

TUGAS AKHIR

ANALISIS EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI PENERAPAN BIM MENGGUNAKAN *TEKLA* *STRUCTURES* PADA PERENCANAAN STRUKTUR *ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY OF BIM IMPLEMENTATION USING TEKLA STRUCTURES FOR STRUCTURAL DESIGN*

(Studi Kasus Proyek LRT Jakarta Fase 1B)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



Iqbal

22511093

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI
PENERAPAN BIM MENGGUNAKAN *TEKLA*
STRUCTURES PADA PERENCANAAN STRUKTUR
*ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS AND
EFFICIENCY OF BIM IMPLEMENTATION USING
TEKLA STRUCTURES FOR STRUCTURAL DESIGN***

(Studi Kasus Proyek LRT Jakarta Fase 1B)

Disusun Oleh :

Iqbal
22511093

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 24 Juni 2026
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



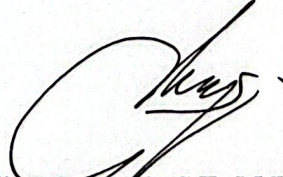
Ir. Tri Nugroho S., S.T., M.T.
NIK : 195110502

Penguji I



Rizki Budiman, S.T., M.T.
NIK : 245111203

Penguji II



Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 155110108

Mengesahkan,

Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana



Dini Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK: 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat menyelesaikannya Program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari karya orang lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah yang berlaku. Apabila di kemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan merupakan hasil karya saya sendiri atau terdapat unsur plagiasi pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh.

Yogyakarta, 24 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



Iqbal

22511093

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Efektivitas dan Efisiensi Penerapan BIM Menggunakan *Tekla Structures* pada Perencanaan Struktur (Studi Kasus Proyek LRT Jakarta Fase 1B)" dengan baik. Tugas Akhir ini disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang Strata Satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Bantuan tersebut sangat berarti selama proses penyusunan hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Maka dari itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak terkait.

1. Ibu Yunalia Muntafi Ir., S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Tri Nugroho Sulistyantoro, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing penulis dengan sabar, baik, dan penuh perhatian selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak/Ibu Dosen Penguji I dan Dosen Penguji II, yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran yang membantu penulis menyempurnakan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen, pengajar, dan staf Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan akademik kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bapak Endra Dwi Cahyo, S.S.T., selaku pembimbing magang yang telah memberikan ilmu, arahan, pengalaman, serta membantu penulis dalam memperoleh data yang diperlukan untuk penyusunan Tugas Akhir ini..
6. Kedua orang tua penulis, Abah dan Mamah tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, semangat, serta menjadi sumber

kekuatan terbesar bagi penulis dalam menempuh pendidikan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kakak penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan penulis selama masa perkuliahan yang tergabung dalam grup "Tanpa Rafi", yaitu Shafa, Andien, Sasa, Dika, dan Nevy, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, kebersamaan, serta banyak kenangan berharga selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman UII Mengabdi yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, yang telah menjadi tempat penulis bertumbuh, berbagi cerita, dan menemukan banyak pengalaman berharga, serta senantiasa memberikan dukungan dan semangat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Keluarga *Steering Committee* (SC) Komisi A Pesona Ta'aruf (PESTA) UII 2023, yaitu Ryan, Althaf, Bunga, dan Ninda, yang telah menjadi teman berproses serta memberikan dukungan dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
11. Teman-teman *Marketing and Communication* (MarComm) Teknik Sipil UII, yaitu Jovi, Surya, Reytaza, Agum, dan Gerrard, yang telah menjadi rekan kerja sekaligus teman berproses, serta memberikan dukungan, pengalaman, dan kebersamaan yang berharga selama masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 24 Juni 2026

Penulis



Iqbal

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.2.1 Implementasi <i>Building Information Modeling</i> (BIM) pada Proyek Infrastruktur	9
2.2.2 Perhitungan Volume Elemen Struktur Beton Bertulang	10
2.2.3 <i>Tekla Structures</i> sebagai Perangkat BIM untuk Pemodelan Detail Struktur Beton Bertulang	11
2.2.4 <i>Quantity Take-Off</i> Beton dan Baja Menggunakan <i>Tekla Structures</i>	12
2.2.5 Perbandingan Perhitungan Volume Pekerjaan Struktural antara Metode BIM dan Metode Konvensional	13
2.2.6 Penerapan BIM pada Proyek Infrastruktur Transportasi Rel Perkotaan	15

2.3	Ringkasan Penelitian Terdahulu	16
2.4	Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilaksanakan	19
2.5	Keaslian Penelitian	21
BAB III LANDASAN TEORI		23
3.1	Tinjauan Umum	23
3.2	Proyek Konstruksi	23
3.3	Manajemen Proyek Konstruksi	25
3.4	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	28
3.5	<i>Tekla Structures</i>	30
3.6	Struktur Bangunan LRT	32
3.6.1	<i>Pilecap</i>	34
3.6.2	<i>Pier</i>	35
3.6.3	<i>Pier head</i>	37
3.7	Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur	38
3.7.1	Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode Konvensional	39
3.7.2	Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode <i>Building Information Modeling (BIM)</i>	43
3.8	Efektivitas dan Efisiensi Pemodelan	44
BAB IV METODE PENELITIAN		49
4.1	Tinjauan Umum	49
4.2	Jenis Penelitian	49
4.3	Lokasi Penelitian	51
4.4	Subjek dan Objek Penelitian	52
4.4.1	Subjek Penelitian	52
4.4.2	Objek Penelitian	53
4.5	Data Penelitian dan Prosedur Perolehannya	54
4.5.1	Data Primer	54
4.5.2	Data Sekunder	55
4.6	Instrumen dan Prosedur Validasi Penelitian	56

