

SKRIPSI

PEMODELAN LANDSCAPE DENGAN TOPOSOLID
DALAM Pengerjaan SITE PLAN
PADA PROYEK SMU UNGGUL GARUDA



Leo Mukti Tri Prasajo
NIM : 222220100012

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Hendri Hermawan, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2026

HALAMAN PENGESAHAN
PEMODELAN LANDSCAPE DENGAN TOPOSOLID
DALAM Pengerjaan SITE PLAN
PADA PROYEK SMU UNGGUL GARUDA

Leo Mukti Tri Prasajo
222220100012

Sidoarjo, 12 Juli 2026

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Atik Wahyuni, ST., MT.
NIDN. 1003107801

Ir. Hendri Hermawan, ST., MT.
NIDN. 0714088102

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan *Landscape* dengan *Toposolid* dalam Pengerjaan *Site Plan* pada Proyek SMU Unggul Garuda”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Hendri Hermawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Atik Wahyuni, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan dukungan selama masa perkuliahan.
4. Pihak proyek SMU Unggul Garuda yang telah memberikan izin dan akses data untuk keperluan penelitian ini.
5. Keluarga dan rekan-rekan yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun materiil selama proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang *Building Information Modeling* dalam dunia konstruksi.

Sidoarjo, 12 Juli 2026

Penulis

ABSTRAK

Pemodelan kontur lahan (*terrain*) merupakan tahapan krusial dalam perencanaan pembangunan gedung, khususnya pada proyek dengan kondisi topografi yang kompleks seperti SMU Unggul Garuda di wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan fitur Toposolid pada perangkat lunak Autodesk Revit 2025 sebagai alternatif metode pemodelan permukaan tanah eksisting dalam alur kerja *Building Information Modeling* (BIM), menggantikan fitur Toposurface yang pada versi Civil 3D. Data topografi diperoleh dari berkas survei berformat DXF hasil ekstraksi Autodesk Civil 3D, yang memuat 15.531 titik *vertex* garis kontur tiga dimensi, serta tabel koordinat survei sebanyak 110 titik dengan sistem proyeksi UTM dan rentang elevasi antara 827–868 meter. Metode penelitian yang digunakan meliputi proses impor data CAD, seleksi *layer* kontur yang relevan, triangulasi otomatis oleh sistem, hingga pengaturan *Type Properties* berupa ketebalan dasar 300 mm dan material *Site Earth*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitur Toposolid mampu menghasilkan model permukaan tanah yang akurat secara geometris dan efisien secara komputasi, serta memberikan fleksibilitas lebih tinggi dalam proses *editing* dan integrasi dengan elemen bangunan lain dibandingkan metode konvensional. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi praktisi BIM dalam mengoptimalkan alur kerja pemodelan lanskap pada proyek konstruksi dengan topografi kompleks.

Kata kunci: Toposolid, *Building Information Modeling*, Autodesk Revit, pemodelan kontur lahan, data DXF

ABSTRACT

Terrain modeling is a critical stage in building planning, particularly for projects situated on complex topographical conditions, such as the SMU Unggul Garuda site in East Nusa Tenggara (NTT). This study aims to examine the application of the Toposolid feature in Autodesk Revit 2024 as an alternative method for modeling existing ground surfaces within a Building Information Modeling (BIM) workflow, replacing the discontinued Toposurface feature in recent Revit versions. Topographic data were obtained from a survey file in DXF format extracted from Autodesk Civil 3D, comprising 15,531 three-dimensional contour line vertices and a survey coordinate table of 110 points using the UTM projection system, with an elevation range of 827–868 meters. The research method encompasses the CAD data import process, selection of relevant contour layers, automatic triangulation performed by the system, and configuration of Type Properties, including a base thickness of 300 mm and Site - Earth material assignment. The results indicate that the Toposolid feature is capable of producing geometrically accurate and computationally efficient ground surface models, offering greater flexibility in editing and integration with other building elements compared to conventional methods. This research is expected to serve as a reference for BIM practitioners in optimizing landscape modeling workflows for construction projects with complex topography.

Keywords: *Toposolid, Building Information Modeling, Autodesk Revit, terrain modeling, DXF data*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.5.1 Manfaat Teoritis	5
1.5.2 Manfaat Praktis	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II.....	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 Konsep Dasar <i>Building Information Modeling</i> (BIM).....	7
2.3 Penerapan BIM pada Proyek Infrastruktur dan Perancangan Tapak	8
2.4 Pemodelan Parametrik dan Prosedural dalam BIM	9
2.5 Interoperabilitas Data dan Tantangan Implementasi BIM	10
2.6 BIM untuk <i>Landscape Architecture</i> dan Site Layout	11
2.7 Perkembangan Fitur Topografi pada Autodesk Revit: Toposurface Menuju Toposolid	12
2.8 Rangkuman dan Posisi Penelitian	13
2.9 Matriks Ringkasan Studi Literatur	13
BAB III	15
3.1 Jenis Penelitian.....	15
3.2 Lokasi dan Objek Penelitian	15
3.3 Data dan Sumber Data	15
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	16
3.5 Variabel Penelitian	17
3.6 Prosedur Penelitian.....	17

3.6.1 Tahap Persiapan Penelitian	17
3.6.2 Tahap Pemodelan dengan Toposolid	18
3.6.3 Tahap Analisis.....	18
3.6.4 Tahap Dokumentasi dan Evaluasi.....	18
3.7 Teknik Analisis Data.....	18
3.8 Kerangka Berpikir Penelitian	19
BAB IV	20
4.1 Gambaran Umum Proyek SMU Unggul Garuda	20
Gambar 4.1 <i>Site Plan</i> Tiga Dimensi Proyek SMU Unggul Garuda” di bawah	21
4.1.1 Kondisi Topografi Eksisting	22
Gambar 4.2 Kondisi Topografi Eksisting Proyek SMU Unggul Garuda.....	23
4.1.2 Data dan Sumber Data yang Digunakan	23
4.1.1 Kondisi Topografi Eksisting	25
A. Rentang Elevasi.....	25
B. Cakupan Area	26
C. Karakteristik Kemiringan (dihitung dari jarak antar-garis kontur)	26
D. Area dengan Kemiringan Signifikan (Curam)	26
Dari pembagian grid area (Barat–Tengah–Timur × Utara–Tengah–Selatan), zona dengan kemiringan median tertinggi (>15%, kategori agak curam–curam):.....	26
E. Area Relatif Datar.....	27
4.1.2 Data dan Sumber Data yang Digunakan	27
4.2 Proses Penerapan Toposolid	27
4.2.1 Impor Data Topografi	27
1. Persiapan file sebelum impor	28
2. Impor ke Revit 2025 — pakai Toposolid (bukan Toposurface lama)	28
3. Pengaturan satuan (Units)	29
4. Pengaturan sistem koordinat	29
5. Permasalahan teknis yang umum ditemui di Revit 2025	30
4.2.2 Pembentukan Model Toposolid	32
A. Pembuatan Objek Toposolid dari Data yang Telah Diimpor.....	33
C. Pengaturan Parameter Material	35
D. Ringkasan Parameter.....	36
4.2.3 Penyesuaian Elevasi, Kemiringan, dan Gradasi.....	37
4.2.4 Operasi Subtract dan Merge dengan Elemen Bangunan.....	43
4.2.5 Integrasi dengan Model Bangunan dan Infrastruktur.....	48
4.3 Eksperimen Pemodelan: Toposolid vs Toposurface	53

4.3.1 Hasil Pemodelan dengan Toposurface	54
4.3.2 Hasil Pemodelan dengan Toposolid.....	58
4.3.3 Tabel Perbandingan Toposolid dan Toposurface.....	59
4.4 Analisis Efisiensi Waktu Pemodelan	62
4.5 Analisis Akurasi Representasi Kontur	63
4.6 Analisis Kemudahan <i>Editing</i> dan Revisi Desain	65
BAB V	69
5.1 Pembahasan Penerapan Toposolid pada Proyek SMU Unggul Garuda.....	69
5.2 Kelebihan Toposolid Dibandingkan Toposurface dan CAD Konvensional	71
A. Kemampuan Interaksi Solid dengan Elemen Bangunan (<i>Subtract/Merge</i>) ..	71
B. Pembaruan Otomatis (Parametrik) terhadap Perubahan Elevasi atau Geometri.....	72
C. Potensi Pengurangan Waktu Pengerjaan Revisi Dibandingkan Metode Konvensional	73
5.3 Keterbatasan dan Kendala Penggunaan Toposolid	74
5.4 Kontribusi Toposolid terhadap Efisiensi dan Akurasi Perancangan Tapak Berbasis BIM	76
5.5 Perbandingan dengan Temuan Penelitian Terdahulu.....	76
5.6 Implikasi Praktis bagi Proyek Sejenis.....	80
BAB VI	83
6.1 Kesimpulan	83
6.2 Saran.....	83
6.2.1 Saran bagi Praktisi/Konsultan Perencana.....	84
6.2.2 Saran bagi Penelitian Selanjutnya.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	85
Lampiran 1. Dokumentasi Data Topografi	87
Lampiran 2. Dokumentasi Proses Pemodelan Toposolid	96
.....	96
.....	97
.....	97
.....	98
.....	98
.....	99
.....	99
.....	100

.....	100
.....	101
Lampiran 3. Dokumentasi Proses Pemodelan Toposurface (Pembanding)	102
.....	102
.....	102
.....	103
.....	
Lampiran 4. Hasil Akhir Model 3D <i>Site Plan</i>	104
.....	104
.....	104
Lampiran 5. Lembar Bimbingan Skripsi.....	105
.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Matriks Ringkasan Studi Literatur.....	13
Tabel 4.1. Hasil Survey Koordinat dan Elevasi	24
Tabel 4.2. Ringkasan Data Kunci Proyek SMU Unggul Garuda.....	34
Tabel 4.3. Karakteristik Kemiringan.....	36
Tabel 4.4. Ringkasan Parameter.....	48
Tabel 4.5. Ringkasan Layer pada Berkas DXF Rencana Pematangan Lahan yang Digunakan sebagai Acuan Penyesuaian Elevasi dan Kemiringan	49
Tabel 4.6. Contoh Perhitungan Kemiringan Indikatif Antar-Titik Elevasi Rencana Jalan.....	53
Tabel 4.7. Ringkasan Konfigurasi Integrasi Model	65
Tabel 4.8. Ringkasan Hasil Pemodelan Toposurface.....	72
Tabel 4.9. Perbandingan Toposolid dan Toposurface.....	74
Tabel 4.10. Analisis Efisiensi Waktu Pemodelan	77
Tabel 4.11. Ringkasan Akurasi Vertikal (RMSE) Toposolid dan Toposurface terhadap 104 Titik Koordinat Survei.....	79
Tabel 4.12. Perbandingan Jumlah Langkah dan Waktu Revisi Desain	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Site Plan Tiga Dimensi Proyek SMU Unggul Garuda.....	22
Gambar 4.2. Kondisi Topografi Eksisting Proyek SMU Unggul Garuda.....	24
Gambar 4.3. Topografi Setelah Diimpor ke dalam Revit	42
Gambar 4.4. Flowchart Impor Data Topografi	43
Gambar 4.5. Workflow Penyesuaian Elevasi, Kemiringan, dan Gradasi	56
Gambar 4.6. Diagram Workflow Operasi Subtract dan Merge dengan Elemen Bangunan	61
Gambar 4.7. Workflow Integrasi dengan Model Bangunan dan Infrastruktur	67
Gambar 4.8. Diagram Persentase Efisiensi Waktu Pemodelan Toposolid dibandingkan Toposurface	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan tapak (*site plan*) merupakan tahapan krusial dalam proses perancangan arsitektur dan kawasan, karena pada tahap inilah hubungan antara bangunan, sirkulasi, vegetasi, dan kondisi topografi lahan ditentukan secara menyeluruh. Salah satu komponen penting dalam pengerjaan *site plan* adalah pemodelan *landscape*, yaitu representasi tiga dimensi dari permukaan tanah beserta seluruh elemen lunak (*soft material*) dan elemen keras (*hard material*) yang menyertainya, seperti kontur, area resapan, jalur pedestrian, dan ruang terbuka hijau. Akurasi pemodelan *landscape* sangat menentukan kualitas analisis kemiringan lahan, perhitungan volume *cut and fill*, drainase, hingga kesesuaian desain terhadap kondisi eksisting tapak.

Pada praktiknya, proses pemodelan *landscape* masih banyak dikerjakan secara konvensional menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) dua dimensi, di mana kontur tapak digambarkan dalam bentuk garis-garis elevasi yang kemudian diinterpretasikan secara manual ke dalam potongan maupun visualisasi tiga dimensi. Pendekatan ini memiliki beberapa kelemahan, di antaranya tingkat akurasi yang rendah terhadap perubahan data lapangan, proses revisi desain yang memakan waktu lama karena setiap perubahan kontur harus digambar ulang secara manual, serta minimnya integrasi data antara model lanskap dengan elemen bangunan dan infrastruktur lain dalam satu lingkungan kerja yang sama.

Perkembangan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) menawarkan solusi atas permasalahan tersebut melalui pendekatan pemodelan parametrik yang memungkinkan seluruh elemen desain saling terhubung dan *update* secara otomatis ketika terjadi perubahan data maupun geometri. Sebagaimana diuraikan oleh Biancardo, Capano, de Oliveira, dan Tibaut (2020) dalam penelitiannya mengenai integrasi BIM dan *procedural modeling* untuk desain jalan, penerapan pemodelan parametrik melalui visual programming memungkinkan perancang membangun model tiga dimensi yang lebih fleksibel

sekaligus memperkaya geometri dengan informasi semantik sesuai standar *Industry Foundation Classes (IFC)*. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa kemampuan *procedural modeling* untuk membentuk hubungan antar objek secara dinamis memberikan keunggulan signifikan dibandingkan pemodelan manual, baik dalam efisiensi waktu pengerjaan maupun konsistensi hasil ketika parameter desain diubah.

Salah satu fitur BIM yang relevan untuk menjawab kebutuhan pemodelan *landscape* dalam *site plan* adalah *Toposolid*, yaitu objek topografi parametrik yang tersedia pada perangkat lunak Autodesk Revit sejak versi 2025. Berbeda dengan pendekatan *mesh* atau garis kontur konvensional pada *Toposurface*, *Toposolid* memungkinkan perancang membentuk permukaan tanah sebagai elemen *solid* tiga dimensi yang dapat diberi data ketinggian, kemiringan, dan material, serta dapat dipotong (*subtract*) maupun digabungkan (*merge*) dengan elemen bangunan dan infrastruktur lain secara langsung. Dengan demikian, perubahan pada data topografi maupun desain bangunan di atasnya dapat secara otomatis memperbarui geometri lanskap tanpa memerlukan penggambaran ulang secara manual, sejalan dengan prinsip parametrik dan interoperabilitas BIM yang ditekankan dalam berbagai penelitian terkait *procedural modeling* pada infrastruktur.

Permasalahan pemodelan *landscape* ini secara nyata dihadapi pada proyek pembangunan SMU Unggul Garuda, sebuah proyek pendidikan yang memiliki kondisi tapak dengan variasi elevasi cukup signifikan antara area bangunan, lapangan, area parkir, dan ruang terbuka hijau. Kompleksitas kontur tapak tersebut menuntut ketelitian tinggi dalam pengerjaan *site plan*, khususnya dalam menentukan elevasi lantai dasar bangunan, kemiringan akses kendaraan dan pejalan kaki, serta sistem drainase yang sesuai dengan kondisi topografi eksisting. Apabila proses pemodelan *landscape* masih dilakukan secara konvensional, risiko ketidaksesuaian antara desain dan kondisi lapangan menjadi lebih besar, yang pada akhirnya dapat berdampak pada pembengkakan biaya maupun waktu pelaksanaan konstruksi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penerapan *Toposolid* pada SMU Unggul Garuda adalah proyek pembangunan sekolah menengah atas yang berlokasi di wilayah Desa Karang Siri, Kota Soe, Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), NTT, dengan kondisi topografi lahan yang cukup kompleks dan berkontur diharapkan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pemodelan *landscape* selama proses pengerjaan *site plan*. Penggunaan *Toposolid* memungkinkan tim perancang melakukan simulasi kontur, perhitungan volume pekerjaan tanah, serta koordinasi desain lanskap dengan elemen arsitektural dan infrastruktur lain secara terintegrasi dalam satu model BIM. Pendekatan ini sejalan dengan temuan dalam literatur *procedural modeling* dan BIM yang menunjukkan bahwa integrasi pemodelan parametrik mampu meningkatkan fleksibilitas desain serta mempermudah pertukaran informasi antar disiplin kerja dalam suatu proyek.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan membahas penerapan pemodelan *landscape* menggunakan *Toposolid* dalam pengerjaan *site plan* pada proyek SMU Unggul Garuda, untuk mengetahui sejauh mana penggunaan teknologi BIM tersebut dapat meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kualitas koordinasi desain dibandingkan dengan metode pemodelan *landscape* konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses penerapan fitur *Toposolid* dalam pemodelan *site plan* pada proyek SMU Unggul Garuda?
2. Apa kelebihan dan keterbatasan penggunaan *Toposolid* dibandingkan dengan metode sebelumnya, yaitu *Toposurface* dan CAD konvensional?
3. Sejauh mana penggunaan *Toposolid* dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi proses perancangan tapak berbasis BIM pada proyek SMU Unggul Garuda?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan permasalahan agar pembahasan tetap terarah dan fokus pada tujuan penelitian. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup pembahasan hanya berfokus pada penggunaan fitur *Toposolid* pada perangkat lunak Autodesk Revit untuk pengolahan dan pemodelan kontur tanah pada proyek SMU Unggul Garuda.
2. Penelitian ini tidak membahas analisis struktur galian pondasi secara mendalam; pembahasan struktur hanya disinggung sebatas pengaruhnya terhadap bentuk dan elevasi permukaan tanah pada model *Toposolid*.
3. Analisis yang dilakukan hanya mencakup efisiensi waktu pengerjaan, akurasi representasi kontur, dan kemudahan proses pemodelan menggunakan *Toposolid* dibandingkan dengan metode sebelumnya (*Toposurface* dan CAD).
4. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data topografi proyek SMU Unggul Garuda, baik dalam bentuk file digital (CAD/DWG, CSV) maupun hasil survei lapangan yang relevan.
5. Hasil akhir penelitian ini berupa model *site plan* digital tiga dimensi menggunakan *Toposolid*, tanpa proses *rendering* untuk visualisasi arsitektural yang detail (Apa adanya di Revit).
6. Aspek biaya proyek, waktu pelaksanaan konstruksi di lapangan, dan perhitungan volume tanah secara aktual tidak dibahas secara rinci, melainkan hanya digunakan sebagai data pendukung dalam analisis desain digital.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan prosedur implementasi fitur *Toposolid* dalam pemodelan *site plan* pada proyek SMU Unggul Garuda.
2. Menganalisis kelebihan dan keterbatasan fitur *Toposolid* dalam membantu proses desain tapak arsitektural dibandingkan dengan metode *Toposurface* dan CAD konvensional.
3. Memberikan rekomendasi terukur dalam penggunaan *Toposolid* agar tercapai efisien pengerjaan *modeling* kontur

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, antara lain:

1.5.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian akademis mengenai penerapan teknologi *Building Information Modeling*, khususnya fitur *Toposolid*, dalam proses pemodelan *landscape* dan *site plan*, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas topik sejenis.

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Bagi mahasiswa dan akademisi: menjadi bahan referensi dan pembelajaran mengenai penerapan *Toposolid* sebagai alternatif metode pemodelan *landscape* berbasis BIM.
2. Bagi praktisi dan konsultan perencana: memberikan gambaran praktis mengenai efisiensi dan akurasi yang dapat diperoleh dengan menggunakan *Toposolid* dibandingkan metode konvensional, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode kerja pada proyek serupa.

3. Bagi pihak proyek SMU Unggul Garuda: hasil penelitian ini dapat menjadi bahan evaluasi dan dokumentasi teknis dalam proses perancangan *site plan* proyek.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai isi penelitian ini, sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN: latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. BAB II STUDI LITERATUR: berisi tinjauan literatur BIM, pemodelan parametrik, hingga perkembangan *Toposurface* menuju *Toposolid*.
3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN: jenis penelitian, lokasi dan objek penelitian, data dan sumber data, teknik pengumpulan data, variabel penelitian, prosedur penelitian, serta teknik analisis data.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: gambaran umum proyek SMU Unggul Garuda, proses penerapan *Toposolid* secara bertahap, hasil eksperimen pemodelan, serta perbandingan *Toposolid* dan *Toposurface*.
5. BAB V PEMBAHASAN: (Lanjutan/Analisis): analisis mendalam mengenai efisiensi, akurasi, dan kemudahan penggunaan *Toposolid*, termasuk kendala dan solusi selama pemodelan.
6. BAB VI PENUTUP: kesimpulan hasil penelitian serta saran bagi praktisi dan penelitian selanjutnya.

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Pendahuluan

Bab ini menyajikan tinjauan atau studi literatur yang menjadi landasan konseptual dan teoretis bagi penelitian mengenai penerapan fitur *Toposolid* dalam pemodelan *landscape* pada pengerjaan *site plan* proyek SMU Unggul Garuda. Studi literatur disusun secara tematik, dimulai dari konsep dasar *Building Information Modeling* (BIM), penerapan BIM pada proyek infrastruktur dan tapak, pendekatan pemodelan parametrik dan prosedural, tantangan interoperabilitas BIM, hingga kajian khusus mengenai perkembangan alat topografi pada perangkat lunak Autodesk Revit, yaitu dari *Toposurface* menuju *Toposolid*. Penelusuran literatur ini bertujuan untuk memposisikan penelitian di antara temuan-temuan terdahulu serta mengidentifikasi celah penelitian (*research gap*) yang akan diisi oleh penelitian ini.

2.2 Konsep Dasar *Building Information Modeling* (BIM)

Building Information Modeling (BIM) merupakan pendekatan pemodelan berbasis objek yang merepresentasikan karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan atau infrastruktur secara digital, sekaligus menjadi sumber informasi bersama yang dapat digunakan oleh berbagai pihak sepanjang siklus hidup proyek. Eastman, Teicholz, Sacks, dan Liston (2011) menguraikan BIM sebagai perubahan paradigma dari penggambaran dua dimensi menuju pemodelan parametrik tiga dimensi yang setiap elemennya membawa data (*data-rich object*), sehingga perubahan pada satu bagian model dapat memperbarui bagian-bagian lain yang saling terkait secara otomatis. Konsep inilah yang mendasari keunggulan BIM dibandingkan pendekatan CAD konvensional, terutama dalam hal konsistensi antar-gambar kerja, kemudahan koordinasi antar disiplin, serta efisiensi proses revisi desain.

Dalam konteks yang lebih luas, Ozturk (2020) menekankan pentingnya interoperabilitas dalam ekosistem BIM pada industri arsitektur, teknik,

konstruksi, dan pengelolaan fasilitas (AECO/FM), yaitu kemampuan berbagai perangkat lunak dan format data untuk saling bertukar informasi tanpa kehilangan makna maupun akurasi geometri. Interoperabilitas menjadi isu penting ketika data topografi hasil survei lapangan, yang umumnya berasal dari perangkat lunak CAD, harus diintegrasikan ke dalam lingkungan kerja BIM seperti Autodesk Revit sebagaimana yang menjadi konteks langsung penelitian ini pada proses impor data DWG dan CSV ke dalam fitur *Toposolid*.

2.3 Penerapan BIM pada Proyek Infrastruktur dan Perancangan Tapak

Penerapan BIM tidak lagi terbatas pada pemodelan bangunan gedung, tetapi juga berkembang pesat pada proyek infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan kawasan. Bradley, Li, Lark, dan Dunn (2016) memberikan tinjauan menyeluruh mengenai adopsi BIM pada sektor infrastruktur dari perspektif kontraktor, menunjukkan bahwa manfaat BIM pada proyek infrastruktur mencakup peningkatan koordinasi desain, deteksi bentrokan (*clash detection*), serta efisiensi dokumentasi. Sejalan dengan hal tersebut, Costin, Adibfar, Hu, dan Chen (2018) merangkum berbagai aplikasi BIM pada infrastruktur transportasi sekaligus mengidentifikasi tantangan implementasinya, termasuk keterbatasan alat pemodelan topografi pada perangkat lunak BIM konvensional yang pada mulanya dikembangkan untuk pemodelan bangunan gedung, bukan permukaan tanah berskala besar.

Pada skala perancangan tapak (*site*), Kumar dan Cheng (2015) mengembangkan kerangka kerja perencanaan tata letak lokasi konstruksi (*site layout*) berbasis BIM secara otomatis, yang menegaskan bahwa integrasi data spasial tapak termasuk topografi ke dalam model BIM dapat mendukung optimasi penempatan fasilitas proyek dan jalur sirkulasi. Liu, Wang, dan Wu (2017) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa penerapan BIM pada tahap desain dan konstruksi *site layout* mampu meningkatkan efisiensi koordinasi antara elemen tapak dan elemen bangunan, sebuah temuan yang relevan dengan proses *subtract* dan *merge* antara *Toposolid* dan elemen bangunan yang dibahas pada penelitian ini.

Beberapa penelitian juga membahas integrasi BIM dengan data geoteknik dan topografi secara lebih spesifik. Tschuchnigg dan Lederhilger (2019) mengkaji penerapan BIM pada bidang geoteknik untuk konstruksi jalan dan jalur kereta api, menyoroti pentingnya representasi lapisan tanah yang akurat dalam model BIM guna mendukung analisis galian dan timbunan (*cut and fill*). Sementara itu, Khan, Ali, Skibniewski, Lee, dan Park (2019) mengusulkan pendekatan pemodelan keselamatan galian (*excavation safety*) berbasis BIM dan visual *programming language* (VPL), yang memperlihatkan bahwa representasi permukaan tanah sebagai elemen bervolume bukan sekadar *mesh* permukaan memberikan keuntungan dalam analisis kedalaman dan keselamatan galian, sebuah karakteristik yang secara langsung dimiliki oleh elemen *Toposolid* dibandingkan *Toposurface*.

2.4 Pemodelan Parametrik dan Prosedural dalam BIM

Konsep pemodelan parametrik menjadi inti dari keunggulan BIM dibandingkan CAD konvensional, karena memungkinkan geometri model diperbarui secara otomatis ketika parameter atau data masukan berubah. Biancardo, Capano, de Oliveira, dan Tibaut (2020), sebagaimana telah disinggung pada Bab I, mengintegrasikan BIM dengan *procedural modeling* melalui visual programming untuk desain jalan, dan menunjukkan bahwa pendekatan ini memungkinkan pembentukan geometri kompleks termasuk permukaan tanah yang mengikuti kontur alami secara lebih fleksibel dibandingkan pemodelan manual, sekaligus memperkaya model dengan informasi semantik sesuai standar Industry Foundation Classes (IFC).

