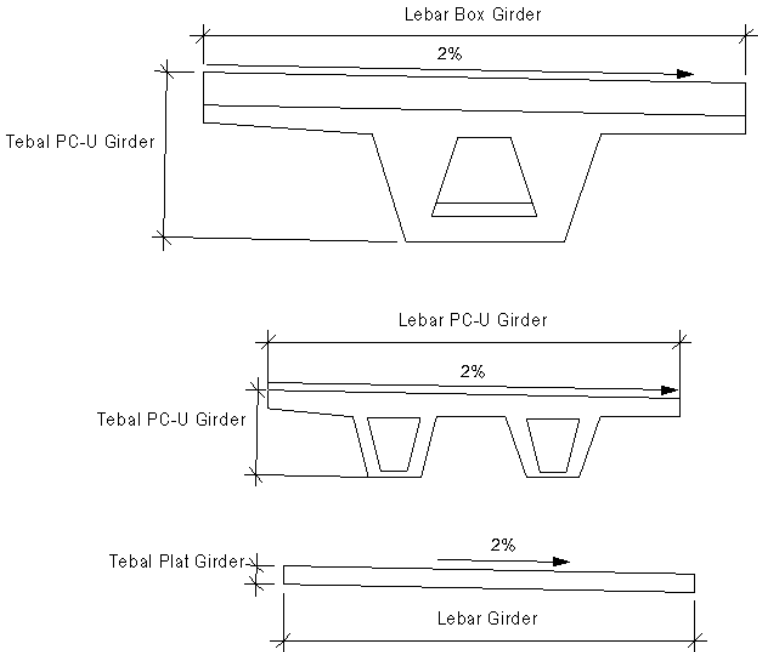
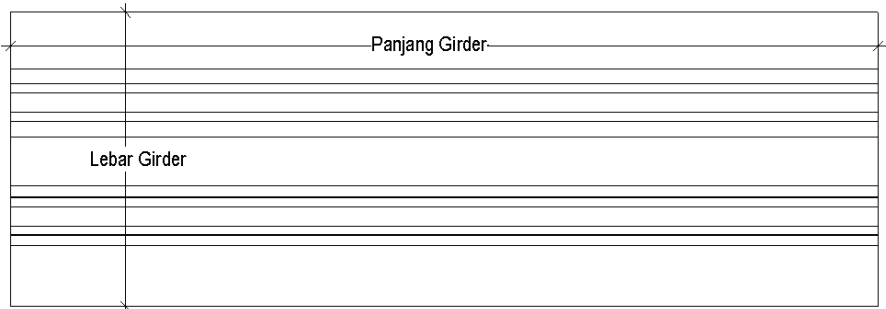
Pengukuran Dimensi <i>Pile slab</i>		Keterangan
		Tampak Depan
		Tampak Samping
		Tampak Atas

Pemodelan *girder* juga disimpan dengan nama *family* yang berbeda. Pada jalan tol layang AP Pettarani terdapat 3 jenis *girder* yang dimodelkan yaitu *box girder*, *PC-U girder* dan *plat girder*. Pengukuran dimensi *girder* ditampilkan pada Tabel III.4. *Box girder* memiliki ketebalan *box* yaitu 2,6 m sedangkan *PC-U girder* memiliki ketebalan 1,5 m.

Girder memiliki dimensi lebar 10,2 m masing-masing pada kanan dan kiri jalan utama serta 7,8 m pada *ramp*. Panjang *box girder* dan *plat girder* menyesuaikan jarak dan ketinggian antar tiang pancang. *Plat girder* memiliki ketebalan 0,35 m. Pada model 3D *girder* dibuat kemiringan sebesar 2% dari lebar *girder* ke arah kanan dan/atau ke kiri.



Tabel III.4 Dimensi *Girder*

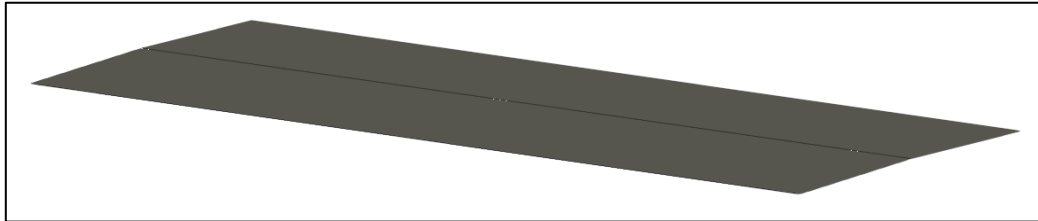
Kenampakan <i>Girder</i>	Keterangan
	Tampak Depan
	Tampak Samping
	Tampak Atas

Lapisan aspal dimodelkan dengan ketebalan yang sama yaitu 0.05m. Lapisan aspal berada di atas *girder* sehingga nilai elevasi Panjang dan ketinggian aspal bervariasi sesuai dengan panjang dan tinggi *girder* di bawahnya. Kemiringan aspal kanan dan kiri dibuat sesuai dengan data pada dokumen leger yaitu sekitar 2%. Lebar lapisan aspal sama dengan lebar



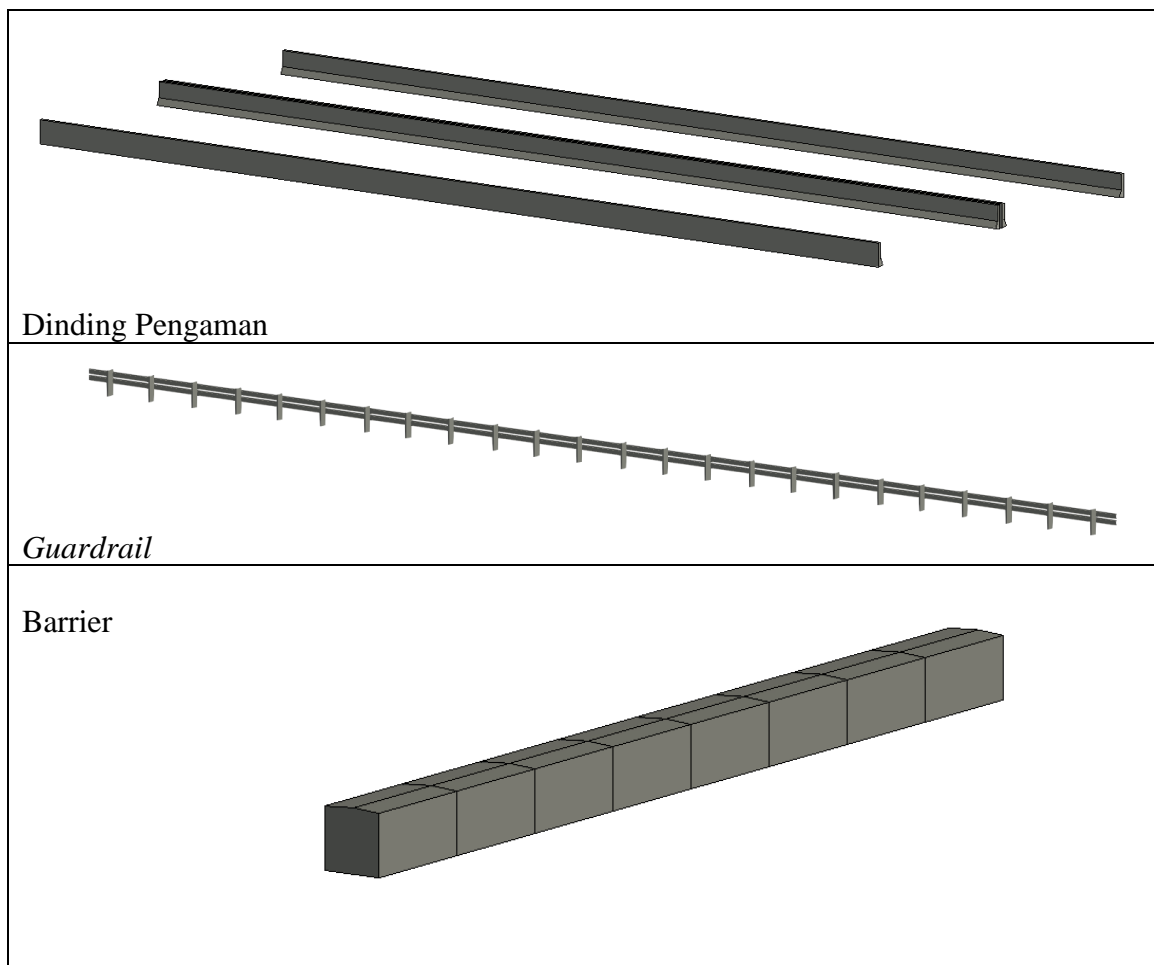
UNIVERSITAS
GADJAH MADA

girder yaitu 10,2 m kanan dan kiri pada jalan utama serta pada *ramp* bervariasi antara 7,8 m hingga 8,4 m.



Gambar III.8 Contoh lapisan aspal

Pemodelan 3D pengaman jalan dikelompokkan dalam *families column* karena hanya dibutuhkan perhitungan jumlahnya saja. Pengaman jalan pada pemodelan ini terdiri dari 3 jenis yaitu dinding pengaman, *barrier* dan *guardrail*. Tampilan dinding pengaman, *barrier* dan *guardrail* tersaji pada Gambar III.9.

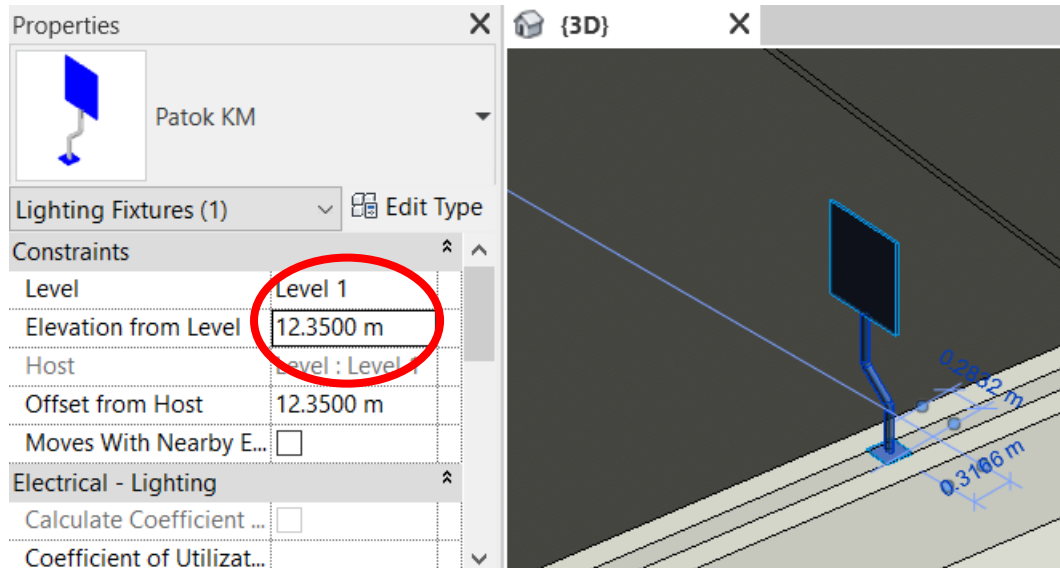


Gambar III.9 Jenis-jenis pengaman jalan

Dinding pengaman dimodelkan dengan bentuk yang sama dengan ketinggian dinding 1,2m. Elevasi model 3D dinding pengaman ditempatkan mengikuti lapisan aspal di bawahnya. Dinding pengaman diletakan pada kanan dan kiri jalan serta pada median jalan.

Guardrail dimodelkan dengan dengan 2 tiang horizontal yang dihubungkan dengan tiang vertikal setiap 1,5 m dengan ketinggian 1 m. *Guardrail* ini tempatkan pada median awal ruas sebagai pemisah jalur kiri dan jalur kanan. Elevasi *guardrail* mengikuti elevasi lapisan aspal di bawahnya.

Atribut jalan yang dimodelkan pada kegiatan ini adalah lampu jalan dan rambu. Lampu jalan dikelompokkan ke dalam *families lighting fixtures* dan rambu dikelompokkan ke dalam *furniture*. Berbeda dengan yang lainnya lampu dan rambu ini disimpan dalam satu *families* yang sama untuk nantinya ditampilkan berulang pada modeling jalan 3D. Pembuatan *family* lampu dan rambu dilakukan pada elevasi awal 0. Elevasi rambu dan lampu pada *project* disesuaikan dengan ketinggian jalan dimana lampu atau rambu tersebut diletakan. Pada Gambar III.10 elevasi rambu diisikan pada *constraints elevation from level* dengan nilai 12,35m sesuai dengan puncak ketinggian dinding pengaman di titik itu. Rambu dan lampu dipasang pada median jalan tepatnya diantara dinding pemisah jalur kiri dan jalur kanan.



Gambar III.10. Pengisian nilai elevasi rambu

Setelah semua model 3D terbentuk dan trase jalan terbentuk kemudian dilakukan input koordinat pada salah satu titik pada model 3D sebagai referensi koordinat awal. Titik yang digunakan menjadi referensi koordinat adalah titik LJ 1 pada bagian kanan atas yang terdapat



di awal ruas. Setelah titik koordinat referensi dimasukkan, perangkat lunak Revit secara otomatis akan membawa model yang telah terbentuk pada *project* ke dalam satu referensi tersebut.

III.1.3 Uji Kualitas Model 3D

Model 3D yang dibangun dari data leger jalan diuji kualitas modelnya dengan tujuan model 3D memiliki nilai ukuran dan koordinat yang sesuai dengan objek di lapangan. Pengujian kualitas dimensi model dilakukan dengan membandingkan ukuran volume tiang pancang hasil modeling 3D dari dokumen leger dengan tiang pancang pada model 3D dari pengukuran TLS yang dianggap memiliki dimensi yang benar. Sedangkan akurasi posisi dilakukan dengan membandingkan koordinat titik-titik pengukuran leger dengan koordinat modeling 3D.

III.6.3.1 Kualitas Geometri Model 3D

Pengujian kualitas geometri dilakukan terhadap 73 pilar pada jalan utama. Pengujian ini dilakukan terhadap data model 3D hasil pengukuran TLS. Data volume didapatkan dari *structural column schedule* yang terdapat pada perangkat lunak Revit. Perangkat lunak Revit dapat secara otomatis menghitung volume families dari model 3D yang dibentuk apabila bangunan tersebut dikelompokkan dalam famili *structural column*. Volume yang sudah ditampilkan pada *structural column schedule* kemudian diimpor ke dalam format *csv untuk kemudian dilakukan hitungan nilai RMSE dan simpangan bakunya.

Nilai RMSE adalah rata-rata selisih nilai data yang dianggap benar dengan nilai hasil pemodelan. Data volume yang dianggap benar dalam kegiatan ini adalah data pemodelan 3D hasil pengukuran TLS. Nilai RMSE dihitung dengan menggunakan rumus (II.1). Nilai simpangan baku merupakan nilai perkiraan kesalahan data ukuran terhadap rata-rata data. Nilai simpangan baku digunakan untuk menentukan variasi atau persebaran data sampel. Bilai simpangan baku dihitung dengan rumus (II.2).

Selain RMSE dan simpangan baku dilakukan juga uji hipotesis terhadap tingkat kepercayaan data menggunakan uji Z dengan tingkat kepercayaan 95%. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah model 3D yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan terhadap volume model 3D dari TLS dan koordinat dari hasil leger. Pengujian ini menggunakan dilakukan dengan menggunakan rumus (II.4) dimana nilai Z tabel pada tingkat kepercayaan 95% adalah senilai 1.96



III.6.3.2 Akurasi posisi Model 3D

Pengujian akurasi posisi model dilakukan terhadap titik-titik koordinat pengukuran leger menggunakan GNSS yang dianggap sebagai koordinat yang benar. Titik uji terdiri dari titik IJ 1 dan L2 sebagai *benchmark* dari pengukuran leger, titik awal dan akhir ruas serta titik-titik STA KM sejumlah 42 titik.

Pengujian akurasi posisi model 3D dilakukan juga dengan menghitung nilai RMSE koordinat X, Y dan Z pada model 3D dari dokumen leger dan pada koordinat 3D hasil pengukuran leger jalan. Nilai RMSE koordinat dihitung juga dengan menggunakan rumus (II.1). Nilai variasi data sampel koordinat model 3D dihitung juga dengan menggunakan rumus (II.2).

Pengujian terhadap penerimaan data koordinat hasil pemodelan juga dilakukan dengan menggunakan rumus (II.4). Uji Z yang digunakan sama dengan uji Z pada kualitas geometrik dimana dilakukan terhadap masing-masing parameter yaitu X, Y dan Z. Tingkat kepercayaan yang digunakan dalam uji Z ini adalah senilai 95% dimana H_0 diterima apabila nilai $-Z_{\alpha/2} < Z_o < Z_{\alpha/2}$.

III.1.4 Konversi dan analisis model IFC ke CityGML

Konversi model 3D dari IFC ke City GML dilakukan sebagai bentuk integrasi BIM dan 3D GIS. Konversi yang dilakukan pada penelitian ini lebih terfokus kepada geometrik bangunan jalan semantiknya. Format data IFC yang digunakan adalah IFC 2 x 3 dan LOD pada CityGML yang digunakan adalah LOD 4.

Sebelum melakukan konversi model 3D IFC ke City GML, terlebih dahulu perlu dilakukan *export* terhadap *project* Revit dengan format *.rvt ke dalam format IFC. *Export project* Revit ke dalam format IFC dilakukan pada perangkat lunak Revit. Selanjutnya dengan menggunakan perangkat lunak FZKViewer model 3D dengan format IFC konversi ke dalam bentuk CityGML. Penggunaan perangkat lunak FZKViewer sebagai perangkat lunak untuk mengonversi mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan Putra (2022) yang menyatakan bahwa CityGML hasil konversi dari FZK memiliki atribut yang lebih lengkap daripada CityGML hasil konversi perangkat lunak lainnya yang dibandingkan dalam penelitian tersebut.



Untuk menampilkan model 3D dalam format IFC perangkat lunak FZKViewer akan meminta identifikasi referensi spasial yang digunakan. Model 3D jalan tol layang AP Pettarani berada di Sulawesi Selatan sehingga menggunakan referensi spasial EPSG 32750 atau UTM Zona 50S. Penggunaan referensi spasial ini sudah sama dengan referensi koordinat yang diinputkan sebagai titik referensi model 3D.

Analisis hasil konversi IFC ke CityGML digunakan untuk mengetahui seberapa jauh perubahan yang terjadi apabila model 3D yang berbasis pada standard data BIM diubah menjadi standard data GIS. Analisis yang digunakan adalah membandingkan volume *pier* yang dihitung oleh perangkat lunak Revit dengan volume model 3D dalam format CityGML yang dihitung oleh perangkat lunak FZKViewer. Selain perbandingan perhitungan volume, analisis hasil konversi juga dilakukan untuk elemen yang dibawa dari format data IFC dan ditampilkan dalam format CityGML.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Identifikasi Data Leger Jalan

Dokumen leger jalan terdiri dari dokumen fisik dan dokumen digital berupa *softcopy* dari dokumen fisik dalam format PDF serta *softcopy* penggambaran leger jalan dalam format CAD dan *shapefile*. Selain penggambaran leger dalam 2D, dokumen leger jalan tol layang AP Pettarani juga dilengkapi dengan pemodelan 3D dalam format *.rvt. Model 3D pada dokumen leger jalan tol layang AP Pettarani merupakan hasil pengukuran menggunakan TLS.

Pada penelitian ini data yang digunakan sebagai *input* data pembuatan model 3D jalan adalah kartu leger jalan dan jembatan dalam format PDF dan gambar 2D leger jalan dalam format CAD. Sedangkan pemodelan 3D hasil pengukuran TLS digunakan sebagai pembanding model 3D yang dibentuk dari data kartu leger jalan dan jembatan.

Data leger jalan yang dapat digunakan untuk mendukung inventarisasi aset jalan adalah data lokasi yang ditunjukkan dengan koordinat beserta sistem koordinatnya. Jalan tol layang AP Pettarani berlokasi di Makassar, Sulawesi Selatan. Sistem proyeksi yang digunakan pada penggambaran 2D leger jalan adalah UTM zona 50S. Titik referensi yang digunakan dalam penggambaran 2D leger jalan adalah patok leger yang memiliki fungsi yang sama dengan *bench mark*. Pada jalan tol layang AP Pettarani terdapat 2 titik leger jalan, yaitu LJ1 dan LJ2. Titik LJ1 digunakan untuk mengikat model 3D dari data leger jalan ke sistem referensi UTM Zona 50S.

Untuk memvalidasi koordinat hasil pemodelan 3D diperlukan koordinat hasil pengukuran leger jalan pada titik yang lain. Titik-titik koordinat yang dijadikan pembanding koordinat model 3D hasil leger jalan adalah titik awal ruas, titik akhir ruas, titik LJ2 serta titik-titik STA per-100 m dari data pengukuran leger jalan. Adapun tabel titik-titik koordinat hasil pengukuran leger jalan yang digunakan sebagai referensi dan pembanding hasil modeling 3D tersaji dalam Tabel IV.1.



Tabel IV.1 Koordinat pengukuran leger

Nama STA	X	Y	Z
LJ 1	770601.23	9432535.949	4.742
Awal Ruas	770606.084	9432536.089	3.946
KM 5+100	770603.621	9432510.847	3.914
KM 5+200	770586.515	9432412.06	4.063
KM 5+300	770576.284	9432312.421	3.923
KM 5+400	770565.811	9432213.357	5.542
KM 5+500	770560.582	9432113.445	9.323
KM 5+600	770544.493	9432014.467	13.469
KM 5+700	770533.094	9431915.155	17.472
KM 5+800	770520.069	9431817.969	21.98
KM 5+900	770500.586	9431718.132	23.41
KM 6+000	770487.578	9431620.574	23.651
KM 6+100	770467.682	9431520.686	21.132
KM 6+200	770448.587	9431423.527	19.315
KM 6+300	770428.507	9431324.48	15.231
KM 6+400	770409.446	9431227.154	14.729
KM 6+500	770389.21	9431128.416	13.567
KM 6+600	770371.664	9431030.808	14.964
KM 6+700	770358.988	9430930.951	14.503
KM 6+800	770337.302	9430833.063	14.449
KM 6+900	770325.421	9430733.5	15.078
KM 7+000	770304.383	9430636.637	16.171
KM 7+100	770286.96	9430537.301	15.372
KM 7+200	770270.22	9430434.276	16.644
KM 7+300	770256.383	9430339.589	15.936
KM 7+400	770242.38	9430237.013	17.363
KM 7+500	770270.875	9430337.188	16.554
KM 7+600	770228.415	9430141.268	16.758
KM 7+700	770214.613	9430042.223	16.567
KM 7+800	770187.313	9429840.235	17.392
KM 7+900	769949.367	9428567.591	15.863
KM 8+000	770200.568	9429943.285	15.625
KM 8+100	770170.056	9429644.671	15.269
KM 8+200	770155.667	9429545.426	15.992
KM 8+300	770135.273	9429445.347	14.813
KM 8+400	770176.378	9429744.828	15.005



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Lanjutan Tabel IV.1

Nama STA	X	Y	Z
KM 8+500	770097.617	9429149.514	15.369
KM 8+600	770080.237	9429050.973	15.665
KM 8+700	770053.567	9428954.051	15.909
KM 8+800	770027.426	9428854.106	17.301
KM 8+900	769998.254	9428761.827	16.199
KM 9+000	769967.082	9428663.65	17.068
KM 9+100	770120.385	9429348.653	15.453
Akhir Ruas	769942.561	9428565.934	15.406
LJ 2	769865.599	9428258.082	4.774

Data lainnya yang diperoleh dari kartu jalan dan jembatan dalam dokumen leger yang mendukung inventarisasi aset jalan adalah data dimensi. Dimensi yang didapatkan dari kartu jalan dan jembatan jalan tol layang AP Pettarani adalah ketinggian tiang pancang, ketebalan kepala tiang, tebal bantalan, tebal aspal serta ketinggian dinding pengaman. Ukuran tapak tiang pancang tidak terdapat pada kartu leger jalan dan jembatan. Hal serupa juga dilakukan untuk ukuran panjang dan lebar kepala tiang. Dalam pemodelan 3D ukuran-ukuran yang tidak terdapat di kartu leger menggunakan perkiraan ukuran dengan mencontoh salah satu ukuran pada model 3D TLS. Hasil ekstraksi dimensi tiang pancang jalan tol layang AP Pettarani dari dokumen leger jalan ditunjukkan pada LAMPIRAN A.