4.6.1	Perangkat Teknis	57
4.6.2	Profil Praktisi BIM	58
4.6.3	Instrumen Pertanyaan	61
4.6.4	Prosedur Validasi Data	63
4.7	Tahapan Penelitian	65
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		71
5.1	Data Penelitian	71
5.1.1	Informasi Umum Proyek	72
5.1.2	<i>Detailed Engineering Design (DED)</i> Proyek	74
5.2	Pemodelan Struktur Menggunakan <i>Tekla Structures</i>	76
5.2.1	Proses Pemodelan Struktur	76
5.2.2	<i>Clash Detection</i>	87
5.3	Analisis Kuantitatif	89
5.3.1	Analisis <i>Quantity Take-Off</i> (QTO) Metode Konvensional	89
5.3.2	Analisis <i>Quantity Take-Off</i> (QTO) Menggunakan <i>Tekla Structures</i>	100
5.3.3	Perbandingan Hasil <i>Quantity Take-Off</i> (QTO)	102
5.4	Analisis Kualitatif	105
5.4.1	Hasil Rekap Wawancara Semi Terstruktur	106
5.4.2	Persamaan Hasil Wawancara	125
5.5	Analisis Efektivitas dan Efisiensi Penerapan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Menggunakan <i>Tekla Structures</i>	128
5.5.1	Analisis Efektivitas Penerapan BIM	128
5.5.2	Analisis Efisiensi Penerapan BIM	129
5.5.3	Sintesis Efektivitas dan Efisiensi Penerapan BIM	130
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		131
6.1	Kesimpulan	132
6.2	Saran	133
DAFTAR PUSTAKA		135

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu	17
Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Saat Ini	19
Tabel 3. 1 Indikator dan Parameter Analisis Penelitian	46
Tabel 4. 1 Instrumen Pertanyaan Wawancara Praktisi BIM	62
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan <i>Pilecap</i> P64	90
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Total Kebutuhan Tulangan <i>Pilecap</i>	91
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan <i>Pier</i> dan <i>Pier head</i> P64	92
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan <i>Pier</i> dan <i>Pier head</i> P65	93
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan <i>Pier</i> dan <i>Pier head</i> P66	94
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan <i>Pier</i> dan <i>Pier head</i> P67	95
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Total Kebutuhan Tulangan Metode Konvensional	96
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Volume Beton <i>Pilecap</i> Metode Konvensional	97
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Volume Beton <i>Pier</i> + <i>Pier head</i> Metode Konvensional	99
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Volume Beton Struktur Metode Konvensional	99
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan dengan <i>Tekla Structures</i>	101
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Volume Beton Menggunakan <i>Tekla Structures</i>	101
Tabel 5. 13 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Elemen <i>Pilecap</i>	103
Tabel 5. 14 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Elemen <i>Pier</i> dan <i>Pier head</i>	104
Tabel 5. 15 Perbandingan Volume Beton Metode Konvensional dan Metode BIM <i>Tekla Structures</i>	104
Tabel 5. 16 Hasil Wawancara Narasumber 1	107
Tabel 5. 17 Hasil Wawancara Narasumber 2	112
Tabel 5. 18 Hasil Wawancara Narasumber 3	119
Tabel 5. 19 Persamaan Jawaban Narasumber	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Struktur LRT	33
Gambar 3. 2 <i>Pilecap</i>	34
Gambar 3. 3 <i>Pier</i>	36
Gambar 3. 4 <i>Pier head</i>	37
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Proyek dan Pembagian Zona LRT Jakarta Fase 1B	52
Gambar 4. 2 Bagan Alir Pemodelan Tekla	67
Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian	69
Gambar 4. 4 Lanjutan Bagan Alir Penelitia	70
Gambar 5. 1 Contoh <i>Detailed Engineering Design</i> (DED)	75
Gambar 5. 2 Tampilan Awal <i>Tekla Structures</i>	77
Gambar 5. 3 Proses Pembuatan <i>Grid</i>	77
Gambar 5. 4 Proses Pembuatan <i>Grid</i>	78
Gambar 5. 5 Pemodelan Struktur <i>Pilecap</i>	79
Gambar 5. 6 Pemodelan Tulangan <i>Pilecap</i>	80
Gambar 5. 7 Pemodelan Struktur <i>Pilecap</i>	81
Gambar 5. 8 Penggunaan Komponen <i>Rectangular Column Reinforcement</i> (83)	82
Gambar 5. 9 Hasil Pemodelan Tulangan <i>Pier</i>	82
Gambar 5. 10 Pemodelan Struktur <i>Pier head</i>	83
Gambar 5. 11 Pemodelan Tulangan <i>Pier head</i>	84
Gambar 5. 12 Hasil Pemodelan Struktur P64–P67	84
Gambar 5. 13 Proses <i>Model Checking</i> Menggunakan <i>Clash Check Manager</i>	85
Gambar 5. 14 Proses Pengeluaran Data <i>Quantity Take-Off</i> (QTO)	86
Gambar 5. 15 Proses Pengeluaran Data <i>Quantity Take-Off</i> (QTO)	86
Gambar 5. 16 Hasil Pemeriksaan <i>Clash Detection</i> pada Model	87
Gambar 5. 17 Hasil Pemeriksaan <i>Clash Detection</i> pada tulangan lapping	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Shop Drawing Pilecap, Pier, dan Pier head P64-P67</i>	141
Lampiran 2 Dokumentasi wawancara	161
Lampiran 3 CV Narasumber	162
Lampiran 4 <i>Quantity Take-Off (QTO) Hasil Pemodelan Tekla Structures</i>	170

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

BIM	= <i>Building Information Modeling</i>
BBS	= <i>Bar Bending Schedule</i>
DED	= <i>Detail Engineering Design</i>
IFC	= <i>Industry Foundation Classes</i>
KIT	= Kawasan Industri Terpadu
LRT	= <i>Light Rail Transit</i>
LOD	= <i>Level of Detail</i>
MEP	= <i>Mechanical, Electrical, and Plumbing</i>
QTO	= <i>Quantity Take-Off</i>
RAB	= Rencana Anggaran Biaya
SNI	= Standar Nasional Indonesia
UII	= Universitas Islam Indonesia
3D	= <i>Three Dimensional</i>
4D	= <i>Building Information Modeling</i> berbasis waktu
5D	= <i>Building Information Modeling</i> berbasis biaya
Kg	= Kilogram
m ²	= Meter Persegi
m ³	= Meter Kubik
%	= Persen
At	= Luas penampang trapesium (m ²)
at	= Panjang sisi sejajar bagian atas trapesium (m)
bt	= Panjang sisi sejajar bagian bawah trapesium (m)
ht	= Tinggi trapesium (m)
Pb	= Panjang elemen (m)
Bb	= Lebar elemen (m)
Tb	= Tinggi atau tebal elemen (m)
Pt	= Panjang elemen memanjang (m)