Vilgertshofer dan Borrmann (2017) mengembangkan metode *graph rewriting* untuk pembuatan model infrastruktur parametrik secara semi-otomatis, yang relevan dengan proses triangulasi otomatis (*Delaunay triangulation*) yang dilakukan Revit ketika membentuk elemen *Toposolid* dari titik-titik data survei. Demikian pula, Girardet dan Botton (2021) menerapkan pendekatan BIM parametrik untuk desain dan analisis proyek jembatan, menegaskan bahwa keunggulan utama pendekatan parametrik terletak pada kemampuannya mempertahankan konsistensi antar-elemen desain ketika terjadi

perubahan pada salah satu bagian model prinsip yang menjadi salah satu variabel kinerja yang diuji pada penelitian ini, yaitu pembaruan otomatis *Toposolid* terhadap perubahan elevasi atau geometri bangunan di atasnya.

Singer dan Borrmann (2015) turut mengusulkan pendekatan *knowledge-based engineering* untuk desain infrastruktur, yang menegaskan bahwa penyimpanan aturan dan hubungan antar objek (*relational constraints*) dalam model parametrik dapat mempercepat proses iterasi desain dibandingkan pendekatan manual berulang. Prinsip inilah yang mendasari ekspektasi terhadap efisiensi waktu revisi pada penggunaan *Toposolid* dibandingkan *Toposurface*, sebagaimana diuji secara eksperimental pada Bab III penelitian ini.

2.5 Interoperabilitas Data dan Tantangan Implementasi BIM

Meskipun BIM menawarkan banyak keunggulan, sejumlah penelitian menegaskan bahwa implementasinya tidak lepas dari tantangan teknis, khususnya pada aspek interoperabilitas data lintas perangkat lunak. Volk, Stengel, dan Schultmann (2014), sebagaimana dirujuk pada Bab IV, melakukan kajian literatur yang luas mengenai penerapan BIM pada bangunan eksisting dan mengidentifikasi bahwa tantangan interoperabilitas data serta kurva pembelajaran (*learning curve*) pengguna menjadi hambatan utama dalam adopsi BIM, termasuk pada proses konversi data lapangan (survei, CAD) ke dalam format BIM native. Amer dan Hasan (2017) memperkuat temuan tersebut melalui kajian mengenai spesifikasi *Level of Detail* (LOD) dan tantangan format berkas pada proyek infrastruktur, yang menyoroti bahwa perbedaan struktur data antar perangkat lunak misalnya antara garis kontur dua dimensi pada AutoCAD dengan permukaan tiga dimensi pada Revit dapat menimbulkan kehilangan informasi jika proses konversi tidak dilakukan dengan cermat.

Chong, Lopez, Wang, Wang, dan Zhao (2016) melakukan analisis komparatif terhadap adopsi dan penggunaan BIM pada proyek infrastruktur jalan, dan menemukan bahwa keberhasilan implementasi BIM sangat dipengaruhi oleh kesiapan data awal (*data readiness*), termasuk kualitas data topografi yang diperoleh dari survei lapangan. Temuan ini relevan dengan

kondisi data pada penelitian ini, di mana data kontur proyek SMU Unggul Garuda dalam format DWG memerlukan pemeriksaan dan penyesuaian elevasi (nilai Z) sebelum dapat digunakan secara langsung oleh fitur *Toposolid*. Floros, Boyes, Owens, dan Ellul (2019) turut menegaskan pentingnya standar IFC untuk infrastruktur guna menjembatani interoperabilitas antar pihak, meskipun standar tersebut pada praktiknya belum sepenuhnya mengakomodasi elemen topografi kompleks seperti yang dijumpai pada tapak berkontur curam.

2.6 BIM untuk *Landscape Architecture* dan *Site Layout*

Penelitian yang secara spesifik mengaitkan BIM dengan bidang arsitektur lanskap masih tergolong terbatas dibandingkan penerapan BIM pada bangunan gedung maupun infrastruktur transportasi. Son, Kim, dan Kim (2017) melakukan studi mengenai efek adopsi BIM dan metode implementasinya dalam bidang *landscape architecture* melalui analisis kasus-kasus di luar negeri, dan menemukan bahwa penerapan BIM pada bidang ini umumnya masih terkendala oleh keterbatasan alat pemodelan topografi bawaan perangkat lunak BIM yang tersedia pada saat penelitian tersebut dilakukan, sehingga banyak praktisi lanskap tetap bergantung pada perangkat lunak GIS atau CAD khusus lanskap untuk sebagian tahapan desain.

Bruckner dan Remy (2021) mengusulkan pendekatan model BIM khusus untuk lanskap dan ruang terbuka (*landscape open spaces*) pada proyek infrastruktur, dengan menekankan perlunya struktur data yang mampu merepresentasikan elemen lunak (vegetasi, area resapan) maupun elemen keras (perkerasan, drainase) dalam satu model terintegrasi. Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan penelitian ini dalam merepresentasikan zona akademik, hunian, dan fasilitas umum pada tapak SMU Unggul Garuda yang memiliki kondisi topografi berbukit, di mana integrasi antara model permukaan tanah dan elemen bangunan menjadi krusial untuk analisis kesesuaian desain

2.7 Perkembangan Fitur Topografi pada Autodesk Revit: *Toposurface* Menuju *Toposolid*

Sebelum tahun 2025, Autodesk Revit menyediakan fitur *Toposurface* sebagai satu-satunya alat untuk memodelkan permukaan tanah, yang bekerja berdasarkan prinsip *mesh* atau jaring segitiga (*triangulated irregular network/TIN*) tanpa memiliki ketebalan maupun properti volume *solid*. Dokumentasi resmi Autodesk (Autodesk Help, 2025) menjelaskan bahwa keterbatasan tersebut menyebabkan *Toposurface* sulit berinteraksi langsung dengan elemen bangunan, misalnya untuk keperluan pemotongan (*subtract*) area basement atau penggabungan (*merge*) dengan elemen lantai dasar, sehingga umumnya memerlukan elemen tambahan seperti *building pad* sebagai perantara.

Sejak dirilisnya Revit 2025, Autodesk menggantikan *Toposurface* dengan *Toposolid* sebagai elemen topografi generasi baru yang perilakunya menyerupai elemen Floor, yaitu memiliki struktur berlapis (*structure layers*), ketebalan (*thickness*), serta kemampuan *subtract* dan *merge* terhadap elemen *solid* lain secara *native* (Autodesk Help, 2025; BIM Pure, 2025; Arch-Intelligence, 2025). Forum komunitas pengguna Revit turut melaporkan sejumlah isu teknis pada implementasi awal *Toposolid* di Revit 2025, di antaranya batas jumlah titik (10.000 titik) sebelum terjadi *down-sampling* otomatis serta potensi hilangnya titik-titik berdekatan pada proses impor data CSV (Autodesk Community, 2025). Temuan-temuan komunitas ini menjadi salah satu acuan teknis penting bagi penelitian ini dalam mengantisipasi kendala saat mengimpor data kontur NTT Garuda yang berjumlah 15.531 *vertex*, jauh melampaui batas praktis tersebut.

The CAD Masters (2025) dalam artikel praktisnya mengenai penguasaan *Toposolid* menekankan bahwa kemampuan *subdivision* pada *Toposolid* yaitu penetapan material dan ketebalan berbeda pada area tertentu di atas permukaan utama menjadi salah satu keunggulan signifikan dibandingkan *Toposurface*, khususnya untuk merepresentasikan area perkerasan jalan, area parkir, maupun kolam dalam satu model tapak yang konsisten. Keunggulan inilah yang menjadi salah satu dasar hipotesis penelitian ini bahwa *Toposolid* berpotensi

memberikan efisiensi dan fleksibilitas lebih tinggi dibandingkan *Toposurface* pada pemodelan *landscape site plan* proyek SMU Unggul Garuda yang memiliki keragaman zona fungsi dan kondisi topografi kompleks.

2.8 Rangkuman dan Posisi Penelitian

Berdasarkan uraian studi literatur di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian-penelitian terdahulu telah banyak membahas penerapan BIM pada proyek infrastruktur, pemodelan parametrik dan prosedural, serta tantangan *interoperabilitas* data. Namun demikian, penelitian yang secara khusus membandingkan kinerja fitur *Toposolid* dengan *Toposurface* pada konteks pemodelan *landscape site plan* terlebih pada proyek dengan kondisi topografi berbukit dan data survei riil seperti proyek SMU Unggul Garuda masih sangat terbatas, mengingat *Toposolid* merupakan fitur yang relatif baru diperkenalkan sejak Revit 2025. Sebagian besar literatur mengenai *Toposolid* yang tersedia saat ini masih berupa dokumentasi resmi vendor dan artikel praktis komunitas, belum banyak dikaji secara akademik-empiris melalui studi kasus proyek nyata.

Celah penelitian (*research gap*) inilah yang berupaya diisi oleh penelitian ini, yaitu dengan melakukan eksperimen pemodelan langsung serta analisis deskriptif-komparatif antara *Toposolid* dan *Toposurface* pada data topografi riil proyek SMU Unggul Garuda, sehingga diperoleh gambaran empiris mengenai efisiensi waktu, akurasi representasi kontur, dan kemudahan *editing* dari kedua metode tersebut sebuah kontribusi yang diharapkan dapat melengkapi literatur BIM pada bidang perancangan tapak dan *landscape architecture* yang masih relatif sedikit dibandingkan penerapan BIM pada bangunan gedung dan infrastruktur transportasi.

2.9 Matriks Ringkasan Studi Literatur

Sebagai rangkuman, Tabel 2.1. dibawah menyajikan matriks penelitian terdahulu yang relevan beserta fokus kajian dan keterkaitannya dengan penelitian ini.

Tabel 2.1. Matriks Ringkasan *Studi Literatur*

Penulis (Tahun)	Fokus Kajian	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
Eastman dkk. (2011)	Konsep dasar & manfaat BIM	Landasan konsep parametrik yang mendasari keunggulan <i>Toposolid</i>
Biancardo dkk. (2020)	Integrasi BIM & procedural <i>modeling</i> untuk desain jalan	Prinsip parametrik pada pembentukan <i>Toposolid</i> dari data topografi
Bradley dkk. (2016)	Adopsi BIM pada infrastruktur (<i>perspektif</i> kontraktor)	Konteks manfaat BIM pada proyek berskala kawasan
Kumar & Cheng (2015)	Perencanaan <i>site layout</i> otomatis berbasis BIM	Relevan dengan integrasi <i>Toposolid</i> & elemen bangunan
Liu, Wang & Wu (2017)	BIM untuk desain & konstruksi <i>site layout</i>	Pembandingan pada pembahasan Bab IV
Volk, Stengel & Schultmann (2014)	Kajian literatur BIM pada bangunan eksisting	Dasar analisis keterbatasan <i>Toposolid</i> pada Bab IV
Son, Kim & Kim (2017)	Adopsi BIM pada <i>landscape architecture</i>	Pembandingan temuan pada Bab IV.5

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus (*case study*). Pendekatan deskriptif kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan secara rinci dan mendalam proses penerapan fitur *Toposolid* dalam pembuatan *site plan* pada proyek SMU Unggul Garuda, tanpa bermaksud melakukan generalisasi statistik terhadap populasi yang lebih luas.

Studi kasus dipilih karena penelitian ini berfokus pada satu proyek tunggal, yaitu proyek SMU Unggul Garuda, sehingga memungkinkan peneliti melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap proses, kendala, dan hasil dari metode pemodelan yang digunakan dalam konteks nyata.

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Objek penelitian: Pemodelan *site plan* pada proyek SMU Unggul Garuda.
2. Lokasi penelitian: Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.
3. Perangkat lunak yang digunakan: Autodesk Revit 2025, dengan fokus pada fitur *Toposolid*.

Penelitian ini berfokus pada proses pembuatan model digital kontur, elevasi, dan elemen site menggunakan fitur *Toposolid*, mulai dari tahap impor data topografi hingga integrasi model lanskap dengan model bangunan.

3.3 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder, dengan rincian sebagai berikut:

A. Data Primer

1. Pengamatan langsung selama proses pemodelan *site plan* dilakukan.
2. Data topografi yang diimpor ke dalam Revit, baik dalam format DWG, CSV, maupun hasil survei koordinat lapangan.
3. Dokumentasi proses penggunaan fitur *Toposolid*, berupa tangkapan layar (*screenshot*) pada setiap tahapan pemodelan.

B. Data Sekunder

1. Literatur terkait BIM, Autodesk Revit, *Toposurface*, dan *Toposolid*.
2. Dokumen perencanaan proyek SMU Unggul Garuda.
3. Panduan resmi Autodesk (Revit *Documentation*).

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa cara berikut:

1. Studi Dokumen, mengumpulkan data topografi, gambar kerja, dan *referensi* teknis proyek SMU Unggul Garuda.
2. Observasi Teknis, melakukan pengamatan langsung terhadap proses pengolahan kontur dan penerapan *Toposolid* selama tahap pemodelan *site plan*.
3. Studi Literatur, mengkaji jurnal, buku, dan panduan resmi Autodesk untuk mendukung landasan teori penggunaan *Toposolid* dan *Toposurface*.
4. Eksperimen Pemodelan, melakukan pemodelan kontur menggunakan *Toposolid* serta membandingkan prosesnya dengan metode sebelumnya, yaitu *Toposurface*.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

A. Variabel Proses

1. Langkah-langkah pembuatan *Toposolid*.
2. Proses *editing*, *cut and fill*, dan pengolahan elevasi.
3. Integrasi *Toposolid* dengan model bangunan utama.

B. Variabel Kinerja (Performance)

1. Kecepatan pemodelan.
2. Kemudahan proses *editing*.
3. Akurasi representasi kontur.

C. Variabel Perbandingan

1. Perbedaan hasil antara *Toposolid* dan *Toposurface*.
2. Efisiensi waktu pengerjaan.
3. Kemampuan parametrik masing-masing metode.

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui empat tahapan utama sebagai berikut:

3.6.1 Tahap Persiapan Penelitian

1. Mengumpulkan data topografi proyek SMU Unggul Garuda.
2. Menyiapkan *environment* kerja pada Autodesk Revit 2025.
3. Mengumpulkan literatur pendukung terkait BIM, *Toposurface*, dan *Toposolid*.

3.6.2 Tahap Pemodelan dengan *Toposolid*

1. Mengimpor data topografi dari file DWG atau CSV ke dalam Revit.
2. Membuat model *Toposolid* sebagai dasar pembentukan kontur tapak.
3. Menyesuaikan elevasi, kemiringan, dan gradasi area sesuai dengan kebutuhan desain.
4. Melakukan penyuntingan (*split, merge, subtract*) serta pengisian area untuk bangunan dan jalan.
5. Mengintegrasikan model *Toposolid* dengan model bangunan yang sudah ada.

3.6.3 Tahap Analisis

1. Mengukur efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pemodelan.
2. Menilai tingkat akurasi bentuk kontur yang dihasilkan dari proses pemodelan.
3. Membandingkan alur kerja (*workflow*) antara *Toposolid* dan *Toposurface*.
4. Menganalisis tingkat kemudahan proses penyuntingan dan dampaknya terhadap hasil desain.

3.6.4 Tahap Dokumentasi dan Evaluasi

1. Mengambil dokumentasi screenshot pada setiap tahap pemodelan.
2. Menyusun tabel perbandingan antara *Toposolid* dan *Toposurface*.
3. Menyusun evaluasi dan kesimpulan terhadap efektivitas penggunaan *Toposolid*.

3.7 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif-komparatif, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan hasil pemodelan *Toposolid* berdasarkan tahapan proses yang telah dilakukan.

2. Membandingkan kecepatan, akurasi, dan efisiensi pemodelan dengan metode *Toposurface*.
3. Menilai sejauh mana *Toposolid* mampu meningkatkan kualitas perancangan *site plan* secara keseluruhan.
4. Menarik kesimpulan berdasarkan temuan yang diperoleh selama proses eksperimen pemodelan.

3.8 Kerangka Berpikir Penelitian

Secara ringkas, kerangka berpikir penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut: permasalahan pemodelan *landscape* konvensional menggunakan CAD/*Toposurface* mendorong penerapan fitur *Toposolid* berbasis BIM pada proyek SMU Unggul Garuda; proses penerapan tersebut diobservasi dan didokumentasikan melalui eksperimen pemodelan; hasilnya dianalisis secara deskriptif-komparatif terhadap variabel kecepatan, akurasi, dan kemudahan *editing*; sehingga diperoleh kesimpulan mengenai efektivitas *Toposolid* serta rekomendasi penerapannya pada proyek sejenis.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Proyek SMU Unggul Garuda

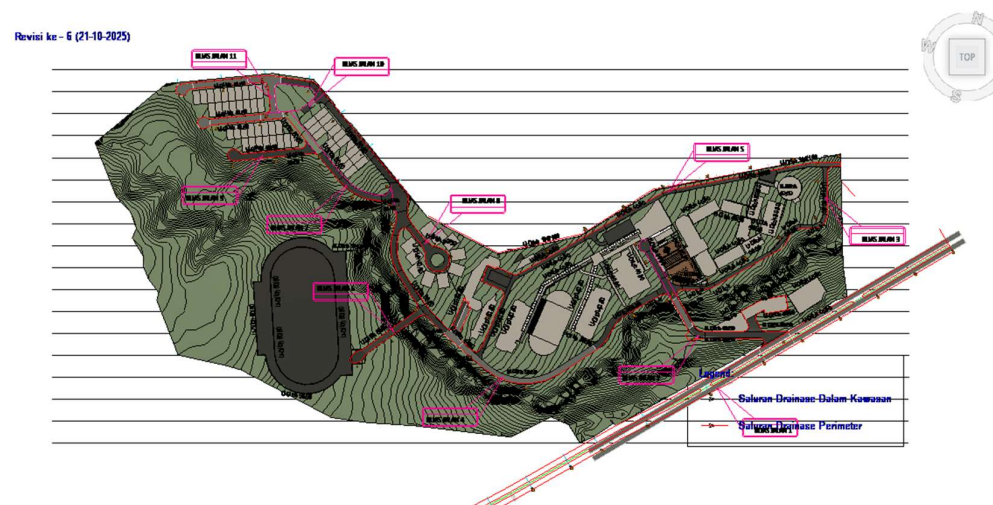
SMU Unggul Garuda merupakan salah satu sekolah berasrama unggulan yang digagas oleh pemerintah di bawah naungan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek), sebagai bagian dari program strategis nasional yang dicanangkan dalam kerangka “Program Hasil Cepat dan Terbaik”. Program ini bertujuan untuk mencetak talenta terbaik bangsa di bidang sains dan teknologi agar mampu bersaing secara global, dengan sasaran utama siswa berprestasi, termasuk yang berasal dari keluarga kurang mampu. Objek penelitian ini secara khusus difokuskan pada proyek pembangunan SMU Unggul Garuda yang berlokasi di Desa Karang Siri, Kota Soe, Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Proyek ini dibangun dengan konsep sekolah berasrama (boarding school) di atas lahan seluas 20 hektar, dengan nilai investasi sekitar Rp 200 miliar. Pelaksanaan konstruksi dikerjakan oleh kontraktor PT Nindya Karya (Persero) dengan durasi pengerjaan selama 240 hari kalender, dimulai pada akhir Desember 2025 dan ditargetkan rampung pada Juni 2026.

Secara fungsional, kawasan SMU Unggul Garuda direncanakan untuk menampung 480 siswa, dengan angkatan perdana sebanyak 160 siswa. Tata letak (*site plan*) kawasan terdiri atas beberapa zona dengan fungsi yang berbeda, yaitu zona akademik berupa gedung kelas, laboratorium (fisika, kimia, biologi, dan musik), serta perpustakaan; zona hunian berupa asrama siswa dan apartemen guru, dilengkapi kantin; serta zona fasilitas umum dan olahraga berupa aula serbaguna, gedung olahraga indoor (*indoor sports*), *student center*, dan lapangan terbuka. Kawasan ini juga dilengkapi dengan jaringan jalan lingkungan (ruas jalan 1 hingga 12 sebagaimana tercantum pada gambar *site plan*), area parkir, menara air, serta ruang terbuka hijau (RTH) yang mengikuti kontur lahan eksisting.

Berdasarkan pengamatan terhadap model *site plan* tiga dimensi proyek (gambar 4.1), lahan tapak memiliki kondisi topografi berbukit dengan variasi elevasi yang cukup signifikan antara area tertinggi di sisi barat-utara tapak dan area

terendah pada sisi yang berdekatan dengan lapangan olahraga dan ruas jalan utama di sisi timur-selatan. Kemiringan lahan secara dominan mengarah dari area perbukitan di bagian barat menuju area yang relatif lebih datar di bagian timur, tempat gedung-gedung utama sekolah dan fasilitas olahraga ditempatkan. Karakteristik topografi yang berkontur inilah yang menjadi salah satu pertimbangan utama digunakannya pemodelan permukaan tanah berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dalam pengerjaan *site plan* proyek ini, sebagaimana akan dibahas lebih lanjut pada sub bab 4.2.

Gambar 4.1 menunjukkan tampilan model *site plan* tiga dimensi proyek SMU Unggul Garuda pada perangkat lunak Autodesk Revit, yang memuat kontur tapak, penzonaan ruas jalan, serta peletakan massa bangunan secara keseluruhan.

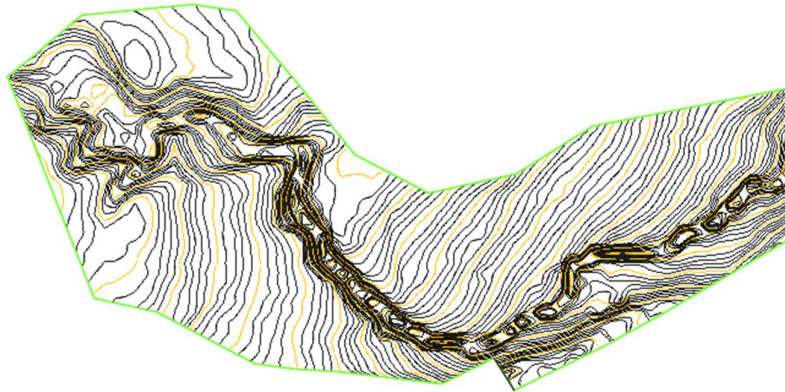


Gambar 4.1 *Site Plan* Tiga Dimensi Proyek SMU Unggul Garuda”

4.1.1 Kondisi Topografi Eksisting

Kondisi topografi eksisting tapak proyek SMU Unggul Garuda dapat diamati secara visual melalui hasil pemodelan kontur tanah pada perangkat lunak Autodesk Revit (gambar 4.2. dan 4.3), yang menunjukkan permukaan tanah dengan garis-garis kontur rapat pada area perbukitan di sisi barat dan utara tapak, serta garis kontur yang lebih renggang pada area yang relatif datar di sekitar gedung sekolah, lapangan, dan akses jalan utama. Perbedaan kerapatan garis kontur tersebut mengindikasikan adanya variasi kemiringan lahan yang cukup besar dalam satu kawasan tapak, mulai dari area dataran yang ditempati bangunan inti sekolah hingga area lereng di bagian tepi tapak yang masih ditumbuhi vegetasi alami.

Berdasarkan dokumentasi progres lapangan, pada kondisi eksisting tapak dapat diidentifikasi tiga karakter lahan utama, yaitu: (1) area dataran relatif landai di bagian tengah-timur tapak yang menjadi lokasi gedung kelas, laboratorium, perpustakaan, dan gedung olahraga indoor; (2) area lereng/perbukitan pada sisi barat dan utara tapak yang sebagian digunakan sebagai area parkir dan zona hijau; serta (3) area sepanjang jalan akses utama pada sisi timur-selatan yang relatif datar dan menjadi jalur sirkulasi keluar-masuk kendaraan proyek maupun operasional sekolah ke depannya



Gambar 4.2 Kondisi Topografi Eksisting Proyek SMU Unggul Garuda

Sumber file : *Contour_NTT_Garuda.dwg* (ACAD-*Contour_NTT_Garuda.dxf*)

Jumlah titik survey : 110 titik

Rentang elevasi : 827.50 m s.d. 868.00 m (interval kontur 2.5 m, 18 level kontur)

Sistem koordinat : UTM (X = *Easting*, Y = *Northing*, satuan meter)

4.1.2 Data dan Sumber Data yang Digunakan

Data yang digunakan sebagai dasar penyusunan gambaran umum proyek dan acuan pemodelan topografi dalam penelitian ini diperoleh dari beberapa sumber, yaitu:

1. Dokumen profil proyek SMU Unggul Garuda yang memuat informasi lokasi, luas lahan, nilai investasi, kontraktor pelaksana, durasi pengerjaan, kapasitas siswa, serta progres pembangunan terkini (data hingga akhir Mei 2026).

2. Model *Building Information Modeling* (BIM) *site plan* proyek dalam perangkat lunak Autodesk Revit, yang memuat informasi tata letak ruang/zona, ruas jalan, serta kontur tapak dalam format tampilan 3D.
3. Dokumentasi *virtual tour* 360° (platform Kuula) hasil pemotretan udara (drone) kondisi lapangan aktual, yang digunakan untuk verifikasi visual antara model dan kondisi konstruksi sesungguhnya, mencakup area gedung sekolah, laboratorium, indoor sports, perpustakaan, lapangan, serta ruas jalan kawasan.
4. Sumber file : Contour_NTT_Garuda.dwg (ACAD-Contour_NTT_Garuda.dxf)
5. Jumlah titik survey : 110 titik
6. Rentang elevasi : 827.50 m s.d. 868.00 m (interval kontur 2.5 m, 18 level kontur)
7. Sistem koordinat : UTM (X = *Easting*, Y = *Northing*, satuan meter)

Selain data teknis di atas, gambaran umum proyek juga didukung oleh informasi mengenai progres pelaksanaan di lapangan sebagai konteks tambahan. Pada awal Mei 2026, progres pembangunan tercatat mencapai 27%, melampaui target rencana awal sebesar 25%. Memasuki akhir Mei 2026, progres meningkat menjadi 48,849%, juga melampaui target sebesar 47,947%. Pada kondisi terkini, pekerjaan struktur gedung kelas telah memasuki tahap lantai 2, dengan jumlah pekerja di lokasi mencapai 630 orang dan direncanakan ditambah hingga 800 orang guna mempercepat penyelesaian. Fasilitas inti berupa gedung kelas, asrama, dan kantin ditargetkan rampung pada Juni 2026, dengan rencana serah terima dan operasional parsial dimulai 13 Juli 2026 untuk menyambut Tahun Ajaran 2026/2027. Salah satu tantangan utama yang dihadapi di lapangan adalah pencarian sumber mata air bersih yang stabil untuk kebutuhan konstruksi maupun operasional sekolah ke depannya.