Model 3D hasil pengukuran TLS disimpan dalam format *project* pada *software* Revit. Model 3D hasil pengukuran TLS disajikan dalam beberapa kategori *family* yaitu *Structural Column*, *Plumbing Fixtures*, *Furniture*, dan *Lighting Fixtures*. Rincian klasifikasi model 3D hasil pengukuran TLS tersaji pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2 Klasifikasi model 3D hasil pengukuran TLS

Model 3D	Kategori <i>family</i>	<i>OmniClass Title</i>	<i>OmniClass Number</i>
<i>Asphalt</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Barrier</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Bench Mark</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Expansion Joint</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Girder</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>JPO</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Land Road</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Parapet</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11

Lanjutan Tabel IV.2

Model 3D	Kategori family	OmniClass Title	OmniClass Number
<i>Pier</i>	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Drain</i>	<i>Plumbig Fixtures</i>	<i>Sanitary, Laundry, and Cleaning Equipment</i>	23.45.00.00
<i>Drain System</i>	<i>Plumbig Fixtures</i>	<i>Sanitary, Laundry, and Cleaning Equipment</i>	23.45.00.00
<i>Grill Drain</i>	<i>Plumbig Fixtures</i>	<i>Sanitary, Laundry, and Cleaning Equipment</i>	23.45.00.00
<i>Reflector</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>Building</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>Guardrail</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>Marka</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>Median</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>Vase</i>	<i>Furniture</i>	<i>General Furniture and Specialties</i>	23.40.20.00
<i>CCTV</i>	<i>Lighting Fixtures</i>	<i>Lighting</i>	23.80.70.00
<i>Lampu</i>	<i>Lighting Fixtures</i>	<i>Lighting</i>	23.80.70.00
<i>Rambu</i>	<i>Lighting Fixtures</i>	<i>Lighting</i>	23.80.70.00

Tabel IV.2 menunjukkan bahwa pada pemodelan 3D menggunakan TLS belum sepenuhnya mengadopsi sistem klasifikasi untuk industri konstruksi yang disediakan *software* Revit. Sistem klasifikasi yang dimiliki Revit disebut *OmniClass*. *OmniClass* merupakan system klasifikasi yang digunakan untuk keperluan industri konstruksi. *OmniClass* ini terdiri dari 15 tabel hierarki yang masing-masing merepresentasikan informasi konstruksi yang berbeda. Sebagai contoh model 3D *Guardrail* hasil TLS yang ditunjukkan pada Tabel IV.2 dikelompokkan pada *omniclass General Furniture and Specialties* dengan *OmniClass number* 23.40.20.00. Revit telah mengkategorikan *Guardrails* dengan *OmniClass Number* 23.15.10.11.21.11.17 dengan *Omniclass Title Guardrail*.

Selain klasifikasi model 3D, data yang dapat diekstraksi dari model 3D hasil pengukuran TLS adalah gambaran bentuk bagian-bagian jalan eksisting dan volume. Volume bagian jalan digunakan sebagai validasi kualitas dimensi model 3D yang dihasilkan dari data



leger jalan. Dimensi dari model 3D hasil pengukuran TLS dianggap benar dan paling sesuai dengan kondisi eksisting di lapangan. Hasil ekstraksi volume model 3D pengukuran TLS disajikan pada LAMPIRAN B.

Selain data lokasi dan data dimensi, data lain yang terdapat pada data leger jalan yang dapat digunakan sebagai data inventori aset jalan dan jembatan adalah jumlah, tahun pembuatan dan material dari aset. Data tersebut pada leger jalan dicantumkan pada data numerik di kartu leger jalan dan jembatan. Sedangkan pada model 3D hasil dari data leger, data-data tersebut dapat dicantumkan pada tabel parameter seperti pada Lampiran D

IV.2 Hasil Pemodelan 3D

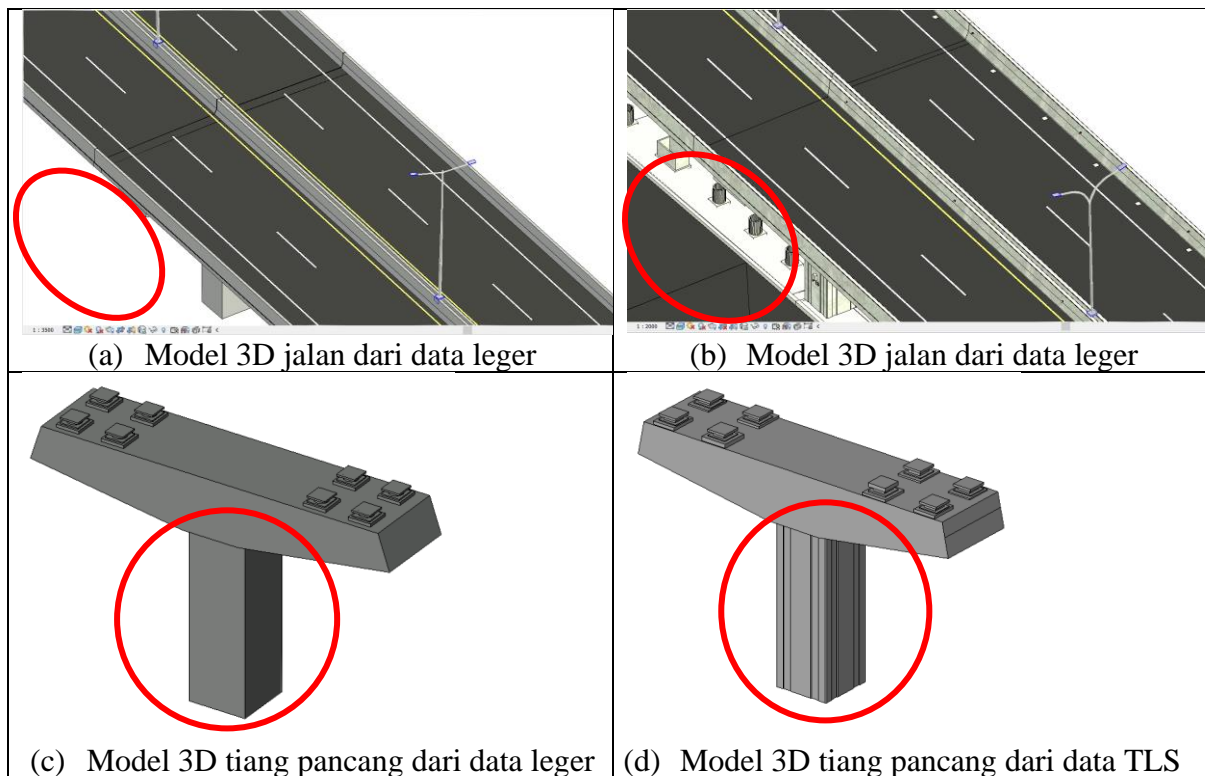
Pemodelan 3D jalan tol layang AP Pettarani berdasarkan data leger jalan tidak dilakukan selengkap pemodelan 3D menggunakan TLS yang telah ditunjukkan pada Tabel IV.2. Pemodelan 3D jalan tol layang AP Pettarani meliputi pemodelan model 3D jalan utama, pemodelan model 3D *ramp on* Boulevard, pemodelan *ramp off* Boulevard, pemodelan model 3D *ramp on* Alauddin dan pemodelan model 3D *ramp off* Alauddin. Model 3D jalan tol layang AP Pettarani yang berhasil dilakukan secara garis besar terdiri dari model 3D tiang pancang jalan tol, *girder*, lapisan aspal, pengaman jalan serta pemodelan atribut jalan lainnya seperti marka jalan, rambu dan lampu jalan. Hasil pemodelan 3D jalan tol layang AP Pettarani menggunakan data leger disajikan dalam Tabel IV.3.

Tabel IV.3 Klasifikasi model 3D dari data leger jalan

Model 3D	Kategori <i>family</i>	<i>OmniClass Title</i>	<i>OmniClass Number</i>
Aspal	<i>Structural Columns</i>	<i>Roadways and Runways</i>	23.15.10.11
<i>Girder</i> (<i>Plat, Box Girder</i> dan <i>PC-U Girder</i>)	<i>Structural Columns</i>	<i>Roadways and Runways</i>	23.15.10.11
Tiang Pancang (<i>Pier, Pile Slab</i>)	<i>Structural Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Concrate Barrier</i>	<i>Columns</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Guardrail</i>	<i>Columns</i>	<i>Guardrails</i>	23.15.10.11.21.11.17
Median	<i>Furniture</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
<i>Bench Mark</i> (LJ1, LJ2)	<i>Furniture</i>	<i>Columns</i>	23.25.30.11.14.11
Lampu Jalan	<i>Lighting Fixtures</i>	<i>Lighting</i>	23.80.70.00
Rambu	<i>Signage</i>	<i>Roadway Signage</i>	23.15.10.14.11
Marka	<i>Signage</i>	<i>Roadway Signage</i>	23.15.10.14.11

Pengelompokan *family* pada model 3D jalan tol layang AP Pettarani dari data leger sebagian besar mengacu pada klasifikasi *family* pada model 3D dari TLS. Selain itu pengelompokan *family* ini didasarkan pada keperluan ekstraksi parameter yang terkandung pada masing-masing model. Pada kategori *family Structural Columns* parameter yang dapat diekstraksi adalah jumlah model 3D dan volumenya. Data volume dibutuhkan sebagai validasi akurasi dimensi model 3D yang telah dibentuk. Kategori *family Columns* tidak dapat menampilkan parameter volume sehingga model 3D yang dikelompokkan pada *family* ini adalah model 3D yang tidak memerlukan data volume, melainkan hanya jumlahnya saja yaitu model 3D dari *concrete barrier* atau tembok pengaman.

Perbandingan hasil pemodelan 3D jalan layang AP Pettarani dan pemodelan 3D jalan layang AP Pettarani dari TLS secara visual dapat dilihat pada Gambar IV.1. Gambar sebelah kiri merupakan hasil pemodelan 3D jalan layang AP Pettarani dari data leger jalan sedangkan gambar sebelah kanan merupakan hasil pemodelan 3D TLS. Secara visual dapat terlihat bahwa hasil pemodelan 3D TLS lebih kompleks dan memiliki lebih banyak atribut jalan yang sesuai dengan kondisi jalan eksisting. Kompleksitas tiap-tiap bagian bangunan jalan dapat terlihat pada hasil pemodelan pilar. Pemodelan 3D menggunakan data leger jalan memiliki bentuk *pier* yang sederhana, sedangkan bentuk *pier* dari pemodelan 3D TLS memiliki beberapa lekukan di bagian tiangnya.



Gambar IV.1 Perbandingan hasil pemodelan 3D dari dokumen leger jalan dan TLS

Beberapa atribut jalan yang tidak berhasil dimodelkan pada pemodelan 3D dari dokumen leger adalah pipa saluran pembuangan dan lubang pebuangan, rambu jalan, serta jalan eksisting yang berada di bagian bawah jalan tol layang AP Pettarani. Pemodelan 3D menggunakan data leger jalan terbatas hanya pada jalan tol layang AP Pettaraninya saja, sedangkan jalan di bawahnya tidak dimodelkan. Hasil pemodelan 3D keseluruhan jalan tol layang AP Pettarani dapat dilihat pada LAMPIRAN C, dan parameter model 3D yang dihasilkan dapat dilihat pada Lampiran D.

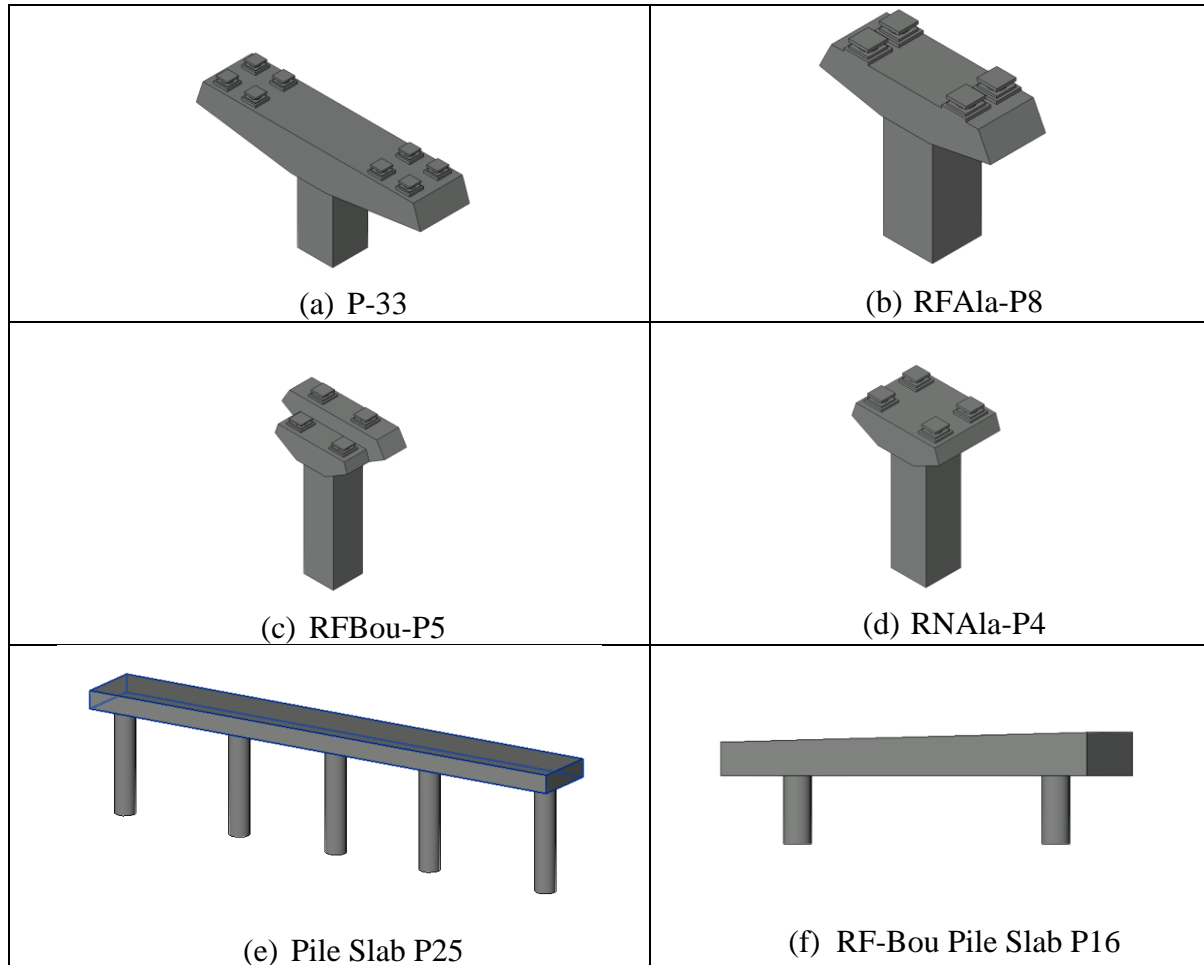
Setelah pemodelan 3D selesai dilakukan, volume untuk setiap model 3D yang terbentuk dapat dihitung. Data volume pada tabel parameter model merupakan hasil hitungan otomatis dari perangkat lunak Revit. Perhitungan volume ini penting sebagai data pada tahapan preservasi jalan sebagai dasar penentuan estimasi biaya pemeliharaan ataupun perencanaan peningkatan jalan. Sedangkan beberapa parameter lainnya seperti parameter kondisi dan material dapat diinputkan ke dalam model 3D yang telah terbentuk. Parameter yang ditampilkan pada model 3D yang terbentuk disesuaikan dengan kebutuhan data atribut model 3D tersebut.

IV.2.1 Hasil Pemodelan 3D Tiang Pancang

Pemodelan 3D tiang pancang jalan tol layang AP Pettarani terdiri dari model 3D *pier* dan model 3D *pile slab*. Model 3D *pier* yang terbentuk memiliki variasi bentuk dan tinggi yang berbeda-beda. Perbedaan utama terletak pada bentuk dan dimensi kepala *pier*. Bentuk dan dimensi ini mengacu pada model 3D hasil pengukuran TLS. Sedangkan tebal kepala *pier* mengacu pada kartu jalan dan jembatan. Pemodelan 3D *pile slab* hanya memiliki 2 variasi, yaitu *pile slab* dengan 5 pilar penyangga dan *pile slab* dengan 2 pilar penyangga. *Pile slab* dengan 5 pilar penyangga ditempatkan pada jalan utama model 3D jalan tol layang AP Pettarani. *Pile slab* dengan 2 penyangga ditempatkan pada *ramp on* dan *ramp off* model 3D jalan tol layang AP Pettarani. Variasi bentuk tiang pancang tersaji dalam Gambar IV.2.

Elevasi dasar tiang pancang didapatkan dari titik-titik pengukuran di sekitar tiang pancang, yang kemudian dikurangi dengan tebal lapisan aspal yaitu 0,05 m dan tebal *girder*. Tinggi *pier* dan tebal bantalan mengacu pada kartu leger jalan dan jembatan. Model 3D kepala *pier* pada jalan utama dibuat dengan ketebalan sekitar 2,5 m pada jalan utama dan 1,5 m pada *ramp*. Contoh bentuk tiang pancang pada jalan utama ditunjukkan pada bagian (a) P-33 Gambar IV.2. Panjang kepala *pier* pada jalan utama adalah 3,5 m dengan lebar 16 m.

Pada *ramp* terdapat 3 variasi bentuk kepala *pier*. Variasi pertama adalah *pier* penopang *box girder* dengan ukuran panjang kepala *pier* 3,5 m dan lebar kepala *pier* 5 m seperti ditunjukkan pada bagian (d) RFAla-P4 Gambar IV.2. Variasi kedua adalah *pier* penopang PC-U *girder* yang ditunjukkan pada bagian RFAla-P8 Gambar IV.2. Kepala *pier* ini memiliki dimensi panjang 2,3 m dan lebar 7 m. Variasi ketiga adalah *pier* penopang peralihan *box girder* ke PC-U *girder*. Variasi ini ditunjukkan pada bagian (c) RFBou-P5 Gambar IV.2. Jumlah keseluruhan tiang pancang yang berhasil dimodelkan disajikan dalam Tabel IV.4



Gambar IV.2 Hasil pemodelan tiang pancang

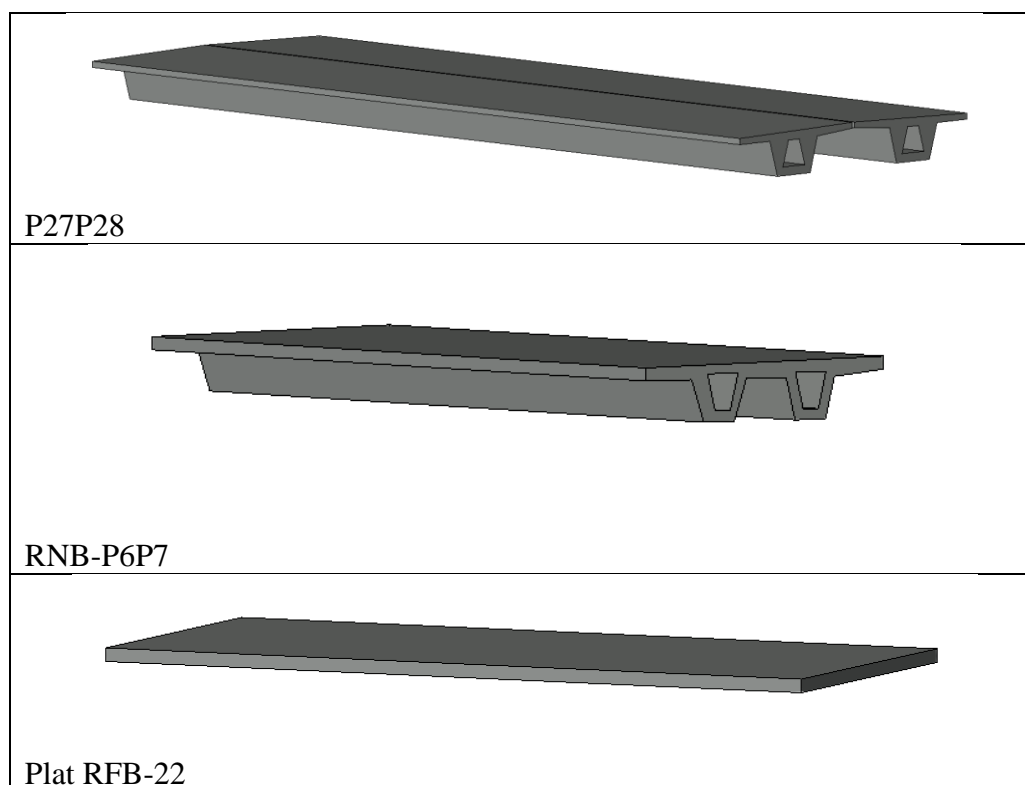
Tabel IV.4. Jumlah Hasil Pemodelan 3D Tiang Pancang

Lokasi	Jenis Tiang Pancang		Total
	Jumlah Pier	Jumlah <i>Pile slab</i>	
Jalan Utama	75	24	99
Ramp Off Alauddin	13	4	17
Ramp Off Boulevard	15	7	22
Ramp On Alauddin	15	7	22
Ramp On Boulevard	16	7	23
Total	134	49	183

Pemodelan elemen pilar dilakukan hanya dengan menggunakan elemen tinggi yang ada pada data leger jalan. Sedangkan bentuk tiang, dan bentuk kepala pilar hanya meniru model 3D dari TLS. Ukuran tapak tiang menyesuaikan ukuran volume pada TLS. Oleh karena itu penulis tidak merekomendasikan pembuatan model 3D jalan yang memiliki kompleksitas tinggi seperti jalan layang ataupun jembatan hanya dengan data dari leger jalan. Dibutuhkan data-data lain seperti *as built drawing* yang mencakup data dimensi elemen-elemen pembentuk jalan dan jembatan yang lebih rinci.

IV.2.2 Hasil Pemodelan 3D *Girder* dan Lapisan Aspal

Pemodelan 3D *girder* jalan tol layang AP Pettarani menghasilkan model 3D *box girder*, PC-U *girder* dan model 3D *plat girder*. Model 3D *girder* yang terbentuk memiliki variasi elevasi, panjang dan tebal yang berbeda-beda. Ketebalan model 3D *girder* mengacu pada kartu leger jalan dan jembatan. Elevasi dan panjang *girder* disesuaikan dengan elevasi pilar dibawahnya dan jarak antar pilarnya. Variasi model 3D *girder* yang terbentuk tersaji dalam Gambar IV.3.



Gambar IV.3 Hasil pemodelan 3D *girder*



Plat girder terdapat pada bagian peralihan jalan ke tol layang dan sebaliknya, baik pada jalan utama dan pada *ramp on* atau *ramp off*. *Box girder* dan *PC-U girder* terdapat pada pertengahan hingga akhir ruas jalan tol layang AP Pettarani. Pada *ramp*, *box girder* ditempatkan dengan elevasi yang hampir sama dengan jalan utama. *PC-U girder* ditempatkan di tengah-tengah *ramp*. *Plat girder* ditempatkan di atas *pile slab* pada *ramp*. Jumlah model 3D *girder* yang berhasil terbentuk pada kegiatan ini tersaji pada Tabel IV.5.