V = Volume total elemen (m^3)
 V_b = Volume beton (m^3)
 V_t = Volume beton bagian trapesium (m^3)
 D = Diameter tulangan (mm)
 Deviasi = Deviasi hasil *quantity take-off* (%)
 L = Panjang tulangan per batang (m)
 n = Jumlah batang tulangan
 W = Total berat tulangan (kg)
 w = Berat satuan tulangan (kg/m)
 QBIM = Hasil *quantity take-off* menggunakan BIM
 QK = Hasil *quantity take-off* metode konvensional
 γ = Berat jenis baja (7850 kg/m^3)
 π = Konstanta pi

ABSTRAK

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada perencanaan struktur semakin berkembang karena mampu meningkatkan kualitas informasi dan efisiensi proses perencanaan. Salah satu perangkat lunak BIM yang banyak digunakan pada pekerjaan struktur adalah *Tekla Structures*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas dan efisiensi penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada perencanaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* yang mengombinasikan analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan melalui pemodelan struktur *pilecap*, *pier*, dan *pier head* menggunakan *Tekla Structures* untuk menghasilkan data *quantity take-off* (QTO) berupa volume beton dan berat tulangan yang kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan metode konvensional. Selain itu, dilakukan proses *clash detection* untuk mengidentifikasi potensi konflik pembesian pada model. Analisis kualitatif dilakukan melalui wawancara semi terstruktur dengan praktisi BIM yang berpengalaman menggunakan *Tekla Structures*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model BIM mampu menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang memiliki tingkat kesesuaian tinggi dibandingkan metode konvensional. Proses *clash detection* menunjukkan bahwa secara umum model tidak memiliki *clash* yang memengaruhi validitas model, kecuali pada area sambungan (*lapping*) tulangan longitudinal *pier* akibat kepadatan pembesian. Hasil wawancara menunjukkan bahwa penggunaan *Tekla Structures* dinilai mampu meningkatkan efisiensi proses pemodelan melalui kemudahan revisi desain, integrasi informasi dalam satu model, serta kemampuan menghasilkan keluaran informasi secara otomatis. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada perencanaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B dapat dinilai efektif dan efisien.

Kata kunci: *Building Information Modeling* (BIM), *Tekla Structures*, *Quantity Take-Off* (QTO), *Clash Detection*, Efisiensi Pemodelan, LRT Jakarta Fase 1B.

ABSTRACT

The implementation of Building Information Modeling (BIM) in structural planning has grown significantly due to its ability to improve information quality and planning efficiency. One of the BIM software applications widely used for structural works is Tekla Structures. This study aims to analyze the effectiveness and efficiency of BIM implementation using Tekla Structures in the structural planning of the Jakarta LRT Phase 1B Project.

This research employed a mixed-methods approach combining quantitative and qualitative analyses. The quantitative analysis was conducted by modeling the pile cap, pier, and pier head structures using Tekla Structures to generate quantity take-off (QTO) data, including concrete volumes and reinforcement weights, which were then compared with the results obtained through conventional calculation methods. In addition, a clash detection process was performed to identify potential reinforcement conflicts within the model. The qualitative analysis was carried out through semi-structured interviews with BIM practitioners experienced in using Tekla Structures.

The results indicate that the BIM model was able to generate quantity data with a high level of consistency compared to the conventional method. The clash detection process revealed that, in general, the model did not contain clashes affecting its validity, except in reinforcement lap splice areas of the pier longitudinal bars due to reinforcement congestion. The interview results showed that the use of Tekla Structures improved modeling efficiency through easier design revisions, integrated information within a single model, and the automatic generation of project information outputs. Based on these findings, the implementation of BIM using Tekla Structures in the structural planning of the Jakarta LRT Phase 1B Project can be considered both effective and efficient.

Keywords: *Building Information Modeling (BIM), Tekla Structures, Quantity Take-Off (QTO), Clash Detection, Modeling Efficiency, Jakarta LRT Phase 1B.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur transportasi massal merupakan salah satu agenda strategis pemerintah untuk meningkatkan konektivitas antar kawasan perkotaan, mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan pribadi, serta mendorong efisiensi mobilitas masyarakat. Salah satu implementasinya adalah pembangunan *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta Fase 1B, yang menghubungkan Velodrome–Manggarai sebagai bagian dari sistem transportasi rel listrik di kawasan Jabodetabek. Pembangunan LRT Jakarta Fase 1B dinilai efektif dalam mendukung sistem transportasi perkotaan yang ramah lingkungan dan inklusif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebih dari 90% masyarakat Jabodetabek memiliki minat tinggi untuk menggunakan LRT karena dinilai efisien, aman, serta mampu mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan pribadi. Selain itu, proyek ini juga berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan dan Visi Indonesia Emas 2045, yang menekankan efisiensi energi, keberlanjutan lingkungan, dan pemerataan akses transportasi publik (Iqbal dkk., 2025).