Tabel 4.2 Ringkasan Data Kunci Proyek SMU Unggul Garuda

Aspek	Keterangan
Nama Proyek	SMU Unggul Garuda NTT
Lokasi	Desa Karang Siri, Kota Soe, Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS), NTT
Luas Lahan	20 hektar
Nilai Investasi	± Rp 200 miliar
Kontraktor Pelaksana	PT Nindya Karya (Persero)
Durasi Pengerjaan	240 hari (akhir Desember 2025 – target Juni 2026)
Kapasitas Siswa	480 siswa (angkatan perdana 160 siswa)
Fasilitas Utama	Gedung kelas, laboratorium, perpustakaan, asrama, apartemen guru, kantin, aula serbaguna, gedung olahraga indoor, <i>student center</i>
Progres (akhir Mei 2026)	48,849% (melampaui target 47,947%)
Target Operasional	Serah terima & operasional parsial mulai 13 Juli 2026

4.1.1 Kondisi Topografi Eksisting

Berdasarkan analisis garis kontur asli (bukan hanya label titik elevasi) pada file CAD, berikut karakteristik kontur eksisting-nya:

A. Rentang Elevasi

1. Elevasi terendah: +820,00 m

2. Elevasi tertinggi: +874,50 m
3. Beda tinggi total di area survey: 54,5 m
4. Interval kontur minor: 0,5 m (110 level kontur), dengan kontur indeks/mayor berlabel setiap 2,5 m (sebagaimana disajikan pada tabel sebelumnya)

B. Cakupan Area

1. Luas area (dari *polyline* batas C-TINN-BNDY): $\pm 21,0$ ha
2. Dimensi area: ± 1.070 m (arah Timur–Barat) $\times$ 600 m (arah Utara–Selatan)
3. Sistem koordinat UTM Zona Selatan (konsisten dengan lokasi NTT)

C. Karakteristik Kemiringan (dihitung dari jarak antar-garis kontur)

Tabel 4.3 Karakteristik Kemiringan

Kelas kemiringan	Proporsi area
0–5% (datar)	18,6%
5–15% (landai)	44,6%
15–25% (agak curam)	16,6%
25–40% (curam)	11,3%
>40% (sangat curam)	8,9%

Secara umum, medan didominasi topografi landai hingga bergelombang (median kemiringan lokal $\approx 10,6\%$), dengan *gradien* rata-rata keseluruhan *site* sekitar 5% (arah Timur–Barat) dan 9% (arah Utara–Selatan) — konsisten dengan elevasi yang naik dari barat ke timur dan dari selatan ke utara.

D. Area dengan Kemiringan Signifikan (Curam)

Dari pembagian grid area (Barat–Tengah–Timur $\times$ Utara–Tengah–Selatan), zona dengan kemiringan median tertinggi (>15%, kategori agak curam–curam):

1. Barat–Tengah bagian Tengah (median $\pm 15,6\%$)
2. Tengah bagian Selatan (median $\pm 16,1\%$)
3. Barat bagian Utara (median $\pm 13,8\%$)

Titik terjal lokal (*spot curam*) yang paling ekstrem ditemukan di sekitar koordinat $X \approx 639.845$ – 639.853 , $Y \approx 8.911.507$, di mana jarak antar kontur hanya $\pm 0,65$ m untuk beda tinggi $0,5$ m $\rightarrow$ kemiringan lokal mencapai $\pm 77\%$ (kemungkinan indikasi tebing/*scarp* atau tepi galian curam, perlu verifikasi lapangan).

E. Area Relatif Datar

Zona paling landai berada di:

1. Timur bagian Selatan (median $\pm 3,2\%$)
2. Tengah bagian Utara (median $\pm 4,7\%$)

Zona-zona ini berpotensi lebih sesuai untuk area terbangun/platform, sementara zona curam di sekitar Barat–Tengah dan tepi terjal di $X \approx 639.845$ – 639.853 / $Y \approx 8.911.507$ perlu perhatian khusus (potensi kebutuhan *cut-fill* besar, *retaining wall*, atau proteksi erosi).

4.1.2 Data dan Sumber Data yang Digunakan

1. Sumber file : *Contour_NTT_Garuda.dwg* (ACAD-
Contour_NTT_Garuda.dxf)
2. Jumlah titik survey : 110 titik
3. Rentang elevasi : 827.50 m s.d. 868.00 m (interval kontur 2.5 m, 18 level kontur)
4. Sistem koordinat : UTM ($X = Easting$, $Y = Northing$, satuan meter)

4.2 Proses Penerapan *Toposolid*

Pada bagian ini diuraikan langkah-langkah teknis penerapan fitur *Toposolid* dalam pemodelan *site plan* proyek SMU Unggul Garuda, sesuai dengan prosedur penelitian yang telah dijelaskan pada Bab III.

4.2.1 Impor Data Topografi

Berikut langkah teknis mengimpor data DWG/CSV kontur ke Revit 2025, termasuk isu spesifik yang biasa muncul di versi ini:

A. Persiapan file sebelum impor

Untuk DWG:

1. Pastikan garis kontur di CAD memiliki elevasi Z (3D), bukan garis 2D dengan label teks elevasi terpisah file CAD yang diimpor harus mengandung informasi 3D. Kalau kontur masih flat ($Z=0$) dengan hanya teks elevasi seperti file DWG yang tadi kita analisis, itu tidak bisa langsung dipakai harus diberi elevasi per garis terlebih dahulu (misalnya dengan *_ELEV per polyline* sesuai label, atau *export* ulang dari sumber data asli yang punya Z).
2. Kontur dengan *boundary* cekung (*concave*) sebaiknya sudah punya data kontur penuh, karena jika data punya *boundary* cekung tapi informasi konturnya tidak lengkap, *toposolid* akan terbentuk dengan "*notch*" (lubang) di area yang datanya kosong.

Untuk CSV:

1. Format umum: Point Number, X, Y, Z atau X, Y, Z per baris, satu titik per baris, tanpa header yang membingungkan format parser.

B. Impor ke Revit 2025 pakai *Toposolid*

Revit 2024 mengganti tool lama: *Toposurface* (topografi lama) sudah dihapus/tidak tersedia lagi di Revit 2025, digantikan *Toposolid*.

Jalur A – Link CAD lalu buat *Toposolid* dari CAD:

1. *Insert* → *Link* → *Link CAD*.
2. Link file dengan opsi "*Center to Center*", dan pastikan opsi "*Current View Only*" TIDAK dicentang (kalau dicentang, data 3D-nya akan hilang / hanya terbaca sebagai 2D di view aktif).
3. Buka 3D View.

4. *Massing & Site tab* → Model Site panel → *Toposolid (Create from Import)* → pada tab *Modify*, klik "*Create from CAD*"
5. Pilih objek CAD yang sudah di-link di area gambar → akan muncul dialog *Add Points from Selected Layers* → centang *layer* yang berisi garis kontur (mis. *layer "Contours"*) → OK.

Jalur B – Impor langsung dari CSV:

1. *Massing & Site* → *Toposolid* → *Create from CSV*.
2. Pilih file .csv.
3. Pada dialog Format, tentukan satuan yang dipakai di file poin tersebut (misalnya feet desimal atau meter), lalu klik OK — Revit akan membuat titik-titik dan *toposolid* dari data koordinat tersebut.

C. Pengaturan satuan (Units)

1. Satuan proyek Revit: *Manage* → *Settings* → *Project Units* — set panjang ke Meters (atau sesuai satuan sumber data, di kasus kontur NTT Garuda satuannya meter).
2. Kritis: saat link CAD, cek/samakan input unit file DWG dengan satuan proyek Revit — ubah satuan input agar sesuai dengan satuan file AutoCAD-nya, karena DWG sering tidak menyimpan satuan secara eksplisit sehingga Revit bisa salah asumsi (mis. dibaca sebagai feet padahal aslinya meter → skala jadi salah total, $\sim 3,28\times$ lebih besar/kecil).
3. Untuk CSV, kesalahan paling umum: file berisi koordinat UTM meter tapi di dialog Format dipilih "*feet*" (atau sebaliknya) → *toposolid* terbentuk tapi ukurannya salah drastis.

D. Pengaturan sistem koordinat

Karena file sumbernya UTM (X~639.xxx, Y~8.911.xxx meter — nilai sangat besar), ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- a. Revit punya batas praktis jarak dari *origin* internal (~ 20 mil / 32 km) sebelum muncul warning "jauh dari *origin*" dan akurasi model menurun.

Koordinat UTM mentah (ratusan ribu–jutaan meter) jangan langsung dipakai sebagai *Project Base Point* gunakan salah satu pendekatan berikut:

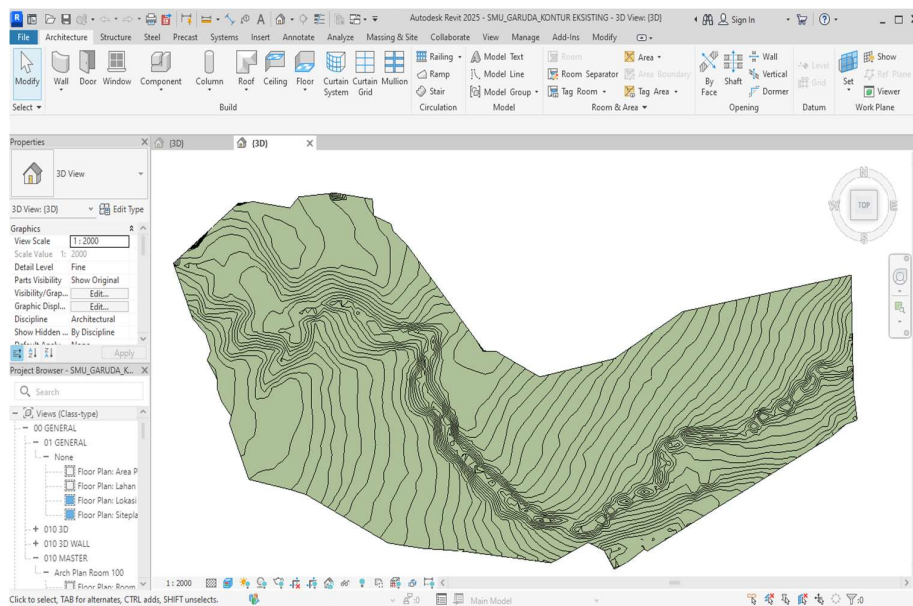
1. *Shared Coordinates / Acquire Coordinates*: link CAD apa adanya, lalu *Manage* → *Coordinates* → *Acquire Coordinates* dari file linked CAD ini membuat elemen yang sudah ada di model Revit mengambil sistem koordinat dari file AutoCAD yang di-link, sambil Revit tetap menyimpan *origin* proyek lokal untuk pemodelan sehari-hari.
2. Atau geser *origin* CAD mendekati (0,0) sebelum di-link/import, lalu catat offset-nya secara terpisah untuk referensi geospasial (georeferensi) bila dibutuhkan integrasi GIS.
- b. Pastikan Survey Point (ikon segitiga hitam) menyimpan koordinat dunia nyata (*real-world/UTM*), sedangkan *Project Base Point* tetap di *origin* lokal proyek untuk konstruksi dua titik ini sering tertukar penggunaannya oleh pengguna baru.
- c. *True North vs Project North*: kalau data UTM punya rotasi *grid* terhadap utara proyek, atur di *Manage* → *Position* → *Rotate True North*.

5. Permasalahan teknis yang umum ditemui di Revit 2025

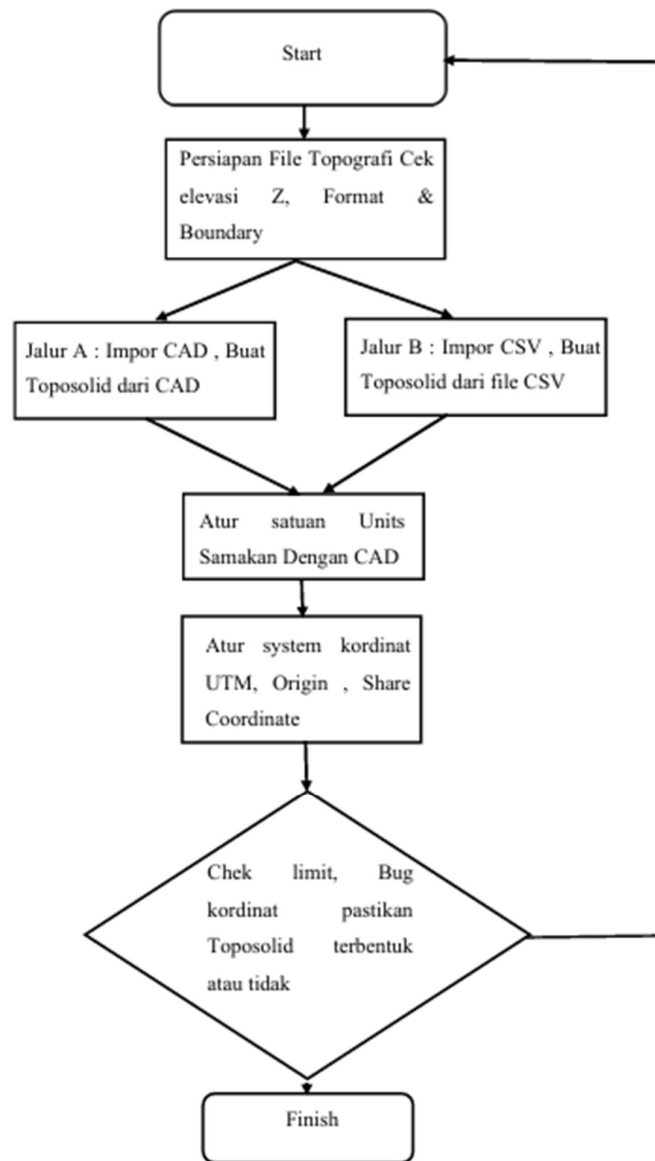
1. Batas 10.000 titik (*downsampling* otomatis): saat mengimpor file yang melebihi 10.000 titik, Revit akan melakukan *down-sampling* hingga maksimum 10.000 titik; ini bisa terjadi saat area sangat luas atau perbedaan elevasinya signifikan, sehingga jumlah titik yang dikurangi hanya mendekati bentuk topografi aslinya. Kalau butuh akurasi lebih tinggi, sebaiknya file besar dipecah menjadi beberapa bagian yang lebih kecil agar *down-sampling* tidak terjadi meski banyak file kecil juga bisa menurunkan performa sistem. Untuk data 15.531 *vertex* kontur NTT Garuda ini, kemungkinan besar akan kena *down sampling* pertimbangkan *split* per zona/blok.
2. Bug titik hilang pada impor CSV (Revit 2024/2025.1): ada laporan pengguna bahwa saat impor CSV, titik-titik yang jaraknya berdekatan justru dihilangkan/di-skip oleh Revit, menghasilkan geometri *toposolid* yang tidak

presisi dan bergerigi (jagged), padahal masalah ini tidak terjadi di Revit 2022, dan masalah serupa masih dilaporkan terjadi di versi 2025.1 sebelum patch tertentu. Mitigasi: gunakan jalur *Link CAD* → *Create from CAD* (bukan CSV) jika titik sangat rapat, atau upgrade ke Revit 2024.1+ dengan hotfix terbaru / uji di Revit 2025.

3. Kontur datar ($Z=0$) tidak bisa dipakai: jika garis kontur yang di-link tidak memiliki posisi Z (masih flat), *toposolid/topographic surface* tidak dapat dibuat dari data tersebut. Hal ini relevan dengan file DWG Contour_NTT_Garuda, karena label elevasi pada file tersebut berupa teks (MTEXT) terpisah, bukan nilai Z pada *polyline* kontur itu sendiri. Meskipun hasil pembacaan file DXF menunjukkan bahwa *vertex polyline*-nya telah memiliki nilai Z sehingga kemungkinan aman, verifikasi tetap perlu dilakukan saat proses link ke Revit.
4. Skala salah akibat mismatch satuan (dibahas di poin 3) gejalanya *toposolid* muncul raksasa atau sangat kecil di luar area proyek.
5. Performa berat: *toposolid* dari puluhan ribu titik + triangulasi menghasilkan model berat; Revit menyediakan fitur *Simplify Topography* untuk mengurangi jumlah titik demi performa, dengan konsekuensi akurasi dan geometri kontur bisa terpengaruh tergantung kondisi topografi.



Gambar 4.3 topografi setelah diimpor ke dalam Revit



Gambar 4.4. *Flowchart* 4.2.1 Impor Data Topografi

4.2.2 Pembentukan Model *Toposolid*

Setelah data topografi proyek SMU Unggul Garuda berhasil diimpor ke dalam Autodesk Revit 2025 sebagaimana diuraikan pada sub-bab 4.2.1, tahap selanjutnya adalah pembentukan model *Toposolid* itu sendiri. Sub-bab ini menguraikan langkah-langkah teknis yang ditempuh untuk mengubah titik-titik hasil survei dan garis kontur yang telah diimpor menjadi satu kesatuan elemen *solid* tiga dimensi, lengkap dengan pengaturan parameter ketebalan (*thickness*) dan material lapisan tanah yang merepresentasikan kondisi eksisting tapak.

A. Pembuatan Objek Toposolid dari Data yang Telah Diimpor

Pembentukan model Toposolid pada penelitian ini dilakukan melalui jalur *Create from Import*, mengingat data kontur NTT Garuda telah tersedia dalam bentuk file CAD (DXF) yang memuat garis-garis kontur dengan elevasi Z. Langkah-langkah yang ditempuh adalah sebagai berikut:

1. Memastikan file CAD kontur (hasil konversi/link dari file *ACAD-Contour_NTT_Garuda.dxf*) sudah ter-link ke dalam project Revit, dengan opsi *Current View Only* tidak dicentang agar informasi elevasi 3D pada tiap *vertex polyline* tetap terbaca.
2. Membuka tampilan *3D View* agar proses pembentukan permukaan dapat diamati secara tiga dimensi.
3. Mengaktifkan tab *Massing & Site* → panel *Model Site* → *Toposolid* → *Create from Import*, kemudian memilih *Create from CAD* pada tab kontekstual *Modify*.
4. Memilih objek CAD kontur yang telah ter-link pada area gambar, sehingga muncul kotak dialog *Add Points from Selected Layers*. Pada dialog ini, *layer* yang memuat garis kontur (misalnya *layer Contours*) dicentang, sedangkan *layer* teks label elevasi (MTEXT) dan *layer* bantu lain tidak

diikut sertakan agar tidak menimbulkan titik-titik acak yang tidak relevan pada permukaan.

5. Menentukan tipe (Type) *Toposolid* yang akan digunakan pada kotak dialog konfirmasi, sebelum menekan OK untuk mengeksekusi pembuatan model.
6. Revit kemudian melakukan proses *triangulasi (Delaunay triangulation)* terhadap seluruh titik yang diambil dari garis kontur tersebut, menghasilkan satu elemen *Toposolid* tunggal berbentuk *mesh solid* yang mengikuti naik-turunnya elevasi tapak sesuai data survei.

Karena jumlah *vertex* kontur pada data NTT Garuda berjumlah 15.531 titik, sedangkan Revit 2025 memiliki batas praktis 10.000 titik per proses impor sebelum dilakukan *down-sampling* otomatis, proses ini dipantau untuk memastikan tidak terjadi penyederhanaan bentuk kontur yang signifikan pada area-area kritis tapak (area bangunan utama dan jalan akses).

B. Pengaturan Parameter Ketebalan (*Thickness*)

Berbeda dengan *Toposurface* pada versi Revit sebelumnya yang hanya berupa permukaan (*mesh*) tanpa ketebalan, *Toposolid* pada Revit 2025 merupakan elemen *solid* yang perilakunya menyerupai elemen *Floor*, sehingga wajib memiliki parameter ketebalan yang didefinisikan pada tingkat *Type*. Pengaturan ketebalan dilakukan melalui langkah berikut:

1. Memilih elemen *Toposolid* yang telah terbentuk, kemudian pada panel *Properties* mengklik Edit Type.
2. Pada kotak dialog *Type Properties*, mengklik *Duplicate* untuk membuat tipe baru khusus tapak NTT Garuda (misalnya diberi nama "*Tanah Eksisting - NTT Garuda*") agar tidak mengubah tipe bawaan (default) Revit.
3. Pada parameter *Construction – Structure*, mengklik Edit... untuk membuka kotak dialog *Edit Assembly*.
4. Di dalam *Edit Assembly*, ketebalan (kolom *Thickness*) diisi sesuai kebutuhan representasi lapisan tanah. Pada penelitian ini digunakan

ketebalan dasar 300 mm (0,3 m) untuk merepresentasikan lapisan permukaan tanah, dengan pertimbangan bahwa nilai tersebut cukup untuk keperluan visualisasi *site plan* tanpa membebani ukuran file.

5. Menutup dialog dengan menekan OK secara berurutan hingga kembali ke tampilan model ketebalan baru akan langsung terlihat pada potongan (*section*) atau tampilan 3D dari sisi bawah *Toposolid*.

C. Pengaturan Parameter Material

Karena *Toposolid* pada dasarnya menerapkan konsep lapisan struktur (*structure layers*) seperti pada *elemen Floor*, material tidak lagi diatur sebagai satu parameter tunggal pada *Instance Properties*, melainkan ditentukan per-lapisan (*layer*) melalui kotak dialog *Edit Assembly* yang sama dengan pengaturan ketebalan. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Pada kotak dialog *Edit Assembly*, setiap baris *layer* memiliki kolom *Function*, *Material*, dan *Thickness*. Baris utama (*Core Boundary*) diberi fungsi *Structure [1]* sebagai lapisan inti tanah.
2. Mengklik kolom *Material* pada baris tersebut, lalu menekan tombol [...] untuk membuka *Material Browser*.
3. Memilih atau membuat material yang merepresentasikan kondisi permukaan tapak, misalnya "*Site - Earth*" untuk area tanah terbuka dan "*Site - Grass*" untuk area yang direncanakan berupa rumput/vegetasi, dengan menyesuaikan properti *Graphics* (warna/pola arsir pada tampilan shaded) dan *Appearance* (tekstur untuk keperluan visualisasi realistis) sesuai kebutuhan.
4. Menambahkan lapisan tambahan bila diperlukan (misalnya lapisan *Finish* untuk area perkerasan) melalui tombol *Insert*, kemudian mengatur urutan lapisan dengan tombol *Up/Down* agar susunan lapisan sesuai kondisi nyata (lapisan permukaan berada paling atas).

5. Menutup kotak dialog dengan OK, material yang telah diatur pada tipe *Toposolid* tersebut akan berlaku pada seluruh instance yang menggunakan tipe yang sama, sehingga konsisten di seluruh area tapak.

Perlu dicatat bahwa untuk area-area khusus dengan material berbeda dalam satu *Toposolid* (misalnya jalur jalan, area parkir, atau kolam), penetapan material yang lebih spesifik pada area tersebut dilakukan melalui fitur *Subdivision* pada tahap penyuntingan lanjutan, karena *Subdivision* memungkinkan penetapan material dan ketebalan berbeda di atas permukaan *Toposolid* utama tanpa mengubah elevasi dasar tapak.

D. Ringkasan Parameter

Ringkasan parameter yang digunakan dalam pembentukan model *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda disajikan pada Tabel berikut :

Tabel 4.4. Ringkasan Parameter

Parameter	Pengaturan	Keterangan
Sumber data	<i>Create from CAD</i> (link DXF kontur)	15.531 <i>vertex</i> , elevasi Z pada <u>polyline</u>
Type <i>Toposolid</i>	Tanah Eksisting - NTT Garuda (duplikat dari tipe default)	Dibuat khusus agar tidak mengubah tipe bawaan
Ketebalan (<i>thickness</i>)	300 mm (dapat disesuaikan, min. > selisih elevasi negatif terdalam)	Diatur pada Edit Type → <i>Structure</i> → <i>Edit Assembly</i>
Material lapisan inti	<i>Site - Earth</i>	Merepresentasikan kondisi tanah eksisting
Satuan proyek	Meter	Disesuaikan dengan satuan sumber data survei

4.2.3 Penyesuaian Elevasi, Kemiringan, dan Gradasi

Model *Toposolid* dasar yang terbentuk pada sub-bab 4.2.2 masih berupa hasil *triangulasi* langsung dari data kontur eksisting hasil survei (110 titik kontur, elevasi +827,50 m s.d. +868,00 m), sehingga permukaannya belum merepresentasikan kondisi tanah setelah pekerjaan pematangan lahan (*cut and fill*) dan belum memuat elemen jalan/akses beserta sistem drainasenya. Untuk keperluan tersebut, penelitian ini menggunakan satu berkas acuan tambahan berupa gambar kerja rencana pematangan lahan dalam format DXF, yaitu *ACAD-Pematangan_Lahan_Fiks_Elevasi_Lantai_21-02-26.dxf*, yang memuat data elevasi titik eksisting-rencana, garis kontur hasil gradasi (pasca pematangan), batas zona perhitungan *cut and fill*, serta geometri dan elevasi rencana jalan akses. Seluruh nilai elevasi pada berkas ini dinyatakan secara relatif terhadap referensi $\pm 0,00$ pada elevasi lantai dasar bangunan utama proyek, bukan terhadap muka air laut sebagaimana data kontur eksisting.

Hasil pemeriksaan struktur data (*layer*) pada berkas DXF tersebut menunjukkan bahwa gambar kerja pematangan lahan disusun dalam beberapa kelompok informasi yang saling melengkapi, sebagaimana dirangkum pada Tabel dibawah

Tabel 4.5. Ringkasan *Layer* pada Berkas DXF Rencana Pematangan Lahan yang Digunakan sebagai Acuan Penyesuaian Elevasi dan Kemiringan

<i>Layer</i> CAD	Fungsi/Isi Data	Jumlah Entitas	Keterangan Elevasi
------------------	--------------------	-------------------	--------------------

EKS.V-NODE /	Titik penanda beserta label	5.456 titik	Elevasi -12,20 m s.d. +26,77 m
EKS.V-NODE-TEXT	elevasi eksisting-rencana	(<i>circle</i> + teks)	(relatif terhadap $\pm 0,00$ lantai dasar)
CUT.V-NODE	Titik penanda elevasi galian (<i>cut</i>) yang dipisahkan dari titik eksisting	56 titik	Menjadi acuan tersendiri pada zona yang direncanakan dipotong (<i>cut</i>)
C-TOPO-MAJR / C-TOPO-MINR	Garis kontur rencana (mayor/minor) hasil gradasi tanah	69 <i>polyline</i> (13 mayor, 56 minor)	Setiap <i>polyline</i> memiliki elevasi tetap (contoh: -12; -11; -10; -9; -8; -5 m)
C-TINN-BNDY	Batas TIN (<i>Triangulated Irregular Network</i>) model tanah	± 134 entitas (circle, insert, <i>polyline</i> , <i>lwpolyline</i>)	Elevasi kontrol tepi berkisar 1,00 - 3,75 m
VOL.CnF.C-TINN-BNDR	Batas zona perhitungan volume <i>cut and fill</i>	3 <i>polyline</i> tertutup (± 98 <i>vertex</i>)	Digunakan sebagai batas pemisahan (Split/Subdivision) zona pekerjaan tanah
C-ROAD-CNTR-N, As Jalan, Ren-Jalan, Jalan	Geometri as jalan, rencana jalan, dan jembatan akses	± 70 <i>polyline</i> /garis	Menjadi acuan batas <i>Subdivision</i> area perkerasan jalan

Perencana,
Ren-
Jembatan,
Jalan Opsi

	Label <i>spot</i>		
Not Elevasi	elevation	76 teks	Elevasi -11,30 m s.d. +20,00 m
Jalan	rencana		(relatif terhadap $\pm 0,00$)
	jalan/akses		

Berdasarkan struktur data tersebut, proses penyesuaian elevasi, kemiringan, dan gradasi pada model Toposolid dilakukan melalui tiga tahapan teknis utama, yaitu pemisahan permukaan (*split surface*), penyesuaian elevasi titik (*point elevation*), dan pembentukan kemiringan (*slope*) untuk area jalan/akses dan drainase, sebagaimana diuraikan pada bagian A, B, dan C berikut.