Tabel IV.5 Jumlah Hasil Pemodelan 3D *Girder*

Lokasi	Jenis <i>Girder</i>			Total
	Jumlah <i>Box Girder</i>	Jumlah <i>PC-U Girder</i>	Jumlah <i>Plat Girder</i>	
Jalan utama	74	0	20	94
Ramp Off Alauddin	3	9	6	18
Ramp Off Boulevard	4	10	8	22
Ramp On Alauddin	4	10	8	22
Ramp On Boulevard	5	10	10	25
Total	90	39	52	181

Lapisan aspal dimodelkan dengan ketebalan 0,05 m di atas permukaan *girder*. Bentuk model 3D lapisan aspal mengikuti dimensi panjang dan lebar permukaan *girder*. Model 3D lapisan aspal pada awal ruas dimodelkan terpisah antara jalur kanan dan jalur kiri. Hal itu dikarenakan pada awal ruas jalan tol layang AP Pettarani terdapat median yang cukup lebar sebagai pemisah jalur. Beberapa bentang lapisan aspal pada *ramp* dimodelkan bersama dengan jalan utama. Hal tersebut terjadi pada *ramp* yang bersisian dengan jalan utama sampai adanya pemisah lajur utama dan *ramp*. Jumlah dan ringkasan volume pada lapisan aspal disajikan pada Tabel IV.6

Tabel IV.6 Jumlah dan volume hasil pemodelan lapisan aspal

Keterangan	Jumlah Model 3D	Total Volume (m ³)
Jalan Utama	103	4442.67
Ramp Off Alauddin	17	157.12
Ramp Off Boulevard	20	148.7
Ramp On Alauddin	19	155.51
Ramp On Boulevard	21	138.47
Total	180	5042.47

Berbeda dengan pemodelan tiang pancang, data ketebalan, panjang serta lebar *girder* dan lapisan aspal sudah tercantum pada dokumen leger. Sehingga untuk jalan-jalan yang lebih



seederhana ataupun jalan yang *landed*, pemodelan 3D dapat dilakukan dengan menggunakan data dari dokumen leger dengan catatan data yang terkandung pada dokumen leger tersebut akurat. Penggunaan TLS sebagai alat ukur pengambilan data 3D dapat memudahkan pemodelan 3D jalan, tetapi data leger jalan yang lengkap dan akurat dirasa cukup untuk membuat model 3D jalan sederhana.

IV.2.3 Hasil Pemodelan 3D Pengaman Jalan dan Perlengkapan Jalan

Hasil pemodelan 3D pengaman jalan diletakkan sepanjang model 3D jalan tol layang AP Pettarani dari awal ruas hingga bagian akhir *ramp*. Jumlah pengaman jalan yang berhasil dimodelkan pada kegiatan ini tersaji dalam Tabel IV.7. Pada Tabel IV.7 ditampilkan parameter hasil pemodelan 3D pengaman jalan berupa *barrier*, *guardrail* dan tembok pengaman. Penamaan model 3D pengaman jalan tipe *guardrail* dan tembok pengaman mengikuti penamaan *girder* di bawahnya dikarenakan elevasi dan kemiringan pengaman jalan yang bervariasi mengikuti elevasi dan *trase* jalannya. Hal tersebut menyebabkan variasi nama *family* yang tersimpan pada tabel pengaman jalan di perangkat lunak Revit.

Tabel IV.7 Parameter hasil pemodelan 3D pengaman jalan

Column Schedule				
Nama	Deskripsi	Jumlah	Kondisi	Material
Barrier	Barier	5	Baik	Beton
Guardrail	Guardrail	2	Baik	Metal
<varies>	Tembok Pengaman	135	Baik	Beton
Grand total: 142				

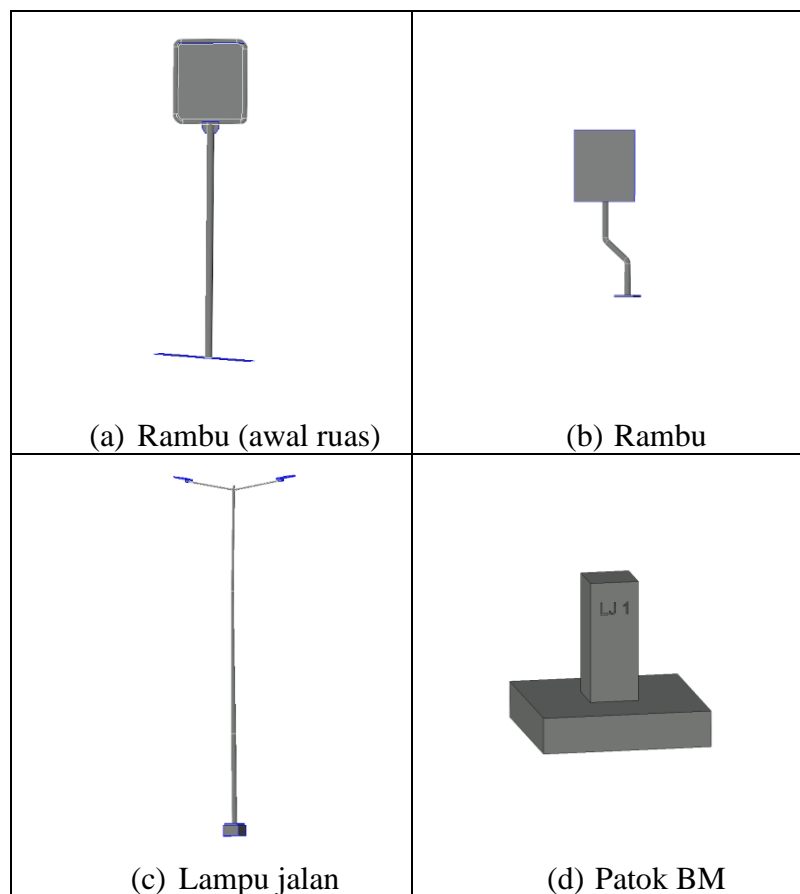
Perlengkapan jalan lainnya yang ditampilkan dalam pemodelan 3D jalan tol layang AP Pettarani adalah patok leger jalan sebagai patok *bench mark* (BM), lampu penerangan jalan dan rambu jalan. Jumlah model 3D atribut jalan lainnya yang terpasang pada model 3D jalan tol layang AP Pettarani ditampilkan pada Tabel IV.8. Seperti ditunjukkan pada Tabel IV.8 patok BM dan median jalan dikelompokkan dalam *family Furniture*, marka dan rambu dikelompokkan dalam *family Signage* sedangkan lampu penerangan jalan dikelompokkan dalam *family Lighting Fixture*.



Tabel IV.8 Jumlah model 3D perlengkapan jalan yang terbentuk

Family	Nama	Deskripsi	Jumlah
Furniture	<varies>	BM	2
Furniture	Median	Median	1
Lighting Fixture	LPJ	Lampu	112
Signage	<varies>	Marka	304
Signage	<varies>	Rambu	20

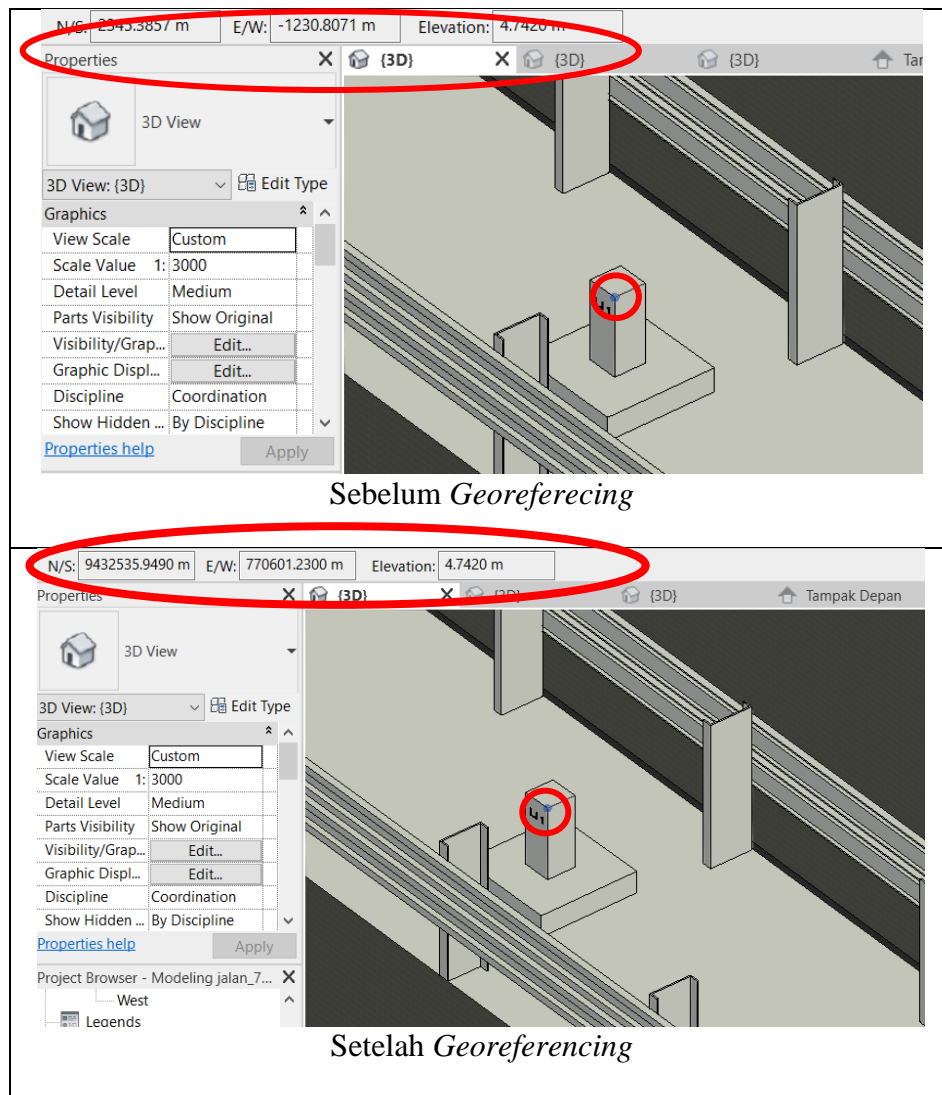
Pada model 3D jalan tol layang AP Pettarani terdapat 2 model 3D patok BM, yaitu patok LJ 1 yang terletak pada awal ruas dan patok LJ 2 yang terletak pada akhir ruas. Model 3D rambu jalan juga terdapat 2 variasi yaitu rambu penunjuk KM yang terdapat pada awal ruas dan menempel pada median jalan serta rambu penunjuk KM yang terletak pada jalan layang yang menempel pada tembok pengaman jalan. Model 3D rambu penunjuk KM dipasang setiap 200m sepanjang model 3D jalan tol layang AP Pettarani. Model 3D lampu jalan dipasang sesuai dengan koordinat lampu jalan yang ada pada kartu leger jalan dan jembatan. Bentuk model 3D lampu jalan, rambu dan patok BM disajikan pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Bentuk model 3D perlengkapan jalan lainnya

IV.2.4 Georeferencing Hasil Pemodelan 3D Leger Jalan

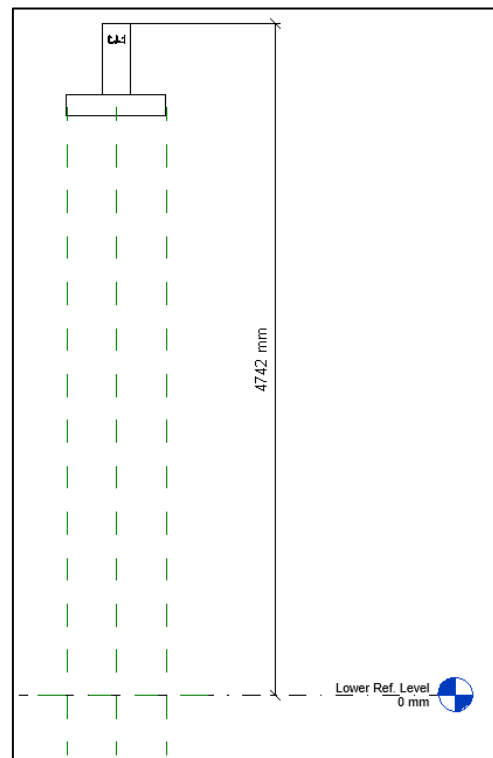
Pemberian koordinat pada model 3D jalan tol layang AP Pettarani dilakukan pada hanya 1 titik yaitu pada titik LJ 1. Perangkat lunak Revit kemudian akan membawa keseluruhan model pada koordinat baru yang hanya tereferensi pada titik LJ. Hal ini memungkinkan adanya pergeseran koordinat pada titik lain sepanjang model. Gambar IV.5 menampilkan hasil model 3D AP Pettarani sebelum dan setelah dilakukan *georeferencing*.



Gambar IV.5 Perbedaan koordinat model 3D sebelum dan setelah *georeferencing*

Gambar IV.5 menunjukkan perbedaan pada koordinat *easting* dan *northing*. Namun, elevasi model 3D menunjukkan nilai yang sama. Hal ini dikarenakan pada saat pembuatan *family* model 3D patok LJ1, nilai elevasi patok LJ tersebut telah diperhitungkan. Pemodelan 3D patok LJ1 pada elevasi tertentu ditunjukkan pada Gambar IV.6. Nilai elevasi tersebut secara otomatis dibawa oleh model 3D dari *family* ke *project*. Keseluruhan model yang berada pada elevasi yang sama dengan patok LJ1 pada *project* akan menunjukkan nilai elevasi model yang

sama dengan patok LJ1. Oleh sebab itu pembuatan family model 3D jalan tol layang AP Pettarani dilakukan pada elevasi yang sebenarnya.

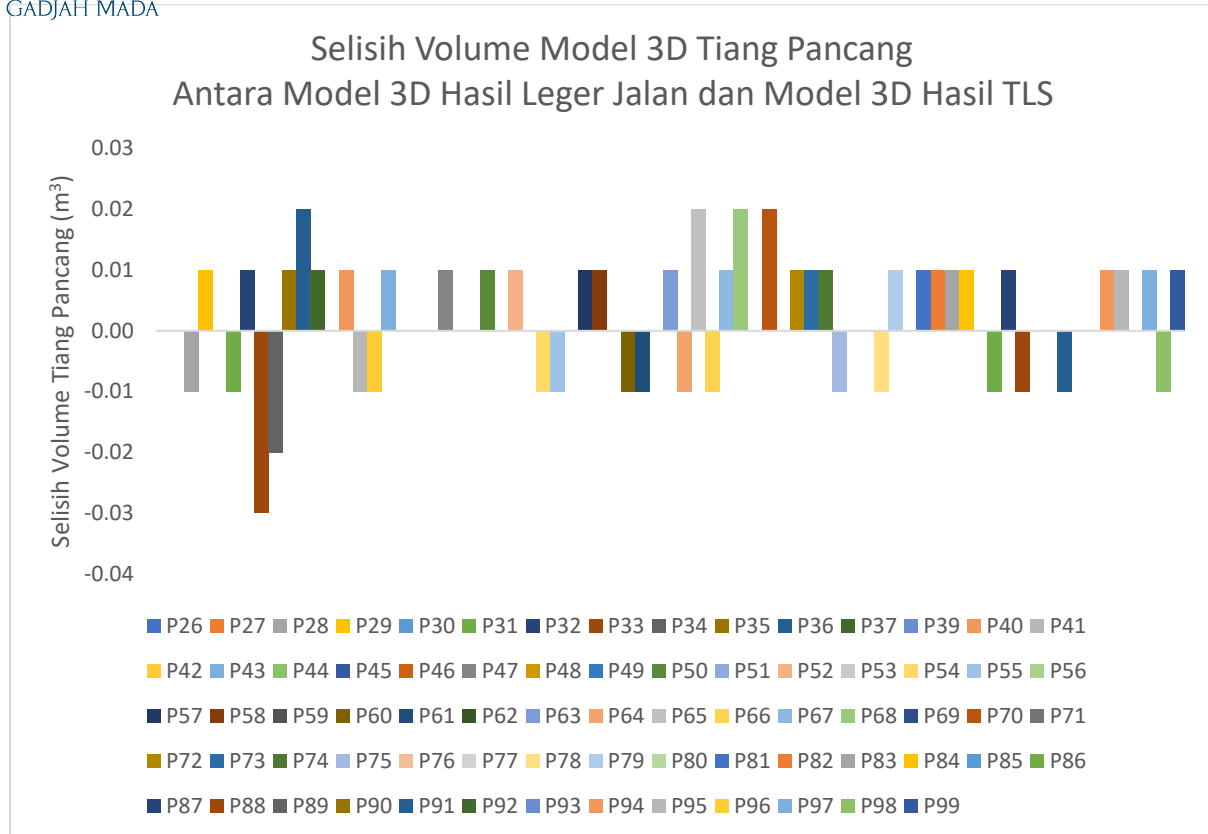


Gambar IV.6 Elevasi model 3D patok LJ1

IV.3 Hasil Uji Kualitas Model 3D

Uji kualitas model 3D yang telah dibentuk dilakukan sebagai evaluasi hasil pemodelan pada aspek geometri dan spasial. Model 3D yang dimodelkan berdasarkan ukuran pada kartu jalan dan jembatan memiliki kemungkinan perbedaan dimensi terhadap data eksisting di lapangan. Tidak lengkapnya data dimensi elemen-elemen jalan pada dokumen leger juga menyebabkan perbedaan volume model 3D dari data leger jalan terhadap model 3D dari TLS. Pada aspek geometri, volume model 3D *pier* dibandingkan dengan volume *pier* hasil pengukuran TLS. Perhitungan volume elemen dilakukan pada perangkat lunak Revit.

Pier yang menjadi sampel dalam uji kualitas model 3D ini adalah *pier* pada jalan utama sebanyak 73 *pier*. Pada Gambar IV.7 dapat terlihat bahwa selisih volume *pier* antara model 3D dari leger jalan dan model 3D dari TLS berada pada rentang $-0,03 \text{ m}^3$ hingga $0,02 \text{ m}^3$. Setelah dilakukan perhitungan rata-rata perbedaan volume *pier* antara model 3D hasil leger jalan dan model 3D hasil TLS adalah $0,002 \text{ m}^3$ dengan RMSE $0,01 \text{ m}^3$.

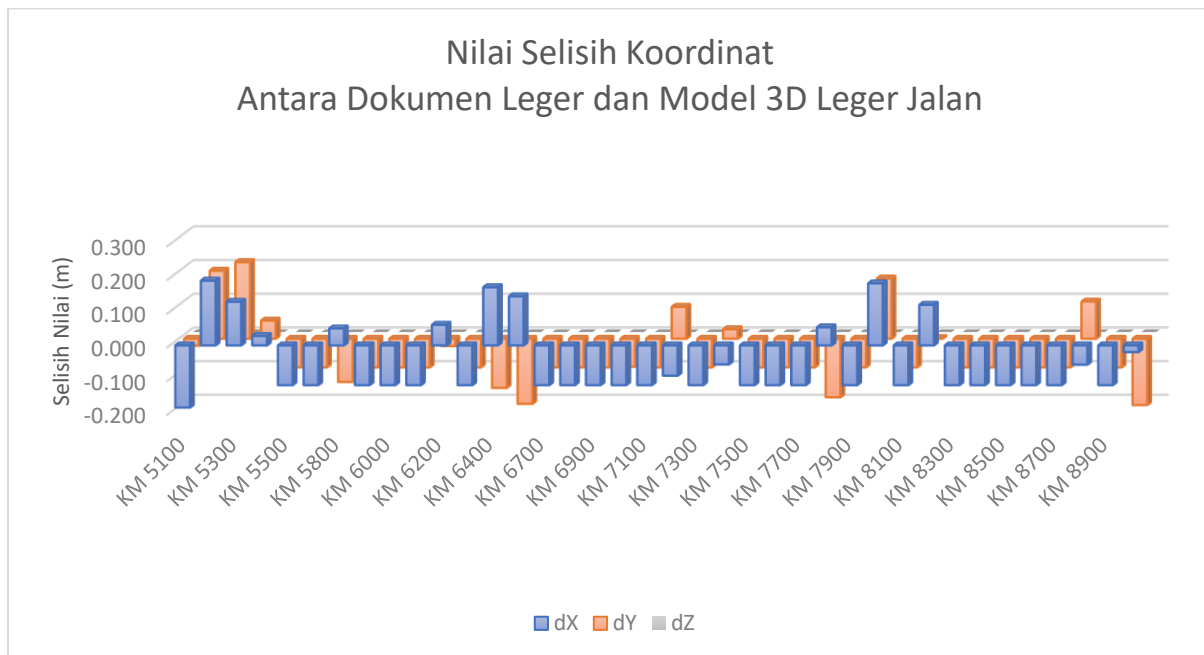


Gambar IV.7 Selisih volume tiang pancang model 3D hasil leger jalan dan model 3D hasil TLS

Selisih volume juga dihitung pada model 3D lapisan aspal. Hanya saja pada model 3D lapisan aspal jumlah volume dihitung secara keseluruhan bukan tiap bentang lapisan aspal. Lapisan aspal yang diambil sampel untuk dihitung volumenya juga hanya pada bagian jalan utama yang sudah melayang (*elevated*). Hal ini dikarenakan agar perbandingan perhitungan volume lapisan aspal antara model 3D dari leger jalan dan model 3D dari TLS memiliki bobot yang sama dan tidak tercampur dengan lapisan aspal pada ramp maupun pada jalan nasional yang berada di bawah jalan tol layang AP Pettarani. Hasil perhitungan volume model 3D lapisan aspal hasil leger jalan adalah 0,23 m³ lebih besar dari pada volume model 3D aspal hasil TLS. Perbandingan volume model 3D hasil leger jalan dan model 3D TLS serta hitungan RMSE volume dapat dilihat pada Lampiran 11 dan Lampiran 12.

Uji kualitas model 3D juga dilakukan terhadap koordinat leger jalan. Titik-titik yang diuji merupakan titik-titik STA per 100 m, titik akhir ruas serta patok LJ 2. Total titik pengujian adalah sejumlah 42 titik. Patok LJ1 tidak diikuti dalam pengujian karena titik tersebut merupakan titik yang menjadi titik referensi model 3D. Selisih nilai koordinat digambarkan pada Gambar IV.8. Dari perhitungan didapatkan rata-rata kesalahan pada koordinat X adalah -

0,049 m, koordinat Y senilai -0,052 m dan koordinat Z senilai 0,01 m. RMSE koordinat dari hasil hitungan adalah senilai 0,157 m dengan simpangan baku 0,141 m. Pergeseran horizontal (X,Y) dimungkinkan karena perbedaan lokasi pengambilan titik referensi. Pada data leger jalan koordinat LJ diambil dari tengah permukaan patok fisik bagian atas, sedangkan pada pemodelan 3D peletakan koordinat awal dilakukan pada bagian ujung kiri permukaan patok. Daftar koordinat dan hitungan RMSE disajikan dalam Lampiran 13.



Gambar IV.8 Selisih nilai koordinat antara Model 3D hasil leger jalan dan data pengukuran leger

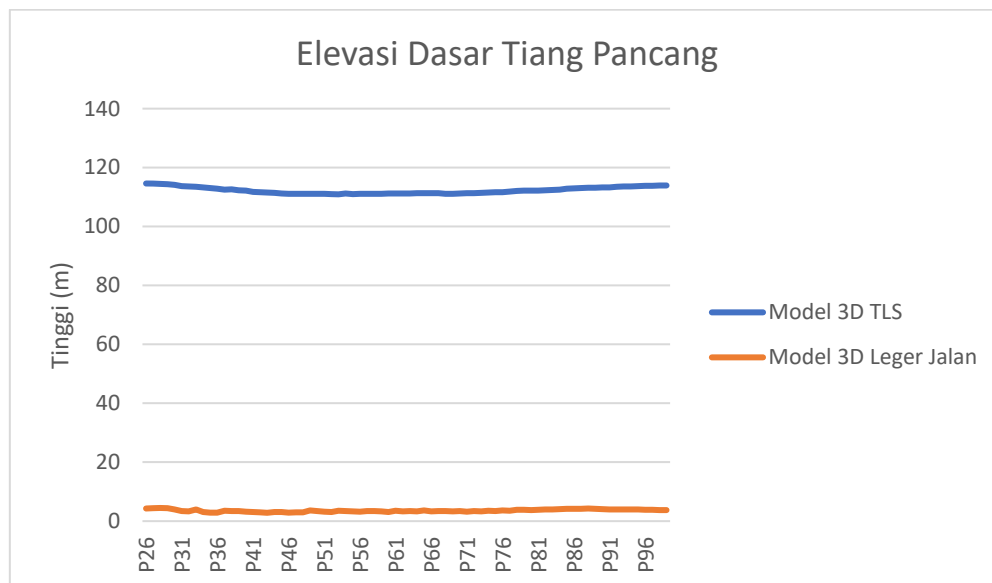
Pada pengujian hipotesis digunakan tingkat kepercayaan 95% dimana nilai dari Z yang diterima berkisar antara -1,96 hingga 1,96. Dengan menggunakan rumus (II.4) didapatkan nilai Z sebesar -0,182 untuk volume tiang pancang hasil model 3D. Sedangkan untuk nilai koordinat hasil 3D dari leger didapatkan nilai Z senilai -0,530 untuk parameter X, -0,558 untuk parameter Y dan 0,166 untuk parameter Z. Dari nilai Z yang ditunjukkan didapatkan bahwa model 3D yang dihasilkan dari data leger jalan tidak memiliki perbedaan baik terhadap volume model 3D dari TLS dan terhadap koordinat leger jalannya.