Dari sisi teknis, proyek LRT Jakarta Fase 1B memiliki karakteristik pekerjaan struktur yang kompleks. Bagian struktur LRT seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head* berfungsi sebagai elemen utama penopang jalur layang, sehingga memerlukan tingkat presisi dan koordinasi yang tinggi dalam tahap perencanaan maupun pelaksanaan. Kompleksitas tersebut menimbulkan tantangan dalam hal akurasi perhitungan volume pekerjaan, kesesuaian antara desain dan pelaksanaan di lapangan, serta koordinasi antarbidang pekerjaan. Perhitungan volume pekerjaan yang dilakukan secara manual juga sering menimbulkan deviasi signifikan akibat perbedaan interpretasi gambar kerja dan potensi kesalahan manusia (*human error*), terutama pada proyek berskala besar dengan elemen struktur yang berulang. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode konvensional sudah tidak lagi memadai

untuk memenuhi kebutuhan efisiensi dan akurasi pada proyek infrastruktur modern (Sholeh, 2025).

Seiring perkembangan teknologi digital, sektor konstruksi mulai bertransformasi menuju penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai pendekatan inovatif dalam manajemen proyek. BIM didefinisikan sebagai sistem pengelolaan informasi proyek berbasis model tiga dimensi (3D) yang mengintegrasikan seluruh data desain, volume, jadwal, dan dokumentasi dalam satu platform terkoordinasi (Soebandono dkk., 2022). Penerapan BIM memungkinkan setiap perubahan desain untuk memperbarui seluruh data proyek secara otomatis, sehingga mengurangi risiko ketidaksesuaian antar dokumen, meminimalkan waktu koordinasi, serta meningkatkan efisiensi dalam proses perencanaan dan konstruksi. Studi serupa oleh Putriani & Sita, (2024) menegaskan bahwa penerapan BIM terbukti dapat meningkatkan efisiensi waktu kerja, mengoptimalkan pengendalian volume material, dan memperkuat akurasi dokumentasi proyek dibandingkan metode konvensional.

Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam implementasi *Building Information Modeling* (BIM) di bidang rekayasa struktur adalah *Tekla Structures*, yang dikembangkan untuk mendukung proses pemodelan struktur beton bertulang dan baja secara detail. Aplikasi ini memungkinkan pengguna menghasilkan *shop drawing* dan *Bar Bending Schedule* (BBS) secara otomatis, melakukan *quantity take-off* (QTO) dengan tingkat akurasi tinggi, serta mengintegrasikan model dengan sistem jadwal dan estimasi biaya proyek. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *Tekla Structures* menghasilkan deviasi volume material yang sangat kecil antara hasil pemodelan dan kondisi aktual di lapangan, yaitu kurang dari 0,3%, yang menegaskan keunggulan perangkat ini dalam efisiensi perhitungan volume dan otomatisasi data kuantitas (Al Farizi & Sutantiningrum, 2025). Hasil tersebut juga menunjukkan kemampuan *Tekla Structures* dalam meningkatkan produktivitas pemodelan, mempercepat koordinasi antardisiplin teknik, dan meminimalkan risiko kesalahan akibat ketidaksesuaian dokumen proyek.

Dalam konteks Proyek LRT Jakarta Fase 1B, penerapan *Building Information Modeling* (BIM) telah diimplementasikan untuk mendukung integrasi antara tahapan desain, konstruksi, dan manajemen aset. Penerapan BIM pada proyek ini menjadi langkah penting dalam mewujudkan sistem manajemen proyek yang lebih terkoordinasi dan berbasis data, terutama mengingat karakteristik proyek LRT yang kompleks serta melibatkan banyak elemen struktur dan disiplin kerja. Meskipun demikian, masih terdapat kebutuhan untuk mengkaji secara lebih mendalam sejauh mana tingkat efektivitas penggunaan perangkat lunak *Tekla Structures* dalam mendukung peningkatan efisiensi pekerjaan struktur, baik dari segi ketepatan hasil pemodelan (*model accuracy*), keakuratan perhitungan volume (*quantity take-off*), maupun efektivitas koordinasi desain antareleman struktur. Kajian tersebut menjadi penting untuk memastikan bahwa penerapan *Tekla Structures* tidak hanya memberikan keunggulan dari sisi visualisasi model, tetapi juga mampu memberikan manfaat nyata dalam meningkatkan kinerja pekerjaan struktur pada proyek infrastruktur transportasi seperti LRT.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* melalui pendekatan perbandingan antara metode BIM dan metode konvensional pada pekerjaan struktur proyek konstruksi. Fokus analisis diarahkan pada pekerjaan struktur LRT yang meliputi *pilecap*, *pier*, dan *pier head* sebagai elemen utama penopang struktur layang Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil *quantity take-off* (QTO) antara kedua metode berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang sama, sehingga penelitian ini tidak membandingkan hasil pemodelan terhadap kondisi aktual di lapangan. Penelitian ini juga didukung oleh data kualitatif melalui wawancara dengan BIM *expert* yang memiliki pengalaman dalam penerapan BIM pada proyek infrastruktur. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan *Tekla Structures* dalam meningkatkan efisiensi pekerjaan struktur dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi penerapan BIM pada proyek infrastruktur transportasi sejenis di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana tahapan dan proses penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur beton bertulang pada proyek LRT Jakarta Fase 1B?
2. Seberapa besar perbedaan hasil *quantity take-off* (QTO) pekerjaan struktur antara metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dan metode konvensional?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi waktu pekerjaan struktur antara metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dan metode konvensional?
4. Bagaimana hasil analisis efektivitas keseluruhan penerapan BIM *Tekla Structures* dalam mendukung peningkatan efisiensi pekerjaan struktur di proyek infrastruktur sejenis?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menjawab rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, dengan rincian sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan tahapan dan proses penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur beton bertulang pada proyek LRT Jakarta Fase 1B.
2. Menganalisis perbedaan hasil *quantity take-off* (QTO) pekerjaan struktur antara metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dan metode konvensional.
3. Menganalisis perbandingan efisiensi waktu pekerjaan struktur antara metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dan metode konvensional.
4. Menilai tingkat efektivitas keseluruhan penerapan BIM *Tekla Structures* dalam mendukung peningkatan efisiensi pekerjaan struktur serta menyusun rekomendasi penerapannya untuk proyek infrastruktur sejenis.