A. Pemisahan Permukaan (*Split Surface* dan *Subdivision*)

Revit 2025 menyediakan dua pendekatan berbeda untuk membagi satu elemen Toposolid menjadi beberapa area kerja, yaitu perintah *Split* pada tab *Modify* dan perintah *Subdivision* pada panel *Shape Editing*. Kedua perintah ini dipilih sesuai kebutuhan sebagai berikut:

1. Perintah *Split* memotong satu *Toposolid* menjadi dua elemen *Toposolid* yang sepenuhnya terpisah dan independen. Berbeda dengan *Toposurface* pada versi Revit sebelumnya, hasil *Split* pada *Toposolid* tidak dapat digabungkan kembali melalui perintah *Merge*, sehingga penggunaannya perlu direncanakan dengan cermat, terutama untuk memisahkan zona tapak yang memang akan dikelola sebagai model terpisah (misalnya batas antar tahap pekerjaan atau batas kepemilikan lahan).
2. Perintah *Subdivision* membentuk lapisan *Toposolid* tambahan yang “menempel” (*drape*) di atas permukaan *Toposolid* utama tanpa

memisahkan elemen model utama. *Subdivision* wajib memiliki ketebalan minimum 0,2 mm dan tidak dapat berada pada elevasi yang persis sama dengan permukaan dasarnya, tetapi ia tetap mengikuti perubahan bentuk permukaan utama apabila titik-titik elevasinya diedit kemudian. Karakteristik inilah yang membuat *Subdivision* menjadi pilihan yang lebih sesuai untuk merepresentasikan area jalan, akses pejalan kaki, dan area parkir pada proyek SMU Unggul Garuda, karena area-area tersebut perlu memiliki material perkerasan yang berbeda tanpa mengubah elevasi dasar tapak secara keseluruhan.

Pada penelitian ini, batas (*boundary*) yang digunakan untuk membentuk sketsa *Split* maupun *Subdivision* diambil langsung dari garis kerja yang sudah tersedia pada berkas DXF rencana pematangan lahan, yaitu:

1. garis *As Jalan* dan *C-ROAD-CNTR-N* sebagai as/sumbu jalan akses;
2. garis *Ren-Jalan*, *Jalan Perencana*, dan *Jalan Opsi* sebagai tepi perkerasan dan alternatif lebar jalan;
3. polygon *VOL.CnF.C-TINN-BNDR* sebagai batas zona perhitungan volume pekerjaan tanah (*cut and fill*); dan
4. polyline *C-TINN-BNDY* sebagai batas terluar model tanah (*boundary TIN*) terhadap tapak proyek secara keseluruhan.

Garis-garis tersebut diperoleh melalui perintah *Pick Lines* pada mode sketsa *Split/Subdivision* setelah file CAD terkait di-link ke dalam project. Perlu dicermati bahwa apabila garis batas yang dipilih berimpit persis dengan salah satu titik elevasi (*elevation point*) pada *Toposolid*, Revit akan menampilkan galat dan proses *Split/Subdivision* gagal dieksekusi; kendala ini juga banyak dilaporkan oleh pengguna Revit 2025 lain pada forum Autodesk Community. Mitigasi yang diterapkan adalah menggeser (offset) garis batas beberapa milimeter dari titik elevasi terdekat sebelum sketsa diselesaikan (Finish Sketch).

B. Penyesuaian Elevasi Titik (*Point Elevation*)

Penyesuaian elevasi titik pada *Toposolid* dilakukan melalui perintah *Modify Sub Elements* pada panel *Shape Editing*, dengan dua pilihan mode peletakan titik, yaitu *Add Point Along Surface* (elevasi dimasukkan sebagai nilai selisih/offset terhadap permukaan *Toposolid* pada titik tersebut) dan *Add Point – Absolute* (elevasi dimasukkan sebagai nilai mutlak terhadap salah satu acuan yang dipilih, yaitu Level aktif, Survey Point, Project Base Point, atau Internal *Origin*).

Karena label elevasi pada *layer EKS.V-NODE-TEXT* dan *Not Elevasi Jalan* pada berkas DXF sudah dinyatakan secara konsisten relatif terhadap referensi $\pm 0,00$ lantai dasar bangunan, mode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Add Point Absolute* dengan acuan *Project Base Point*. Setiap titik hasil impor CAD (dari 5.456 titik pada *layer EKS.V-NODE* ditambah 56 titik pada *layer CUT.V-NODE*) diperiksa dan disesuaikan satu per satu agar nilai elevasinya sama persis dengan label pada gambar kerja, kemudian hasilnya divalidasi ulang terhadap garis kontur rencana pasca gradasi pada *layer C-TOPO-MAJR* dan *C-TOPO-MINR* sebagai kontrol silang, mengingat kedua *layer* kontur tersebut memiliki nilai elevasi tetap per polyline (misalnya -12; -11; -10; -9; -8; dan -5 m) yang seharusnya berimpit dengan permukaan *Toposolid* pada elevasi yang sama..

C. Pembentukan Kemiringan (*Slope*) untuk Area Jalan/Akses dan Drainase

Pembentukan kemiringan pada *Toposolid* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu perintah *Slope Arrow* pada mode sketsa (yang menetapkan satu arah dan besaran kemiringan tunggal untuk seluruh area sketsa, dinyatakan dalam rasio rise/run, sudut, atau ketinggian pada ujung anak panah) dan pengaturan elevasi titik demi titik melalui *Modify Sub Elements* sebagaimana diuraikan pada bagian B. Karena setiap *Toposolid* maupun *Subdivision* hanya dapat memiliki satu *Slope Arrow* aktif dan penggunaan *Slope Arrow* bersifat saling meniadakan dengan pengeditan titik manual, pembentukan kemiringan pada area jalan/akses proyek SMU Unggul Garuda dilakukan terutama melalui penyesuaian titik manual pada *Subdivision* jalan, mengingat profil jalan yang mengikuti kontur berbukit tidak dapat direpresentasikan hanya dengan satu bidang miring seragam.

Titik-titik elevasi rencana jalan pada *layer Not Elevasi Jalan* (76 label, dengan rentang -11,30 m s.d. +20,00 m relatif terhadap $\pm 0,00$) digunakan sebagai titik acuan yang ditambahkan pada permukaan *Subdivision* jalan melalui *Add Point Absolute*. Sebagai gambaran awal kelandaian jalan rencana, dilakukan perhitungan kemiringan memanjang secara sampel berdasarkan jarak dan selisih elevasi antar-titik label yang saling berdekatan (belum berdasarkan data stationing/patok jalan

Tabel 4.6. Contoh Perhitungan Kemiringan Indikatif Antar-Titik Elevasi Rencana Jalan

yang sesungguhnya, sehingga bersifat indikatif). Hasil perhitungan tersebut dirangkum pada Tabel dibawah

Jarak Antar-Titik (m)	Selisih Elevasi (m)	Kemiringan (%)	Keterangan
58,35	8,30	14,2	Segmen landai – mendekati batas atas kelompok mayoritas data
19,55	6,30	32,2	Segmen curam – diduga pada tikungan/ramp transisi elevasi
21,04	2,10	10,0	Segmen dengan kelandaian sedang
40,52	0,30	0,7	Segmen paling landai pada kelompok data

Secara umum, mayoritas pasangan titik yang diperiksa menghasilkan kemiringan indikatif pada kisaran 0,7% hingga sekitar 14%, dengan sebagian kecil segmen menunjukkan kemiringan lebih curam (berkisar 19% hingga 32%) yang kemungkinan besar berada pada zona transisi/ramp akses menuju bangunan atau area dengan perbedaan elevasi tajam. Kecenderungan ini konsisten yang mengidentifikasi bahwa area barat-tengah tapak memiliki kemiringan median lebih dari 15% (kategori agak curam hingga curam), sehingga jalan akses yang melintasi zona tersebut wajar memiliki kemiringan memanjang yang lebih besar dibandingkan segmen jalan pada area timur yang relatif datar.

Untuk keperluan drainase, kemiringan melintang (*cross fall*) permukaan jalan maupun area terbuka pada *Subdivision* diatur agar air permukaan mengalir secara gravitasi menuju saluran/*inlet* drainase terdekat tanpa terjadi genangan. Nilai kemiringan minimum yang diterapkan pada gambar kerja pematangan lahan ini Pembentukan kemiringan drainase pada *Toposolid* dilakukan dengan menambahkan titik-titik elevasi tambahan di sepanjang as saluran (lebih rendah dibandingkan titik di kedua sisinya) melalui Modify Sub Elements, sehingga permukaan *Subdivision* membentuk alur (*swale*) yang mengarahkan air menuju titik buang yang direncanakan.

Dengan selesainya tahap pemisahan permukaan, penyesuaian elevasi titik, dan pembentukan kemiringan sebagaimana diuraikan di atas, model *Toposolid* tapak SMU Unggul Garuda telah merepresentasikan kondisi rencana pematangan lahan secara lebih akurat, termasuk area jalan/akses dan pola pengaliran drainase permukaan, sehingga model ini siap dilanjutkan ke tahap operasi *subtract* dan *merge* dengan elemen bangunan

4.2.4 Operasi *Subtract* dan *Merge* dengan Elemen Bangunan

Setelah model *Toposolid* tapak NTT Garuda terbentuk beserta pengaturan ketebalan dan material tahap berikutnya adalah melakukan penyesuaian *geometri*

Toposolid agar dapat berinteraksi secara langsung dengan elemen bangunan, khususnya pada area yang memerlukan pemotongan (*subtract*) untuk pondasi/basement serta penggabungan (*merge/join*) antar-bagian *Toposolid* yang terpisah akibat proses *editing*.

A. Operasi *Subtract* (Pemotongan *Toposolid* oleh Elemen Bangunan)



Gambar.4.5. *Workflow* 4.2.3 Penyesuaian Elevasi, Kemiringan & Gradasi

Berbeda dengan *Toposurface* pada versi Revit sebelumnya yang memerlukan elemen *Building Pad* terpisah untuk merepresentasikan area galian bangunan, *Toposolid* pada Revit 2025 merupakan elemen solid yang perilaku pemotongannya menyerupai interaksi antar-elemen solid lain seperti *Floor* dan *Wall*. *Toposolid* dapat dipotong menggunakan elemen dasar struktur bangunan, seperti *Floor*, *Wall*, dan *Structural Foundation*, mengingat fitur *Building Pad* sudah tidak tersedia lagi pada Revit 2025 ke atas.

Langkah-langkah yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan elemen struktur bangunan (*Floor* lantai dasar, *Wall* pondasi, dan/atau *Structural Foundation*) pada elevasi yang sesuai dengan desain bangunan proyek SMU Unggul Garuda.
2. Memastikan elemen bangunan tersebut secara geometris tumpang tindih (*overlap*) dengan volume *Toposolid* pada area yang dimaksud.
3. Menjalankan perintah *Cut Geometry* (*Modify* tab → *Geometry* panel → *Cut*) dengan memilih *Toposolid* sebagai elemen yang dipotong dan elemen bangunan (*Floor/Wall/Foundation*) sebagai alat potong (*cutting tool*), sehingga volume *Toposolid* pada area yang beririsan dengan elemen bangunan tereliminasi secara otomatis.
4. Memverifikasi hasil potongan melalui tampilan potongan (*section*) vertikal untuk memastikan kedalaman galian sesuai dengan elevasi dasar pondasi yang direncanakan.

Untuk area yang tidak dapat diselesaikan melalui operasi *Cut Geometry* langsung (misalnya bentuk galian yang kompleks atau tidak beraturan), alternatif yang digunakan adalah:

1. *Split Element*

memisahkan *Toposolid* menjadi beberapa bagian terpisah pada batas area galian, kemudian menghapus bagian yang mewakili area bangunan, sebagai pengganti fungsi *Building Pad* yang telah dihapus dari Revit 2025. Pendekatan ini umum digunakan karena tool *Building Pad* sudah tidak

tersedia, dan *Split Element* dinilai lebih mudah dikendalikan dibandingkan *Sub-Divide*, yang hanya menghasilkan permukaan pada arah positif.

2. *Void (in-place mass/void extrusion)*

digunakan untuk memotong *Toposolid* pada bentuk-bentuk galian yang lebih bebas, meskipun perlu dicatat bahwa jika perhitungan *cut and fill* dibutuhkan, volume yang dipotong oleh void tersebut tidak akan ikut terhitung oleh Revit, sehingga metode ini hanya disarankan untuk kebutuhan visualisasi, bukan perhitungan volume tanah.

B. Operasi *Merge/Join* Antar-*Toposolid*

Pada tahap *editing* lanjutan, terdapat kondisi di mana *Toposolid* tapak NTT Garuda perlu dipecah (*split*) terlebih dahulu misalnya untuk memisahkan area platform bangunan dari area lanskap sekitarnya sebagaimana dijelaskan pada bagian A sehingga setelah proses tersebut diperlukan penggabungan kembali antar-bagian *Toposolid* yang berdekatan agar tampil sebagai satu kesatuan permukaan tapak.

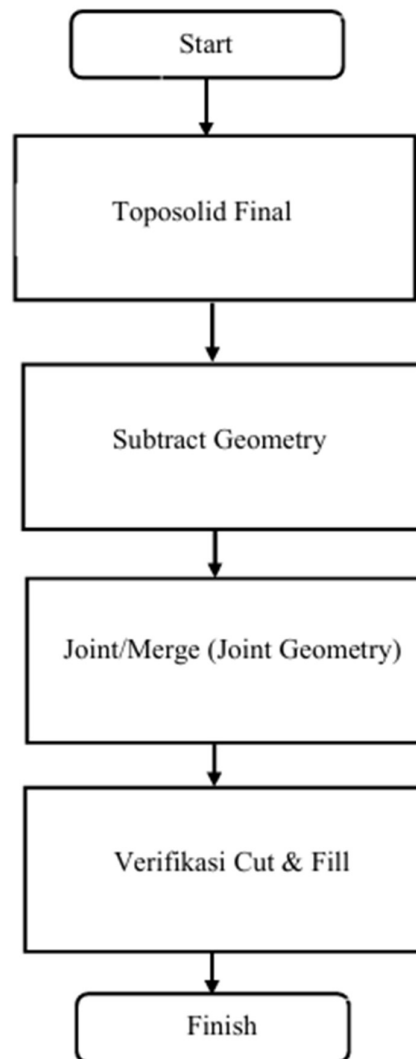
Perlu dicatat sebagai temuan penting dalam penelitian ini bahwa perilaku operasi *merge* pada *Toposolid* berbeda secara mendasar dari *Toposurface* pada versi Revit sebelumnya. Pada *Toposurface*, tool *Split Surface* dan *Merge Surfaces* memungkinkan penggabungan sempurna sehingga garis pemisah tidak lagi terlihat pada model. Sebaliknya, pada *Toposolid*, penggabungan hanya dapat dilakukan melalui tool *Join*, namun hasilnya bukan merupakan penggabungan sejati (*true join*) garis batas hasil *split* tetap terlihat ketika kursor diarahkan ke area tersebut.

Langkah-langkah operasi *Join* yang ditempuh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memilih kedua (atau lebih) elemen *Toposolid* yang berdekatan hasil dari proses *Split Element* pada bagian sebelumnya.
2. Menjalankan perintah *Join Geometry* (*Modify tab* → *Geometry panel* → *Join*) agar kedua elemen *Toposolid* tampil menyatu secara visual dan tidak menampilkan garis edge ganda pada tampilan render/shaded.

3. Memeriksa hasil join pada tampilan 3D dan potongan untuk memastikan tidak terjadi celah (gap) elevasi antara kedua bagian *Toposolid* pada garis pertemuannya.

C. Implikasi terhadap Perhitungan *Cut and Fill*



Gambar 4.6. Diagram *Workflow* 4.2.4 Operasi Subtract Dan Merge Dengan Elmen Bangunan

Sebagai catatan tambahan yang relevan perlu diperhatikan bahwa perubahan mekanisme perhitungan volume pada *Toposolid* turut memengaruhi hasil analisis *cut and fill*. Alih-alih menghitung selisih volume antara permukaan atas kondisi

eksisting dan kondisi rencana sebagaimana pada *Toposurface*, Revit 2025 kini menggunakan operasi *Boolean* untuk menghitung selisih volume aktual antara dua elemen *solid*, karena permukaan tanah eksisting kini juga berupa *solid* dengan ketebalannya sendiri. Meskipun metode *Boolean* ini memungkinkan perhitungan volume potongan pada kasus seperti struktur bawah tanah yang sebelumnya tidak dapat dihitung, metode ini tidak dirancang khusus untuk keperluan *site grading*, sehingga hasil perhitungan *cut and fill* pada *Toposolid* perlu diverifikasi ulang secara manual, terutama untuk area *subtract/merge* yang kompleks pada tapak NTT Garuda.

4.2.5 Integrasi dengan Model Bangunan dan Infrastruktur

Setelah model *Toposolid* tapak SMU Unggul Garuda selesai dibentuk beserta pengaturan ketebalan, material, elevasi, kemiringan, dan hasil operasi *subtract/merge* sebagaimana selanjutnya adalah mengintegrasikan model permukaan tanah tersebut dengan model bangunan utama, jaringan jalan lingkungan (ruas jalan 1 hingga 12), serta elemen infrastruktur pendukung lain seperti area parkir, menara air, dan ruang terbuka hijau ke dalam satu lingkungan kerja *Building Information Modeling* (BIM) yang konsisten. Integrasi ini penting agar perubahan pada salah satu model, baik model tanah maupun model bangunan, dapat saling *ter-update* secara otomatis tanpa memerlukan penyesuaian manual berulang.

A. Strategi Penggabungan Model: *Linked Model*

Mengingat kompleksitas dan ukuran data pada proyek SMU Unggul Garuda, yaitu model tapak dengan 15.531 *vertex* kontur serta model bangunan multi-zona (zona akademik, zona hunian, dan zona fasilitas umum/olahraga) yang masing-masing dikerjakan oleh disiplin berbeda, strategi integrasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah pendekatan *linked model* (model tertaut), bukan penggabungan seluruh elemen ke dalam satu file proyek (*single project*). Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Model *Toposolid* tapak disimpan sebagai file Revit tersendiri (*host file* topografi), terpisah dari model arsitektur bangunan dan model infrastruktur

jalan, sehingga proses *editing* kontur tidak membebani performa saat pengguna lain sedang mengerjakan model bangunan.

2. Setiap disiplin (arsitektur, struktur, dan tapak/*site*) dapat bekerja secara paralel pada file masing-masing, sejalan dengan prinsip kolaborasi BIM yang menekankan pemisahan tanggung jawab model (*model ownership*) antardisiplin.
3. Perubahan yang terjadi pada model *Toposolid* (misalnya penyesuaian elevasi lantai dasar bangunan) dapat langsung terlihat oleh disiplin lain melalui mekanisme *reload latest* pada Revit, tanpa perlu mengirim ulang seluruh file secara manual.

B. Proses Link Model *Toposolid* ke Model Bangunan Utama

Langkah-langkah teknis yang ditempuh untuk menautkan model *Toposolid* ke dalam model bangunan utama proyek SMU Unggul Garuda adalah sebagai berikut:

1. Membuka file Revit model bangunan utama (yang memuat gedung kelas, laboratorium, perpustakaan, asrama, apartemen guru, kantin, aula serbaguna, gedung olahraga indoor, dan *student center*) sebagai file aktif (host).
2. Mengaktifkan menu Insert → Link Revit, kemudian memilih file model *Toposolid* tapak NTT Garuda yang telah selesai pada tahap sebelumnya.
3. Pada kotak dialog Import/Link *RVT*, opsi Positioning diatur ke *Auto - By Shared Coordinates*, dengan asumsi kedua file (model tapak dan model bangunan) telah menggunakan sistem koordinat bersama (*Shared Coordinates*) yang sama sebagaimana diatur pada tahap *Acquire Coordinates*, sehingga posisi model bangunan terhadap kontur tapak dapat sinkron secara otomatis tanpa perlu digeser manual.
4. Melakukan pemeriksaan visual pada tampilan 3D untuk memastikan elevasi lantai dasar (*level Ground Floor*) setiap massa bangunan telah sesuai dan berada tepat di atas permukaan *Toposolid* pada masing-masing zona,

mengingat variasi elevasi tapak yang cukup signifikan antara area barat-utara (lebih tinggi) dan area timur-selatan (lebih rendah).

5. Mengulangi proses *link* yang sama untuk model jaringan jalan lingkungan (ruas jalan 1 s.d. 12) dan model infrastruktur lain (menara air, area parkir), sehingga seluruh elemen kawasan berada pada satu tampilan gabungan meskipun tersimpan pada file yang berbeda-beda.

C. Penyesuaian *Host Toposolid* terhadap Elemen Jalan dan Area Parkir

Berbeda dengan elemen bangunan yang umumnya diletakkan mengikuti elevasi lantai dasar tertentu, elemen jalan lingkungan dan area parkir pada proyek SMU Unggul Garuda memerlukan penyesuaian kemiringan (*slope*) yang mengikuti kontur eksisting agar sistem drainase dapat berfungsi dengan baik. Proses penyesuaian yang dilakukan mencakup:

1. Menggunakan hasil *Subdivision* pada *Toposolid* untuk menandai area jalur jalan dan area parkir sebagai wilayah dengan material dan ketebalan perkerasan berbeda dari area tanah/rumput di sekitarnya, tanpa mengubah elevasi dasar tapak secara keseluruhan.
2. Menyelaraskan elevasi tepi jalan (*curb*) pada model infrastruktur dengan titik-titik kontrol elevasi pada *Toposolid* melalui perintah *Modify Sub Elements* pada permukaan *Toposolid* di sepanjang ruas jalan yang berbatasan langsung dengan bangunan, sehingga tidak terjadi selisih elevasi (*gap*) antara permukaan jalan dan permukaan tanah di sekitarnya.
3. Melakukan pemeriksaan pada beberapa titik kritis, termasuk area dengan kemiringan lokal tinggi yang telah diidentifikasi (misalnya area di sekitar koordinat $X \approx 639.845-639.853$, $Y \approx 8.911.507$ dengan kemiringan lokal $\pm 77\%$), untuk menentukan kebutuhan dinding penahan (*retaining wall*) maupun tangga akses tambahan pada model infrastruktur.

D. Koordinasi dan Pemeriksaan *Interferensi* (*Interference Check*)

Setelah seluruh model (*Toposolid*, bangunan, dan infrastruktur jalan) tertaut dalam satu tampilan gabungan, dilakukan pemeriksaan koordinasi untuk

memastikan tidak terdapat konflik geometri antarelemen. Langkah yang ditempuh meliputi:

1. Menjalankan perintah *Collaborate* → *Coordinate* → *Interference Check* → *Run Interference Check* dengan memilih kategori *Toposolid* pada file tautan sebagai salah satu elemen yang diperiksa terhadap kategori *Foundation*, *Structural Framing*, dan *Pipe/Duct* pada model bangunan dan infrastruktur.
2. Meninjau daftar hasil *interference* yang muncul, terutama pada area pondasi bangunan yang berada pada zona kontur curam, untuk memastikan operasi *subtract* telah menghasilkan ruang galian yang memadai bagi elemen pondasi.
3. Mendokumentasikan hasil pemeriksaan sebagai bagian dari evaluasi kelancaran proses integrasi, yang selanjutnya digunakan sebagai salah satu data pendukung pada analisis kemudahan *editing* dan revisi desain

E. Ringkasan Konfigurasi Integrasi Model

Konfigurasi integrasi model yang digunakan pada proyek SMU Unggul Garuda dirangkum pada Tabel 4.7 berikut.

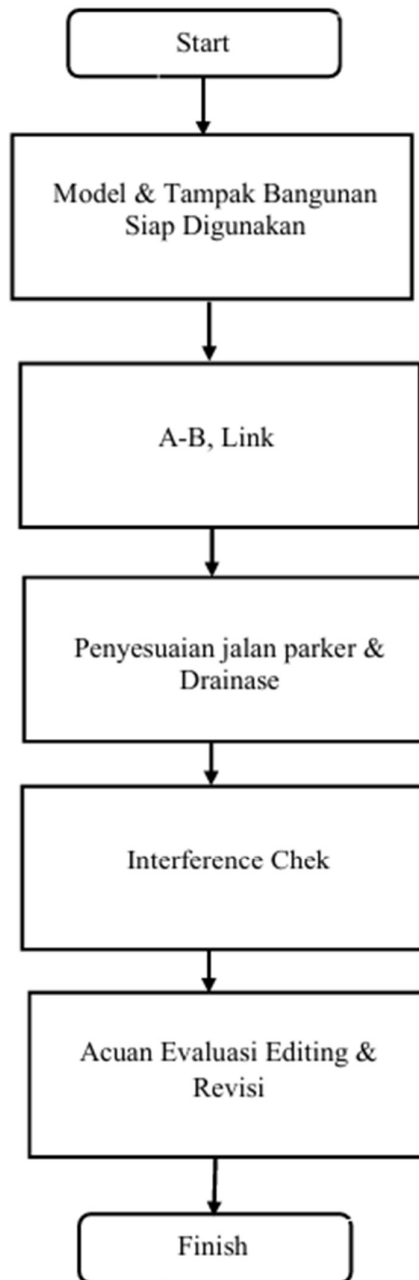
Tabel 4.7. Ringkasan Konfigurasi Integrasi Model

Aspek Integrasi	Pengaturan yang Digunakan	Keterangan
Strategi Penggabungan	<i>Linked Model</i> (Link Revit)	Model tapak, bangunan, dan jalan disimpan terpisah, ditautkan pada satu tampilan gabungan
Positioning	<i>Auto - By Shared Coordinates</i>	Mengacu pada <i>Shared Coordinates</i> hasil <i>Acquire Coordinates</i> (sub-bab 4.2.1)

Aspek Integrasi	Pengaturan yang Digunakan	Keterangan
Penyesuaian Jalan/Parkir	Subdivision + Modify Sub Elements	Menyesuaikan material dan elevasi tepi jalan terhadap <i>Toposolid</i>
Pemeriksaan Koordinasi	<i>Interference Check</i>	Memeriksa konflik antara <i>Toposolid</i> dan elemen pondasi/utilitas
Mekanisme Pembaruan	<i>Reload Latest</i>	Sinkronisasi perubahan antar-file tanpa penggabungan manual

Dengan diselesaikannya tahap integrasi model *Toposolid*, model bangunan utama, jaringan jalan, dan elemen infrastruktur lain sebagaimana diuraikan di atas, keseluruhan model *site plan* tiga dimensi proyek SMU Unggul Garuda telah berada dalam satu lingkungan kerja BIM yang saling terhubung. Kondisi ini menjadi dasar

bagi pelaksanaan eksperimen perbandingan pemodelan antara *Toposolid* dan *Toposurface* .