Pengujian koordinat tidak dilakukan terhadap koordinat model 3D TLS dikarenakan adanya perbedaan koordinat yang cukup signifikan. Perbedaan elevasi antara model 3D hasil data leger jalan dan model 3D hasil TLS ditunjukkan pada Gambar IV.9. Elevasi TLS diduga menggunakan tinggi orthometrik yaitu tinggi di atas geoid. Namun, penulis belum berhasil mendapatkan informasi dari tim pengukuran dan penggambaran leger jalan titik tinggi yang



digunakan sebagai referensi pengukuran tinggi orthometrik tersebut. Elevasi model 3D hasil data leger jalan mengacu pada metode pengukurannya yaitu menggunakan GNSS. Perbedaan referensi pengukuran tinggi antara pengukuran menggunakan TLS dan leger jalan inilah yang menyebabkan perbedaan tinggi elevasi dasar tiang pancang yang besar.

Pada Gambar IV.9 dapat dilihat perbedaan pola elevasi dasar antara model 3D dari data leger jalan dan model 3D dari data TLS. Model 3D dari data leger jalan memiliki elevasi awal yang cenderung datar antara dari awal ruas hingga akhir ruas. Sedangkan pada model 3D dari TLS cenderung memiliki elevasi yang lebih rendah di tengah trase jalan sehingga cekungan pada tengah trase jalan lebih terlihat. Penulis telah mengkonfirmasi perbedaan pola tersebut kepada tim pengukuran dan penggambaran leger jalan. Dari hasil konfirmasi tersebut didapatkan bahwa elevasi dasar pada jalan tol layang AP Pettarani cenderung datar, sehingga data yang digunakan sebagai validasi koordinat adalah data dari leger jalan.



Gambar IV.9 Perbedaan elevasi dasar pemodelan 3D dan model 3D TLS

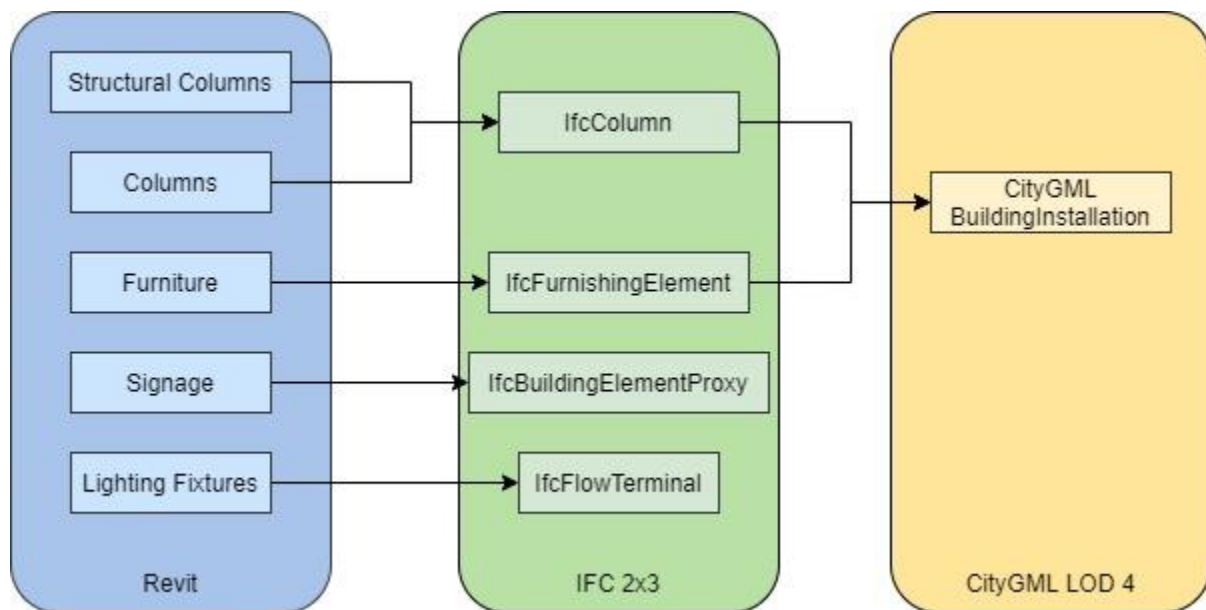
Pengukuran leger jalan memiliki referensi titik-titik *bench mark* yang disebut dengan patok LJ. Pada jalan tol layang AP Pettarani terdapat 2 patok LJ yang dapat dijadikan referensi koordinat. Perbedaan koordinat antara leger jalan dan model 3D TLS berkisar antara 0,4 m – 0,9 m seperti ditunjukkan pada Tabel IV.9. Namun apabila model 3D TLS tersebut dibawa ke koordinat leger jalan menggunakan titik LJ 1, maka perbedaan koordinat antara model 3D TLS dan leger jalan adalah senilai 0,614 m;-0,776 m. Penulis mengasumsikan kurangnya kontrol kualitas pada pengambilan data TLS dan leger jalan hingga menyebabkan adanya 2 versi data dari 1 objek yang sama.

Tabel IV.9 Perbedaan titik referensi TLS dan Leger Jalan

Titik	Leger Jalan			TLS			dX	dY
	X	Y	Z	X	Y	Z		
LJ1	770601.23	9432535.949	4.742	770600.7932	9432535.508	116.8759	0.437	0.441
LJ2	769865.599	9428258.082	4.774	769864.661	9428258.502	115.639	0.938	- 0.420
LJ 2 (TLS,Leger)	769865.599	9428258.082	4.774	769864.985	9428258.858	3.4835	0.614	- 0.776

IV.4 Hasil Konversi Model 3D dari IFC ke CityGML

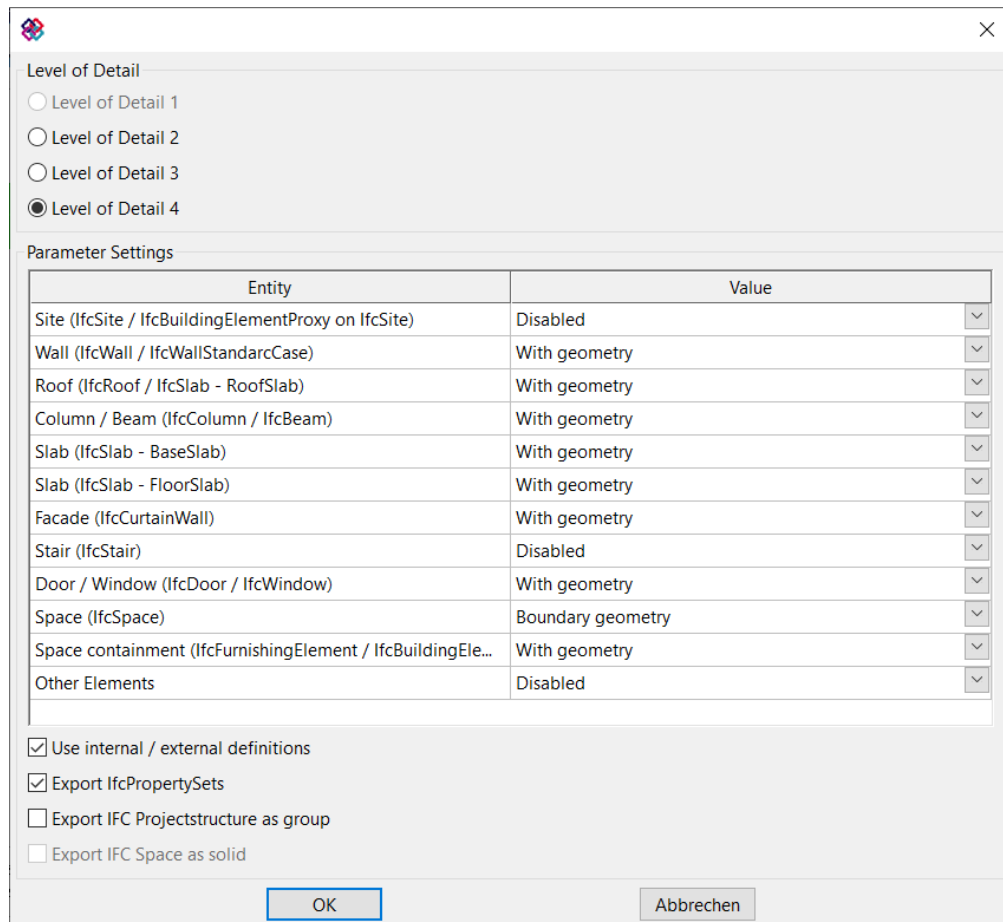
Model 3D yang terbentuk dari pemodelan menggunakan *software* Revit mengalami proses transformasi sebanyak dua kali sebelum terbentuk dalam format CityGML. Proses transformasi tersebut tentunya mengubah data semantik pada model 3D yang dihasilkan. Proses perubahan data semantik dari format data Revit ke CityGML digambarkan pada Gambar IV.10.



Gambar IV.10 Mapping konversi model 3D Revit, IFC dan CityGML

Penggunaan CityGML LOD4 dilakukan dengan pertimbangan bahwa *IfcColumn*, dan *IfcFurnishingElement* hanya dapat dilakukan konversi pada LOD4. Hal ini sesuai dengan Isikdag & Zlatanova (2009) yang mengungkapkan bahwa informasi yang didapatkan pada elemen *IfcBeam*, *IfcColumn*, *IfcStair*, *IfcRailing* serta *IfcRamp* hanya dapat direpresentasikan sebagai *IntBuildingInstallation* pada LOD4. Sedangkan *IfcfurnishingElement* dapat diubah menjadi *BuildingFurniture* pada LOD4.

Software FZKViewer mampu menampilkan *IfcBuildingElementProxy*, tetapi ketika elemen ini diubah ke format CityGML LOD4 tidak ada geometri yang terbentuk dari elemen tersebut. *IfcFlowTerminal* dianggap merupakan elemen lain sehingga dalam proses transformasinya diabaikan. Pengaturan *default* proses *export* dari IFC ke CityGML pada FZKViewer ditampilkan pada Gambar IV.11.

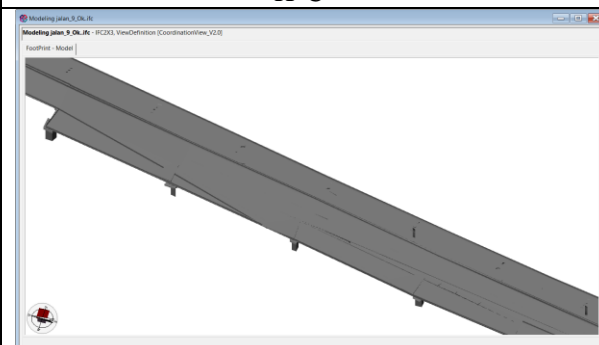
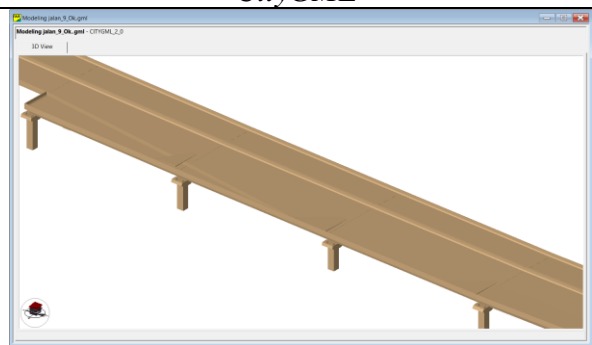
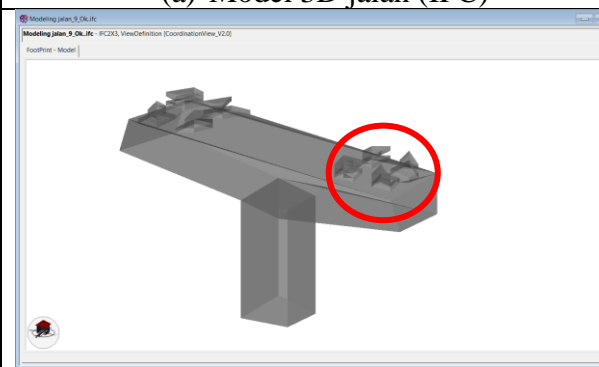
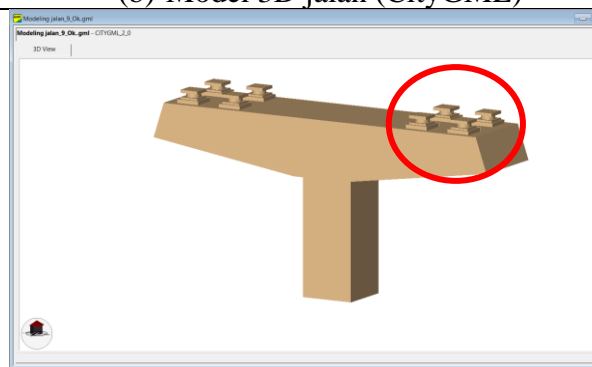
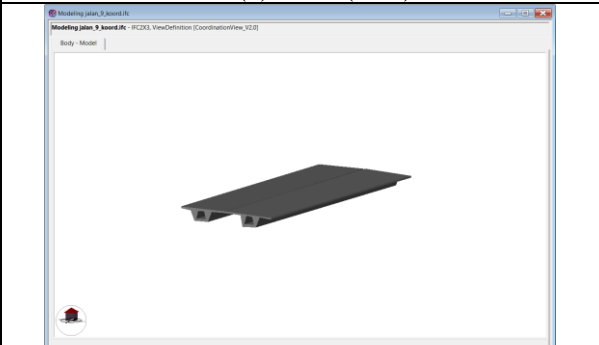
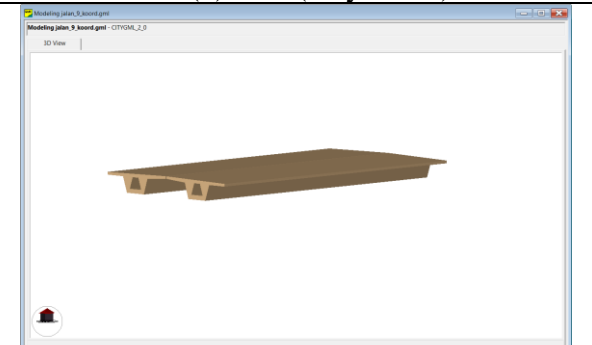
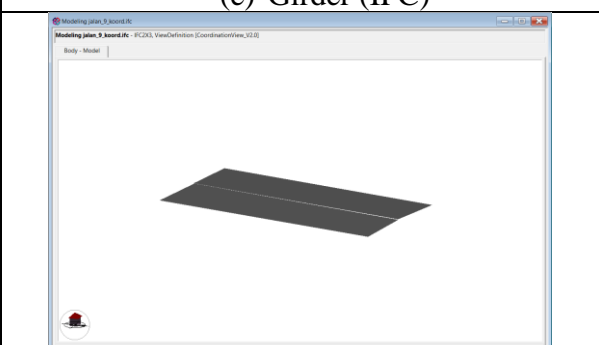
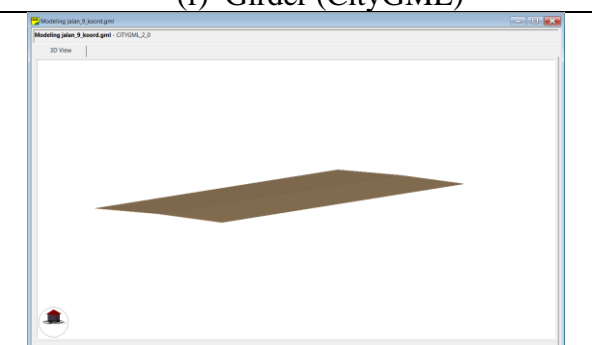


Gambar IV.11 Pengaturan *export* IFC ke CityGML pada FZKViewer

Transformasi yang dilakukan pada model 3D dalam format IFC hanya pada *entity IFCColumn*. Hal tersebut dilakukan karena pada pemodelan ini tidak terdapat *entity* lain seperti *IFCspace* maupun *opening* seperti *IFCDoor* ataupun *IFCWindow*. Seperti telah dibahas pada subbab sebelumnya bahwa pemodelan 3D pada jalan tol layang AP Pettarani ini elemen pilar, *girder*, lapisan aspal serta dinding pengaman dimasukkan dalam *family column* dan *structural column*, sehingga pada transformasinya ke dalam format IFC kedua jenis *family* ini dikategorikan menjadi *IFCColumn*. Elemen lainnya seperti lampu jalan serta rambu dikategorikan menjadi *IFCFurnishingElement*. Secara visual perbandingan elemen jalan hasil konversi antara format IFC dan format CityGML disajikan pada Tabel IV.10.



Tabel IV.10 Perbandingan hasil konversi elemen jalan IFC dan CityGML

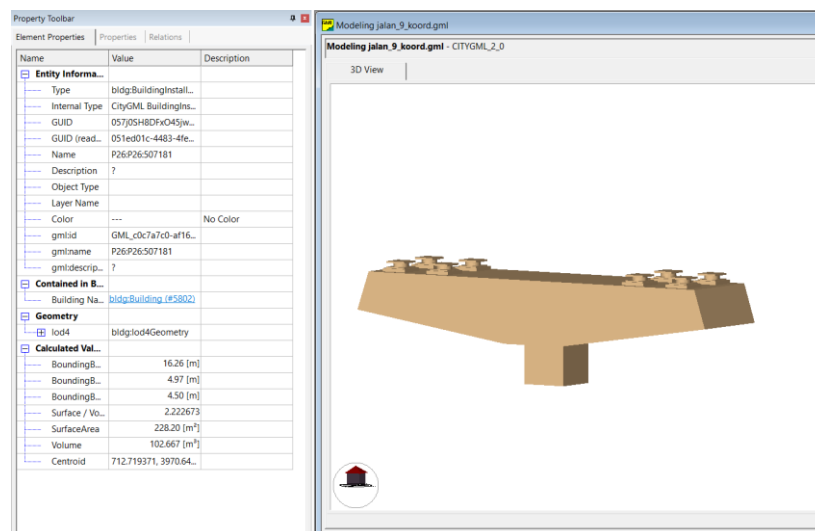
IFC	CityGML
 (a) Model 3D jalan (IFC)	 (b) Model 3D jalan (CityGML)
 (c) Pier (IFC)	 (d) Pier (City GML)
 (e) Girder (IFC)	 (f) Girder (CityGML)
 (g) Aspal (IFC)	 (h) Aspal (CityGML)

Model 3D jalan tol layang AP Pettarani dalam format CityGML secara visual memiliki bentuk yang tidak jauh berbeda dengan model 3D jalan tol layang dalam format IFC.



Namun, pada beberapa elemen jalan seperti *pier* menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan (ditunjukkan pada bagian (c) dan (d) Tabel IV.10 Perbandingan hasil konversi elemen jalan IFC dan CityGML Pada FZKViewer format data CityGML terlihat lebih menyerupai bentuk awal model 3D dibandingkan dengan format IFC-nya. Hal ini dimungkinkan karena elemen *pier* tersusun dari beberapa geometri yang digabungkan sedangkan elemen lainnya hanya terdiri dari satu atau dua gabungan geometri saja. Pada model 3D jalan di Tabel IV.10 memperlihatkan bahwa elemen marka dan lampu tidak dimodelkan pada CityGML.

Model 3D jalan tol layang AP Pettarani dalam format CityGML membawa beberapa informasi dari format sebelumnya yaitu IFC. Beberapa data yang dapat dibawa ke dalam format City GML yaitu nama entitas serta nilai geometrinya seperti volume dan *surface area*. Beberapa data yang dibawa dapat ditampilkan kembali pada format CityGML tampilan pada Gambar IV.12. Beberapa elemen menunjukkan nilai volume yang sama antara CityGML dan IFC, tetapi beberapa lainnya menunjukkan nilai volume yang berbeda.



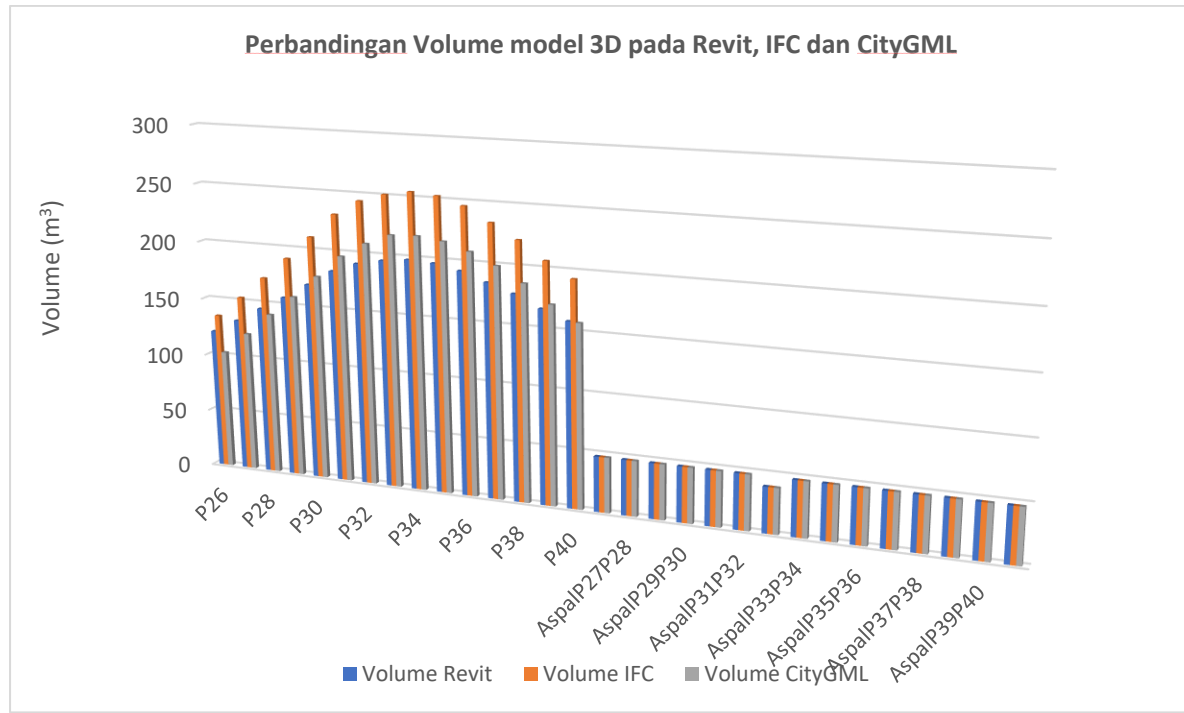
Gambar IV.12 Tampilan *properties* pada CityGML

Perbedaan volume elemen model 3D jalan tol layang AP Pettarani ditunjukkan pada Gambar IV.13. Dari gambar tersebut dapat dilihat kelompok data dimana satu kelompok data menunjukkan perbedaan nilai volume yang cukup signifikan antara ketiga model data 3D yang terbentuk dan kelompok lainnya menunjukkan nilai volume yang sama antara ketiga model 3D tersebut. Kelompok data yang menunjukan nilai yang berbeda merupakan data-data pilar dimana bangunan pilar ini terdiri dari beberapa geometri yang disusun menjadi 1 sehingga membentuk suatu geometri yang baru. Sedangkan kelompok data yang menunjukan nilai yang sama



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

merupakan data-data dari elemen lapisan aspal yang memiliki bentuk yang lebih sederhana daripada elemen pilar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kompleks bentuk elemen 3D-nya maka akan semakin kecil kesuksesan transformasinya.