1.4 Manfaat Penelitian

Sebagai bentuk kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang teknik sipil, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dan keterampilan bagi mahasiswa maupun masyarakat umum dalam penerapan teknologi digital, khususnya melalui pemodelan dan perhitungan volume pekerjaan struktur menggunakan perangkat lunak *Tekla Structures*.
2. Meningkatkan kemampuan dalam pengelolaan, perencanaan, serta analisis data proyek secara lebih efisien, akurat, dan terintegrasi berbasis konsep *Building Information Modeling* (BIM).
3. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai keunggulan penerapan BIM dalam proses perencanaan, perhitungan volume, serta pelaksanaan konstruksi pada proyek infrastruktur.
4. Menjadi referensi ilmiah untuk memahami pengaruh penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam menghasilkan *quantity take-off* (QTO) pada pekerjaan struktur beton bertulang.
5. Menjadi salah satu wujud implementasi penelitian akademik dalam penyusunan tugas akhir sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

1.5 Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini ditetapkan untuk memperjelas fokus dan arah kajian agar analisis yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur beton proyek LRT Jakarta Fase 1B, yang mencakup elemen utama seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head*.
2. Analisis diarahkan untuk menilai tingkat efektivitas dan efisiensi hasil pemodelan *Tekla Structures*, dengan penekanan pada akurasi volume beton,

otomatisasi keluaran data, serta kemampuan model dalam mendukung visualisasi dan koordinasi desain.

3. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan mengenai durasi pelaksanaan, analisis biaya konstruksi, maupun disiplin non-struktural seperti arsitektur serta *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP).
4. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari dokumen teknis proyek, meliputi *shop drawing*, data kuantitas pekerjaan struktur, serta hasil pemodelan yang dilakukan langsung oleh peneliti menggunakan *Tekla Structures*.
5. Penelitian ini bersifat studi kasus sehingga hasil analisis yang diperoleh hanya berlaku pada konteks proyek LRT Jakarta Fase 1B dan digunakan sebagai dasar rekomendasi penerapan BIM pada proyek infrastruktur sejenis di masa mendatang.
6. Penelitian ini membandingkan hasil pemodelan dan *quantity take-off* (QTO) antara metode Building Information Modeling (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dan metode konvensional berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang sama, sehingga tidak mencakup perbandingan terhadap kondisi aktual pelaksanaan di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan bagian penting dalam suatu penelitian karena berfungsi sebagai landasan teoretis yang digunakan untuk memahami konsep, variabel, serta hubungan antarvariabel yang diteliti. Menurut Sugiyono, (2023), tinjauan pustaka disusun berdasarkan teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan guna memperkuat dasar ilmiah penelitian serta membantu peneliti dalam menyusun kerangka berpikir yang sistematis dan terarah. Melalui tinjauan pustaka, peneliti dapat menempatkan penelitian yang dilakukan dalam konteks keilmuan yang jelas serta menghindari terjadinya pengulangan penelitian dengan objek dan pendekatan yang sama.

Dalam bidang teknik sipil, khususnya pada proyek infrastruktur berskala besar, tinjauan pustaka berperan penting dalam menjelaskan perkembangan metode dan teknologi yang digunakan dalam perencanaan serta pelaksanaan konstruksi. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah *Building Information Modeling* (BIM), yaitu sistem pengelolaan informasi konstruksi berbasis model digital terintegrasi. BIM memungkinkan representasi elemen struktur secara tiga dimensi yang dilengkapi dengan informasi material, dimensi, serta kuantitas pekerjaan, sehingga mampu meningkatkan kualitas koordinasi, akurasi perencanaan, dan efisiensi proses kerja dibandingkan metode konvensional.

Sugiyono, (2023) menjelaskan bahwa teori dan konsep dalam tinjauan pustaka berfungsi sebagai batasan konseptual agar penelitian tidak bersifat spekulatif, melainkan memiliki dasar ilmiah yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan. Dalam penelitian ini, konsep BIM tidak hanya dipahami dari sisi teknis pemodelan, tetapi juga dikaitkan dengan aspek efektivitas dan efisiensi proses kerja. Penilaian efektivitas tersebut tidak hanya dapat dilakukan melalui data kuantitatif hasil pemodelan, tetapi juga melalui data kualitatif yang

diperoleh dari pengalaman dan persepsi pelaku proyek, seperti praktisi BIM atau personel yang terlibat langsung dalam proses pemodelan struktur.

Salah satu perangkat lunak BIM yang banyak digunakan pada pekerjaan struktur adalah *Tekla Structures*, yang dirancang untuk pemodelan detail struktur beton bertulang dan baja. *Tekla Structures* memungkinkan pembuatan model tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi aktual struktur sekaligus menghasilkan keluaran berupa *shop drawing*, *bar bending schedule*, dan *quantity take-off* secara otomatis. Dalam konteks penelitian ini, tinjauan pustaka tidak hanya menekankan peran *Tekla Structures* dalam akurasi hasil pemodelan, tetapi juga relevansinya terhadap efisiensi waktu pemodelan, yang dianalisis melalui kombinasi data teknis pemodelan dan hasil wawancara dengan praktisi BIM pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berperan penting dalam memberikan gambaran mengenai perkembangan penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dan *Tekla Structures* dalam pekerjaan struktur. Dengan semakin kompleksnya proyek infrastruktur, khususnya pada pekerjaan struktur LRT seperti *pilecap*, *pier*, dan *Pier head* pada proyek LRT, kebutuhan terhadap akurasi pemodelan, kesesuaian kuantitas material, dan efisiensi waktu kerja semakin meningkat. Berbagai penelitian telah membahas efektivitas BIM maupun *Tekla Structures* dalam meningkatkan kualitas pemodelan struktur, akurasi perhitungan volume, serta koordinasi desain antardisiplin.

Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada gedung bertingkat atau proyek jembatan, dan belum secara spesifik meninjau pekerjaan struktur beton bertulang pada proyek transportasi rel seperti LRT Jakarta Fase 1B. Berbagai penelitian telah meninjau akurasi *quantity take-off* (QTO), namun sebagian besar belum membandingkan hasil keluaran *Tekla Structures* dengan metode konvensional. Sebagian lainnya lebih berfokus pada koordinasi desain atau deteksi benturan elemen, bukan pada analisis efisiensi pemodelan struktur maupun pengaruh langsung terhadap proses perhitungan kuantitas material.