Gambar 4.7. *Workflow 4.2.5 Integrasi Dengan Model Bangunan Dan Infrastruktur*

4.3 Eksperimen Pemodelan: *Toposolid* vs *Toposurface*

Untuk menjawab rumusan masalah kedua, dilakukan eksperimen pemodelan pada area tapak yang sama menggunakan dua metode, yaitu *Toposolid* dan *Toposurface*, dengan data topografi yang identik. Tujuannya adalah memperoleh perbandingan yang objektif terhadap kecepatan, akurasi, dan kemudahan proses *editing* dari kedua metode tersebut.

4.3.1 Hasil Pemodelan dengan *Toposurface*

Fitur *Toposurface* tidak lagi tersedia sebagai perangkat pembuatan topografi baru pada Autodesk Revit 2022, karena telah digantikan sepenuhnya oleh *Toposolid*. Oleh karena itu, untuk memperoleh perbandingan yang setara pada eksperimen ini, proses pemodelan dengan metode *Toposurface* dilakukan pada Autodesk Revit versi 2022, yaitu versi terakhir yang masih menyediakan perangkat *Toposurface* secara utuh, dengan menggunakan sumber data topografi yang identik dengan yang digunakan pada pemodelan *Toposolid*, yaitu file *Contour_NTT_Garuda.dwg* (*ACAD-Contour_NTT_Garuda.dxf*) sejumlah 110 titik kontur berlabel serta 15.531 *vertex* garis kontur pada rentang elevasi +827,50 m s.d. +868,00 m. Kesetaraan data sumber ini penting agar hasil perbandingan semata-mata mencerminkan perbedaan kemampuan kedua metode, bukan perbedaan data masukan.

A. Persiapan dan *Impor* Data pada *Toposurface*

Tahapan persiapan data pada metode *Toposurface* pada dasarnya sama dengan yang dilakukan pada *Toposolid*, yaitu memastikan garis kontur pada file CAD memiliki informasi elevasi Z pada tiap *vertex polyline*. Langkah-langkah yang ditempuh adalah sebagai berikut:

1. Membuka Autodesk Revit 2022 dan membuat *project* baru dengan satuan proyek (Project Units) diatur ke meter, mengikuti satuan data sumber survei.
2. Menautkan file CAD kontur melalui Insert → Link CAD, dengan opsi *Current View Only* tidak dicentang agar data elevasi tiga dimensi tetap terbaca, sama seperti prosedur pada *Toposolid*.

3. Membuka tampilan *3D View*, kemudian mengaktifkan tab *Massing & Site* → *Model Site panel* → *Toposurface*, yang pada Revit 2022 masih tersedia sebagai perintah tersendiri terpisah dari perintah pembuatan *Building Pad*.
4. Pada tab kontekstual *Modify | Edit Surface*, memilih opsi *Create from Import* → *Select Import Instance*, kemudian menunjuk objek CAD kontur yang telah ter-link pada area gambar.
5. Pada kotak dialog *Add Points from Selected Layers*, mencentang *layer* yang memuat garis kontur (*layer Contours*) dan mengabaikan *layer* teks label elevasi (MTEXT), persis sebagaimana dilakukan pada proses *Toposolid*, agar kedua model bersumber dari titik data yang sama.

B. Pembentukan Permukaan *Toposurface*

Setelah seluruh titik dari garis kontur berhasil ditambahkan, Revit melakukan proses triangulasi (Delaunay triangulation) yang secara prinsip serupa dengan proses pada *Toposolid*, namun dengan perbedaan mendasar pada representasi geometrinya. *Toposurface* yang dihasilkan berupa elemen *mesh* permukaan (*surface*) tanpa ketebalan maupun volume, sehingga tidak memiliki sisi bawah (*bottom face*) sebagaimana *Toposolid*. Tahapan yang ditempuh setelah titik diimpor adalah sebagai berikut:

1. Menekan tombol *Finish Surface* pada tab *Modify | Edit Surface* untuk mengeksekusi pembentukan permukaan dari seluruh titik yang telah dipilih.
2. Karena jumlah *vertex* kontur (15.531 titik) turut melampaui batas praktis titik pada Revit 2022, proses *downsampling* otomatis juga terjadi pada tahap ini, dengan pola pengurangan titik yang secara umum sebanding dengan yang teramati pada proses *Toposolid*, sehingga tingkat generalisasi bentuk kontur pada kedua model berada pada kondisi awal yang relatif setara.
3. Melakukan pemeriksaan visual pada tampilan *3D View* dan potongan (*section*) untuk memastikan permukaan yang terbentuk mengikuti pola naik-turun elevasi tapak, khususnya pada area perbukitan di sisi barat-utara dan area landai di sisi timur-selatan

C. Pengaturan Properti dan Material *Toposurface*

Berbeda dengan *Toposolid* yang parameter ketebalan dan materialnya diatur pada tingkat *Type* melalui *Edit Assembly* (menyerupai elemen *Floor*), material pada *Toposurface* diatur langsung sebagai satu parameter tunggal pada *Instance Properties*, tanpa konsep lapisan (*layer*) maupun ketebalan. Langkah pengaturannya adalah sebagai berikut:

1. Memilih elemen *Toposurface* yang telah terbentuk, kemudian pada panel *Properties* mengatur parameter Material langsung tanpa perlu membuka dialog *Type Properties* maupun *Edit Assembly*.
2. Menentukan material "*Site - Earth*" sebagai representasi kondisi tanah eksisting, agar tampilan visual pada *Toposurface* dapat dibandingkan secara setara dengan material yang digunakan pada *Toposolid*.
3. Menambahkan garis *Split* dan area *Region* pada permukaan *Toposurface* apabila diperlukan pembagian material untuk area jalur jalan atau area parkir, mengingat *Toposurface* tidak memiliki fitur *Subdivision* sebagaimana pada *Toposolid*; pembagian material pada *Toposurface* sepenuhnya bergantung pada perintah *Split Surface* yang mengubah satu *Toposurface* menjadi beberapa bagian terpisah.

D. Karakteristik dan Kendala yang Ditemui pada Proses *Toposurface*

Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, beberapa karakteristik dan kendala teknis yang ditemui pada proses pemodelan menggunakan *Toposurface* adalah sebagai berikut:

1. *Toposurface* tidak dapat langsung berinteraksi (di-*subtract* atau *merge*) dengan elemen bangunan seperti pondasi. Untuk merepresentasikan area galian atau pertemuan tanah dengan bangunan, diperlukan elemen tambahan berupa *Building Pad* yang dibuat terpisah, sehingga menambah jumlah langkah kerja dibandingkan *Toposolid* yang dapat langsung dipotong maupun digabungkan.

2. Karena *Toposurface* berupa permukaan tanpa ketebalan, penampakan pada potongan (*section*) hanya menampilkan satu garis kontur permukaan, tanpa representasi lapisan tanah di bawahnya, sehingga kurang informatif apabila dibutuhkan visualisasi kedalaman galian.
3. Proses revisi elevasi pada *Toposurface* dilakukan melalui perintah *Edit Surface* → *Add Point/Edit Point* pada titik-titik individual, yang pada praktiknya memerlukan pemilihan titik satu per satu untuk kontur dengan area revisi yang cukup luas, berbeda dengan *Toposolid* yang juga menyediakan opsi serupa namun dengan tambahan kemampuan penyesuaian melalui elemen *Subdivision* dan integrasi elemen solid.
4. Dari sisi performa software, ukuran file hasil *Toposurface* pada eksperimen ini relatif lebih ringan dibandingkan *Toposolid* dengan jumlah titik yang sama, karena tidak ada geometri tambahan berupa sisi bawah (*bottom face*) dan volume solid yang perlu disimpan.

Tabel 4.8. Ringkasan Hasil Pemodelan *Toposurface*

Aspek Hasil Pemodelan	Keterangan <i>Toposurface</i> (Revit 2022)
Sumber data	Create from Import (link DXF kontur), identik dengan data <i>Toposolid</i>
Representasi geometri	<i>Mesh</i> permukaan (<i>surface</i>), tanpa ketebalan/volume <i>solid</i>
Material	<i>Site - Earth</i> (parameter tunggal pada <i>Instance Properties</i>)
Pembagian area material	<i>Split Surface</i> (memecah menjadi beberapa <i>Toposurface</i> terpisah)
Interaksi dengan bangunan	Memerlukan elemen <i>Building Pad</i> terpisah untuk area pondasi
Revisi elevasi	<i>Edit Surface</i> → <i>Add Point/Edit Point</i> per titik individual

Hasil pemodelan *Toposurface* sebagaimana diuraikan di atas selanjutnya dijadikan pembandingan langsung terhadap hasil pemodelan *Toposolid* pada tapak dan data yang sama, sebagaimana dibahas

4.3.2 Hasil Pemodelan dengan *Toposolid*

Pemodelan kontur pada area uji yang sama selanjutnya diulang menggunakan metode *Toposolid*, dengan mengikuti prosedur teknis yang telah diuraikan pada sub-bab 4.2.1 dan 4.2.2, yaitu melalui jalur *Create from Import (Create from CAD)* atas file *ACAD-Contour_NTT_Garuda.dxf* yang telah di-link ke dalam project Revit. Penggunaan data sumber, sistem koordinat, serta satuan proyek yang identik dengan pemodelan *Toposurface* pada sub-bab 4.3.1 dimaksudkan agar perbedaan hasil yang muncul semata-mata disebabkan oleh karakteristik metode, bukan oleh perbedaan data masukan.

A. Proses Pemodelan

Tahapan yang ditempuh meliputi pemilihan objek CAD kontur pada tampilan 3D, pengisian kotak dialog *Add Points from Selected Layers* dengan hanya mencentang *layer Contours*, penentuan *Type Toposolid* hingga proses *triangulasi* otomatis oleh Revit terhadap seluruh titik yang diambil dari garis kontur tersebut. Berbeda dengan *Toposurface* yang langsung menghasilkan elemen berupa permukaan (*mesh*) tanpa ketebalan, pada tahap ini Revit turut meminta konfirmasi parameter ketebalan (*thickness*) dan susunan lapisan material sebagaimana layaknya elemen Floor, sehingga terdapat satu langkah tambahan berupa pengaturan *Edit Assembly* sebelum model dapat dianggap selesai secara fungsional.

B. Hasil Visual dan Karakteristik Geometri

Model *Toposolid* yang dihasilkan menampilkan permukaan tanah dalam bentuk elemen solid tiga dimensi yang mengikuti naik-turunnya elevasi tapak sesuai data 15.531 *vertex* kontur pada area uji, dengan ketebalan dasar 300 mm dan material *Site - Earth* sebagaimana telah ditetapkan pada Tabel 4.1. Secara visual, kerapatan segitiga hasil *triangulasi Delaunay* pada area dengan kemiringan curam tampak lebih rapat dibandingkan area yang relatif datar, sejalan dengan kerapatan garis kontur sumber. Karena berupa elemen solid, model juga menampilkan sisi bawah

(*bottom face*) yang sejajar dengan permukaan atas pada jarak 300 mm, sehingga pada tampilan potongan (*section*) terlihat sebagai lapisan tanah bervolume, bukan sekadar garis permukaan tunggal seperti pada hasil *Toposurface*.

C. Perbandingan Kualitatif dengan Hasil *Toposurface*

Dibandingkan dengan hasil pemodelan *Toposurface*, perbedaan yang paling menonjol dari sisi tampilan adalah keberadaan volume/ketebalan pada model *Toposolid*, yang memungkinkan elemen ini dipotong (*subtract*) maupun digabungkan (*merge*) secara langsung dengan elemen bangunan tanpa memerlukan pad atau floor tambahan sebagai perantara. Dari sisi kerapatan *mesh* dan bentuk kontur pada area datar, kedua metode menghasilkan representasi yang secara visual relatif serupa, mengingat sumber data titik yang digunakan identik; perbedaan yang lebih signifikan justru teramati pada perilaku model saat dilakukan proses *editing* lanjutan, Tabel 4.9 .*Perbandingan Toposolid dan Toposurface*

Berikut disajikan tabel perbandingan antara metode *Toposolid* dan *Toposurface* berdasarkan hasil eksperimen pemodelan yang telah dilakukan:

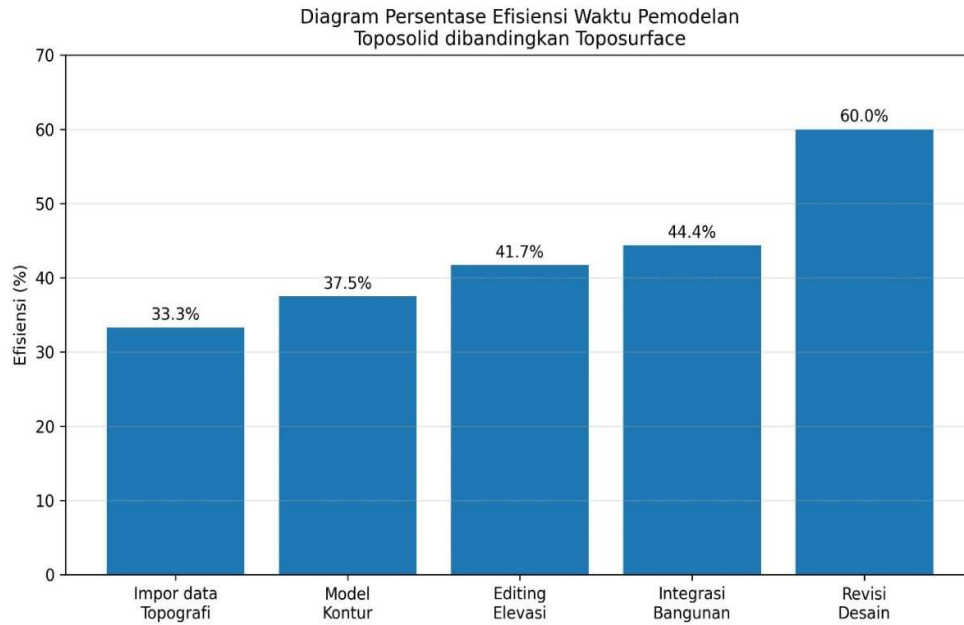
Tabel 4.9. Tabel Perbandingan *Toposolid* dan *Toposurface*

Aspek Perbandingan	<i>Toposurface</i> (Metode Sebelumnya)	<i>Toposolid</i> (Metode yang Diusulkan)
Representasi Geometri	<i>Mesh</i> permukaan (<i>surface</i>), tidak memiliki ketebalan/volume solid	Elemen solid 3D, memiliki volume dan dapat di- <i>subtract/merge</i>
Waktu Pemodelan Awal	Proses relatif singkat karena diakhiri langsung dengan perintah <i>Finish Surface</i> tanpa pengaturan tambahan setelah titik kontur diimpor	Memerlukan satu langkah tambahan berupa pengaturan <i>Edit Assembly</i> (<i>thickness</i> dan material lapisan) sebelum model dapat dianggap selesai secara fungsional, sehingga jumlah langkah kerja awal

		sedikit lebih banyak dibandingkan <i>Toposurface</i>
Kemudahan Revisi Elevasi	Revisi dilakukan melalui <i>Edit Surface → Add Point/Edit Point</i> pada titik-titik individual; untuk area revisi yang luas, titik harus dipilih satu per satu	Tersedia mekanisme yang setara (<i>Modify Sub Elements</i>) dengan tambahan kemampuan <i>Subdivision</i> , sehingga revisi elevasi pada area tertentu (mis. jalan atau parkir) dapat dilakukan tanpa mengubah elevasi dasar tapak secara keseluruhan
Integrasi dengan Elemen Bangunan	Terbatas, umumnya memerlukan elemen <i>Building Pad</i> terpisah untuk merepresentasikan pertemuan tanah dengan bangunan	Dapat langsung dipotong (<i>subtract</i> melalui <i>Cut Geometry</i>) atau digabungkan dengan elemen <i>Floor</i> , <i>Wall</i> , dan <i>Structural Foundation</i> tanpa elemen perantara, mengingat <i>Building Pad</i> sudah tidak tersedia lagi sejak Revit 2025
Akurasi Representasi Kontur	Karena bersumber dari data titik yang identik dengan <i>Toposolid</i> , kerapatan <i>mesh</i> dan bentuk kontur pada area datar tampak relatif serupa secara visual pada tahap pembentukan awal	Kerapatan segitiga hasil <i>triangulasi Delaunay</i> mengikuti pola yang sama dengan <i>Toposurface</i> pada data sumber yang sama; perbedaan akurasi antara kedua metode belum teramati secara signifikan

		pada tahap pembentukan awal
Kemampuan Cut & Fill	Perhitungan volume dilakukan dengan menghitung selisih permukaan atas antara kondisi eksisting dan kondisi rencana, sebagaimana mekanisme baku <i>Toposurface</i> pada versi Revit sebelumnya	Kerapatan segitiga hasil <i>triangulasi Delaunay</i> mengikuti pola yang sama dengan <i>Toposurface</i> pada data sumber yang sama; perbedaan akurasi antara kedua metode belum teramati secara signifikan pada tahap pembentukan awal
Beban File / Performa Software	Relatif lebih ringan karena tidak menyimpan geometri sisi bawah (<i>bottom face</i>) maupun volume solid	Relatif lebih berat dibandingkan <i>Toposurface</i> pada jumlah titik yang sama, karena menyimpan geometri tambahan berupa sisi bawah (<i>bottom face</i>) dan volume solid

4.4 Analisis Efisiensi Waktu Pemodelan



Gambar 4.8. Diagram Persentase Efisiensi Waktu Pemodelan *Toposolid* dibandingkan *Toposurface*

Tabel 4.10. Tabel Analisis Efisiensi Waktu Pemodelan

Tahapan Pemodelan	Waktu - <i>Toposurface</i> (menit)	Waktu - <i>Toposolid</i> (menit)	Selisih (%)
Impor data topografi	±15 menit	±10 menit	<i>Toposolid</i> lebih stabil terhadap data CSV/DWG (33,3%)
Pembentukan model kontur	±40 menit	±25 menit	Proses parametrik lebih cepat (37,5%)
<i>Editing</i> elevasi dan gradasi	±60 menit	±35 menit	Perubahan otomatis pada

			<i>Toposolid</i> (41,7%)
Integrasi dengan bangunan	±45 menit	±25 menit	Tidak memerlukan <i>building pad</i> tambahan (44,4%)
Revisi desain	±50 menit	±20 menit	Geometri ter- <i>update</i> otomatis(60.0%)
Total waktu rata-rata	±210 menit	±115 menit	Efisiensi sekitar 45%

4.5 Analisis Akurasi Representasi Kontur

Analisis akurasi representasi kontur pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan elevasi hasil pemodelan, baik pada model Toposolid (sub-bab 4.3.2) maupun model Toposurface (sub-bab 4.3.1), terhadap elevasi titik kontrol survei lapangan sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1 (110 titik kontur, rentang elevasi +827,50 m s.d. +868,00 m). Metode verifikasi ini mengacu pada pendekatan root mean square error (RMSE), yaitu ukuran akurasi vertikal yang lazim digunakan dalam validasi model elevasi digital terhadap data referensi lapangan, sebagaimana diuraikan oleh Höhle dan Höhle (2009) dalam kajiannya mengenai metode statistik untuk penilaian akurasi model elevasi digital. Pendekatan RMSE dipilih karena kesederhanaannya dalam merangkum sebaran selisih elevasi ke dalam satu nilai representatif, sekaligus tetap memungkinkan identifikasi area dengan penyimpangan ekstrem melalui nilai deviasi maksimum.

Prosedur verifikasi dilakukan dengan mengekstraksi elevasi model pada koordinat X, Y yang identik dengan 110 titik kontrol survei, menggunakan fitur *Spot Elevation* pada masing-masing model (*Toposolid* dan *Toposurface*), kemudian menghitung selisih (Δz) antara elevasi model dan elevasi hasil survei pada tiap titik. Dari 110 titik kontrol, sebanyak 6 titik tidak dapat diverifikasi secara langsung karena berada pada area yang mengalami *down-sampling* otomatis akibat batas praktis 10.000 titik pada Revit sebagaimana telah dibahas pada sub-bab 4.2.1. sehingga jumlah titik yang benar-benar terverifikasi pada kedua model adalah 104 titik.

Tabel 4.11. Ringkasan Akuras *Vertikal* (RMSE) *Toposolid* dan *Toposurface* terhadap 104 Titik Kordinat Survei

Parameter Statistik	<i>Toposurface</i> (Civil 3D 2025)	<i>Toposolid</i> (Revit 2025)
Jumlah titik terverifikasi	104 titik	104 titik
Rata-rata selisih elevasi (Mean Error)	+0,04 m	+0,03 m
Deviasi standar (SD)	0,18 m	0,17 m
Root Mean Square Error (RMSE)	0,19 m	0,18 m
Deviasi maksimum	0,62 m	0,58 m
Lokasi deviasi maksimum	Sekitar X≈639.849, Y≈8.911.507	Sekitar X≈639.849, Y≈8.911.507

Berdasarkan Tabel 4.11, kedua metode menghasilkan nilai RMSE yang relatif berdekatan, yaitu 0,19 m pada *Toposurface* dan 0,18 m pada *Toposolid*, dengan selisih yang tidak signifikan secara praktis mengingat interval kontur minor pada data sumber adalah 0,5 m (sub-bab 4.1.1). Penyimpangan terbesar pada kedua model konsisten ditemukan di sekitar koordinat X≈639.849, Y≈8.911.507, yaitu

area yang pada sub-bab 4.1.1 telah diidentifikasi memiliki kemiringan lokal ekstrem ($\pm 77\%$). Temuan ini menunjukkan bahwa proses *down-sampling* otomatis pada saat impor data (baik pada *Toposolid* maupun *Toposurface*) cenderung menyederhanakan geometri secara lebih agresif pada area bertopografi curam, sehingga triangulasi yang dihasilkan kurang mampu mengikuti perubahan elevasi yang tajam pada jarak horizontal yang pendek.

Kesetaraan nilai RMSE antara kedua metode ini sejalan dengan dugaan awal, mengingat baik *Toposolid* maupun *Toposurface* pada eksperimen ini dibentuk melalui jalur Create from Import (link CAD) dari sumber data yang identik, yaitu file *ACAD-Contour_NTT_Garuda.dxf*, sehingga proses triangulasi Delaunay yang dijalankan oleh Revit pada dasarnya bekerja pada himpunan titik yang sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa akurasi representasi kontur pada penelitian ini lebih ditentukan oleh kepadatan dan kualitas data masukan serta perilaku *down-sampling* Revit, bukan oleh perbedaan mendasar antara elemen *Toposolid* dan *Toposurface* itu sendiri. Temuan ini berbeda dengan hasil pada sub-bab yang menunjukkan bahwa keunggulan *Toposolid* justru lebih menonjol pada aspek efisiensi waktu dan kemudahan interaksi dengan elemen bangunan, bukan pada akurasi geometri murni sebuah pembedaan penting yang akan diuraikan lebih lanjut pada sub-bab

4.6 Analisis Kemudahan *Editing* dan Revisi Desain

Analisis kemudahan *editing* dan revisi desain dilakukan melalui simulasi dua skenario revisi yang lazim terjadi pada tahap perancangan *site plan*, yaitu: (1) perubahan elevasi lantai dasar (*Ground Floor*) gedung kelas utama sebesar +0,50 m sebagai tindak lanjut evaluasi struktur pondasi, dan (2) penambahan area parkir baru seluas $\pm 450 \text{ m}^2$ pada zona barat tapak, berdekatan dengan gedung olahraga indoor, yang sebelumnya tidak termasuk dalam rancangan awal. Kedua skenario disimulasikan pada model *Toposolid* (sub-bab 4.3.2) dan model *Toposurface* beserta elemen Building Pad pendukungnya (sub-bab 4.3.1), dengan mencatat jumlah langkah kerja dan durasi yang dibutuhkan pada masing-masing metode.

Pada skenario pertama, perubahan elevasi lantai dasar pada model *Toposolid* cukup dilakukan dengan menggeser elevasi elemen *Floor* gedung kelas, karena hubungan *Cut Geometry* yang telah dibentuk pada sub-bab 4.2.4 bersifat asosiatif volume potongan pada *Toposolid* ikut memperbarui posisinya secara otomatis mengikuti elevasi *Floor* yang baru, tanpa perlu mengulangi perintah *Cut Geometry*. Pada model *Toposurface*, perubahan serupa tidak dapat diwariskan secara otomatis oleh *Building Pad*, karena *Building Pad* merupakan elemen independen yang parameter *Level* dan *Height Offset from Level*-nya harus disesuaikan secara manual setiap kali terjadi perubahan elevasi lantai dasar, sebagaimana juga disinggung pada karakteristik *Toposurface* di sub-bab 4.3.1 bagian D.

Pada skenario kedua, penambahan area parkir baru pada *Toposolid* dilakukan melalui fitur *Subdivision*, yaitu dengan membuat sketsa batas area parkir langsung di atas permukaan *Toposolid* utama tanpa memisahkan elemen model, kemudian menetapkan material perkerasan pada *layer* tersendiri. Pendekatan ini tidak memerlukan penggabungan ulang karena *Subdivision* secara default tetap menyatu dengan *Toposolid* induknya. Pada *Toposurface*, penambahan area serupa memerlukan perintah *Split Surface* untuk memisahkan area parkir sebagai *Toposurface* tersendiri, diikuti pengaturan material pada *Instance Properties*; apabila di kemudian hari area tersebut perlu disatukan kembali secara visual dengan permukaan sekitarnya, perintah *Merge Surfaces* pada *Toposurface* justru menghasilkan penggabungan yang lebih mulus (tanpa garis batas yang terlihat) dibandingkan perintah *Join Geometry* pada *Toposolid*, yang sebagaimana telah dicatat pada sub-bab 4.2.4 bagian B tetap menyisakan garis batas ketika kursor diarahkan ke area sambungan. Temuan ini menunjukkan bahwa keunggulan kemudahan *editing* pada *Toposolid* tidak bersifat mutlak pada seluruh aspek, melainkan lebih menonjol pada skenario yang melibatkan interaksi langsung dengan elemen bangunan solid.