Gambar IV.13 Perbandingan volume model 3D pada Revit, IFC dan CityGML

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Model 3D yang terbentuk lebih merepresentasikan kondisi aktual di lapangan dan menyajikan data yang lebih lengkap dari pada model 2D seperti dimensi dan volume elemen bangunan. Model 3D jalan dapat diintegrasikan dengan teknologi BIM maupun 3D GIS dan dapat digunakan dalam kegiatan preservasi jalan khususnya inventarisasi jalan.
2. Pemodelan 3D menggunakan data leger jalan hanya cukup untuk jalan-jalan sederhana, sedangkan jalan-jalan yang lebih kompleks membutuhkan data-data yang lebih lengkap dan pengukuran yang lebih terperinci dimana data tersebut belum tercantum pada data leger jalan 2D.
3. Rata-rata perbedaan volume tiang pancang yang didapatkan dari pemodelan leger jalan volume tiang pancang pada model 3D hasil TLS adalah $0,002 \text{ m}^3$ dan selisih jumlah sampel volume aspal adalah senilai $0,23 \text{ m}^3$. Hasil RMSE koordinat pada pemodelan 3D adalah senilai $0,157 \text{ m}$ dengan asumsi adanya pergeseran koordinat horisontal pada titik acuan sebesar $0,118 \text{ m}$ pada sumbu X dan $0,085 \text{ m}$ pada sumbu Y. hal ini menunjukkan bahwa model 3D yang dibuat memiliki dimensi yang serupa dengan model 3D hasil TLS dan penempatan model 3D yang dibuat memiliki pergeseran yang kecil di dunia nyata. Dari hasil pengujian uji Z terhadap volume maupun koordinat model 3D yang dihasilkan menunjukkan bahwa model 3D yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan baik dari sisi dimensi maupun lokasinya.
4. Model 3D yang dikonversi menjadi IFC kemudian CityGML mengalami beberapa penurunan informasi yang dikandung. Namun bentuk dan volume dari CityGML lebih menyerupai bentuk dasarnya daripada bentuk IFC-nya. Semakin kompleks bentuk geometri dari suatu elemen, maka tingkat kesuksesan transformasinya akan semakin kecil.



V.2 Saran

Berdasarkan kegiatan ini dapat, terdapat beberapa saran untuk kegiatan selanjutnya yaitu :

1. Pada kegiatan ini tidak menggambarkan *toposurface* dikarenakan persebaran data elevasi yang kurang baik. Pemodelan 3D selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan data *toposurface* untuk mendapatkan informasi terhadap kontur khususnya pada pemodelan 3D jalan dan jembatan.
2. Pemodelan ini hanya menggunakan elemen *column (IFCColumn)*. Diperlukan lebih banyak variasi data untuk memodelkan bentuk IFC yang lainnya khususnya pada pemodelan jalan jembatan.
3. Pemodelan ini dilakukan sepanjang ± 4 km yang berarti masih diasumsikan bahwa pada jarak tersebut kelengkungan bumi masih diabaikan. Pemodelan dengan jarak jalan yang lebih besar dapat dilakukan untuk melihat pengaruh kelengkungan bumi terhadap ketelitian model 3D yang dibentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, T., Laksono, D. P., Atunggal, D., & Susanta, F. F. (2021). 3D Modelling , Validation and Visualization of 3D Parcels in First Registration for 3D Cadastre - Indonesia Case 3D Modelling , Validation and Visualization of 3D Parcels in First Registration for 3D Cadastre - Indonesia Case. *7th International FIG Workshop on 3D Cadastres, October 2021*, 247–262. <https://doi.org/10.4233/uuid:6669b973-e44f-4009-8127-030d4bbf6696>
- Admin. (2023). *Ditjen Bina Marga Bahas Penerapan Building Information Modelling Sektor Jalan & Jembatan*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/berita/ditjen-bina-marga-bahas-penerapan-building-information-modelling-sektor-jalan-jembatan>
- Afzal, M., & Shafiq, M. T. (2021). Evaluating 4d-bim and vr for effective safety communication and training: A case study of multilingual construction job-site crew. *Buildings*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/buildings11080319>
- Ahn, D., & Cha, H. (2014). Integration of Building Maintenance Data in Application of Building Information Modeling (BIM). *Journal of Building Construction and Planning Research*, 02(02), 166–172. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2014.22015>
- Akbarieh, A., Jayasinghe, L. B., Waldmann, D., & Teferle, F. N. (2020). BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12072670>
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). Building information modeling: Technology foundations and industry practice. *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*, September, 1–584. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>
- Boukara, A., & Naamane, & A. (2015). A Brief Introduction to Building Information Modeling (BIM) and its interoperability with TRNSYS. *Renewable Energy and Sustainable Development*, June, 126–130. <http://apc.aast.edu>
- Cahyono, A. B., & Ulinuha, R. (2016). Analisa Ketelitian Dan Kesesuaian Pemodelan 3D Dengan Pendekatan Geometri Dan Teknik Structure From Motion (Sfm) Pada Obyek Bangunan. *Geoid*, 12(1), 75–82. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v12i1.2399>
- de Laat, R., & van Berlo, L. (2011). *Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension*. March 2011, 211–225. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12670-3_13
- Deng, Y., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. (2008a). *Pedoman Leger Jalan Buku-1 Pedoman Pengadaan Leger*.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. (2008b). *Pedoman Leger Jalan Buku - 2 Pedoman Pelaksanaan Teknis Leger Jalan*.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. (2008c). *Pedoman Leger Jalan Buku - 3 Pedoman Pengisian Form Kartu Leger Jalan*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR. (2021). *Surat Edaran Direktorat Jenderal Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2021*.
- El-Mekawy, M., Östman, A., & Hijazi, I. (2012). A unified building model for 3D urban GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 1(2), 120–145. <https://doi.org/10.3390/ijgi1020120>



- Estman, C., Teicholz, P., Sack, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook, a Guide to Building Information Modelling 2nd ed. In *John Wiley & Sons, Inc, Hoboken*.
- Fan, H. (2009). *Automatic Derivation of Different Levels of Detail for 3D Buildings Modeled By Citygml*. April 2015.
- Fosu, R., Suprabhas, K., Rathore, Z., & Cory, C. (2015). Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) – a literature review and future needs. *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015, 27th-29th October 2015, Eindhoven, The Netherlands*, 196–204.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2016). *Adjustment Computations Spatial Data Analysis* (4th editio). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K.-H. (2012). OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0.0. *OGC Document No. 12-019*, 344. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842
- Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML - Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12–33. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004>
- Guillen, A. J., Crespo, A., Gómez, J., González-Prida, V., Kobbacy, K., & Shariff, S. (2016). Building Information Modeling as Assest Management Tool. *IFAC-PapersOnLine*, 49(28), 191–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.033>
- Guzman, G., & Ulloa, W. (2020). BIM application in the operation and maintenance management of a sports infrastructure. *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020, July*, 949–960. <https://doi.org/10.24928/2020/0015>
- Hendriatiningsih, S., Suwardhi, D., & Januragadi. (2015). 3D model based on terrestrial laser scanning (TLS) case study: The cangkuang temple, Garut district, West Java, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(1), 1–19. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.1.1>
- Hijazi, I., Ehlers, M., Zlatanova, S., & Isikdag, U. (2009). IFC to CityGML transformation framework for geo-analysis: a water utility network case. *4th International Workshop on 3D Geo-Information*, 123–127. http://www.gdmc.nl/publications/2009/IFC_to_CityGML.pdf
- Isikdag, U., & Zlatanova, S. (2009). Towards defining a framework for automatic generation of buildings in citygml using building information models. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, May 2014*, 79–96. https://doi.org/10.1007/978-3-540-87395-2_6
- Jian, S. (2020). The application of BIM technology in road and bridge construction management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 587(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/587/1/012002>
- Johansson, M., & Roupé, M. (2019). BIM and Virtual Reality (VR) at the construction site. *Enabling digital technologies to sustain construction growth and efficiency*, 19(November 2019), 1–10.
- Jourdan, M., Meyer, F., & Bacher, J. P. (2019). Towards an integrated approach of building-data management through the convergence of Building Information Modelling and Internet of Things. *Journal of Physics: Conference Series*, 1343(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012135>
- Julin, A., Jaalama, K., Virtanen, J. P., Pouke, M., Ylipulli, J., Vaaja, M., Hyypä, J., & Hyypä, H. (2018). Characterizing 3d city modeling projects: Towards a harmonized interoperable system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi7020055>
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2005). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor*



78/PRT/M/2005 Tentang Leger Jalan.

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2023*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan No 7/P/BM/2021 : Perencanaan dan pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan (Bagian dari Manajemen Aset Prasarana Jalan)*.
- Kieferle, J., & Woessner, U. (2015). BIM Interactive - About Combining BIM and Virtual Reality. *Real Time: Proceedings of the 33rd eCAADe Conference, Vienna, Austria., 1*, 69–75. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2015_329%0Ahttps://pdfs.semanticscholar.org/b0ee/68e29c8bb98c6022aaca25d48c1939575d83.pdf
- Kocakaya, M. N., Namli, E., & Isikdag, U. (2019). Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 4(1), 323–332. <https://doi.org/10.29187/jscmt.2019.36>
- Lesparre, J., & Gorte, B. G. H. (2012). Simplified 3D City Models From Lidar. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B2(September), 1–4. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxix-b2-1-2012>
- Lin, C. C., Hsu, L. Y., Tung, S. H., Gao, R. J., Wu, S. M., & Wang, K. C. (2020). Integrate BIM and virtual reality to assist construction visual marketing. *2nd IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics 2020, ICACEH 2020*, 28–31. <https://doi.org/10.1109/ICACEH51803.2020.9366260>
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C. P., Li, X., & Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Nagel, C. (2007). Conversion of IFC to CityGML. *Meeting of the OGC 3DIM Working Group*. http://spirit.bv.tu-berlin.de/igg/htdocs/fileadmin/user_upload/Nagel/ogc_paris_nagel.pdf
- Nagel, C., Stadler, A., & Kolbe, T. H. (2009). Conceptual Requirements for the Automatic Reconstruction of Building Information Models from Uninterpreted 3D Models. *Proceedings of the Academic Track of the Geoweb 2009 - 3D Cityscapes Conference in Vancouver, Canada, 27-31 July 2009, January 2009*, 46–53. http://www.citygml.org/typo3-igg/fileadmin/user_upload/Stadler/Nagel_Stadler_Kolbe-Geoweb2009_final.pdf%5Cnhttp://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/3_4-c3/paper_geow09/paper26_nagel_stadler_kolbe.pdf
- Noardo, F., Arroyo Otori, K., Biljecki, F., Krijnen, T., Ellul, C., Harrie, L., & Stoter, J. (2019). Geobim benchmark 2019: Design and initial results. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 1339–1346. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1339-2019>
- Nugrahini, F. C., & Permana, T. A. (2020). Building Information Modelling (BIM) dalam Tahapan Desain dan Konstruksi di Indonesia, Peluang Dan Tantangan : Studi Kasus Perluasan T1 Bandara Juanda Surabaya. *Agregat*, 5(2), 459–467. <https://doi.org/10.30651/ag.v5i2.6588.g3373>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan*.
- Putra, R. W. (2022). *Evaluasi Format Data CityGML Dan CityJSON Untuk Kadaster 3D Di*



Indonesia. Universitas Gadjah Mada.

- Qin, R., Gruen, A., & Huang, X. (2012). UAV project - Building a reality-based 3D model of the NUS (National University of Singapore) campus. *33rd Asian Conference on Remote Sensing 2012, ACRS 2012*, 2(January), 1252–1259.
- Raflis, R., Yuwono, B. E., & Rayshanda, R. (2019). Manfaat Penggunaan Building Information Modelling (Bim) Pada Proyek Konstruksi Sebagai Media Komunikasi Stakeholders. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 1(2), 62. <https://doi.org/10.25105/cesd.v1i2.4197>
- Rahman, A. A., & Pilouk, M. (2008). *Spatial modelling for 3D GIS*. <https://libgen.is/book/index.php?md5=9E92F230EC68B67C9BC5D9EA69489AAB>
- Rahmawati, N., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). PEMODELAN MODEL 3D MENGGUNAKAN METODE TLS (TERRESTRIAL LASER SCANNER). *Geodesi Undip*, 10, 224–232.
- Rayendra, B. W. S. (2014). Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling Untuk Pra-Konstruksi. *Symposium Nasional RAPI XIII*, 14–21.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2012). Uav Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling – Current Status and Future Perspectives. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/(June 2014), 25–31. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-1-c22-25-2011>
- Tse, R., Gold, C., & Kidner, D. (2008). 3D city modelling from LIDAR data. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 161–175. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72135-2_10
- Valdepeñas, P., Pérez, M. D. E., Henche, C., Rodríguez-Escribano, R., Fernández, G., & López-Gutiérrez, J. S. (2020). Application of the BIM method in the management of the maintenance in port infrastructures. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/jmse8120981>
- Widjajanti, N. (2011). *Statistik dan Teori Kesalahan*. Universitas Gadjah Mada.
- Widjajanti, N., Sutanta, H., Lestari, D., & Yulaikhah. (2017). *Statistik dan Teori Kesalahan. Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada*.
- Xu, X., Ma, L., & Ding, L. (2014). A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.5772/58445>
- Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Highway alignment optimization: An integrated BIM and GIS approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi8040172>



LAMPIRAN



LAMPIRAN A
DATA DIMENSI MODEL 3D JALAN TOL LAYANG AP PETTARANI
BERDASARKAN DATA PADA KARTU LEGER JALAN DAN
JEMBATAN



Lampiran 1 Dimensi Pilar Model 3D Jalan Utama Tol Layang AP Pettarani

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
<i>Pile slab P1</i>	3628	0	0	0	350	50
<i>Pile slab P2</i>	3734	0	0	0	350	50
<i>Pile slab P3</i>	3664	0	175	0	350	50
<i>Pile slab P4</i>	3594	0	350	0	350	50
<i>Pile slab P5</i>	3699	0	350	0	350	50
<i>Pile slab P6</i>	3630	0	525	0	350	50
<i>Pile slab P7</i>	3560	0	700	0	350	50
<i>Pile slab P8</i>	3665	0	700	0	350	50
<i>Pile slab P9</i>	3665	0	700	0	350	50
<i>Pile slab P10</i>	3924	0	700	0	350	50
<i>Pile slab P11</i>	3983	200	700	0	350	50
<i>Pile slab P12</i>	3942	500	700	0	350	50
<i>Pile slab P13</i>	4028	750	700	0	350	50
<i>Pile slab P14</i>	4013	1100	700	0	350	50
<i>Pile slab P15</i>	4099	1350	700	0	350	50
<i>Pile slab P16</i>	4134	1650	700	0	350	50
<i>Pile slab P17</i>	4170	1950	700	0	350	50
<i>Pile slab P18</i>	4274	2200	700	0	350	50
<i>Pile slab P19</i>	4378	2450	700	0	350	50
<i>Pile slab P20</i>	4431	2750	700	0	350	50
<i>Pile slab P21</i>	4485	3050	700	0	350	50
<i>Pile slab P22</i>	4185	3350	700	0	350	50
<i>Pile slab P23</i>	4164	3600	700	0	350	50
<i>Pile slab P24</i>	4094	3900	700	0	350	50
<i>Pile slab P25</i>	4023	4200	700	0	350	50
PA1	3923	0	5000	0	350	50
PA1	3923	0	2750	0	2600	50
P26	4246	1600	2500	400	2600	50
P27	4419	3500	2500	400	2600	50
P28	2469	5450	2500	400	2600	50
P29	4422	7500	2500	400	2600	50
P30	3926	9550	2500	500	2600	50
P31	3430	11700	2500	500	2600	50
P32	3345	13100	2500	500	2600	50
P33	3960	13800	2500	500	2600	50
P34	3131	14150	2500	500	2600	50
P35	2851	13950	2500	500	2600	50
P36	2842	13300	2500	500	2600	50
P37	3482	12000	2500	500	2600	50
P38	3424	10550	2500	500	2600	50
P39	3365	9100	2500	500	2600	50
P40	3223	7800	2500	500	2600	50
P41	3081	6500	2500	500	2600	50



Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
P42	3030	5700	2500	500	2600	50
P43	2829	5050	2500	500	2600	50
P44	3098	4800	2500	500	2600	50
P45	3067	4850	2500	500	2600	50
P46	2867	5050	2500	500	2600	50
P47	3014	5100	2500	500	2600	50
P48	3014	5100	2500	500	2600	50
P49	3603	5250	2500	500	2600	50
P50	3403	5450	2500	500	2600	50
P51	3199	5600	2500	500	2600	50
P52	3099	5700	2500	500	2600	50
P53	3528	5900	2500	500	2600	50
P54	3428	6000	2500	500	2600	50
P55	3321	6000	2500	500	2600	50
P56	3171	6150	2500	500	2600	50
P57	3472	6250	2500	500	2600	50
P58	3422	6300	2500	500	2600	50
P59	3344	6450	2500	500	2600	50
P60	3144	6650	2500	500	2600	50
P61	3486	6800	2500	500	2600	50
P62	3336	6900	2500	550	2600	50
P63	3463	7000	2500	550	2600	50
P64	3363	7100	2500	550	2600	50
P65	3604	7250	2500	550	2600	50
P66	3354	7500	2500	550	2600	50
P67	3408	7650	2500	550	2600	50
P68	3458	7600	2500	550	2600	50
P69	3267	7600	2500	550	2600	50
P70	3417	7450	2500	550	2600	50
P71	3192	7300	2500	550	2600	50
P72	3442	7050	2500	550	2600	50
P73	3263	6900	2500	550	2600	50
P74	3563	6600	2500	550	2600	50
P75	3425	6500	2500	550	2600	50
P76	3625	6300	2500	550	2600	50
P77	3569	6000	2500	550	2600	50
P78	3819	5750	2500	550	2600	50
P79	3881	5450	2500	550	2600	50
P80	3692	5400	2500	550	2600	50
P81	3853	5250	2500	550	2600	50
P82	3913	5200	2500	550	2600	50
P83	4009	5200	2500	550	2600	50
P84	4105	5200	2500	550	2600	50



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
P85	4187	5300	2500	550	2600	50
P86	4169	5500	2500	550	2600	50
P87	4217	5600	2500	550	2600	50
P88	4265	5700	2500	550	2600	50
P89	4187	5900	2500	550	2600	50
P90	4109	6100	2500	550	2600	50
P91	4009	6200	2500	550	2600	50
P92	3951	6450	2500	550	2600	50
P93	3951	6450	2500	550	2600	50
P94	3999	6500	2500	550	2600	50
P95	3999	6500	2500	550	2600	50
P96	3818	6350	2500	550	2600	50
P97	3818	6350	2500	550	2600	50
P98	3761	6200	2500	550	2600	50
P99	3753	6000	2500	550	2600	50



Lampiran 2. Dimensi Pilar Model 3D Ramp On Boulevard

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
RN-Bou P1	3673	8500	1500	350	2600	50
RN-Bou P2	3531	7200	1500	350	2600	50
RN-Bou P3	3430	6450	1500	350	2600	50
RN-Bou P4	3079	5900	1500	400	2600	50
RN-Bou P5	3248	5700	1500	450	2600	50
RN-Bou P6	3067	5700	1500	450	2600	50
RN-Bou P6	3067	5700	2450	450	1650	50
RN-Bou P7	2967	6950	1500	350	1650	50
RN-Bou P8	2867	6650	1500	450	1650	50
RN-Bou P9	2941	6250	1500	450	1650	50
RN-Bou P10	3014	5500	1500	450	1650	50
RN-Bou P11	3014	4450	1500	450	1650	50
RN-Bou P12	3014	3400	1500	450	1650	50
RN-Bou P13	3309	2600	1500	450	1650	50
RN-Bou P14	3603	1450	1500	450	1650	50
RN-Bou P15	3503	500	1500	400	1650	50
RN-Bou PA1	3403	0	1050	400	1650	50
RN-Bou PA1	3403	0	2750	0	350	50
RN-Bou P16	3374	1500	700	0	350	50
RN-Bou P17	3345	1250	700	0	350	50
RN-Bou P18	3316	900	700	0	350	50
RN-Bou P19	3286	450	700	0	350	50
RN-Bou P20	3257	250	700	0	350	50
RN-Bou P21	3228	0	700	0	350	50
RN-Bou P22	3199	0	550	0	350	50
RN-Bou P23	3199	0	350	0	350	50
RN-Bou PA2	3149	0	0	0	350	50



Lampiran 3. Dimensi Pilar Model 3D *Ramp Off Boulevard*

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
RF-Bou P1	3171	7200	1500	450	2600	50
RF-Bou P2	3672	7200	1500	350	2600	50
RF-Bou P3	3672	7200	1500	350	2600	50
RF-Bou P4	3694	7250	1500	350	2600	50
RF-Bou P5	3144	6950	1500	350	2600	50
RF-Bou P5	3144	6950	2400	400	1650	50
RF-Bou P6	3315	7700	1500	450	1650	50
RF-Bou P7	3486	7450	1500	450	1650	50
RF-Bou P8	3411	6350	1500	450	1650	50
RF-Bou P9	3336	5400	1500	450	1650	50
RF-Bou P10	3400	4400	1500	450	1650	50
RF-Bou P11	3463	3350	1500	450	1650	50
RF-Bou P12	3413	2350	1500	450	1650	50
RF-Bou P13	3363	1350	1500	450	1650	50
RF-Bou P14	3484	400	1500	450	1650	50
RF-Bou A1	3604	0	1000	400	1650	50
RF-Bou A1	3604	0	2700	0	350	50
RF-Bou P15	3562	1250	700	0	350	50
RF-Bou P16	3521	950	700	0	350	50
RF-Bou P17	3479	650	700	0	350	50
RF-Bou P18	3437	350	700	0	350	50
RF-Bou P19	3396	0	700	0	350	50
RF-Bou P20	3354	0	550	0	350	50
RF-Bou P21	3354	0	200	0	350	50
RF-Bou P22	3503	0	0	0	350	50



Lampiran 4. Dimensi Pilar Model 3D Ramp On Allaudin

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
RN-Ala P1	3653	6550	1500	450	2600	50
RN-Ala P2	3663	6550	1500	450	2600	50
RN-Ala P3	3759	6550	1500	450	2600	50
RN-Ala P4	4255	6150	1500	450	2600	50
RN-Ala P5	4387	6200	1500	450	2600	50
RN-Ala P5	4387	6200	2450	450	1650	50
RN-Ala P6	4278	7500	1500	450	1650	50
RN-Ala P7	4169	7550	1500	450	1650	50
RN-Ala P8	4193	7250	1500	450	1650	50
RN-Ala P9	4217	6500	1500	450	1650	50
RN-Ala P10	4241	5400	1500	450	1650	50
RN-Ala P11	4265	4300	1500	450	1650	50
RN-Ala P12	4226	3300	1500	450	1650	50
RN-Ala P13	4187	2400	1500	450	1650	50
RN-Ala P14	4148	1200	1500	450	1650	50
RN-Ala A1	4109	0	2200	400	1650	50
RN-Ala A1	4109	0	3900	0	350	50
RN-Ala P15	4109	1900	700	0	350	50
RN-Ala P16	4109	1500	700	0	350	50
RN-Ala P17	4076	1150	700	0	350	50
RN-Ala P18	4042	800	700	0	350	50
RN-Ala P19	4009	500	700	0	350	50
RN-Ala P20	3999	200	700	0	350	50
RN-Ala P21	3990	0	700	0	350	50
RN-Ala P22	3980	0	550	0	350	50
RN-Ala P23	3970	0	50	0	350	50
RN-Ala A2	3961	0	0	0	350	50



Lampiran 5. Dimensi Pilar Model 3D *Ramp Off* Allaudin

Nama Pilar	Elevasi dasar (mm)	Tinggi Tiang (mm)	Tebal Kepala Tiang (mm)	Tebal Bantalan (mm)	Tinggi Bangunan Atas (mm)	Tebal Aspal (mm)
RF-Ala P1	3891	7427	1500	400	2600	50
RF-Ala P2	3946	7322	1500	450	2600	50
RF-Ala P3	3854	7207	1500	450	2600	50
RF-Ala P4	3951	6902	1500	450	2600	50
RF-Ala P4	3971	6902	2450	450	1650	50
RF-Ala P5	3991	6750	1500	450	1650	50
RF-Ala P6	4010	5850	1500	450	1650	50
RF-Ala P7	4030	5200	1500	450	1650	50
RF-Ala P8	4050	4300	1500	450	1650	50
RF-Ala P9	3982	3400	1500	450	1650	50
RF-Ala P10	3915	2300	1500	450	1650	50
RF-Ala P11	3847	1250	1500	450	1650	50
RF-Ala P12	3779	100	1500	400	1650	50
RF-Ala A1	3798	0	1200	400	1650	50
RF-Ala A1	3798	0	2900	0	350	50
RF-Ala P13	3817	1100	700	0	350	50
RF-Ala P14	3836	400	700	0	350	50
RF-Ala P15	3854	200	700	0	350	50
RF-Ala P16	3873	0	700	0	350	50
RF-Ala P17	3892	0	350	0	350	50
RF-Ala A2	3911	0	0	0	0	50