Oleh karena itu, penelitian ini mengisi gap dengan menganalisis efektivitas *Tekla Structures* untuk pekerjaan struktur bertulang pada proyek LRT, melalui evaluasi akurasi volume beton dan tulangan, efisiensi waktu pemodelan, serta perbandingan dengan metode konvensional. Subbab berikut menguraikan enam penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar analisis dan pembentukan kerangka penelitian ini.

2.2.1 Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) pada Proyek Infrastruktur

Penelitian yang dilakukan oleh Putriani & Sita, (2024) membahas implementasi *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek infrastruktur melalui studi kasus pekerjaan struktur Jembatan Sigompol 2 yang merupakan bagian dari pengembangan Kawasan Industri Terpadu (KIT) Batang. Dalam penelitian tersebut, BIM diterapkan sebagai pendekatan utama dalam proses pemodelan struktur dan analisis kuantitas pekerjaan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Tekla Structures* sebagai alat pendukung pemodelan tiga dimensi yang terintegrasi. Implementasi BIM difokuskan pada pengembangan model struktur dengan tingkat *Level of Detail* (LOD) 500 sehingga setiap elemen struktur dapat direpresentasikan secara lengkap dari sisi geometri, dimensi, dan informasi material, termasuk volume beton dan kebutuhan pembesian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM memberikan tingkat akurasi kuantitas yang sangat tinggi. Evaluasi terhadap volume beton menunjukkan deviasi antara hasil perhitungan berbasis BIM dan perhitungan manual sebesar 0,011%, sedangkan deviasi pada perhitungan pembesian tercatat sebesar 0,003%, nilai yang berada jauh di bawah batas toleransi deviasi yang ditetapkan dalam *BIM Execution Plan* (BEP) sebesar 2%. Selain meningkatkan akurasi kuantitas, penggunaan model BIM juga terbukti meningkatkan konsistensi data dan mengurangi potensi kesalahan akibat perbedaan interpretasi gambar dua dimensi. Pemanfaatan fitur *clash detection* dalam proses verifikasi model memungkinkan identifikasi konflik antar elemen struktur sejak tahap perencanaan sehingga risiko revisi desain dan pekerjaan ulang pada tahap konstruksi dapat diminimalkan.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada objek kajian yang difokuskan pada struktur jembatan dengan konfigurasi linier sehingga belum merepresentasikan kompleksitas struktur yang berulang seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head* yang umum dijumpai pada proyek transportasi rel layang. Selain itu, aspek efisiensi waktu pemodelan serta perbandingan langsung antara metode BIM dan metode konvensional belum dianalisis secara mendalam. Kendati demikian, penelitian ini tetap relevan sebagai rujukan karena menunjukkan keberhasilan implementasi BIM pada proyek infrastruktur bertipe *elevated* yang memiliki karakteristik struktur mendekati Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2.2 Perhitungan Volume Elemen Struktur Beton Bertulang

Penelitian yang dilakukan oleh Sholeh, (2025) membahas perbandingan efektivitas dan akurasi perhitungan volume elemen struktur beton bertulang dengan studi kasus *pilecap*, menggunakan dua pendekatan, yaitu metode manual dan metode BIM. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya ketelitian dalam estimasi volume pekerjaan struktur beton bertulang, karena kesalahan perhitungan volume dapat berdampak langsung pada perencanaan biaya, kebutuhan material, serta waktu pelaksanaan proyek. Dalam penelitian tersebut, gambar *Detail Engineering Design* (DED) *pilecap* digunakan sebagai dasar perhitungan, yang kemudian dihitung secara manual dan dibandingkan dengan hasil perhitungan berbasis BIM.

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan kuantitas antara kedua metode perhitungan. Pada metode manual, volume beton *pilecap* yang diperoleh sebesar 1.842,17 m³ dengan berat tulangan BJTS D25 sebesar 150.279,05 kg. Sementara itu, perhitungan menggunakan metode BIM menghasilkan volume beton sebesar 1.822,87 m³ dan total pembesian sebesar 148.862,80 kg. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa metode BIM mampu menghasilkan perhitungan volume yang lebih terkendali dan konsisten dibandingkan metode manual.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, metode BIM menunjukkan tingkat efektivitas sebesar 98,95% pada perhitungan volume beton dan 99,06% pada perhitungan volume pembesian. Tingginya tingkat efektivitas ini dipengaruhi oleh proses perhitungan yang dilakukan secara terintegrasi melalui model tiga dimensi,

sehingga potensi *human error* akibat kesalahan *input*, perbedaan interpretasi gambar, dan proses perhitungan berulang dapat diminimalkan. Dengan demikian, BIM dinilai lebih efisien dan andal dalam perhitungan volume elemen struktur beton bertulang, khususnya pada elemen dengan tingkat detail yang tinggi.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada elemen *pilecap* pada proyek bangunan gedung dan belum mengkaji elemen struktur LRT lain seperti pier dan *Pier head* yang memiliki kompleksitas geometri lebih tinggi. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi penerapan BIM pada proyek infrastruktur transportasi rel seperti LRT yang memiliki struktur berulang dan dimensi yang lebih variatif. Keterbatasan tersebut memberikan ruang bagi penelitian tugas akhir ini untuk mengkaji perhitungan volume elemen struktur beton bertulang secara lebih komprehensif pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2.3 Tekla Structures sebagai Perangkat BIM untuk Pemodelan Detail

Struktur Beton Bertulang

Penelitian yang dilakukan oleh Maula et al., (2025) membahas penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dalam pemodelan detail struktur beton bertulang dengan fokus pada evaluasi akurasi *Quantity Take-Off* (QTO) tulangan elemen kolom. Dalam penelitian tersebut, *Tekla Structures* digunakan sebagai salah satu perangkat BIM dan dibandingkan dengan metode konvensional serta Autodesk Revit. Elemen struktur kolom dimodelkan secara tiga dimensi pada masing-masing platform BIM untuk menghasilkan data kuantitas tulangan secara otomatis, yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan manual sebagai acuan.