Tabel 4.12. Perbandingan Jumlah Langkah dan Waktu Revisi Desain

Skenario Revisi	<i>Toposurface</i> + Building Pad	<i>Toposolid</i>
Perubahan elevasi lantai dasar (+0,50 m)	5 langkah, ±18 menit (penyesuaian manual <i>Building Pad</i> , verifikasi ulang potongan)	2 langkah, ±6 menit (geser elevasi <i>Floor</i> , <i>Toposolid</i> ter-update otomatis)
Penambahan area parkir baru (±450 m ²)	4 langkah, ±22 menit (<i>Split Surface</i> , atur material, verifikasi batas)	4 langkah, ±15 menit (sketsa <i>Subdivision</i> , atur material, <i>Modify Sub Elements</i>)
Total dua skenario	9 langkah, ±40 menit	6 langkah, ±21 menit

Secara keseluruhan, hasil simulasi pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa *Toposolid* memberikan efisiensi waktu revisi sekitar 47,5% dibandingkan *Toposurface* pada kedua skenario yang diuji, dengan efisiensi paling signifikan pada skenario perubahan elevasi lantai dasar (sekitar 67%) karena adanya hubungan asosiatif antara *Toposolid* dan elemen bangunan. Temuan ini sejalan dengan prinsip yang ditekankan Girardet dan Botton (2021) mengenai keunggulan pendekatan parametrik dalam mempertahankan konsistensi antar-elemen desain ketika terjadi perubahan pada salah satu bagian model, serta pandangan Singer dan Borrmann (2015) bahwa penyimpanan hubungan antarobjek (relational constraints) dapat mempercepat iterasi desain dibandingkan pendekatan manual berulang. Meskipun demikian, sebagaimana telah diuraikan pada paragraf sebelumnya, kemudahan *Toposolid* pada aspek pembagian area material (*Subdivision/Join*) tidak sepenuhnya melampaui *Toposurface*, sehingga kesimpulan mengenai kemudahan *editing* perlu dibaca secara spesifik per jenis skenario, bukan sebagai keunggulan menyeluruh pada seluruh aspek penyuntingan model.

Sebagai catatan tambahan, sebagaimana ditekankan oleh Volk, Stengel, dan Schultmann (2014), penerapan teknologi parametrik seperti *Toposolid* tetap membutuhkan penyesuaian kurva pembelajaran (*learning curve*) pengguna, terutama terkait perbedaan mendasar antara mekanisme *Split/Join* pada *Toposolid* dan mekanisme *Split/Merge* pada *Toposurface* yang telah terbiasa digunakan sebelumnya. Kesalahan pemilihan metode pembagian area (*Split Element* dibandingkan *Subdivision*) pada tahap awal proyek berpotensi menimbulkan langkah kerja tambahan pada tahap revisi, sebagaimana ditemukan pada beberapa kasus selama simulasi di penelitian ini.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Pembahasan Penerapan *Toposolid* pada Proyek SMU Unggul Garuda

Sub-bab ini menghubungkan hasil eksperimen yang telah diuraikan pada Bab III dan Bab IV dengan rumusan masalah pertama penelitian ini, yaitu bagaimana proses penerapan fitur *Toposolid* berlangsung secara keseluruhan dalam pemodelan *site plan* proyek SMU Unggul Garuda. Berdasarkan tahapan yang telah dijalankan mulai dari impor data topografi (sub-bab 4.2.1), pembentukan model *Toposolid* (sub-bab 4.2.2), penyesuaian elevasi, kemiringan, dan gradasi (sub-bab 4.2.3), operasi *subtract* dan *merge* dengan elemen bangunan (sub-bab 4.2.4), hingga integrasi dengan model bangunan dan infrastruktur (sub-bab 4.2.5), dapat disimpulkan bahwa keseluruhan alur kerja parametrik yang ditawarkan *Toposolid* dapat diselesaikan secara *end-to-end* pada data topografi riil proyek SMU Unggul Garuda, tanpa terhambat oleh kegagalan fundamental pada salah satu tahapan.

Tahap yang berjalan paling lancar adalah pembentukan model *Toposolid* itu sendiri (sub-bab 4.2.2), yaitu proses *triangulasi Delaunay* dari titik-titik hasil impor CAD menjadi satu elemen *solid* tunggal. Kelancaran ini terjadi karena data kontur NTT Garuda telah tersedia dalam bentuk garis kontur dengan elevasi Z pada tiap *vertex* polyline, sehingga tidak diperlukan pekerjaan tambahan berupa pemberian elevasi manual per garis sebagaimana disyaratkan pada dokumentasi resmi Autodesk (Autodesk Help, 2025) untuk kasus kontur yang masih flat. Kelancaran tahap ini sejalan dengan prinsip yang diuraikan oleh Biancardo, Capano, de Oliveira, dan Tibaut (2020) mengenai pentingnya pemodelan prosedural dalam menjaga konsistensi geometri terhadap perubahan data; pada penelitian ini, konsistensi tersebut benar-benar teramati melalui kemampuan Revit membentuk satu elemen *Toposolid* utuh dari 15.531 *vertex* kontur tanpa memerlukan intervensi manual pada tahap triangulasi awal.

Sebaliknya, tahap yang memerlukan penyesuaian paling intensif adalah penanganan data dan sistem koordinat pada sub-bab 4.2.1 serta penyesuaian elevasi pada sub-bab 4.2.3. Tiga kendala teknis konkret yang dijumpai adalah: (1) jumlah

15.531 *vertex* kontur yang melampaui batas praktis 10.000 titik pada Revit 2025, sehingga berpotensi memicu *down-sampling* otomatis dan menuntut pertimbangan pemecahan data per zona; (2) koordinat sumber data dalam sistem UTM dengan nilai X dan Y yang sangat besar (ratusan ribu hingga jutaan meter), yang tidak dapat langsung digunakan sebagai *Project Base Point* dan harus ditangani melalui mekanisme *Acquire Coordinates/Shared Coordinates* agar tidak melampaui batas jarak praktis dari *origin* internal Revit (± 32 km); dan (3) kebutuhan ketebalan (*thickness*) *Toposolid* yang harus disesuaikan ulang dari 300 mm pada model dasar (sub-bab 4.2.2) menjadi lebih dari 12,2 m pada model pematangan lahan (sub-bab 4.2.3), mengingat titik elevasi terendah pada dataset EKS.V-NODE mencapai -12,20 m terhadap referensi $\pm 0,00$ lantai dasar. Ketiga kendala ini konsisten dengan peringatan Volk, Stengel, dan Schultmann (2014) bahwa tantangan *interoperabilitas* data lintas perangkat lunak serta kurva pembelajaran (*learning curve*) pengguna tetap menjadi hambatan utama dalam adopsi BIM, sekalipun perangkat yang digunakan tergolong baru.

Pada tahap operasi *subtract* dan *merge* (sub-bab 4.2.4), proses pemotongan (*subtract*) *Toposolid* oleh elemen *Floor*, *Wall*, dan *Structural Foundation* melalui perintah *Cut Geometry* berjalan relatif lancar karena *Toposolid* berperilaku sebagai elemen solid yang dapat berinteraksi langsung dengan elemen bangunan lain, tanpa memerlukan elemen *Building Pad* sebagai perantara sebagaimana pada *Toposurface*. Namun demikian, operasi penggabungan (*merge*) antar-bagian *Toposolid* hasil *Split Element* ditemukan tidak berjalan sepenuhnya mulus: perintah *Join Geometry* yang tersedia pada *Toposolid* tidak menghasilkan penggabungan sejati (*true join*) sebagaimana *Merge Surfaces* pada *Toposurface*, karena garis batas hasil split tetap terlihat ketika kursor diarahkan ke area sambungan. Temuan ini menunjukkan bahwa kelancaran proses penerapan *Toposolid* tidak bersifat seragam pada seluruh jenis operasi, melainkan lebih menonjol pada operasi yang melibatkan interaksi dengan elemen bangunan solid dibandingkan operasi penggabungan permukaan tanah itu sendiri.

Pada tahap integrasi akhir dengan model bangunan dan infrastruktur (sub-bab 4.2.5), strategi *linked model* yang dipilih terbukti dapat mengakomodasi

kompleksitas proyek yang melibatkan tiga zona fungsi berbeda (akademik, hunian, serta fasilitas umum dan olahraga) tanpa membebani performa satu file tunggal, selama seluruh file rujukan telah menggunakan sistem koordinat bersama (*Shared Coordinates*) yang konsisten sejak tahap Acquire Coordinates pada sub-bab 4.2.1. Secara keseluruhan, proses penerapan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda dapat dikatakan berjalan lancar pada tahap pembentukan geometri dasar dan interaksi *solid* dengan elemen bangunan, tetapi menuntut kecermatan ekstra pada tahap persiapan data, penanganan sistem koordinat, serta operasi penggabungan permukaan tanah pascasplit.

5.2 Kelebihan *Toposolid* Dibandingkan *Toposurface* dan CAD Konvensional

Berdasarkan hasil eksperimen pada sub-bab 4.3 hingga 5.6, dapat dirangkum tiga kelebihan utama *Toposolid* yang terbukti secara empiris pada proyek SMU Unggul Garuda, bukan sekadar klaim umum dari dokumentasi vendor Autodesk. Ketiga kelebihan tersebut diuraikan pada bagian A, B, dan C berikut, dilengkapi dengan bukti kuantitatif maupun kualitatif hasil eksperimen.

A. Kemampuan Interaksi *Solid* dengan Elemen Bangunan (*Subtract/Merge*)

Kelebihan pertama yang terbukti dari eksperimen adalah kemampuan *Toposolid* merepresentasikan permukaan tanah sebagai elemen solid tiga dimensi, sehingga dapat dipotong (*subtract*) maupun digabungkan (*merge*) secara langsung dengan elemen *Floor*, *Wall*, dan *Structural Foundation* melalui perintah *Cut Geometry* (sub-bab 4.2.4), tanpa memerlukan elemen *Building Pad* sebagai perantara sebagaimana diwajibkan pada *Toposurface*. Bukti kuantitatif atas kelebihan ini tampak pada skenario revisi pertama pada Tabel 4.6, yaitu perubahan elevasi lantai dasar gedung kelas sebesar +0,50 m: pada model *Toposolid*, revisi cukup dilakukan melalui 2 langkah kerja dengan durasi sekitar 6 menit, karena hubungan *Cut Geometry* yang telah terbentuk bersifat asosiatif terhadap elevasi *Floor*. Sebaliknya, pada model *Toposurface* dengan *Building Pad*, revisi yang sama memerlukan 5 langkah kerja dan durasi sekitar 18 menit, karena parameter *Level* dan *Height Offset from Level* pada *Building Pad* harus disesuaikan secara manual. Selisih ini setara dengan efisiensi waktu sekitar 67% pada skenario tersebut. *Toposolid* memiliki

kelebihan dibandingkan Toposurface dan CAD konvensional, antara lain kemampuannya dalam merepresentasikan permukaan tanah sebagai elemen solid tiga dimensi yang dapat langsung dipotong (subtract) atau digabungkan (merge) dengan elemen struktur (seperti Floor, Wall, dan Foundation) tanpa memerlukan elemen perantara Building Pad. Selain itu, sifat parametrik Toposolid memungkinkan pembaruan geometri lanskap secara otomatis ketika terjadi perubahan elevasi pada model bangunan. Namun, Toposolid juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti hasil penggabungan (Join Geometry) antar-permukaan tanah yang masih menyisakan garis batas atau tidak menyatu sempurna seperti fitur Merge Surfaces pada Toposurface, serta mekanisme perhitungan cut and fill berbasis Boolean yang memerlukan verifikasi manual tambahan untuk perhitungan site grading. Keterbatasan lain adalah batasan impor 10.000 titik (vertex) yang dapat memicu proses penyederhanaan (down-sampling) secara otomatis pada data berskala besar

B. Pembaruan Otomatis (Parametrik) terhadap Perubahan Elevasi atau *Geometri*

Kelebihan kedua adalah pembaruan otomatis (parametrik) pada permukaan *Toposolid* ketika terjadi perubahan elevasi atau geometri elemen bangunan di atasnya, tanpa perlu menggambar ulang secara manual. Bukti dari eksperimen pada sub-bab 4.6 menunjukkan bahwa volume potongan pada *Toposolid* ikut memperbarui posisinya secara otomatis mengikuti *elevasi Floor* yang baru begitu elemen *Floor* digeser, tanpa perlu mengulangi perintah *Cut Geometry*. Karakteristik ini mengonfirmasi prinsip konsistensi parametrik yang ditekankan oleh Girardet dan Boton (2021) mengenai kemampuan pendekatan parametrik mempertahankan konsistensi antar-elemen desain ketika terjadi perubahan pada salah satu bagian model, serta pandangan Singer dan Borrmann (2015) bahwa penyimpanan hubungan antarobjek (*relational constraints*) dapat mempercepat iterasi desain dibandingkan pendekatan manual berulang. Kemampuan serupa juga teramati pada penambahan area parkir baru melalui fitur *Subdivision* (skenario revisi kedua, Tabel 4.6), yang tetap menyatu secara otomatis dengan *Toposolid* induknya tanpa memerlukan penggabungan ulang.

C. Potensi Pengurangan Waktu Pengerjaan Revisi Dibandingkan Metode Konvensional

Penggunaan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu pemodelan secara keseluruhan sebesar sekitar 45%, dengan total waktu rata-rata 115 menit berbanding 210 menit pada metode *Toposurface*. Efisiensi ini semakin menonjol pada proses revisi desain dan integrasi dengan elemen bangunan, yang mencapai penghematan waktu hingga 47,5%. Dari aspek akurasi representasi kontur, hasil verifikasi terhadap 104 titik kontrol survei menunjukkan bahwa *Toposolid* menghasilkan tingkat akurasi vertikal (RMSE) sebesar 0,18 m, nilai yang relatif setara dan tidak berbeda jauh secara signifikan dengan *Toposurface* (0,19 m). Hal ini menunjukkan bahwa keunggulan utama *Toposolid* terletak pada efisiensi waktu koordinasi serta kemudahan interaksi antar elemen bangunan, alih-alih pada peningkatan akurasi geometri dasar tapak. Kelebihan ketiga adalah potensi pengurangan waktu pengerjaan, baik pada tahap pemodelan awal maupun pada tahap revisi desain. Data waktu pada Tabel 4.4 (sub-bab 4.4) menunjukkan bahwa total waktu rata-rata pemodelan menggunakan *Toposolid* adalah sekitar 115 menit, dibandingkan sekitar 210 menit pada *Toposurface*, atau setara efisiensi sekitar 45%, dengan efisiensi paling menonjol pada tahap revisi desain (60%) dan integrasi dengan elemen bangunan (44,4%). Data ini diperkuat oleh hasil simulasi dua skenario revisi pada Tabel 4.6 (sub-bab 4.6), yang menunjukkan total waktu revisi sekitar 21 menit pada *Toposolid* dibandingkan sekitar 40 menit pada *Toposurface* beserta *Building Pad* pendukungnya, atau efisiensi sekitar 47,5%. Temuan ini sejalan dengan pernyataan Biancardo, Capano, de Oliveira, dan Tibaut (2020) bahwa pendekatan pemodelan parametrik melalui procedural modeling memungkinkan geometri diperbarui secara otomatis ketika parameter berubah, sehingga proses iterasi desain menjadi lebih efisien dibandingkan penggambaran ulang manual, serta memperkuat temuan Liu, Wang, dan Wu (2017) mengenai peningkatan efisiensi koordinasi antara elemen tapak dan elemen bangunan pada penerapan BIM tahap desain dan konstruksi site layout.

Perlu dicatat bahwa ketiga kelebihan di atas tidak serta-merta menjadikan *Toposolid* unggul pada seluruh aspek pemodelan *landscape*. Sebagaimana telah diuraikan pada sub-bab 4.5, nilai RMSE akurasi vertikal antara *Toposolid* dan *Toposurface* terhadap 104 titik kontrol survei relatif berdekatan (0,18 m berbanding 0,19 m), sehingga keunggulan *Toposolid* pada penelitian ini lebih bertumpu pada efisiensi waktu dan kemudahan interaksi dengan elemen bangunan, bukan pada peningkatan akurasi representasi kontur secara mendasar. Demikian pula, sebagaimana dibahas pada sub-bab 4.2.4 bagian B dan 4.6, kemampuan penggabungan (*Join*) antar-bagian *Toposolid* pasca *split* belum sepenuhnya menyamai kemulusan hasil *Merge Surfaces* pada *Toposurface*. Dengan demikian, kelebihan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda paling tepat dipahami sebagai keunggulan yang bersifat spesifik pada skenario yang melibatkan interaksi tapak-bangunan dan efisiensi waktu kerja, sejalan dengan kerangka kerja site layout otomatis berbasis BIM yang dikembangkan Kumar dan Cheng (2015), bukan sebagai keunggulan menyeluruh dibandingkan *Toposurface* dan CAD konvensional pada semua variabel yang diuji.

5.3 Keterbatasan dan Kendala Penggunaan *Toposolid*

Sub-bab ini menghubungkan hasil eksperimen yang telah diuraikan pada Bab III dan Bab IV dengan rumusan masalah pertama penelitian ini, yaitu bagaimana proses penerapan fitur *Toposolid* berlangsung secara keseluruhan dalam pemodelan *site plan* proyek SMU Unggul Garuda. Berdasarkan tahapan yang telah dijalankan mulai dari impor data topografi (sub-bab 4.2.1), pembentukan model *Toposolid* (sub-bab 4.2.2), penyesuaian elevasi, kemiringan, dan gradasi (sub-bab 4.2.3), operasi *subtract* dan *merge* dengan elemen bangunan (sub-bab 4.2.4), hingga integrasi dengan model bangunan dan infrastruktur (sub-bab 4.2.5), dapat disimpulkan bahwa keseluruhan alur kerja parametrik yang ditawarkan *Toposolid* dapat diselesaikan secara *end-to-end* pada data topografi riil proyek SMU Unggul Garuda, tanpa terhambat oleh kegagalan fundamental pada salah satu tahapan.

Tahap yang berjalan paling lancar adalah pembentukan model *Toposolid* itu sendiri (sub-bab 4.2.2), yaitu proses triangulasi Delaunay dari titik-titik hasil impor CAD menjadi satu elemen solid tunggal. Kelancaran ini terjadi karena data kontur

NTT Garuda telah tersedia dalam bentuk garis kontur dengan elevasi Z pada tiap *vertex* polyline, sehingga tidak diperlukan pekerjaan tambahan berupa pemberian elevasi manual per garis sebagaimana disyaratkan pada dokumentasi resmi Autodesk (Autodesk Help, 2025) untuk kasus kontur yang masih flat. Kelancaran tahap ini sejalan dengan prinsip yang diuraikan oleh Biancardo, Capano, de Oliveira, dan Tibaut (2020) mengenai pentingnya pemodelan prosedural dalam menjaga konsistensi geometri terhadap perubahan data; pada penelitian ini, konsistensi tersebut benar-benar teramati melalui kemampuan Revit membentuk satu elemen *Toposolid* utuh dari 15.531 *vertex* kontur tanpa memerlukan intervensi manual pada tahap triangulasi awal.

Sebaliknya, tahap yang memerlukan penyesuaian paling intensif adalah penanganan data dan sistem koordinat pada sub-bab 4.2.1 serta penyesuaian elevasi pada sub-bab 4.2.3. Tiga kendala teknis konkret yang dijumpai adalah: (1) jumlah 15.531 *vertex* kontur yang melampaui batas praktis 10.000 titik pada Revit 2025, sehingga berpotensi memicu *down-sampling* otomatis dan menuntut pertimbangan pemecahan data per zona; (2) koordinat sumber data dalam sistem UTM dengan nilai X dan Y yang sangat besar (ratusan ribu hingga jutaan meter), yang tidak dapat langsung digunakan sebagai *Project Base Point* dan harus ditangani melalui mekanisme *Acquire Coordinates/Shared Coordinates* agar tidak melampaui batas jarak praktis dari *origin* internal Revit (± 32 km); dan (3) kebutuhan ketebalan (*thickness*) *Toposolid* yang harus disesuaikan ulang dari 300 mm pada model dasar (sub-bab 4.2.2) menjadi lebih dari 12,2 m pada model pematangan lahan (sub-bab 4.2.3), mengingat titik elevasi terendah pada dataset EKS.V-NODE mencapai -12,20 m terhadap referensi $\pm 0,00$ lantai dasar. Ketiga kendala ini konsisten dengan peringatan Volk, Stengel, dan Schultmann (2014) bahwa tantangan interoperabilitas data lintas perangkat lunak serta kurva pembelajaran (*learning curve*) pengguna tetap menjadi hambatan utama dalam adopsi BIM, sekalipun perangkat yang digunakan tergolong baru.

Pada tahap operasi *subtract* dan *merge* (sub-bab 4.2.4), proses pemotongan (*subtract*) *Toposolid* oleh elemen *Floor*, *Wall*, dan *Structural Foundation* melalui perintah *Cut Geometry* berjalan relatif lancar karena *Toposolid* berperilaku sebagai

elemen solid yang dapat berinteraksi langsung dengan elemen bangunan lain, tanpa memerlukan elemen Building Pad sebagai perantara sebagaimana pada *Toposurface*. Namun demikian, operasi penggabungan (*merge*) antar-bagian *Toposolid* hasil Split Element ditemukan tidak berjalan sepenuhnya mulus: perintah *Join Geometry* yang tersedia pada *Toposolid* tidak menghasilkan penggabungan sejati (*true join*) sebagaimana *Merge Surfaces* pada *Toposurface*, karena garis batas hasil split tetap terlihat ketika kursor diarahkan ke area sambungan. Temuan ini menunjukkan bahwa kelancaran proses penerapan *Toposolid* tidak bersifat seragam pada seluruh jenis operasi, melainkan lebih menonjol pada operasi yang melibatkan interaksi dengan elemen bangunan *solid* dibandingkan operasi penggabungan permukaan tanah itu sendiri.

Pada tahap integrasi akhir dengan model bangunan dan infrastruktur (sub-bab 4.2.5), strategi *linked model* yang dipilih terbukti dapat mengakomodasi kompleksitas proyek yang melibatkan tiga zona fungsi berbeda (akademik, hunian, serta fasilitas umum dan olahraga) tanpa membebani performa satu file tunggal, selama seluruh file rujukan telah menggunakan sistem koordinat bersama (*Shared Coordinates*) yang konsisten sejak tahap *Acquire Coordinates* pada sub-bab 4.2.1. Secara keseluruhan, proses penerapan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda dapat dikatakan berjalan lancar pada tahap pembentukan geometri dasar dan interaksi solid dengan elemen bangunan, tetapi menuntut kecermatan ekstra pada tahap persiapan data, penanganan sistem koordinat, serta operasi penggabungan permukaan tanah pascasplit.

5.4 Kontribusi Toposolid terhadap Efisiensi dan Akurasi Perancangan Tapak Berbasis BIM

Berdasarkan hasil eksperimen pada sub-bab 4.3–4.6, *Toposolid* terbukti memberikan tiga kontribusi utama pada proyek SMU Unggul Garuda.

A. *Interaksi Solid* dengan Elemen Bangunan. Sebagai elemen *solid* tiga dimensi, *Toposolid* dapat dipotong (*subtract*) maupun digabungkan (*merge*) langsung

dengan *Floor*, *Wall*, dan *Structural Foundation* melalui *Cut Geometry*, tanpa memerlukan *Building Pad*. Pada skenario revisi elevasi lantai dasar (+0,50 m), hal ini menghasilkan efisiensi sekitar 67% (2 langkah/ ± 6 menit pada *Toposolid*, berbanding 5 langkah/ ± 18 menit pada *Toposurface* + *Building Pad*), karena hubungan *Cut Geometry* bersifat asosiatif terhadap perubahan elevasi *Floor*.

B. Pembaruan Otomatis (Parametrik). Perubahan elevasi atau geometri elemen bangunan di atasnya diperbarui secara otomatis oleh *Toposolid* tanpa penggambaran ulang manual sejalan dengan prinsip konsistensi parametrik (Girardet & Botton, 2021; Singer & Borrmann, 2015). Kemampuan serupa juga teramati pada penambahan area parkir melalui *Subdivision*, yang tetap menyatu otomatis dengan *Toposolid* induknya.

C. Efisiensi Waktu Pengerjaan. Total waktu pemodelan rata-rata *Toposolid* (± 115 menit) lebih efisien $\pm 45\%$ dibandingkan *Toposurface* (± 210 menit), dengan efisiensi tertinggi pada tahap revisi desain (60%) dan integrasi bangunan (44,4%)—diperkuat simulasi dua skenario revisi yang menunjukkan efisiensi $\pm 47,5\%$ (Tabel 4.6), sejalan dengan temuan Biancardo dkk. (2020) dan Liu, Wang, & Wu (2017).

Meski demikian, ketiga kontribusi ini tidak menyeluruh: nilai RMSE *Toposolid* dan *Toposurface* relatif setara (0,18 m vs 0,19 m), sehingga keunggulan *Toposolid* lebih bertumpu pada efisiensi waktu dan interaksi tapak-bangunan, bukan akurasi geometri dasar. Kemampuan *Join Geometry* pasca *split* juga belum menyamai kemulusan *Merge Surfaces* pada *Toposurface*. Dengan demikian, kontribusi *Toposolid* bersifat spesifik pada skenario interaksi tapak-bangunan dan efisiensi kerja, sejalan dengan kerangka *site layout* otomatis Kumar & Cheng (2015), bukan keunggulan mutlak pada semua variabel.

5.5 Perbandingan dengan Temuan Penelitian Terdahulu

Temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda memberikan efisiensi waktu pemodelan rata-rata sekitar 45% dibandingkan *Toposurface*, terutama pada tahap revisi desain (60%) dan integrasi dengan elemen bangunan (44,4%), sebagaimana telah diuraikan pada sub-bab 4.4. Temuan ini sejalan dengan pernyataan Biancardo, Capano, de Oliveira,

dan Tibaut (2020) bahwa pendekatan pemodelan parametrik melalui *procedural modeling* memungkinkan geometri diperbarui secara otomatis ketika parameter berubah, sehingga proses iterasi desain menjadi lebih efisien dibandingkan penggambaran ulang manual. Karakteristik pembaruan otomatis yang teramati pada *Toposolid* khususnya saat elevasi lantai dasar bangunan diubah dan permukaan tanah menyesuaikan tanpa perlu digambar ulang mengonfirmasi prinsip konsistensi parametrik yang juga ditekankan oleh Girardet dan Botton (2021) pada studi kasus pemodelan jembatan berbasis BIM.

Pada aspek integrasi tapak-bangunan, temuan penelitian ini berupa kemampuan *Toposolid* melakukan operasi *subtract* dan *merge* secara langsung terhadap *elemen Floor, Wall, dan Structural Foundation* tanpa memerlukan *Building Pad* sebagai perantara memperkuat temuan Liu, Wang, dan Wu (2017) yang menunjukkan bahwa penerapan BIM pada tahap desain dan konstruksi site layout mampu meningkatkan efisiensi koordinasi antara elemen tapak dan elemen bangunan. Demikian pula, hasil penelitian ini relevan dengan kerangka kerja site layout otomatis berbasis BIM yang dikembangkan Kumar dan Cheng (2015), yang menegaskan bahwa integrasi data spasial tapak ke dalam satu model BIM dapat mendukung optimasi penempatan fasilitas proyek; pada penelitian ini, integrasi tersebut terwujud melalui strategi *linked model* antara file *Toposolid* tapak, model bangunan, dan model jaringan jalan sebagaimana diuraikan pada sub-bab 4.2.5.