LAMPIRAN B
DATA VOLUME DAN DIMENSI MODEL 3D JALAN TOL LAYANG
AP PETTARANI HASIL PENGUKURAN TLS



Lampiran 6. Volume Pilar Model 3D Pengukuran TLS

Daftar Volume Tiang Pancang			
Family	Volume	Description	Lokasi
PIER-01	120.84 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-02	132.30 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-03	144.71 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-04	156.45 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-05	169.58 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-06	183.10 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-07	191.14 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-08	195.57 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-09	198.05 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-10	196.80 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-11	192.27 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-12	184.56 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-13	86.61 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-14	166.64 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-15	158.32 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-16	151.43 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-17	144.71 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-18	140.84 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-19	139.57 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-20	140.76 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-21	142.42 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-22	142.16 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-23	141.94 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-24	142.95 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-25	144.43 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-26	144.93 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-27	146.66 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-28	147.60 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-29	146.26 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-30	147.98 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-31	148.17 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-32	148.79 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-33	149.49 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-34	150.14 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-35	151.02 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-36	151.65 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-37	152.54 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama



Daftar Volume Tiang Pancang

Family	Volume	Description	Lokasi
PIER-38	153.21 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-39	153.88 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-40	154.98 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-41	156.40 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-42	156.10 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-43	157.72 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-44	157.42 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-45	156.56 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-46	155.43 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-47	154.22 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-48	153.26 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-49	152.30 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-50	151.00 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-51	150.27 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-52	148.58 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-53	146.57 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-54	144.61 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-55	143.61 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-56	143.77 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-57	143.23 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-58	143.60 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-59	143.99 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-60	144.28 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-61	145.54 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-62	146.00 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-63	146.62 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-64	148.14 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-65	149.06 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-66	149.61 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-67	151.20 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-68	151.05 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-69	151.61 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-70	151.19 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-71	150.22 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-72	149.66 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-73	149.35 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama
PIER-74	147.47 m ³	Tiang Pancang	Jalan Utama



Daftar Volume Tiang Pancang			
Family	Volume	Description	Lokasi
PIER-PB015-REV	52.61 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB014-REV	47.82 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB013-REV	44.36 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB012-REV	42.54 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB011-REV	42.10 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB010-REV	48.69 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB09-REV	40.09 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB08-REV	39.17 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB07-REV	37.11 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB06-REV	35.16 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB05-REV	31.32 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB04-REV	28.13 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB03-REV	24.64 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB02-REV	21.33 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PB01-REV	17.86 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Boulevard</i>
PIER-PBF14-REV	47.24 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF13-REV	47.66 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF12-REV	48.27 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF11-REV	47.84 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF10-REV	53.67 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF09-REV	43.92 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF08-REV	41.29 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF07-REV	37.87 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF06-REV	34.42 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF05-REV	31.31 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF04-REV	27.81 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF03-REV	24.74 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF02-REV	20.94 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PBF01-REV	17.03 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Boulevard</i>
PIER-PA014-REV	43.83 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA013-REV	43.92 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA012-REV	44.02 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA011-REV	44.19 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA010-REV	50.43 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA09-REV	42.52 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA08-REV	42.88 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA07-REV	41.73 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>



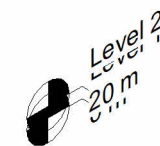
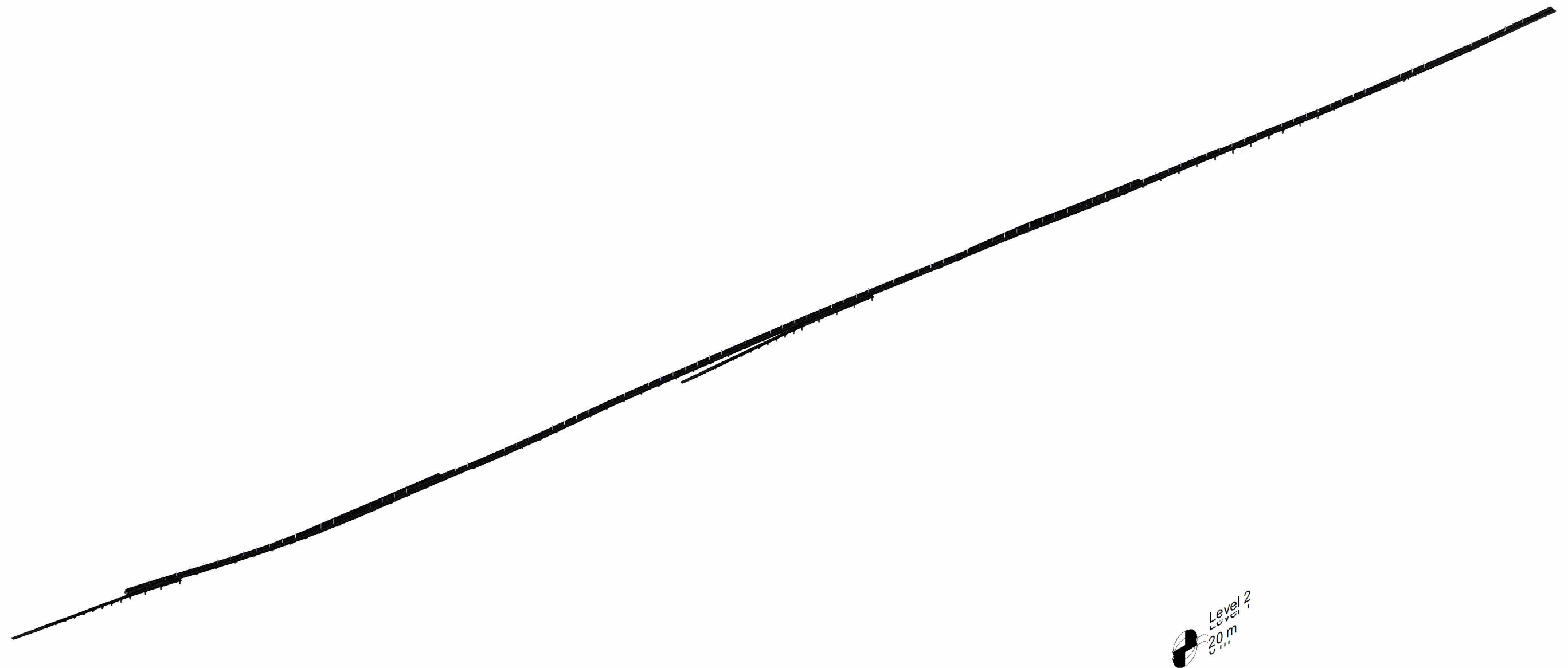
Daftar Volume Tiang Pancang			
Family	Volume	Description	Lokasi
PIER-PA06-REV	39.10 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA05-REV	34.96 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA04-REV	61.51 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA03-REV	27.09 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA02-REV	23.95 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PA01-REV	20.03 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp on Alauddin</i>
PIER-PAF12-REV	47.85 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF11-REV	47.31 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF10-REV	47.07 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF09-REV	52.78 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF08-REV	42.97 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF07-REV	39.74 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF06-REV	35.78 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF05-REV	31.83 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF04-REV	27.81 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF03-REV	23.88 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF02-REV	19.94 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>
PIER-PAF01-REV	15.30 m ³	Tiang Pancang	<i>Ramp off Alauddin</i>



LAMPIRAN C
MODEL 3D JALAN TOL UJUNG PANDANG SEKSI 3 (TOL LAYANG AP
PETTARANI)



Lampiran 7. Model 3D Jalan Tol Ujung Pandang Seksi 3 (Tol Layang AP Pettarani)



0 Tol Layang AP Pettarani

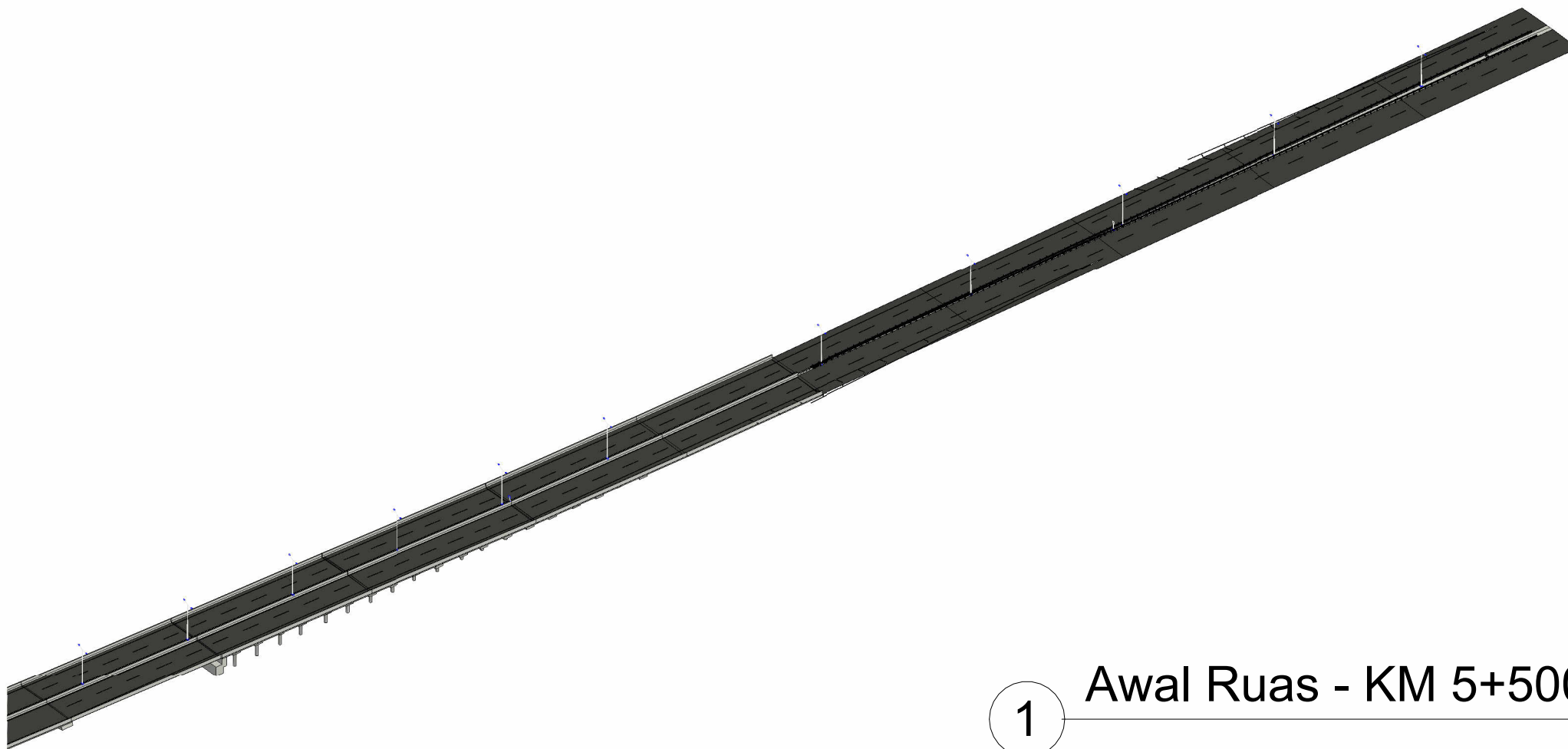
Digambar oleh :
Luthviasari Astudiro
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Jalan Tol Layang AP Pettarani
MKS KM 5+075 - KM 9+106



1

Awal Ruas - KM 5+500

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 1

SKALA 1 : 1500



2

KM 5+500 - KM 6+000

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023

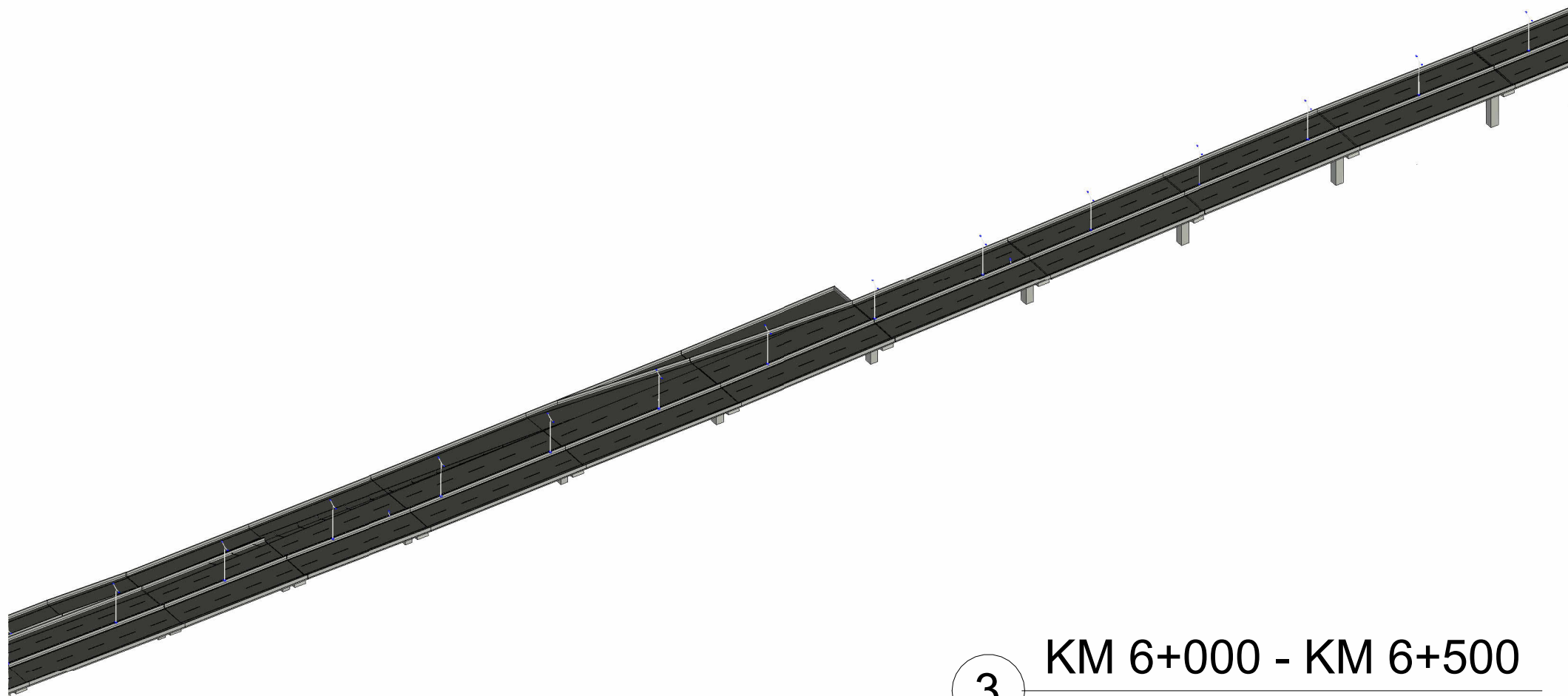


PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 2

SKALA 1 : 1500



3

KM 6+000 - KM 6+500

Digambar oleh :

Luthviasari Astudiro
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023

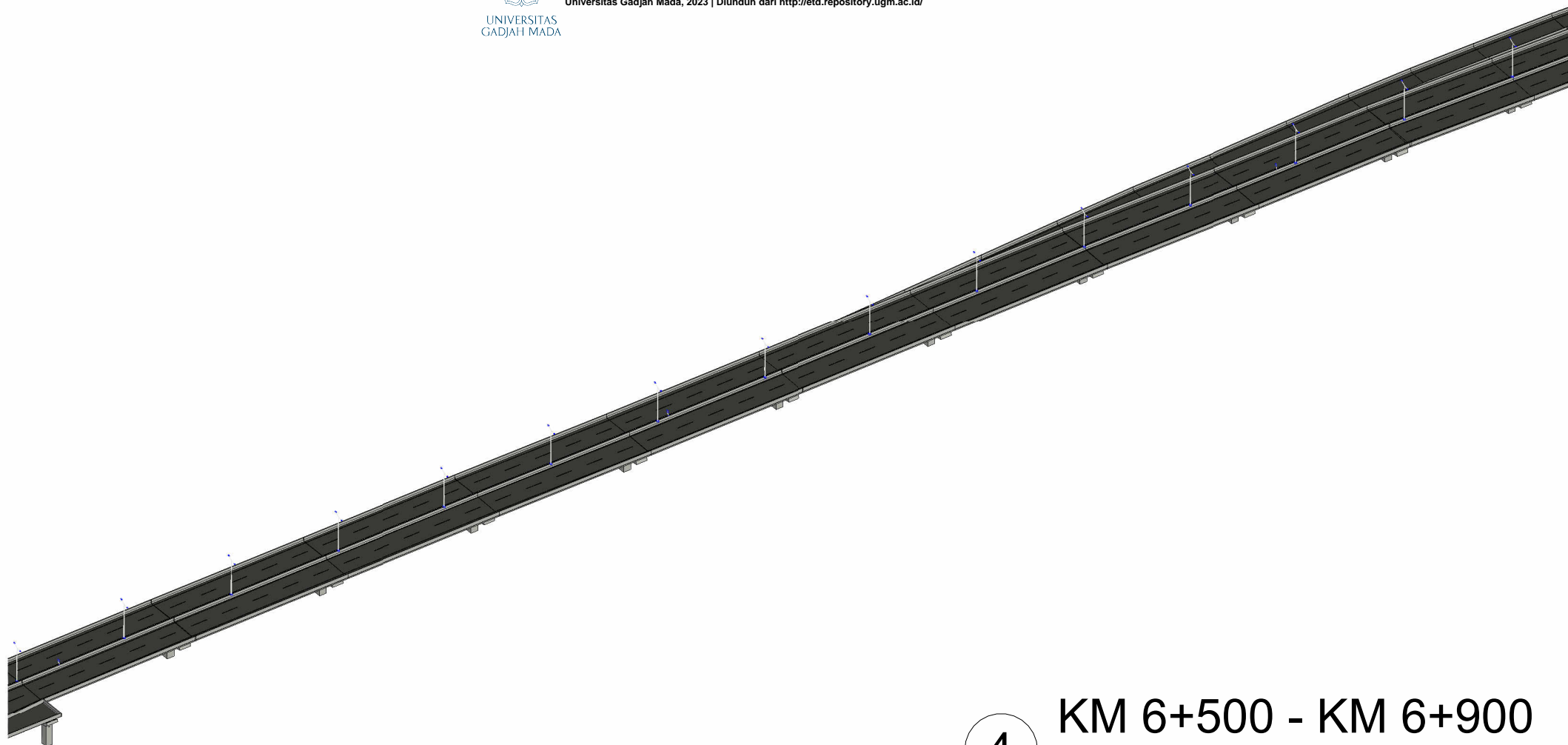


PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 3

SKALA 1 : 1500



4

KM 6+500 - KM 6+900

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

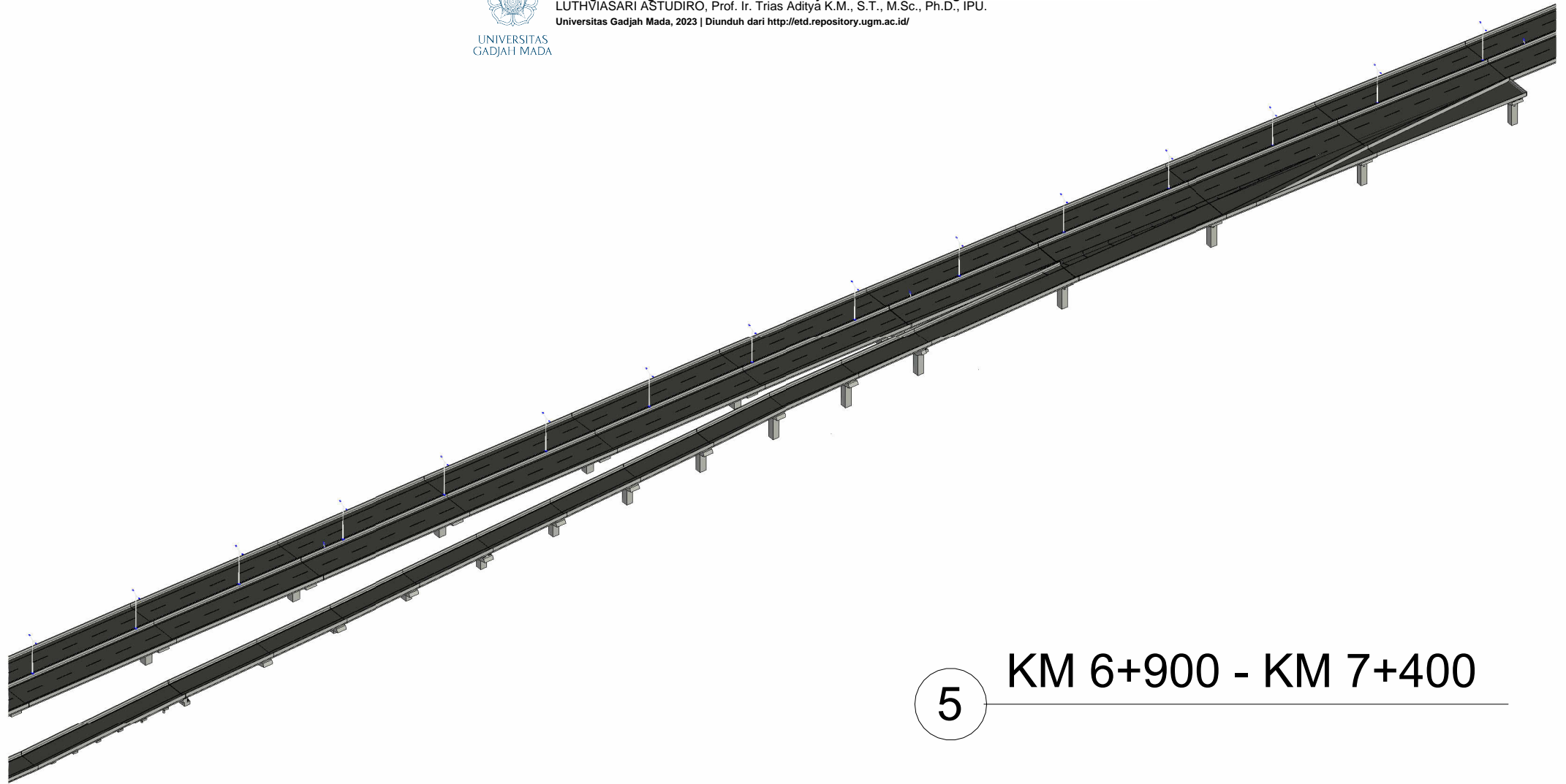
Bagian 4

SKALA 1 : 1500



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Peningkatan Leger Jalan Dari Model 2D Menjadi Model 3d Untuk Kegiatan Preservasi Jalan
LUTHVIASARI ASTUDIRO, Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.
Universitas Gadjah Mada, 2023 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