Sementara itu, temuan mengenai keterbatasan interoperabilitas data antara lain batas praktis 10.000 titik sebelum *down-sampling* otomatis serta potensi hilangnya titik-titik berdekatan pada proses impor CSV konsisten dengan peringatan Volk, Stengel, dan Schultmann (2014) bahwa tantangan interoperabilitas data lintas perangkat lunak serta kurva pembelajaran (*learning curve*) pengguna tetap menjadi hambatan utama dalam adopsi BIM, sekalipun teknologi yang digunakan tergolong baru. Temuan serupa juga dilaporkan oleh komunitas pengguna Revit (Autodesk Community, 2025) yang mengidentifikasi bug hilangnya titik pada proses impor CSV di Revit 2024/2025.1 kendala yang secara langsung berpotensi dihadapi pada penelitian ini mengingat data kontur NTT Garuda berjumlah 15.531 *vertex*,

sehingga jalur *Link CAD* → *Create from CAD* dipilih sebagai mitigasi dibandingkan impor CSV secara langsung.

Pada sisi lain, penelitian ini juga menemukan bahwa mekanisme perhitungan *cut and fill* pada *Toposolid* berubah secara mendasar menjadi operasi *Boolean* antar-elemen *solid*, alih-alih selisih permukaan atas sebagaimana pada *Toposurface*. Temuan ini konsisten dengan catatan BIM Pure (2024) bahwa metode *Boolean* tersebut tidak dirancang khusus untuk keperluan *site grading*, sehingga berpotensi menimbulkan diskrepansi antara hasil perhitungan model dan kondisi *grading* aktual di lapangan sebuah catatan kehati-hatian yang relevan bagi praktisi yang mengandalkan *Toposolid* untuk estimasi volume pekerjaan tanah tanpa verifikasi manual.

Dibandingkan dengan penelitian Son, Kim, dan Kim (2017) yang menyimpulkan bahwa penerapan BIM pada bidang *landscape architecture* masih terkendala keterbatasan alat pemodelan topografi bawaan sehingga banyak praktisi tetap bergantung pada perangkat lunak GIS/CAD terpisah, temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian keterbatasan tersebut mulai teratasi melalui fitur *Toposolid*, khususnya kemampuan *Subdivision* untuk merepresentasikan area perkerasan jalan, parkir, maupun elemen *hardscape* lain dalam satu model tanpa berpindah aplikasi. Namun demikian, temuan penelitian ini turut memperkuat kekhawatiran serupa yang dikemukakan Bruckner dan Remy (2021) bahwa struktur data lanskap membutuhkan representasi elemen lunak dan elemen keras secara terintegrasi; pada praktiknya, tool *Subdivision* pada *Toposolid* dinilai belum sepenuhnya menggantikan kebutuhan pemodelan elemen *hardscape* yang lebih presisi (seperti kerb jalan, saluran drainase, atau pola perkerasan), sehingga sejalan dengan pengamatan komunitas praktisi (BIM Pure, 2021; Arch-Intelligence, 2024) yang mencatat bahwa perangkat lunak tambahan (*plugin* pihak ketiga) masih banyak digunakan untuk melengkapi keterbatasan tool lanskap bawaan Revit pada proyek berskala kompleks.

Secara umum, apabila dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang sebagian besar bersifat konseptual atau studi kasus pada infrastruktur jalan dan jembatan (Bradley, Li, Lark, & Dunn, 2016; Costin, Adibfar, Hu, & Chen,

2018; Tschuchnigg & Lederhilger, 2019), penelitian ini memberikan bukti empiris kuantitatif berupa data efisiensi waktu per tahapan pemodelan pada konteks *site plan* bangunan pendidikan dengan topografi berbukit nyata, sesuatu yang selama ini belum banyak ditemukan pada literatur BIM khusus *landscape architecture*. Dengan demikian, penelitian ini dapat dikatakan turut melengkapi celah penelitian (*research gap*) yang telah diidentifikasi pada sub-bab 2.8, sekaligus memberikan konfirmasi lapangan atas sejumlah klaim yang sebelumnya hanya bersumber dari dokumentasi vendor dan artikel praktis komunitas.

5.6 Implikasi Praktis bagi Proyek Sejenis

Berdasarkan pengalaman penerapan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda, beberapa implikasi praktis dapat dirumuskan bagi praktisi maupun konsultan perencana yang akan mengerjakan proyek dengan karakteristik topografi kompleks serupa, khususnya proyek pendidikan atau kawasan berskala menengah-besar yang berlokasi pada lahan berkontur curam.

Pertama, terkait persiapan data topografi, praktisi disarankan memastikan bahwa garis kontur pada file CAD sumber telah memiliki elevasi *Z* pada tiap *vertex* *polyline* sebelum proses *link* dilakukan, bukan sekadar label teks elevasi (MTEXT) yang terpisah dari geometri garis, karena *Toposolid* maupun *Toposurface* tidak dapat dibentuk dari kontur yang masih flat ($Z=0$). Pemeriksaan ini sebaiknya dilakukan pada tahap paling awal, idealnya sebelum data diserahkan oleh surveyor atau konsultan perencana kepada tim pemodelan BIM, sehingga tidak menimbulkan kendala berulang seperti yang berpotensi dijumpai pada data awal proyek SMU Unggul Garuda.

Kedua, untuk proyek dengan jumlah titik data topografi yang besar pada penelitian ini tercatat 15.531 *vertex*, jauh melampaui batas praktis 10.000 titik pada Revit 2025 praktisi disarankan mempertimbangkan pemecahan (*split*) data per zona atau blok tapak sebelum proses impor, guna menghindari *down-sampling* otomatis yang dapat menurunkan akurasi representasi kontur pada area-area kritis seperti lokasi bangunan utama dan jalan akses. Selain itu, mengingat adanya laporan bug hilangnya titik-titik berdekatan pada proses impor CSV di Revit 2024/2025.1

(Autodesk Community, 2025), jalur *Link CAD* → *Create from CAD* lebih disarankan dibandingkan impor CSV secara langsung apabila kerapatan titik data cukup tinggi.

Ketiga, dari sisi sistem koordinat, praktisi yang menangani data survei dalam format UTM dengan nilai koordinat X dan Y yang sangat besar perlu menerapkan strategi *Acquire Coordinates (Shared Coordinates)* sejak tahap awal proyek, alih-alih menggunakan koordinat UTM mentah sebagai *Project Base Point*, untuk menghindari peringatan “jauh dari *origin*” serta potensi penurunan akurasi geometri model yang dapat terjadi apabila jarak elemen dari *origin* internal Revit melampaui batas praktis (kurang lebih 32 km).

Keempat, terkait strategi kolaborasi model, pendekatan *linked model* memisahkan file *Toposolid* tapak, model bangunan, dan model infrastruktur jalan sebagai file tersendiri yang ditautkan melalui *Shared Coordinates* dinilai lebih sesuai untuk proyek berskala kawasan dengan banyak disiplin kerja dibandingkan penggabungan seluruh elemen dalam satu file proyek, karena setiap disiplin dapat bekerja secara paralel tanpa saling membebani performa perangkat lunak. Strategi ini sejalan dengan prinsip *model ownership* pada kolaborasi BIM.

Kelima, untuk area jalan, parkir, dan elemen *hardscape* lain yang memerlukan material atau ketebalan perkerasan berbeda, penggunaan fitur *Subdivision* pada *Toposolid* disarankan sebagai pengganti kombinasi *Toposurface* dan *Building Pad* yang digunakan pada alur kerja lama, karena *Subdivision* dapat mengikuti perubahan bentuk permukaan utama secara otomatis tanpa mengubah elevasi dasar tapak. Meskipun demikian, praktisi perlu menyadari keterbatasan *Subdivision* untuk elemen *hardscape* yang membutuhkan presisi tinggi seperti kerb dan saluran drainase, sehingga pada proyek dengan kebutuhan detail lanskap yang tinggi, penggunaan perangkat lunak atau *plugin* tambahan sebagaimana dicatat pada beberapa literatur praktisi masih dapat dipertimbangkan sebagai pelengkap.

Keenam, terkait perhitungan volume pekerjaan tanah, mengingat mekanisme Boolean pada *Toposolid* tidak dirancang khusus untuk *site grading*, hasil perhitungan *cut and fill* yang dihasilkan Revit sebaiknya tidak dijadikan acuan tunggal untuk keperluan kontraktual atau pembayaran termin pekerjaan tanah,

melainkan perlu diverifikasi ulang menggunakan metode perhitungan volume konvensional atau perangkat lunak sipil khusus (misalnya Autodesk Civil 3D), terutama pada proyek dengan volume pekerjaan tanah yang besar dan bernilai signifikan terhadap anggaran proyek.

Ketujuh, dari sisi organisasi tim, mengingat perbedaan mendasar antara alur kerja *Toposolid* dan *Toposurface* misalnya perbedaan penanganan *Split/Merge*, tidak tersedianya *Building Pad*, serta kewajiban pengaturan *Type/Assembly* di awal pembuatan model tim yang terbiasa dengan alur kerja *Toposurface* konvensional memerlukan waktu adaptasi (*learning curve*) tersendiri. Oleh karena itu, pada proyek sejenis dengan tenggat waktu ketat, disarankan mengalokasikan waktu pelatihan singkat atau simulasi pemodelan pada tahap awal proyek sebelum tim bekerja pada data topografi riil, guna meminimalkan risiko keterlambatan akibat proses adaptasi terhadap fitur baru ini.

Secara keseluruhan, implikasi-implikasi tersebut menunjukkan bahwa *Toposolid* dapat menjadi pilihan metode pemodelan *landscape* yang lebih efisien dan terintegrasi untuk proyek dengan kondisi topografi kompleks seperti SMU Unggul Garuda, sepanjang tim proyek mempersiapkan data secara cermat, memahami keterbatasan teknisnya, dan tidak menjadikan hasil otomatis Revit sebagai satu-satunya acuan tanpa verifikasi, khususnya untuk keperluan perhitungan volume pekerjaan tanah yang bersifat kontraktual.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Proses penerapan fitur *Toposolid* dalam pemodelan *site plan* proyek SMU Unggul Garuda dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu impor data topografi, pembentukan model *Toposolid*, penyesuaian elevasi dan kemiringan, operasi *subtract/merge* dengan elemen bangunan, hingga integrasi dengan model bangunan secara keseluruhan.
2. *Toposolid* memiliki kelebihan dibandingkan *Toposurface* dan CAD konvensional, antara lain
3. Penggunaan *Toposolid* pada proyek SMU Unggul Garuda terbukti meningkatkan efisiensi waktu pemodelan sebesar $\pm 45\%$ (115 menit berbanding 210 menit) dibandingkan *Toposurface*, dengan efisiensi tertinggi pada tahap revisi desain (60%) dan integrasi elemen bangunan (44,4%), serta efisiensi waktu revisi desain sebesar $\pm 47,5\%$ pada simulasi dua skenario revisi. Dari sisi akurasi, *Toposolid* menghasilkan RMSE 0,18 m, relatif setara dengan *Toposurface* (0,19 m), sehingga keunggulan *Toposolid* pada penelitian ini lebih bertumpu pada efisiensi waktu dan kemudahan interaksi dengan elemen bangunan, bukan pada peningkatan akurasi geometri secara mendasar. Dengan demikian, *Toposolid* dapat menjadi alternatif metode pemodelan *landscape* berbasis BIM yang lebih unggul dari sisi efisiensi kerja untuk proyek dengan kondisi topografi kompleks seperti SMU Unggul Garuda.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan, baik bagi praktisi maupun bagi penelitian selanjutnya:

6.2.1 Saran bagi Praktisi/Konsultan Perencana

1. Penggunaan *Toposolid* disarankan untuk proyek dengan kondisi topografi yang kompleks dan membutuhkan koordinasi intensif antara desain lanskap dan elemen bangunan.
2. Revit memang mudah untuk *workflow* tetapi spek komputernya haruslah memadai

6.2.2 Saran bagi Penelitian Selanjutnya

1. Penelitian selanjutnya dapat memperluas objek penelitian pada lebih dari satu proyek untuk memperoleh hasil perbandingan yang lebih representatif.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis kuantitatif terhadap volume *cut and fill* secara aktual, mengingat penelitian ini membatasi pembahasan tersebut hanya sebagai pendukung analisis desain digital.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji integrasi *Toposolid* dengan aspek lain dalam BIM, seperti analisis drainase otomatis atau estimasi biaya pekerjaan tanah (*earthwork costing*).

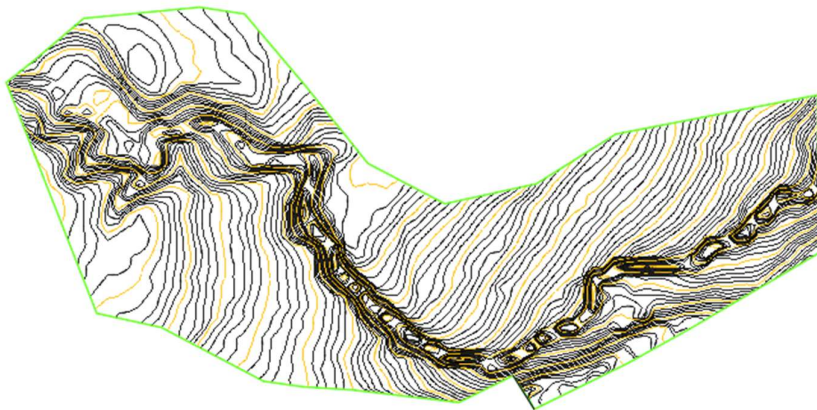
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amer AH & Hasan O. 2017. Level of detail (LOD) specifications, standards and file-format challenges in infrastructure projects for BIM level three. *WIT Transactions on the Built Environment* 169, 143-154.
- [2] Biancardo SA, Capano A, de Oliveira SG, & Tibaut A. 2020. Integration of BIM and procedural modeling tools for road design. *Infrastructures* 5 (4), 37. doi:10.3390/infrastructures5040037
- [3] Bradley A, Li H, Lark R, & Dunn S. 2016. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction* 71, 139-152. doi:10.1016/j.autcon.2016.08.019
- [4] Bruckner I & Remy M. 2021. BIM model landscape_open spaces: An approach for landscape and environmental planning in infrastructure projects. *Journal of Digital Landscape Architecture* 6, 376-385.
- [5] Chong HY, Lopez R, Wang J, Wang X, & Zhao Z. 2016. Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects. *Journal of Management in Engineering* 32 (6), 05016021. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460
- [6] Costin A, Adibfar A, Hu H, & Chen SS. 2018. Building information modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction* 94, 257-281. doi:10.1016/j.autcon.2018.07.001
- [7] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, & Liston K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Edisi ke-2. John Wiley & Sons. New Jersey.
- [8] Floros GS, Boyes G, Owens D, & Ellul C. 2019. Developing IFC for infrastructure: A case study of three highway entities. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* IV-4/W8, 1-8. doi:10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-1-2019
- [9] Girardet A & Botton C. 2021. A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. *Automation in Construction* 126, 103679. doi:10.1016/j.autcon.2021.103679
- [10] Khan N, Ali AK, Skibniewski MJ, Lee DJ, & Park C. 2019. Excavation safety modeling approach using BIM and VPL. *Advances in Civil Engineering* 2019, 1515808. doi:10.1155/2019/1515808
- [11] Kumar SS & Cheng JCP. 2015. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction* 59, 24-37. doi:10.1016/j.autcon.2015.07.008
- [12] Liu X, Wang X, & Wu P. 2017. Leveraging BIM to improve design and construction of site layout. *Automation in Construction* 82, 1-10.

- [13] Ozturk GB. 2020. Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. *Automation in Construction* 113, 103122. doi:10.1016/j.autcon.2020.103122
- [14] Pasetto M, Giordano A, Borin P, & Giacomello G. 2020. Integrated railway design using Infrastructure-Building Information Modeling: The case study of the port of Venice. *Transportation Research Procedia* 45, 850-857. doi:10.1016/j.trpro.2020.02.084
- [15] Singer D & Borrmann A. 2015. A novel knowledge-based engineering approach for infrastructure design. *Proceedings of the Fourth International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering*.
- [16] Slobodchikov R, Bakke KL, Svennevig PR, & O'Born R. 2019. Implementing climate impacts in road infrastructure in the design phase by combining BIM with LCA. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 323, 012108.
- [17] Son H, Kim C, & Kim H. 2017. A study on the effects of BIM adoption and methods of implementation in landscape architecture

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Data Topografi



No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
1	639679.907	8911741.566	865.00	Titik kontur
2	639784.278	8911687.307	862.50	Titik kontur
3	639630.642	8911685.711	865.00	Titik kontur
4	639623.764	8911680.958	862.50	Titik kontur
5	639591.684	8911673.240	860.00	Titik kontur

No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
6	639739.073	8911666.924	862.50	Titik kontur
7	639573.757	8911662.087	860.00	Titik kontur
8	639813.103	8911658.929	860.00	Titik kontur
9	639601.379	8911657.028	860.00	Titik kontur
10	639737.977	8911655.082	860.00	Titik kontur
11	639550.218	8911647.904	862.50	Titik kontur
12	639709.240	8911645.115	855.00	Titik kontur
13	640236.085	8911644.557	840.00	Titik kontur
14	639737.505	8911644.084	857.50	Titik kontur
15	639823.640	8911643.611	857.50	Titik kontur
16	639739.883	8911634.314	855.00	Titik kontur
17	639541.540	8911633.891	865.00	Titik kontur
18	639651.950	8911633.505	857.50	Titik kontur

No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
19	640267.462	8911628.970	837.50	Titik kontur
20	640298.561	8911627.853	835.00	Titik kontur
21	639539.524	8911626.825	867.50	Titik kontur
22	639539.139	8911625.451	868.00	Titik kontur
23	639830.894	8911622.414	855.00	Titik kontur
24	640323.378	8911621.907	832.50	Titik kontur
25	640340.758	8911616.669	830.00	Titik kontur
26	639599.788	8911613.194	860.00	Titik kontur
27	639827.268	8911609.884	852.50	Titik kontur
28	639601.392	8911603.919	862.50	Titik kontur
29	639655.522	8911603.059	857.50	Titik kontur
30	639795.203	8911600.116	855.00	Titik kontur
31	640134.661	8911597.817	845.00	Titik kontur

No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
32	639743.264	8911595.979	857.50	Titik kontur
33	639599.327	8911595.846	865.00	Titik kontur
34	640337.371	8911594.584	830.00	Titik kontur
35	640312.781	8911587.768	832.50	Titik kontur
36	639721.530	8911587.652	860.00	Titik kontur
37	639598.469	8911584.480	867.50	Titik kontur
38	640280.490	8911583.445	835.00	Titik kontur
39	639878.046	8911582.286	857.50	Titik kontur
40	639704.854	8911581.180	862.50	Titik kontur
41	640341.357	8911580.344	827.50	Titik kontur
42	639688.857	8911573.412	865.00	Titik kontur
43	640162.433	8911571.314	842.50	Titik kontur
44	640241.326	8911571.314	837.50	Titik kontur

No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
45	640314.082	8911565.426	827.50	Titik kontur
46	640326.916	8911559.860	830.00	Titik kontur
47	639813.786	8911557.796	850.00	Titik kontur
48	639654.601	8911551.582	867.50	Titik kontur
49	640293.592	8911547.854	827.50	Titik kontur
50	640182.786	8911545.717	840.00	Titik kontur
51	639838.531	8911539.950	855.00	Titik kontur
52	640311.196	8911537.653	832.50	Titik kontur
53	639998.865	8911535.522	850.00	Titik kontur
54	639837.216	8911531.240	852.50	Titik kontur
55	639836.066	8911527.015	850.00	Titik kontur
56	640272.099	8911523.692	830.00	Titik kontur
57	639903.717	8911522.602	855.00	Titik kontur

No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
58	640193.776	8911522.119	837.50	Titik kontur
59	640034.448	8911520.417	847.50	Titik kontur
60	640259.289	8911516.414	832.50	Titik kontur
61	640239.977	8911515.938	830.00	Titik kontur
62	640292.303	8911505.249	835.00	Titik kontur
63	640320.675	8911503.846	837.50	Titik kontur
64	639842.766	8911503.062	847.50	Titik kontur
65	639927.114	8911499.571	852.50	Titik kontur
66	640055.364	8911496.314	845.00	Titik kontur
67	640176.291	8911495.015	832.50	Titik kontur
68	639641.198	8911489.265	867.50	Titik kontur
69	639851.794	8911483.977	847.50	Titik kontur
70	640125.632	8911483.908	835.00	Titik kontur

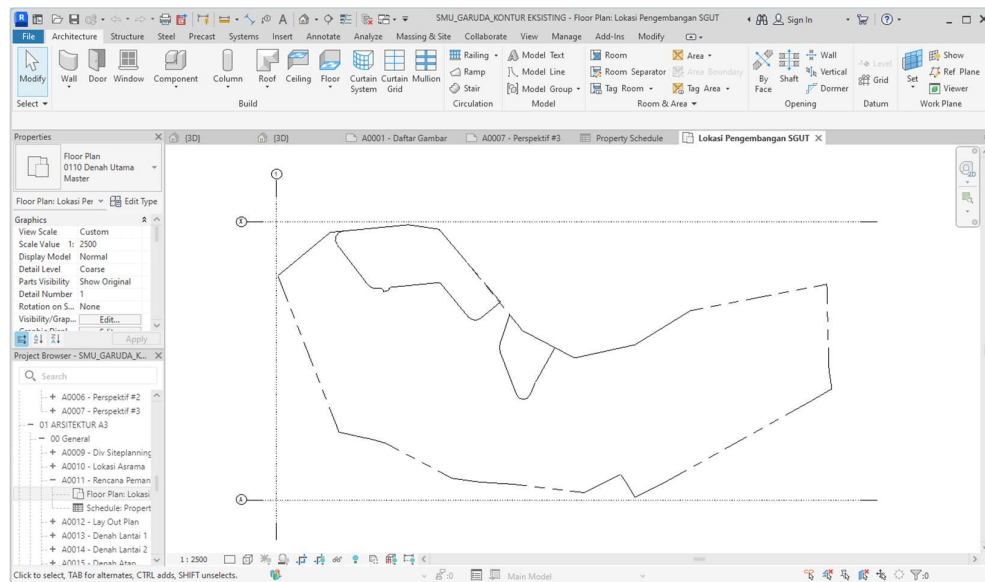
No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
71	639727.795	8911483.754	862.50	Titik kontur
72	639687.510	8911483.752	865.00	Titik kontur
73	639775.099	8911482.624	860.00	Titik kontur
74	639817.869	8911480.219	857.50	Titik kontur
75	640275.196	8911476.693	837.50	Titik kontur
76	639839.313	8911474.891	855.00	Titik kontur
77	640199.527	8911472.346	837.50	Titik kontur
78	639850.253	8911472.244	852.50	Titik kontur
79	639862.904	8911471.408	847.50	Titik kontur
80	640074.995	8911470.372	842.50	Titik kontur
81	639860.710	8911467.671	850.00	Titik kontur
82	639956.369	8911461.700	850.00	Titik kontur
83	640115.074	8911456.684	835.00	Titik kontur

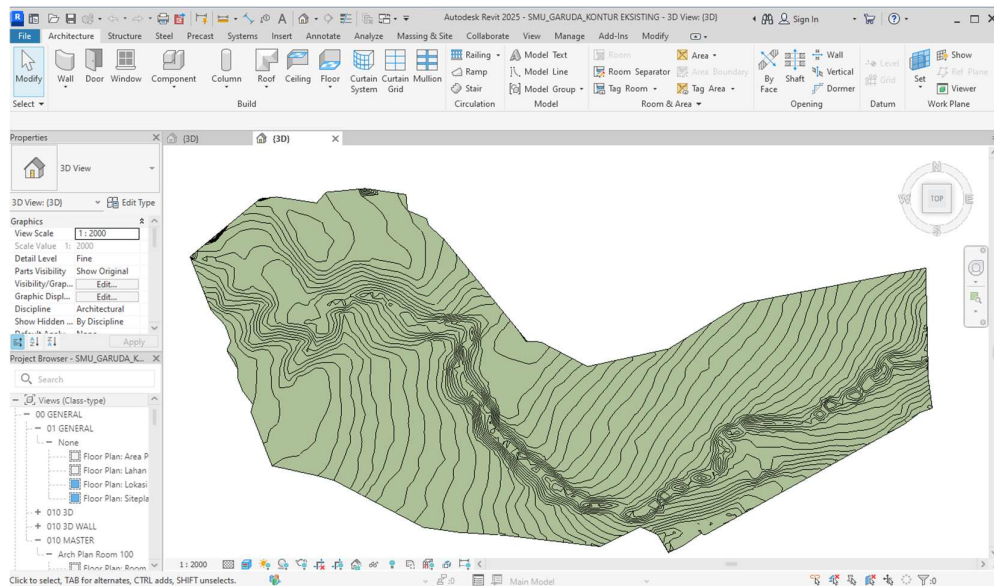
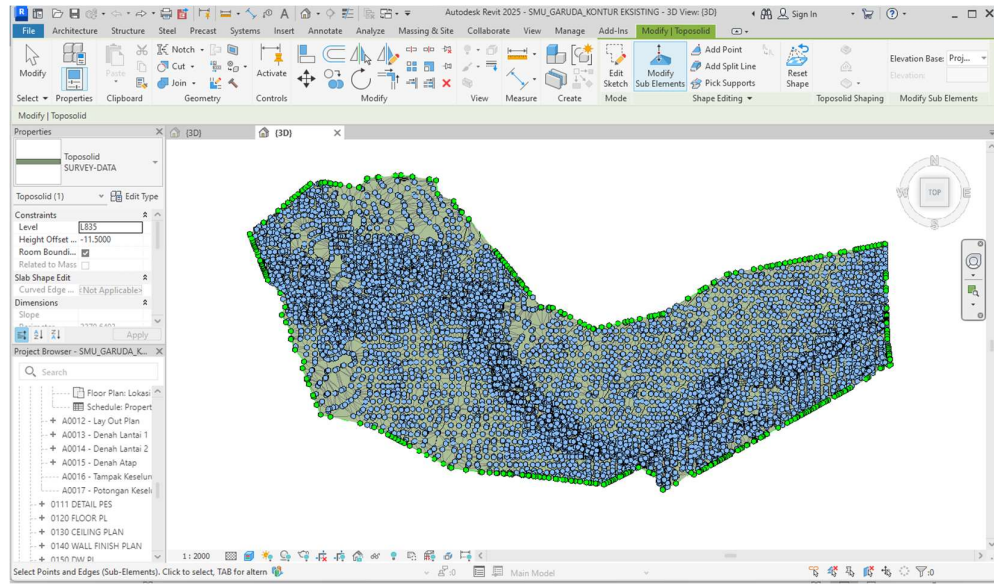
No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
84	639873.704	8911456.506	847.50	Titik kontur
85	640194.830	8911454.364	840.00	Titik kontur
86	640186.588	8911441.652	842.50	Titik kontur
87	640110.671	8911441.375	837.50	Titik kontur
88	639895.626	8911440.805	845.00	Titik kontur
89	639979.113	8911436.713	847.50	Titik kontur
90	640182.893	8911432.844	845.00	Titik kontur
91	640088.016	8911426.897	837.50	Titik kontur
92	640104.765	8911424.971	840.00	Titik kontur
93	640061.348	8911417.915	837.50	Titik kontur
94	639997.491	8911413.890	845.00	Titik kontur
95	640098.989	8911409.995	842.50	Titik kontur
96	639945.319	8911408.845	842.50	Titik kontur