5

KM 6+900 - KM 7+400

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023

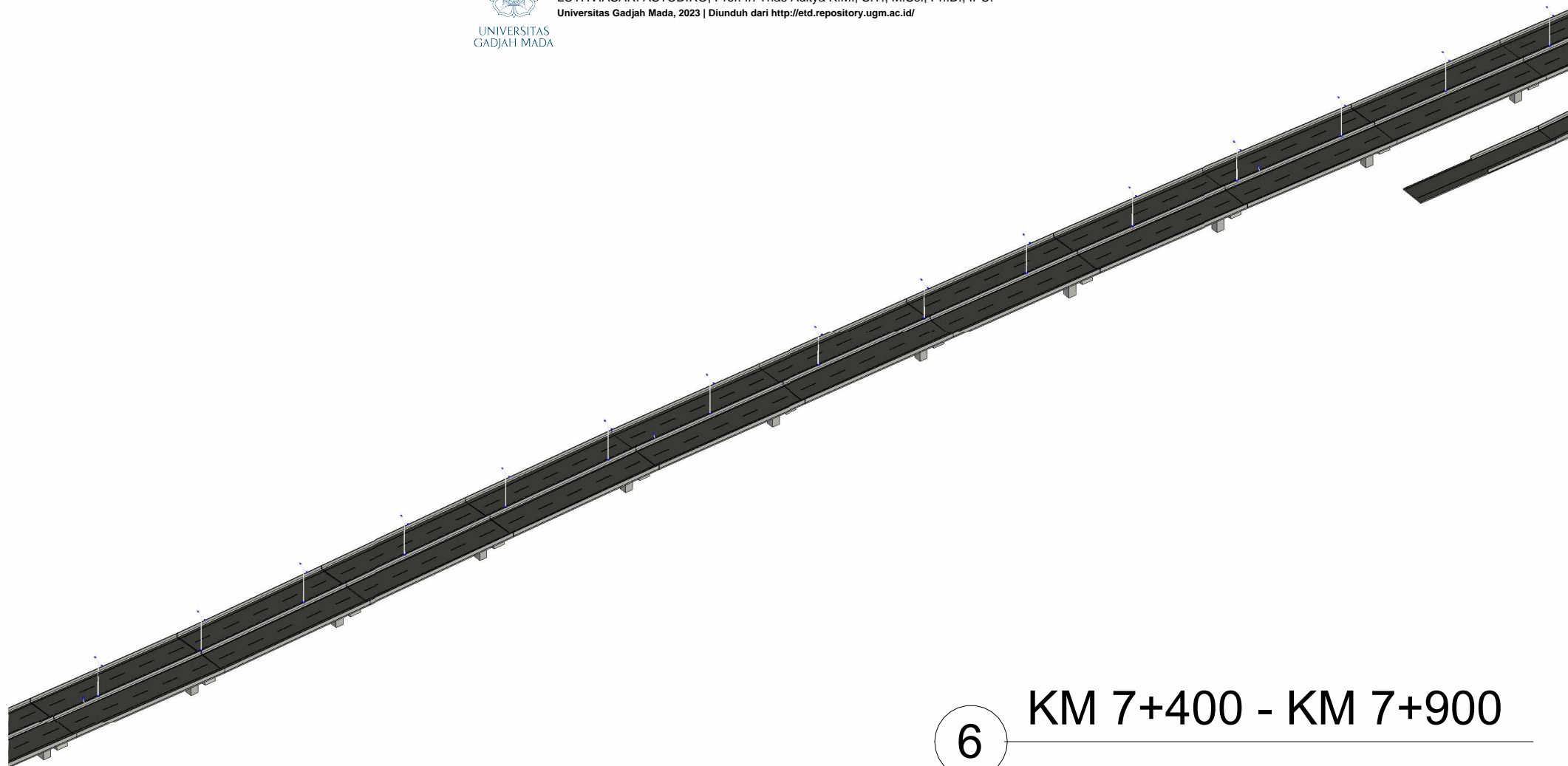


PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 5

SKALA 1 : 1500



6

KM 7+400 - KM 7+900

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 6

SKALA 1 : 1500



7 KM 7+900 - KM 8+400

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 7

SKALA 1 : 1500



8

KM 8+400 - KM 8+900

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 8

SKALA 1 : 1500



9

KM 8+900 - Akhir Ruas

Digambar oleh :

Luthviasari Astudiro
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

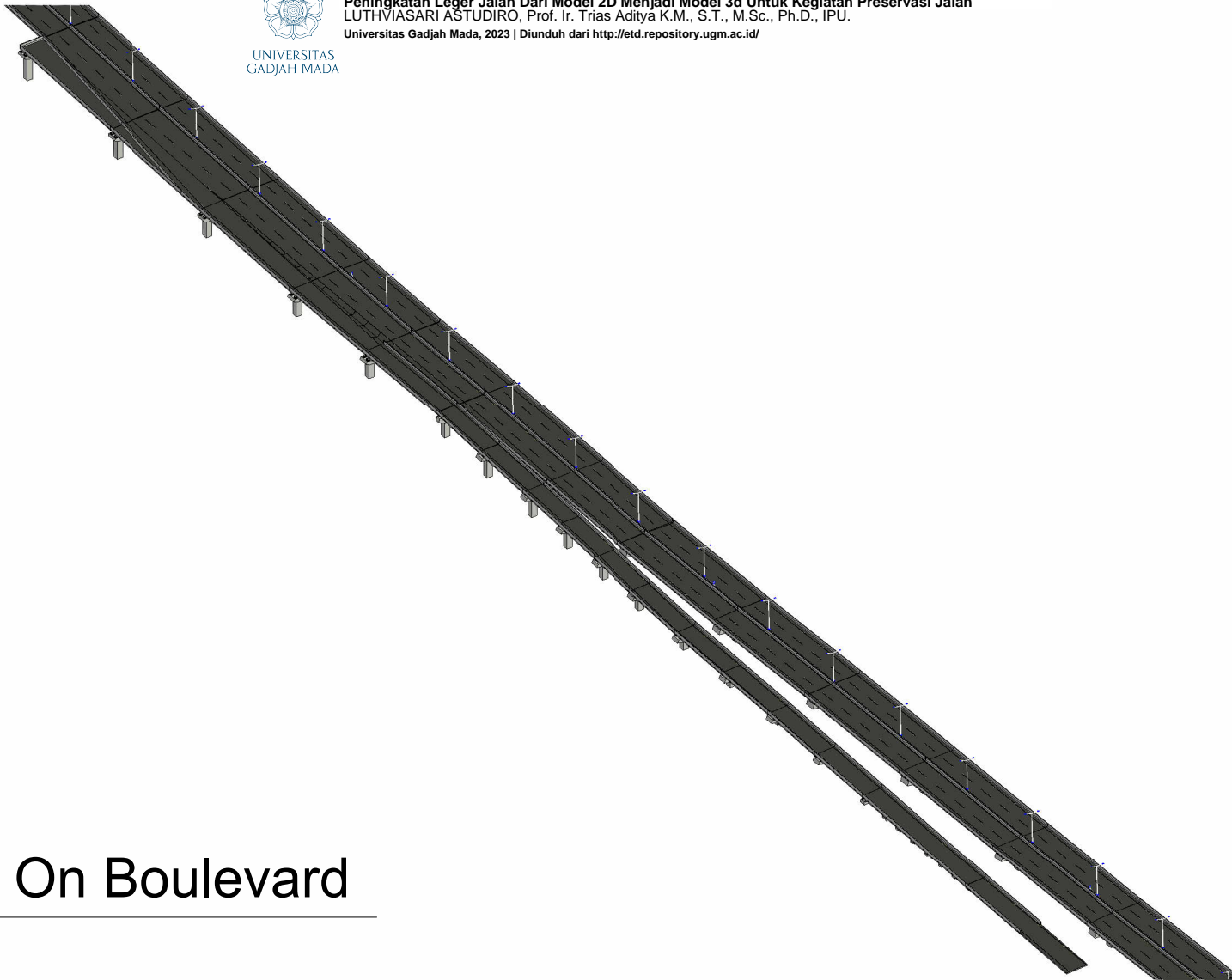
Bagian 9

SKALA 1 : 1500



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Peningkatan Leger Jalan Dari Model 2D Menjadi Model 3d Untuk Kegiatan Preservasi Jalan
LUTHVIASARI ASTUDIRO, Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.
Universitas Gadjah Mada, 2023 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



10

Ramp On Boulevard

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 10

SKALA 1 : 2000



11 Ramp Off Boulevard

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

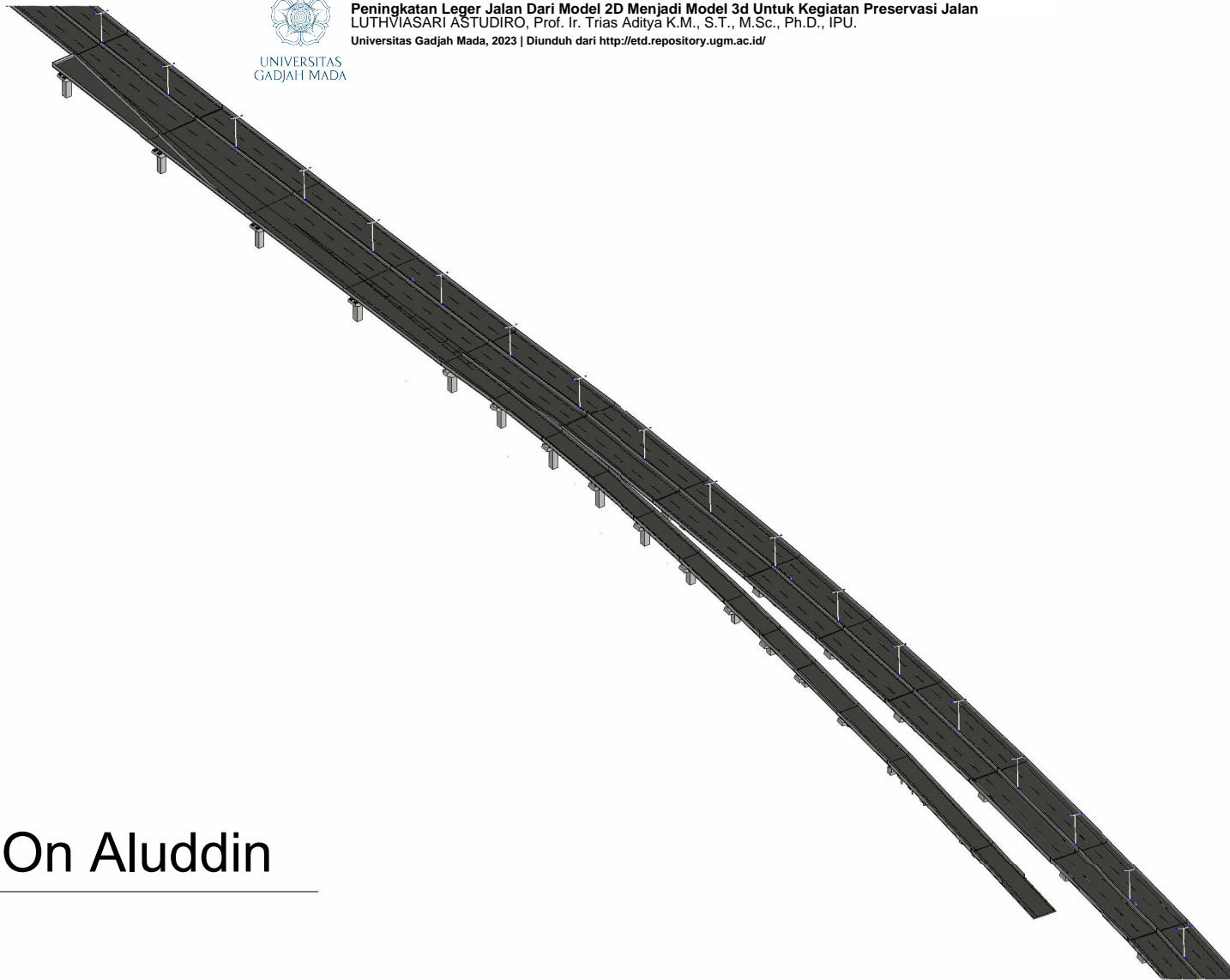
Bagian 11

SKALA 1 : 2000



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Peningkatan Leger Jalan Dari Model 2D Menjadi Model 3d Untuk Kegiatan Preservasi Jalan
LUTHVIASARI ASTUDIRO, Prof. Ir. Trias Aditya K.M., S.T., M.Sc., Ph.D., IPU.
Universitas Gadjah Mada, 2023 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



12

Ramp On Aluddin

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 12

SKALA 1 : 2000



13 Ramp Off Aluddin

Digambar oleh :

Luthviasari Astudio
20/467411/PTK/13472

TAHUN 2023



PRODI MAGISTER TEKNIK GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Model 3D Jalan Tol Layang
AP Pettarani

Bagian 13

SKALA 1 : 2000



LAMPIRAN D
TABEL PARAMETER HASIL MODELING 3D JALAN TOL LAYANG AP
PETTARANI



Lampiran 8. Tabel Parameter Model 3D Tiang Pancang

Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
P26	Pier	120.84m ³	Beton	Baik
P27	Pier	132.3m ³	Beton	Baik
P28	Pier	144.7m ³	Beton	Baik
P29	Pier	156.46m ³	Beton	Baik
P30	Pier	169.58m ³	Beton	Baik
P31	Pier	183.09m ³	Beton	Baik
P32	Pier	191.15m ³	Beton	Baik
P33	Pier	195.54m ³	Beton	Baik
P34	Pier	198.03m ³	Beton	Baik
P35	Pier	196.81m ³	Beton	Baik
P36	Pier	192.29m ³	Beton	Baik
P37	Pier	184.57m ³	Beton	Baik
P38	Pier	177.02m ³	Beton	Baik
P39	Pier	166.64m ³	Beton	Baik
P40	Pier	158.33m ³	Beton	Baik
P41	Pier	151.42m ³	Beton	Baik
P42	Pier	144.7m ³	Beton	Baik
P43	Pier	140.85m ³	Beton	Baik
P44	Pier	139.57m ³	Beton	Baik
P45	Pier	140.76m ³	Beton	Baik
P46	Pier	142.42m ³	Beton	Baik
P47	Pier	142.17m ³	Beton	Baik
P48	Pier	141.94m ³	Beton	Baik
P49	Pier	142.95m ³	Beton	Baik
P50	Pier	144.44m ³	Beton	Baik
P51	Pier	144.93m ³	Beton	Baik
P52	Pier	146.67m ³	Beton	Baik
P53	Pier	147.6m ³	Beton	Baik
P54	Pier	146.25m ³	Beton	Baik
P55	Pier	147.97m ³	Beton	Baik
P56	Pier	148.17m ³	Beton	Baik
P57	Pier	148.8m ³	Beton	Baik
P58	Pier	149.5m ³	Beton	Baik
P59	Pier	150.14m ³	Beton	Baik
P60	Pier	151.01m ³	Beton	Baik
P61	Pier	151.64m ³	Beton	Baik
P62	Pier	152.54m ³	Beton	Baik
P63	Pier	153.22m ³	Beton	Baik
P64	Pier	153.87m ³	Beton	Baik
P65	Pier	155m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
P66	Pier	156.39m ³	Beton	Baik
P67	Pier	156.11m ³	Beton	Baik
P68	Pier	157.74m ³	Beton	Baik
P69	Pier	157.42m ³	Beton	Baik
P70	Pier	156.58m ³	Beton	Baik
P71	Pier	155.43m ³	Beton	Baik
P72	Pier	154.23m ³	Beton	Baik
P73	Pier	153.27m ³	Beton	Baik
P74	Pier	152.31m ³	Beton	Baik
P75	Pier	150.99m ³	Beton	Baik
P76	Pier	150.27m ³	Beton	Baik
P77	Pier	148.58m ³	Beton	Baik
P78	Pier	146.56m ³	Beton	Baik
P79	Pier	144.62m ³	Beton	Baik
P80	Pier	143.61m ³	Beton	Baik
P81	Pier	143.78m ³	Beton	Baik
P82	Pier	143.24m ³	Beton	Baik
P83	Pier	143.61m ³	Beton	Baik
P84	Pier	144m ³	Beton	Baik
P85	Pier	144.28m ³	Beton	Baik
P86	Pier	145.53m ³	Beton	Baik
P87	Pier	146.01m ³	Beton	Baik
P88	Pier	146.61m ³	Beton	Baik
P89	Pier	148.14m ³	Beton	Baik
P90	Pier	149.06m ³	Beton	Baik
P91	Pier	149.6m ³	Beton	Baik
P92	Pier	151.2m ³	Beton	Baik
P93	Pier	151.05m ³	Beton	Baik
P94	Pier	151.62m ³	Beton	Baik
P95	Pier	151.2m ³	Beton	Baik
P96	Pier	150.22m ³	Beton	Baik
P97	Pier	149.67m ³	Beton	Baik
P98	Pier	149.34m ³	Beton	Baik
P99	Pier	147.48m ³	Beton	Baik
PA1	Pier	230.24m ³	Beton	Baik
Pile Slab P3	Pile Slab	8.75m ³	Beton	Baik
Pile Slab P4	Pile Slab	17.5m ³	Beton	Baik
Pile Slab P5	Pile Slab	17.5m ³	Beton	Baik
Pile Slab P6	Pile Slab	26.25m ³	Beton	Baik
Pile Slab P7	Pile Slab	35m ³	Beton	Baik
Pile Slab P8	Pile Slab	35m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Pile Slab P9	Pile Slab	35m ³	Beton	Baik
Pile Slab P10	Pile Slab	35m ³	Beton	Baik
Pile Slab P11	Pile Slab	35.87m ³	Beton	Baik
Pile Slab P12	Pile Slab	36.26m ³	Beton	Baik
Pile Slab P13	Pile Slab	36.88m ³	Beton	Baik
Pile Slab P14	Pile Slab	37.76m ³	Beton	Baik
Pile Slab P15	Pile Slab	38.39m ³	Beton	Baik
Pile Slab P16	Pile Slab	39.15m ³	Beton	Baik
Pile Slab P17	Pile Slab	39.9m ³	Beton	Baik
Pile Slab P18	Pile Slab	40.53m ³	Beton	Baik
Pile Slab P19	Pile Slab	41.16m ³	Beton	Baik
Pile Slab P20	Pile Slab	41.91m ³	Beton	Baik
Pile Slab P21	Pile Slab	42.67m ³	Beton	Baik
Pile Slab P22	Pile Slab	43.42m ³	Beton	Baik
Pile Slab P23	Pile Slab	30.05m ³	Beton	Baik
Pile Slab P24	Pile Slab	44.8m ³	Beton	Baik
Pile Slab P25	Pile Slab	45.56m ³	Beton	Baik
RFAla-P1	Pier	52.35m ³	Beton	Baik
RFAla-P2	Pier	52.04m ³	Beton	Baik
RFAla-P3	Pier	51.58m ³	Beton	Baik
RFAla-P4	Pier	56.94m ³	Beton	Baik
RFAla-P5	Pier	54.35m ³	Beton	Baik
RFAla-P6	Pier	50.75m ³	Beton	Baik
RFAla-P7	Pier	48.15m ³	Beton	Baik
RFAla-P8	Pier	44.55m ³	Beton	Baik
RFAla-P9	Pier	40.95m ³	Beton	Baik
RFAla-P10	Pier	36.55m ³	Beton	Baik
RFAla-P11	Pier	32.35m ³	Beton	Baik
RFAla-P12	Pier	27.63m ³	Beton	Baik
RFAla-PA1	Pier	33.22m ³	Beton	Baik
RFAla-Pile Slab P13	Pile Slab	7.91m ³	Beton	Baik
RFAla-Pile Slab P14	Pile Slab	7.74m ³	Beton	Baik
RFAla-Pile Slab P15	Pile Slab	7.5m ³	Beton	Baik
RFAla-Pile Slab P16	Pile Slab	7.28m ³	Beton	Baik
RFBou-P1	Pier	51.55m ³	Beton	Baik
RFBou-P2	Pier	51.29m ³	Beton	Baik
RFBou-P3	Pier	51.29m ³	Beton	Baik
RFBou-P4	Pier	51.49m ³	Beton	Baik
RFBou-P5	Pier	56.51m ³	Beton	Baik
RFBou-P6	Pier	58.15m ³	Beton	Baik
RFBou-P7	Pier	57.15m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
RFBou-P8	Pier	52.75m ³	Beton	Baik
RFBou-P9	Pier	48.95m ³	Beton	Baik
RFBou-P10	Pier	44.95m ³	Beton	Baik
RFBou-P11	Pier	40.75m ³	Beton	Baik
RFBou-P12	Pier	36.75m ³	Beton	Baik
RFBou-P13	Pier	32.75m ³	Beton	Baik
RFBou-P14	Pier	28.95m ³	Beton	Baik
RFBou-PA1	Pier	29.72m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P15	Pile Slab	7.9m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P16	Pile Slab	7.75m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P17	Pile Slab	7.6m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P18	Pile Slab	7.45m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P19	Pile Slab	7.28m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P20	Pile Slab	5.52m ³	Beton	Baik
RFBou-Pile Slab P21	Pile Slab	1.43m ³	Beton	Baik
RNAIa-P1	Pier	48.95m ³	Beton	Baik
RNAIa-P2	Pier	48.95m ³	Beton	Baik
RNAIa-P3	Pier	48.95m ³	Beton	Baik
RNAIa-P4	Pier	47.35m ³	Beton	Baik
RNAIa-P5	Pier	58.84m ³	Beton	Baik
RNAIa-P6	Pier	57.35m ³	Beton	Baik
RNAIa-P7	Pier	57.55m ³	Beton	Baik
RNAIa-P8	Pier	56.35m ³	Beton	Baik
RNAIa-P9	Pier	53.35m ³	Beton	Baik
RNAIa-P10	Pier	48.95m ³	Beton	Baik
RNAIa-P11	Pier	42.83m ³	Beton	Baik
RNAIa-P12	Pier	40.55m ³	Beton	Baik
RNAIa-P13	Pier	36.95m ³	Beton	Baik
RNAIa-P14	Pier	32.15m ³	Beton	Baik
RNAIa-PA1	Pier	50.27m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P15	Pile Slab	8.37m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P16	Pile Slab	8.2m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P17	Pile Slab	8.02m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P18	Pile Slab	7.84m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P19	Pile Slab	7.64m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P20	Pile Slab	7.36m ³	Beton	Baik
RNAIa-Pile Slab P21	Pile Slab	7.28m ³	Beton	Baik
RNBou-P1	Pier	56.49m ³	Beton	Baik
RNBou-P2	Pier	51.29m ³	Beton	Baik
RNBou-P3	Pier	48.29m ³	Beton	Baik
RNBou-P4	Pier	45.58m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
RNBou-P5	Pier	44.9m ³	Beton	Baik
RNBou-P6	Pier	53.19m ³	Beton	Baik
RNBou-P7	Pier	54.88m ³	Beton	Baik
RNBou-P8	Pier	53.95m ³	Beton	Baik
RNBou-P9	Pier	52.35m ³	Beton	Baik
RNBou-P10	Pier	49.35m ³	Beton	Baik
RNBou-P11	Pier	45.15m ³	Beton	Baik
RNBou-P12	Pier	40.95m ³	Beton	Baik
RNBou-P13	Pier	37.75m ³	Beton	Baik
RNBou-P14	Pier	33.15m ³	Beton	Baik
RNBou-P15	Pier	29.23m ³	Beton	Baik
RNBou-PA1	Pier	31.26m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P16	Pile Slab	7.87m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P17	Pile Slab	7.77m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P18	Pile Slab	7.63m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P19	Pile Slab	7.45m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P20	Pile Slab	7.38m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P21	Pile Slab	7.28m ³	Beton	Baik
RNBou-Pile Slab P22	Pile Slab	5.52m ³	Beton	Baik



Lampiran 9. Tabel Parameter Model 3D Girder

Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Box P26P27	Box Girder	970.92m ³	Beton	Baik
Box P27P28	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P28P29	Box Girder	962.02m ³	Beton	Baik
Box P29P30	Box Girder	1071.41m ³	Beton	Baik
Box P30P31	Box Girder	963.98m ³	Beton	Baik
Box P31P32	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P32P33	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box P33P34	Box Girder	979.53m ³	Beton	Baik
Box P34P35	Box Girder	962.73m ³	Beton	Baik
Box P35P36	Box Girder	963.8m ³	Beton	Baik
Box P36P37	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P37P38	Box Girder	967.58m ³	Beton	Baik
Box P38P39	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P39P40	Box Girder	979.23m ³	Beton	Baik
Box P40P41	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P41P42	Box Girder	967.62m ³	Beton	Baik
Box P42P43	Box Girder	978.1m ³	Beton	Baik
Box P43P44	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box P44P45	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box P45P46	Box Girder	991.94m ³	Beton	Baik
Box P47P48	Box Girder	988.04m ³	Beton	Baik
Box P48P49	Box Girder	968.2m ³	Beton	Baik
Box P49P50	Box Girder	965.95m ³	Beton	Baik
Box P50P51	Box Girder	958.23m ³	Beton	Baik
Box P51P52	Box Girder	963.34m ³	Beton	Baik
Box P52P53	Box Girder	961.94m ³	Beton	Baik
Box P53P54	Box Girder	964.42m ³	Beton	Baik
Box P54P55	Box Girder	958.99m ³	Beton	Baik
Box P55P56	Box Girder	974.77m ³	Beton	Baik
Box P56P57	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P57P58	Box Girder	969.51m ³	Beton	Baik
Box P58P59	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P59P60	Box Girder	966.84m ³	Beton	Baik
Box P60P61	Box Girder	948.32m ³	Beton	Baik
Box P61P62	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P62P63	Box Girder	968.66m ³	Beton	Baik
Box P63P64	Box Girder	965.48m ³	Beton	Baik
Box P64P65	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P65P66	Box Girder	965.07m ³	Beton	Baik
Box P66P67	Box Girder	960.84m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Box P67P68	Box Girder	964.73m ³	Beton	Baik
Box P68P69	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P69P70	Box Girder	969.13m ³	Beton	Baik
Box P70P71	Box Girder	961.97m ³	Beton	Baik
Box P71P72	Box Girder	963.15m ³	Beton	Baik
Box P72P73	Box Girder	958.97m ³	Beton	Baik
Box P73P74	Box Girder	963.77m ³	Beton	Baik
Box P74P75	Box Girder	961.12m ³	Beton	Baik
Box P75P76	Box Girder	963.89m ³	Beton	Baik
Box P76P77	Box Girder	958.28m ³	Beton	Baik
Box P77P78	Box Girder	968.51m ³	Beton	Baik
Box P78P79	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box P79P80	Box Girder	772m ³	Beton	Baik
Box P80P81	Box Girder	964.32m ³	Beton	Baik
Box P81P82	Box Girder	961.27m ³	Beton	Baik
Box P82P83	Box Girder	962.98m ³	Beton	Baik
Box P83P84	Box Girder	962.19m ³	Beton	Baik
Box P84P85	Box Girder	962.3m ³	Beton	Baik
Box P85P86	Box Girder	962.22m ³	Beton	Baik
Box P86P87	Box Girder	959.5m ³	Beton	Baik
Box P87P88	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P88P89	Box Girder	779.97m ³	Beton	Baik
Box P89P90	Box Girder	767.12m ³	Beton	Baik
Box P90P91	Box Girder	969.46m ³	Beton	Baik
Box P91P92	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P92P93	Box Girder	964.6m ³	Beton	Baik
Box P93P94	Box Girder	958.19m ³	Beton	Baik
Box P94P95	Box Girder	975.03m ³	Beton	Baik
Box P95P96	Box Girder	1071.62m ³	Beton	Baik
Box P96P97	Box Girder	989.32m ³	Beton	Baik
Box P97P98	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box P98P99	Box Girder	905.37m ³	Beton	Baik
Box P4647	Box Girder	766.55m ³	Beton	Baik
Box PA1P26	Box Girder	1070.76m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P1P2	Box Girder	453.69m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P2P3	Box Girder	364.41m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P3P4	Box Girder	375.56m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P4P5	Box Girder	153.94m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P5P6	PC-U Girder	153.53m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P6P7	PC-U Girder	153.7m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P7P8	PC-U Girder	156.53m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Box RF-Ala P8P9	PC-U Girder	154.57m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P9P10	PC-U Girder	154.57m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P10P11	PC-U Girder	153.36m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P11P12	PC-U Girder	170.09m ³	Beton	Baik
Box RF-Ala P12PA1	PC-U Girder	155.1m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P1P2	Box Girder	455.52m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P2P3	Box Girder	455.52m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P3P4	Box Girder	468.4m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P4P5	Box Girder	460.13m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P5P6	PC-U Girder	154.49m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P6P7	PC-U Girder	154.63m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P7P8	PC-U Girder	153.75m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P8P9	PC-U Girder	154.06m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P9P10	PC-U Girder	154.1m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P10P11	PC-U Girder	154.88m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P11P12	PC-U Girder	154.88m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P12P13	PC-U Girder	154.75m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P13P14	PC-U Girder	154.1m ³	Beton	Baik
Box RF-Bou P14PA1	PC-U Girder	192.26m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P1P2	Box Girder	457.05m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P2P3	Box Girder	458.48m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P3P4	Box Girder	457.52m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P4P5	Box Girder	457.57m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P5P6	PC-U Girder	157.03m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P6P7	PC-U Girder	168.1m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P7P8	PC-U Girder	158.18m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P8P9	PC-U Girder	154.57m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P9P10	PC-U Girder	153.82m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P10P11	PC-U Girder	152.82m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P11P12	PC-U Girder	124.9m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P12P13	PC-U Girder	122.26m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P13P14	PC-U Girder	155.06m ³	Beton	Baik
Box Rn-Ala P14PA1	PC-U Girder	191.55m ³	Beton	Baik
Box RN-BOU P1P2	Box Girder	521.69m ³	Beton	Baik
Box RN-BOU P2P3	Box Girder	526.4m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P3P4	Box Girder	534.68m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P4P5	Box Girder	413.04m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P5P6	Box Girder	344.68m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P6P7	PC-U Girder	160.01m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P7P8	PC-U Girder	143.6m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P8P9	PC-U Girder	128.3m ³	Beton	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Box RN-Bou P9P10	PC-U Girder	125.43m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P10P11	PC-U Girder	122.26m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P11P12	PC-U Girder	156.52m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P12P13	PC-U Girder	155.02m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P13P14	PC-U Girder	152.82m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P14P15	PC-U Girder	156.56m ³	Beton	Baik
Box RN-Bou P15PA1	PC-U Girder	154.67m ³	Beton	Baik
Plat KM5+300	Plat Girder	421.16m ³	Beton	Baik
Plat P5P12	Plat Girder	467.95m ³	Beton	Baik
Plat P12P19	Plat Girder	514.74m ³	Beton	Baik
Plat P19A1	Plat Girder	467.95m ³	Beton	Baik
Plat RF-Ala P16	Plat Girder	163.76m ³	Beton	Baik
Plat RF-Ala PA1P16	Plat Girder	81.88m ³	Beton	Baik
Plat RF-Bou P21	Plat Girder	122.85m ³	Beton	Baik
Plat RF-Bou PA1P21	Plat Girder	136.5m ³	Beton	Baik
Plat RN-Ala P21	Plat Girder	109.18m ³	Beton	Baik
Plat RN-Ala PA1P21	Plat Girder	136.47m ³	Beton	Baik
Plat RN-Bou P22PA2	Plat Girder	150.14m ³	Beton	Baik
Plat RN-Bou PA1P22	Plat Girder	150.14m ³	Beton	Baik



Lampiran 10. Tabel Parameter Model 3D Lapisan Aspal

Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Aspal Ka Awal	Aspal	128.75m ³	Aspal	Baik
Aspal Ki Awal	Aspal	128.75m ³	Aspal	Baik
Aspal KM5+300	Aspal	46.8m ³	Aspal	Baik
Aspal P5P12	Aspal	52m ³	Aspal	Baik
Aspal P12P19	Aspal	57.2m ³	Aspal	Baik
Aspal P19A1	Aspal	52m ³	Aspal	Baik
Aspal P26P27	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P27P28	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P28P29	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P29P30	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P30P31	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P31P32	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P32P33	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P33P34	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P34P35	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P35P36	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P36P37	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P37P38	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P38P39	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P39P40	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P40P41	Aspal	72.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P41P42	Aspal	72.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P42P43	Aspal	72.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P43P44	Aspal	57.4m ³	Aspal	Baik
Aspal P44P45	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P45P46	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P46P47	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P47P48	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P48P49	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P49P50	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P50P51	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P51P52	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P52P53	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P53P54	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P54P55	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P55P56	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P56P57	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P57P58	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P58P59	Aspal	72.5m ³	Aspal	Baik
Aspal P59P60	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Aspal P60P61	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P61P62	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P62P63	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P63P64	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P64P65	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P65P66	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P66P67	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P67P68	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P68P69	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P69P70	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P70P71	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P71P72	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P72P73	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P73P74	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P74P75	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P75P76	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P76P77	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P77P78	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P78P79	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P79P80	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P80P81	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P81P82	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P82P83	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P83P84	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P84P85	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P85P86	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P86P87	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P87P88	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P88P89	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P89P90	Aspal	39.06m ³	Aspal	Baik
Aspal P90P91	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P91P92	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P92P93	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P93P94	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P94P95	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal P95P96	Aspal	56.65m ³	Aspal	Baik
Aspal P96P97	Aspal	72m ³	Aspal	Baik
Aspal P97P98	Aspal	57.6m ³	Aspal	Baik
Aspal P98P99	Aspal	46.35m ³	Aspal	Baik
Aspal PA1P26	Aspal	47.49m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P3P4	Aspal	16.4m ³	Aspal	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Aspal RF-Ala P4P5	Aspal	10m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P5P6	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P6P7	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P7P8	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P8P9	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P9P10	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P10P11	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P11P12	Aspal	10.53m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P12PA1	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala P16	Aspal	23.4m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Ala PA1P16	Aspal	11.7m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P4P5	Aspal	20.5m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P5P6	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P6P7	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P7P8	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P8P9	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P9P10	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P10P11	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P11P12	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P12P13	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P13P14	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P14PA1	Aspal	11.7m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou P21	Aspal	17.55m ³	Aspal	Baik
Aspal RF-Bou PA1P21	Aspal	19.5m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P5P6	Aspal	10m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P6P7	Aspal	10.53m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P7P8	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P8P9	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P9P10	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P10P11	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P11P12	Aspal	7.8m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P12P13	Aspal	7.8m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P13P14	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P14PA1	Aspal	11.7m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala P21	Aspal	15.6m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Ala PA1P21	Aspal	19.5m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P5P6	Aspal	15.6m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P6P7	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P7P8	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P8P9	Aspal	7.8m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P9P10	Aspal	7.8m ³	Aspal	Baik



Structural Column Schedule				
Family	Description	Volume	Material	Kondisi
Aspal RN-Bou P10P11	Aspal	7.8m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P11P12	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P12P13	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P13P14	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P14P15	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P15PA1	Aspal	9.75m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou P22PA2	Aspal	21.45m ³	Aspal	Baik
Aspal RN-Bou PA1P22	Aspal	21.45m ³	Aspal	Baik



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

LAMPIRAN E

HASIL UJI KUALITAS PEMODELAN 3D



Lampiran 11 Perbandingan Volume dan Perhitungan RMSE

Perbandingan Volume Pier						
Model 3D		Model TLS		dV (m ³)	dV2 (m ³)	σ^2 (m ³)
Nama	Volume (m ³)	Nama	Volume (m ³)			
P26	120.84	PIER-01	120.84	0	0.000	0.000
P27	132.3	PIER-02	132.3	0	0.000	0.000
P28	144.7	PIER-03	144.71	-0.01	0.000	0.000
P29	156.46	PIER-04	156.45	0.01	0.000	0.000
P30	169.58	PIER-05	169.58	0	0.000	0.000
P31	183.09	PIER-06	183.1	-0.01	0.000	0.000
P32	191.15	PIER-07	191.14	0.01	0.000	0.000
P33	195.54	PIER-08	195.57	-0.03	0.001	0.001
P34	198.03	PIER-09	198.05	-0.02	0.000	0.000
P35	196.81	PIER-10	196.8	0.01	0.000	0.000
P36	192.29	PIER-11	192.27	0.02	0.000	0.000
P37	184.57	PIER-12	184.56	0.01	0.000	0.000
P39	166.64	PIER-14	166.64	0	0.000	0.000
P40	158.33	PIER-15	158.32	0.01	0.000	0.000
P41	151.42	PIER-16	151.43	-0.01	0.000	0.000
P42	144.7	PIER-17	144.71	-0.01	0.000	0.000
P43	140.85	PIER-18	140.84	0.01	0.000	0.000
P44	139.57	PIER-19	139.57	0	0.000	0.000
P45	140.76	PIER-20	140.76	0	0.000	0.000
P46	142.42	PIER-21	142.42	0	0.000	0.000
P47	142.17	PIER-22	142.16	0.01	0.000	0.000
P48	141.94	PIER-23	141.94	0	0.000	0.000
P49	142.95	PIER-24	142.95	0	0.000	0.000
P50	144.44	PIER-25	144.43	0.01	0.000	0.000
P51	144.93	PIER-26	144.93	0	0.000	0.000
P52	146.67	PIER-27	146.66	0.01	0.000	0.000
P53	147.6	PIER-28	147.6	0	0.000	0.000
P54	146.25	PIER-29	146.26	-0.01	0.000	0.000
P55	147.97	PIER-30	147.98	-0.01	0.000	0.000
P56	148.17	PIER-31	148.17	0	0.000	0.000
P57	148.8	PIER-32	148.79	0.01	0.000	0.000
P58	149.5	PIER-33	149.49	0.01	0.000	0.000
P59	150.14	PIER-34	150.14	0	0.000	0.000
P60	151.01	PIER-35	151.02	-0.01	0.000	0.000
P61	151.64	PIER-36	151.65	-0.01	0.000	0.000
P62	152.54	PIER-37	152.54	0	0.000	0.000
P63	153.22	PIER-38	153.21	0.01	0.000	0.000
P64	153.87	PIER-39	153.88	-0.01	0.000	0.000



Perbandingan Volume Pier						
Model 3D		Model TLS		dV (m ³)	dV2 (m ³)	σ2 (m ³)
Nama	Volume (m ³)	Nama	Volume (m ³)			
P65	155	PIER-40	154.98	0.02	0.000	0.000
P66	156.39	PIER-41	156.4	-0.01	0.000	0.000
P68	157.74	PIER-43	157.72	0.02	0.000	0.000
P69	157.42	PIER-44	157.42	0	0.000	0.000
P70	156.58	PIER-45	156.56	0.02	0.000	0.000
P71	155.43	PIER-46	155.43	0	0.000	0.000
P72	154.23	PIER-47	154.22	0.01	0.000	0.000
P73	153.27	PIER-48	153.26	0.01	0.000	0.000
P74	152.31	PIER-49	152.3	0.01	0.000	0.000
P75	150.99	PIER-50	151	-0.01	0.000	0.000
P76	150.27	PIER-51	150.27	0	0.000	0.000
P77	148.58	PIER-52	148.58	0	0.000	0.000
P78	146.56	PIER-53	146.57	-0.01	0.000	0.000
P79	144.62	PIER-54	144.61	0.01	0.000	0.000
P80	143.61	PIER-55	143.61	0	0.000	0.000
P81	143.78	PIER-56	143.77	0.01	0.000	0.000
P82	143.24	PIER-57	143.23	0.01	0.000	0.000
P83	143.61	PIER-58	143.6	0.01	0.000	0.000
P84	144	PIER-59	143.99	0.01	0.000	0.000
P85	144.28	PIER-60	144.28	0	0.000	0.000
P86	145.53	PIER-61	145.54	-0.01	0.000	0.000
P87	146.01	PIER-62	146	0.01	0.000	0.000
P88	146.61	PIER-63	146.62	-0.01	0.000	0.000
P89	148.14	PIER-64	148.14	0	0.000	0.000
P90	149.06	PIER-65	149.06	0	0.000	0.000
P91	149.6	PIER-66	149.61	-0.01	0.000	0.000
P92	151.2	PIER-67	151.2	0	0.000	0.000
P93	151.05	PIER-68	151.05	0	0.000	0.000
P94	151.62	PIER-69	151.61	0.01	0.000	0.000
P95	151.2	PIER-70	151.19	0.01	0.000	0.000
P96	150.22	PIER-71	150.22	0	0.000	0.000
P97	149.67	PIER-72	149.66	0.01	0.000	0.000
P98	149.34	PIER-73	149.35	-0.01	0.000	0.000
P99	147.48	PIER-74	147.47	0.01	0.000	0.000
147.48 jumlah				0.13	0.007	0.007
rata-rata				0.002		
RMSE Volume				0.010	m³	
Simp. Baku				0.010	m³	

Lampiran 12 Perbandingan Volume Aspal

Perbandingan Volume Aspal				
Model 3D		Model TLS		Selisih (m ³)
Nama	Volume (m ³)	Nama	Volume (m ³)	
AspalP26P27	47.49	ASPHALT-01	47.71	-0.22
AspalP27P28	47.49	ASPHALT-02	47.48	0.01
AspalP28P29	47.49	ASPHALT-03	47.27	0.22
AspalP29P30	47.49	ASPHALT-04	47.86	-0.37
AspalP30P31	47.49	ASPHALT-05	47.71	-0.22
AspalP31P32	47.49	ASPHALT-06	46.91	0.58
AspalP33P34	47.49	ASPHALT-08	47.48	0.01
AspalP34P35	47.49	ASPHALT-09	47.41	0.08
AspalP35P36	47.49	ASPHALT-10	47.5	-0.01
AspalP36P37	47.49	ASPHALT-11	47.49	0
AspalP37P38	47.49	ASPHALT-12	47.59	-0.1
AspalP38P39	47.49	ASPHALT-13	47.21	0.28
AspalP44P45	39.06	ASPHALT-19	39.66	-0.6
AspalP45P46	47.49	ASPHALT-20	47.12	0.37
AspalP47P48	47.49	ASPHALT-22	47.56	-0.07
AspalP48P49	47.49	ASPHALT-23	47.27	0.22
AspalP49P50	47.49	ASPHALT-24	47.68	-0.19
AspalP50P51	47.49	ASPHALT-25	47.4	0.09
AspalP51P52	47.49	ASPHALT-26	47.48	0.01
AspalP52P53	47.49	ASPHALT-27	47.03	0.46
AspalP53P54	47.49	ASPHALT-28	46.93	0.56
AspalP54P55	47.49	ASPHALT-29	47.87	-0.38
AspalP55P56	47.49	ASPHALT-30	48.12	-0.63
AspalP59P60	47.49	ASPHALT-34	47.05	0.44
AspalP60P61	47.49	ASPHALT-35	47.24	0.25
AspalP61P62	47.49	ASPHALT-36	47.63	-0.14
AspalP62P63	47.49	ASPHALT-37	47.63	-0.14
AspalP63P64	47.49	ASPHALT-38	47.67	-0.18
AspalP64P65	47.49	ASPHALT-39	47.62	-0.13
AspalP65P66	47.49	ASPHALT-40	47.66	-0.17
AspalP66P67	47.49	ASPHALT-41	47.08	0.41
AspalP67P68	47.49	ASPHALT-42	47.22	0.27
AspalP68P69	47.49	ASPHALT-43	47.65	-0.16
AspalP69P70	47.49	ASPHALT-44	47.72	-0.23
AspalP70P71	47.49	ASPHALT-45	47.64	-0.15
AspalP71P72	47.49	ASPHALT-46	47.63	-0.14



Perbandingan Volume Aspal				
Model 3D		Model TLS		Selisih (m ³)
Nama	Volume (m ³)	Nama	Volume (m ³)	
AspalP72P73	47.49	ASPHALT-47	47.65	-0.16
AspalP73P74	47.49	ASPHALT-48	47.34	0.15
AspalP75P76	47.49	ASPHALT-50	47.33	0.16
AspalP76P77	47.49	ASPHALT-51	47.61	-0.12
AspalP78P79	39.06	ASPHALT-53	38.08	0.98
AspalP85P86	47.49	ASPHALT-60	47.66	-0.17
AspalP86P87	47.49	ASPHALT-61	47.66	-0.17
AspalP87P88	47.49	ASPHALT-62	47.02	0.47
AspalP89P90	39.06	ASPHALT-64	39.85	-0.79
AspalP90P91	47.49	ASPHALT-65	47.65	-0.16
AspalP91P92	47.49	ASPHALT-66	47.67	-0.18
AspalP92P93	47.49	ASPHALT-67	47.64	-0.15
AspalP93P94	47.49	ASPHALT-68	47.61	-0.12
AspalP94P95	47.49	ASPHALT-69	47.03	0.46
Jumlah	2349.21		2348.98	0.23

Lampiran 13 Perbandingan Koordinat Hasil Modeling 3D dan Data Leger Jalan

Perbandingan Koordinat												
Model 3D							dX	dY	dZ	$\sigma X2$	$\sigma Y2$	$\sigma Z2$
Titik	X	Y	Z	X	Y	Z						
KM 5100	770603.4365	9432510.826	3.914	770603.621	9432510.847	3.914	-0.185	-0.021	0.000	0.018	0.001	0.000
KM 5200	770586.7072	9432412.262	4.063	770586.515	9432412.06	4.063	0.192	0.202	0.000	0.058	0.064	0.000
KM 5300	770576.4135	9432312.649	3.923	770576.284	9432312.421	3.923	0.130	0.227	0.000	0.032	0.078	0.000
KM 5400	770565.8389	9432213.411	5.542	770565.811	9432213.357	5.542	0.028	0.054	0.000	0.006	0.011	0.000
KM 5500	770560.4642	9432113.36	9.323	770560.582	9432113.445	9.323	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 5600	770544.6419	9432014.402	13.469	770544.493	9432014.467	13.469	0.149	-0.065	0.000	0.039	0.000	0.000
KM 5700	770532.9762	9431915.07	17.472	770533.094	9431915.155	17.472	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 5800	770520.1193	9431817.841	20.780	770520.069	9431817.969	20.78	0.050	-0.128	0.000	0.010	0.006	0.000
KM 5900	770500.4682	9431718.047	23.41	770500.586	9431718.132	23.41	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6000	770487.4602	9431620.489	22.451	770487.578	9431620.574	22.451	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6100	770467.5642	9431520.601	21.132	770467.682	9431520.686	21.132	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6200	770448.6481	9431423.505	18.115	770448.587	9431423.527	18.115	0.061	-0.022	0.000	0.012	0.001	0.000
KM 6300	770428.3892	9431324.395	15.231	770428.507	9431324.48	15.231	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6400	770409.6187	9431227.008	13.529	770409.446	9431227.154	13.529	0.173	-0.146	0.000	0.049	0.009	0.000
KM 6500	770389.0922	9431128.331	13.558	770389.21	9431128.416	13.567	-0.118	-0.085	-0.009	0.005	0.001	0.000
KM 6600	770371.8096	9431030.615	13.764	770371.664	9431030.808	13.764	0.146	-0.193	0.000	0.038	0.020	0.000
KM 6700	770358.8702	9430930.866	14.503	770358.988	9430930.951	14.503	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6800	770337.1842	9430832.978	14.449	770337.302	9430833.063	14.449	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 6900	770325.3032	9430733.415	15.078	770325.421	9430733.5	15.078	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7000	770304.2652	9430636.554	14.971	770304.383	9430636.637	14.971	-0.118	-0.083	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7100	770286.8422	9430537.216	15.372	770286.96	9430537.301	15.372	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7200	770270.1302	9430434.371	15.444	770270.22	9430434.276	15.444	-0.090	0.095	0.000	0.002	0.022	0.000
KM 7300	770256.2652	9430339.504	15.936	770256.383	9430339.589	15.936	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000

Perbandingan Koordinat												
Model 3D							dX	dY	dZ	$\sigma X2$	$\sigma Y2$	$\sigma Z2$
Titik	X	Y	Z	X	Y	Z						
KM 7400	770242.3236	9430237.041	16.163	770242.38	9430237.013	16.163	-0.056	0.028	0.000	0.000	0.006	0.000
KM 7500	770228.2972	9430141.183	16.554	770228.415	9430141.268	16.554	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7600	770214.4952	9430042.138	16.758	770214.613	9430042.223	16.758	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7700	770200.4502	9429943.2	16.567	770200.568	9429943.285	16.567	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 7800	770187.3667	9429840.061	16.192	770187.313	9429840.235	16.192	0.054	-0.174	0.000	0.011	0.015	0.000
KM 7900	770176.2602	9429744.743	15.863	770176.378	9429744.828	15.863	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8000	770170.2401	9429644.85	15.625	770170.056	9429644.671	15.625	0.184	0.179	0.000	0.054	0.053	0.000
KM 8100	770155.5492	9429545.341	15.269	770155.667	9429545.426	15.269	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8200	770135.3934	9429445.349	14.792	770135.273	9429445.347	14.792	0.120	0.002	0.000	0.029	0.003	0.000
KM 8300	770120.2672	9429348.568	14.813	770120.385	9429348.653	14.813	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8400	770106.5732	9429249.238	15.005	770106.691	9429249.323	15.005	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8500	770097.4992	9429149.429	15.369	770097.617	9429149.514	15.369	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8600	770080.1192	9429050.888	15.665	770080.237	9429050.973	15.665	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8700	770053.4492	9428953.966	15.909	770053.567	9428954.051	15.909	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 8800	770027.3689	9428854.216	16.101	770027.426	9428854.106	16.101	-0.057	0.110	0.000	0.000	0.026	0.000
KM 8900	769998.1362	9428761.742	16.199	769998.254	9428761.827	16.199	-0.118	-0.085	0.000	0.005	0.001	0.000
KM 9000	769967.0622	9428663.453	15.868	769967.082	9428663.65	15.868	-0.020	-0.197	0.000	0.001	0.021	0.000
Akhir ruas	769942.4429	9428565.849	15.453	769942.561	9428565.934	15.406	-0.118	-0.085	0.047	0.005	0.001	0.002
LJ2	769865.6058	9428258.069	4.774	769865.599	9428258.082	4.774	0.007	-0.013	0.000	0.003	0.001	0.000
Jumlah							-2.060	-2.184	0.038	0.483	0.368	0.002
Rata2							-0.049	-0.052	0.001			

RMSE Koord	0.157
Simp Baku Koord	0.141