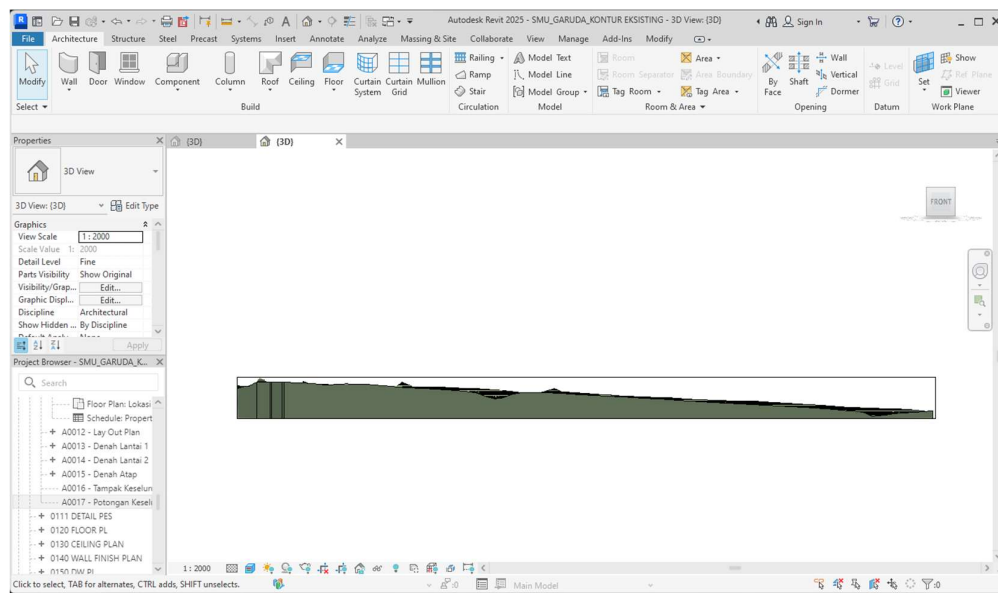
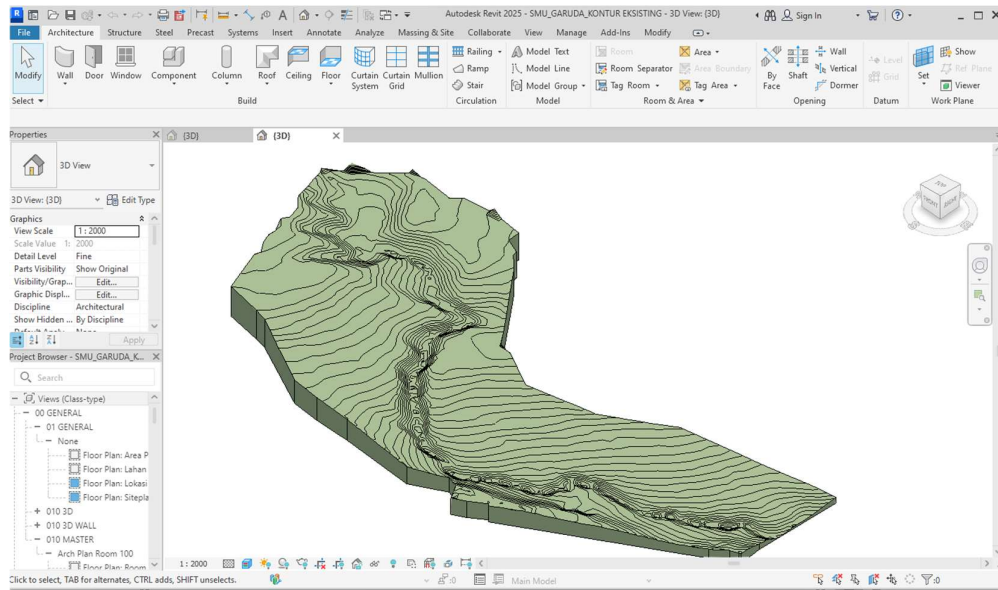
No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
97	640042.809	8911407.891	840.00	Titik kontur
98	639942.432	8911402.745	845.00	Titik kontur
99	639934.036	8911401.814	847.50	Titik kontur
100	640004.045	8911401.240	842.50	Titik kontur
101	640141.987	8911399.281	847.50	Titik kontur
102	639922.209	8911398.804	850.00	Titik kontur
103	639977.907	8911398.333	840.00	Titik kontur
104	640089.372	8911396.825	845.00	Titik kontur
105	640030.836	8911396.212	840.00	Titik kontur
106	639890.070	8911390.919	852.50	Titik kontur
107	640020.870	8911387.820	842.50	Titik kontur
108	639856.500	8911387.315	855.00	Titik kontur
109	640079.864	8911386.503	847.50	Titik kontur

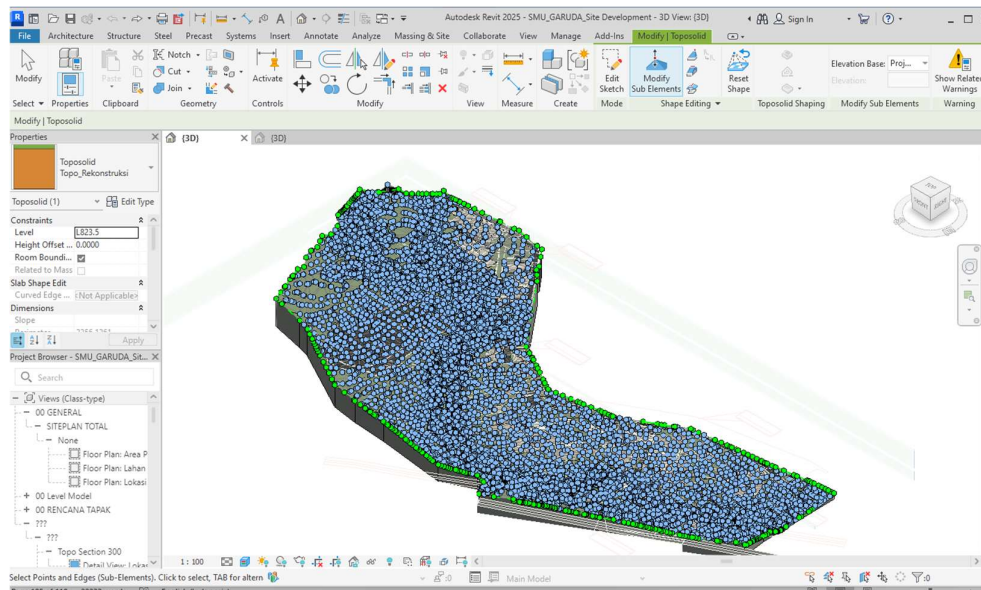
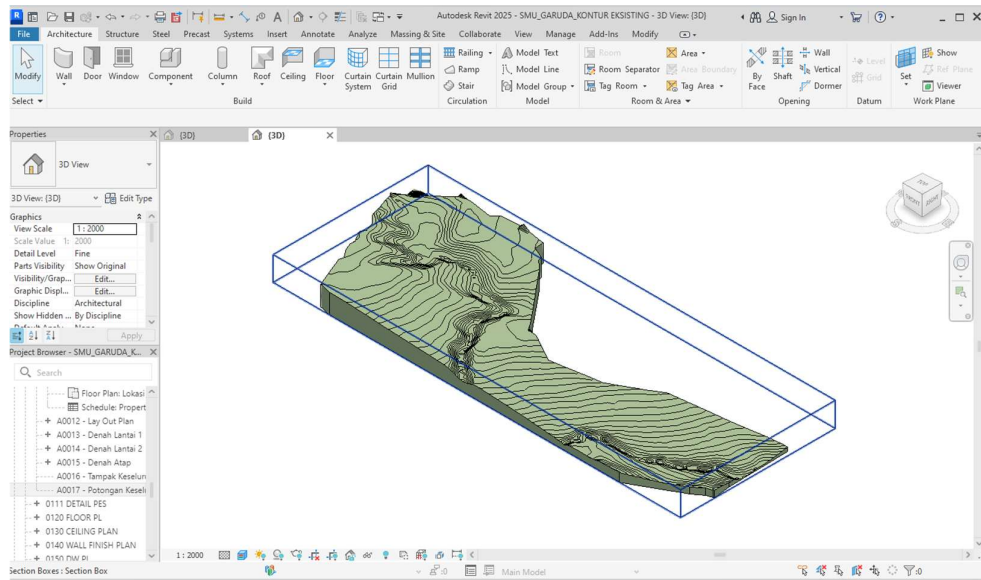
No.	Koordinat X (Easting)	Koordinat Y (Northing)	Elevasi (Z) m	Keterangan
110	640054.418	8911370.653	850.00	Titik kontur

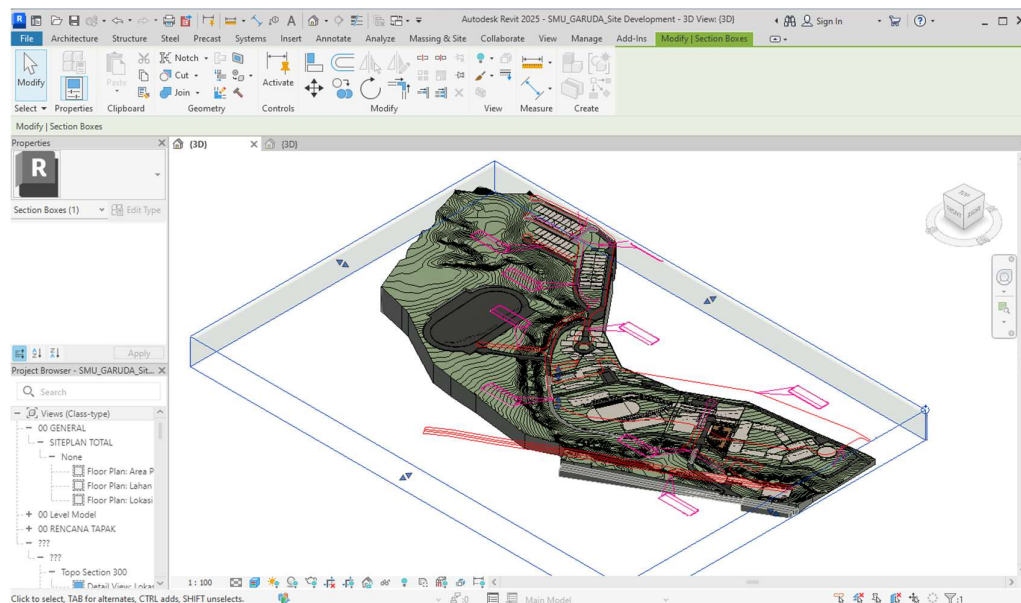
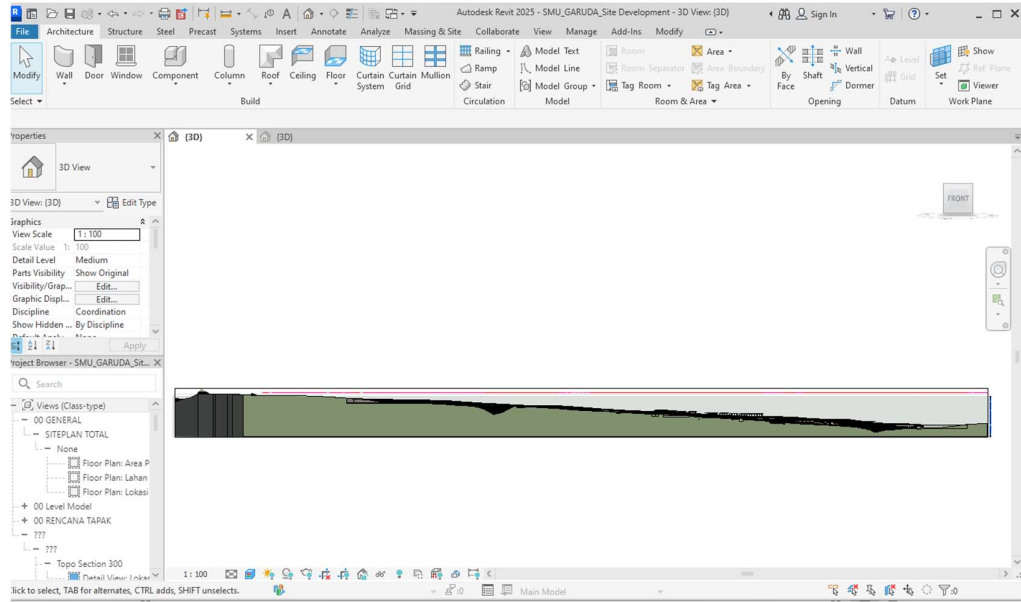
Lampiran 2. Dokumentasi Proses Pemodelan Toposolid

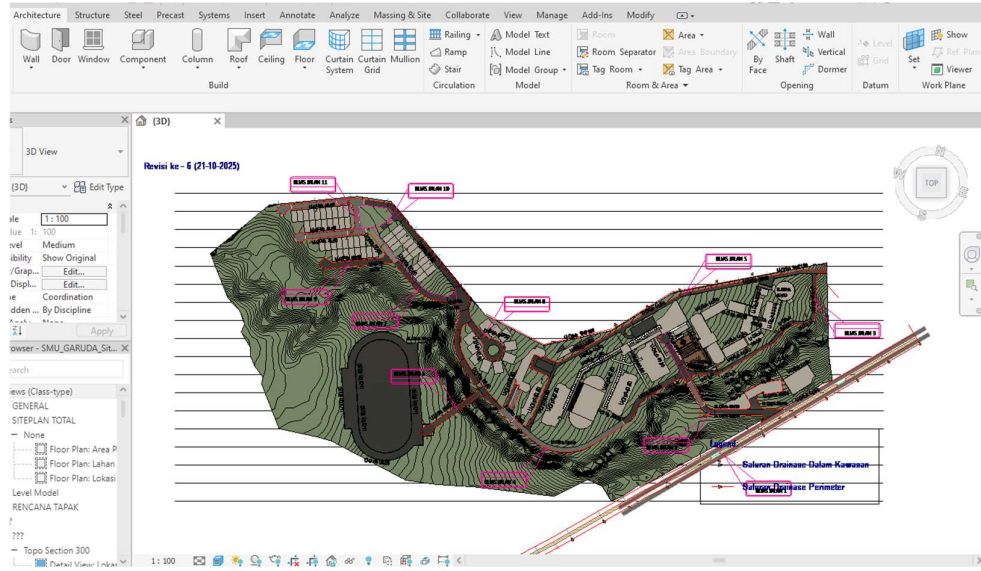




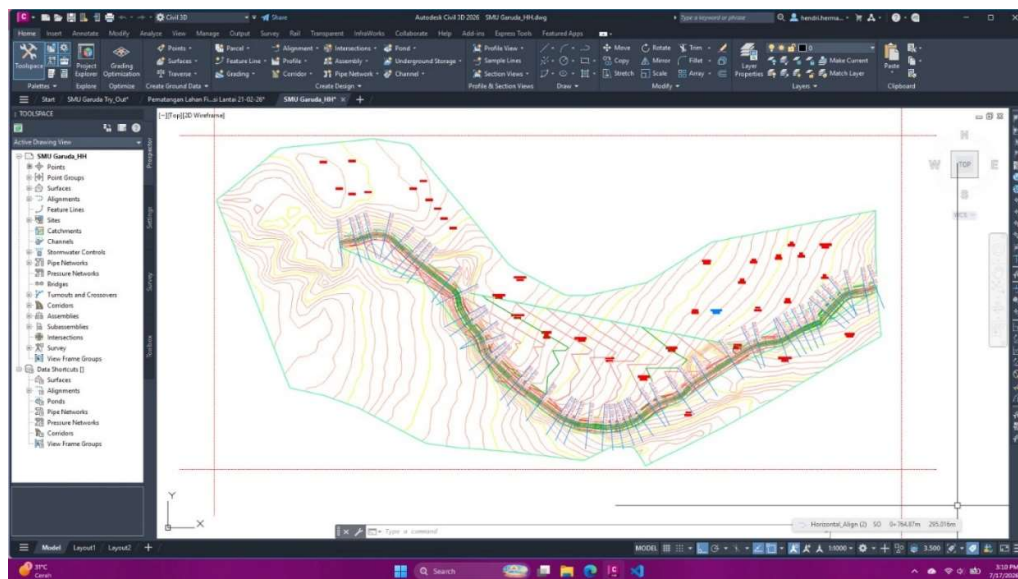
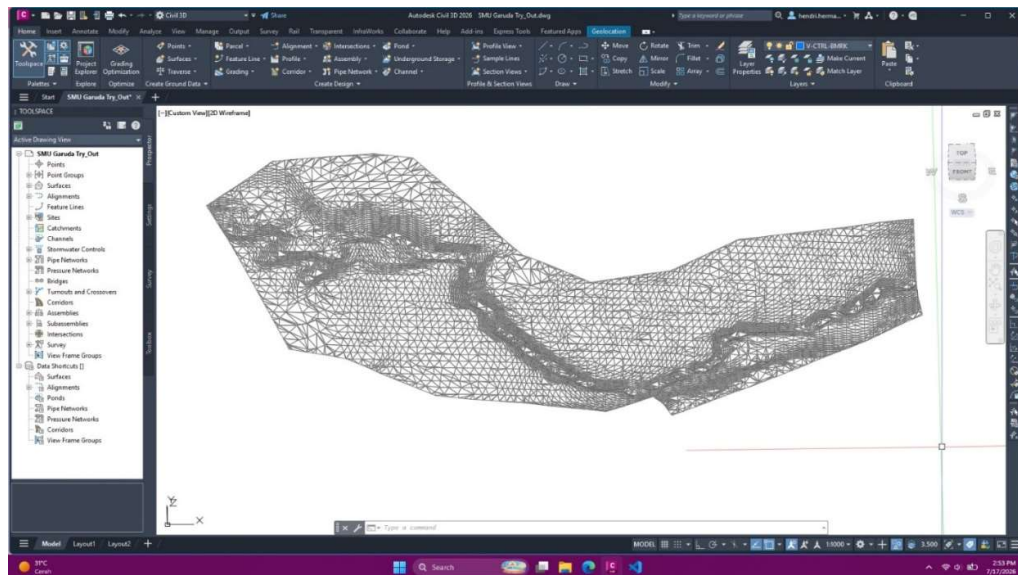


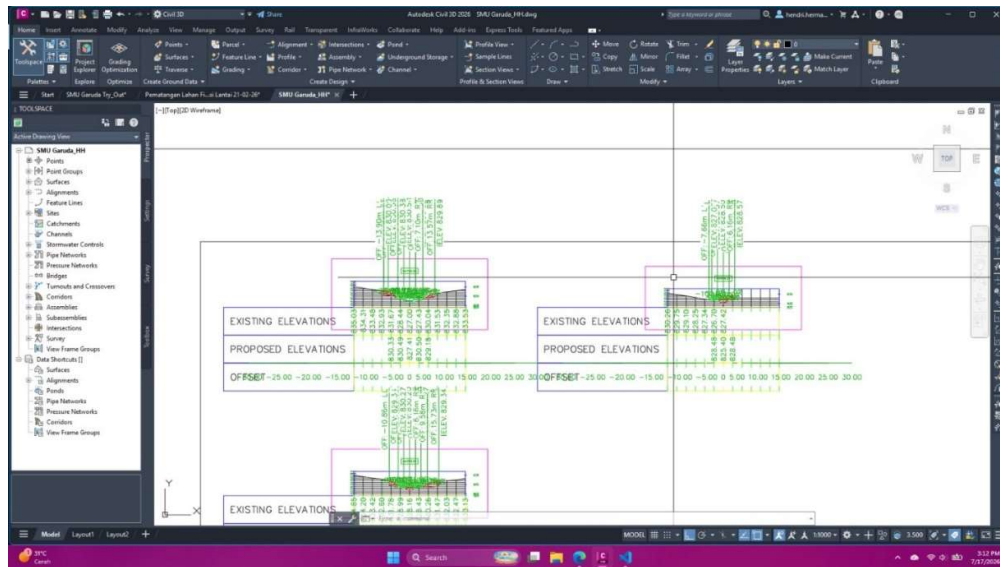
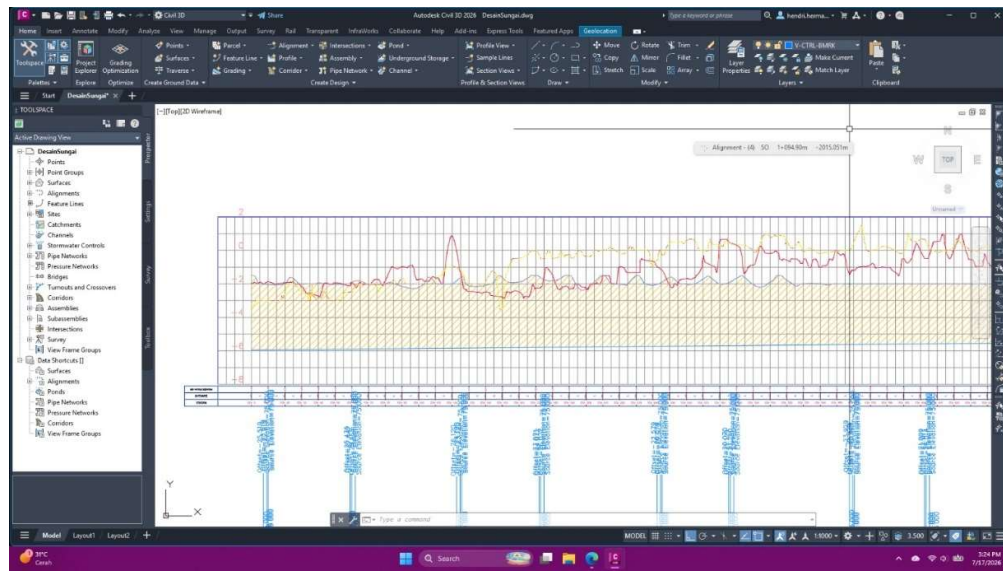






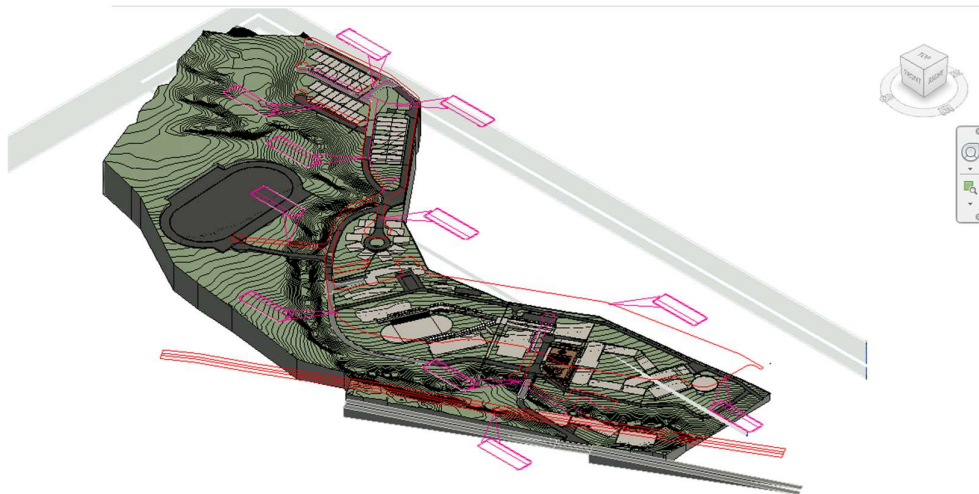
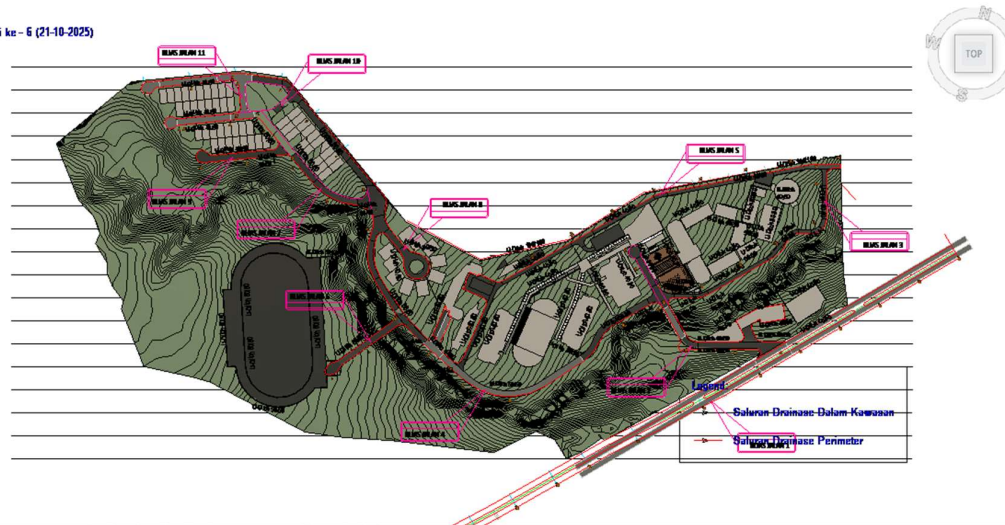
Lampiran 3. Dokumentasi Proses Pemodelan Toposurface (Pembanding)





Lampiran 4. Hasil Akhir Model 3D *Site Plan*

Revisi ke - 6 (21-10-2025)



Lampiran 5. Lembar Bimbingan Skripsi

17/07/2026

Upload File *format pdf tidak wajib upload

Choose File | No file chosen

Jenis Bimbingan

Silahkan Pilih

Keterangan Bimbingan

Simpan

No	Tanggal	Jenis Bimbingan	Status	Aksi
3	Senin, 24 November 2025	Bimbingan ketiga pemantapan... Read	Proposal	✓ Approve b
4	Selasa, 02 Desember 2025	Bimbingan keempat pematanga... Read	Proposal	✓ Approve b
5	Senin, 08 Desember 2025	Bimbingan ke 5 persiapan se... Read	Proposal	✓ Approve b
6	Senin, 08 Juni 2026	Melengkapi latar belakang	Skripsi	Tidak Ada ✓ Approve b
7	Rabu, 10 Juni 2026	Melengkapi literatur daftar... Read	Skripsi	Tidak Ada ✓ Approve b
8	Rabu, 01 Juli 2026	membahas bab 2	Skripsi	Tidak Ada ✓ Approve b
9	Minggu, 05 Juli 2026	membahas bab 3	Skripsi	Tidak Ada ✓ Approve b
10	Sabtu, 11 Juli 2026	membahas bab 4 & 5	Skripsi	Tidak Ada ✓ Approve b

Showing 1 to 10 of 10 entries