Pemodelan struktur beton bertulang menggunakan *Tekla Structures* dalam penelitian ini menekankan pada kemampuan perangkat lunak tersebut dalam merepresentasikan detail elemen struktur secara akurat, khususnya konfigurasi dan penempatan tulangan. Melalui pemodelan berbasis objek (*object-based modeling*), setiap elemen kolom dimodelkan secara rinci sesuai dengan spesifikasi desain, sehingga data kuantitas tulangan yang dihasilkan bersumber langsung dari model tiga dimensi. Pendekatan ini memungkinkan integrasi antara informasi geometrik dan data material dalam satu sistem pemodelan yang terkoordinasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa selisih kuantitas tulangan antara metode konvensional dan Autodesk Revit sebesar 0,132%, sedangkan perbandingan antara *Autodesk Revit* dan *Tekla Structures* menunjukkan selisih 0%, yang mengindikasikan bahwa kedua perangkat lunak BIM tersebut menghasilkan kuantitas tulangan yang identik. Temuan ini menegaskan bahwa *Tekla Structures* memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam pemodelan detail struktur beton bertulang, khususnya pada elemen struktural berulang seperti kolom. Selain itu, proses otomatisasi QTO melalui pemodelan BIM mampu mengurangi potensi kesalahan akibat interpretasi gambar dua dimensi serta meningkatkan efisiensi dalam proses estimasi kuantitas material.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena ruang lingkup kajiannya terbatas pada elemen kolom dan hanya meninjau kuantitas tulangan tanpa membahas volume beton maupun efisiensi waktu pemodelan. Struktur dengan tingkat kompleksitas lebih tinggi seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head* yang umum dijumpai pada proyek infrastruktur transportasi rel belum dikaji dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian Maula et al., (2025) memberikan landasan bahwa *Tekla Structures* efektif sebagai perangkat BIM untuk pemodelan detail struktur beton bertulang, namun masih diperlukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi penerapannya pada struktur berskala besar seperti pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2.4 Quantity Take-Off Beton dan Baja Menggunakan Tekla Structures

Penelitian yang dilakukan oleh Soebandono et al., (2022) membahas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dengan menggunakan *Tekla Structures* untuk menghasilkan *Quantity Take-Off* (QTO) pekerjaan struktur, khususnya beton dan baja. Penelitian ini menggunakan studi kasus pemodelan struktur gedung secara menyeluruh, di mana data berasal dari gambar *Detailed Engineering Design* (DED) yang kemudian dimodelkan ke dalam model tiga dimensi *Tekla Structures*. Melalui pemodelan tersebut, kuantitas material struktur diperoleh secara otomatis dan selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode konvensional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan QTO berbasis *Tekla Structures* mampu menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Pada struktur bawah, perhitungan volume beton menunjukkan selisih 0%, sedangkan selisih pembesian tercatat sebesar 1%. Pada struktur atas, selisih perhitungan yang diperoleh sebesar 0,28% untuk beton dan 1,1% untuk baja, sementara pada struktur atap selisih maksimum mencapai 3,39%, terutama pada elemen jurai. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan QTO berbasis BIM melalui *Tekla Structures* mampu menghasilkan kuantitas beton dan baja yang konsisten serta memiliki tingkat kesesuaian tinggi dibandingkan metode konvensional.

Selain dari sisi kuantitas material, penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan *Tekla Structures* berdampak pada efisiensi penyusunan anggaran biaya. Selisih biaya yang dihasilkan antara metode BIM dan metode manual relatif kecil, yaitu 0,48% untuk struktur bawah, 0,58% untuk struktur atas, dan 1,4% untuk struktur atap. Hal ini mengindikasikan bahwa QTO yang dihasilkan dari model BIM tidak hanya akurat secara kuantitas, tetapi juga mampu mendukung estimasi biaya yang lebih andal dan konsisten dibandingkan perhitungan berbasis gambar dua dimensi.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena objek kajian difokuskan pada bangunan gedung dan belum mencakup elemen struktur khas proyek infrastruktur transportasi seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head*. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi kesesuaian hasil QTO terhadap data lapangan secara langsung. Kendati demikian, penelitian Soebandono et al. (2022) memberikan bukti kuat bahwa penggunaan *Tekla Structures* sangat efektif dalam menghasilkan QTO beton dan baja yang akurat, sehingga relevan sebagai dasar metodologis bagi penelitian ini dalam menganalisis perhitungan volume elemen struktur pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2.5 Perbandingan Perhitungan Volume Pekerjaan Struktural antara

Metode BIM dan Metode Konvensional

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fadillah & Nofriadi, (2022) menganalisis perbandingan hasil perhitungan volume pekerjaan struktural antara

metode konvensional berbasis gambar *Detailed Engineering Design* (DED) dan pendekatan *Building Information Modeling* (BIM). Studi kasus penelitian ini adalah Pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pajak Pratama Balige, di mana seluruh elemen struktur, meliputi pondasi, *pilecap*, sloof, kolom, balok, dan pelat lantai, dimodelkan ulang ke dalam model BIM menggunakan *Tekla Structures* untuk memperoleh data *Quantity Take-Off* (QTO) secara otomatis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan volume berbasis BIM memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap hasil perhitungan konvensional. Pada pekerjaan beton, nilai QTO berbasis BIM mencapai 98,45% dari hasil perhitungan manual. Kebutuhan bekisting menunjukkan kesesuaian sebesar 94,30%, sedangkan perhitungan pembesian bahkan menghasilkan tingkat akurasi sebesar 100,004%. Perbedaan hasil perhitungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain perbedaan metode pengambilan volume oleh perencana, ketidakkonsistenan dalam pembacaan gambar DED, serta potensi *human error* pada metode konvensional, seperti tidak diperhitungkannya selimut beton, sambungan lewatan, dan tekukan tulangan.

Penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan BIM mampu memberikan hasil perhitungan volume pekerjaan struktural yang lebih rinci dan dapat dipertanggungjawabkan karena seluruh kuantitas diekstraksi langsung dari model tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi aktual elemen struktur. Selain itu, proses pemodelan tulangan secara detail dalam BIM memungkinkan perhitungan pembesian dilakukan secara lebih akurat dibandingkan metode konvensional yang umumnya menggunakan pendekatan penyederhanaan. Dengan demikian, BIM dinilai lebih unggul dalam meminimalkan perbedaan interpretasi dan meningkatkan konsistensi hasil perhitungan volume pekerjaan struktural.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena objek kajian difokuskan pada bangunan gedung bertingkat, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kompleksitas struktur pada proyek infrastruktur transportasi rel. Elemen struktur seperti *pilecap* berukuran besar, *pier*, dan *pier head* yang memiliki variasi geometri dan dimensi lebih kompleks dibandingkan struktur gedung belum dianalisis dalam penelitian ini. Selain itu, aspek efisiensi waktu

pemodelan serta efektivitas penggunaan BIM pada proyek infrastruktur berskala besar seperti LRT belum dibahas. Keterbatasan tersebut menjadi dasar bagi penelitian tugas akhir ini untuk mengkaji lebih lanjut perbandingan efektivitas perhitungan volume pekerjaan struktural antara metode BIM dan metode konvensional pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.2.6 Penerapan BIM pada Proyek Infrastruktur Transportasi Rel

Perkotaan

Penelitian yang dilakukan oleh Stefanus & Lutfiansyah, (2025) membahas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek infrastruktur transportasi melalui studi kasus pekerjaan struktur beton jembatan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera ruas Rengat–Pekanbaru. Meskipun objek penelitian berupa infrastruktur jalan tol, karakteristik struktur yang dikaji memiliki kesamaan dengan infrastruktur transportasi rel perkotaan, khususnya pada penggunaan struktur beton bertulang bertipe *elevated*. Dalam penelitian ini, BIM diterapkan untuk menganalisis perhitungan *Quantity Take-Off* (QTO) volume beton berbagai elemen struktur jembatan sebagai bagian dari pengelolaan data kuantitas proyek infrastruktur berskala besar.

Pada penelitian tersebut, pemodelan tiga dimensi dilakukan menggunakan Autodesk Revit berdasarkan gambar perencanaan *AutoCAD* tahap awal proyek. Model BIM yang dihasilkan digunakan untuk mengekstraksi data QTO volume beton secara otomatis, yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan konvensional berbasis pengukuran luas elemen pada gambar dua dimensi yang diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Proses perbandingan ini dilakukan untuk menilai tingkat deviasi dan akurasi perhitungan volume beton antara metode BIM dan metode konvensional pada elemen-elemen struktur jembatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa deviasi volume beton antara metode BIM dan metode konvensional berada pada rentang 0,04% hingga 3,64%, yang seluruhnya masih berada dalam batas toleransi deviasi QTO sebesar 0–5% sesuai dengan pendapat pakar BIM. Deviasi terkecil terjadi pada elemen *PCI girder* sebesar 0,04%, sedangkan deviasi terbesar terdapat pada pekerjaan pelat injak sebesar 3,64%. Elemen struktur lain seperti *pilecap*, *pier*, *pier head*, *spun pile*, dan

diaphragm menunjukkan deviasi yang relatif kecil, yaitu di bawah 1%. Perbedaan nilai deviasi tersebut dipengaruhi oleh kompleksitas geometri elemen struktur, perbedaan metode pengukuran volume, serta potensi *human error* pada perhitungan konvensional.

Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan kecepatan, konsistensi, dan efisiensi perhitungan QTO pada proyek infrastruktur transportasi. Visualisasi tiga dimensi yang dihasilkan melalui BIM membantu meningkatkan ketelitian pemodelan elemen struktur serta meminimalkan risiko kesalahan interpretasi gambar dua dimensi. Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit* dan belum mengevaluasi penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures*, yang memiliki keunggulan dalam pemodelan detail struktur beton bertulang. Selain itu, penelitian ini belum membahas secara khusus efisiensi waktu pemodelan maupun karakteristik struktur berulang yang umum dijumpai pada proyek transportasi rel perkotaan seperti *pilecap* besar, *pier*, dan *pier head*. Oleh karena itu, penelitian tugas akhir ini diarahkan untuk mengkaji penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada struktur bertulang Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

2.3 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu yang membahas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dan *Tekla Structures* memberikan dasar penting bagi penelitian ini, terutama dalam memahami perkembangan metode pemodelan, akurasi perhitungan kuantitas, serta efisiensi proses konstruksi. Kajian terhadap berbagai studi sebelumnya juga membantu mengidentifikasi perbedaan fokus, ruang lingkup, dan kontribusi masing-masing penelitian sehingga dapat menentukan posisi penelitian yang sedang dilakukan.

Untuk memberikan gambaran yang lebih terstruktur, rangkuman dari penelitian-penelitian tersebut disusun dalam bentuk tabel yang memuat peneliti, judul, tujuan, metode, dan hasil penelitian. Ringkasan lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Utama
(Putriani & Sita, 2024)	Optimasi <i>Building Information Modeling</i> (BIM) <i>Tekla Structures</i> Pada Konstruksi Jembatan Sigompol 2 Paket I.4 - Pembangunan Jalan Kawasan Industri Terpadu (KIT) Batang.	Menghasilkan pemodelan struktur jembatan berbasis BIM dengan tingkat LOD 500 serta mengevaluasi akurasi QTO beton dan pembedaan.	Pemodelan detail struktur jembatan, pengambilan kuantitas otomatis, verifikasi dengan data manual, dan penerapan <i>clash detection</i> .	Deviasi beton 0,011%, besi 0,003%, jauh di bawah toleransi 2%. BIM sangat efektif untuk struktur linier dengan elemen kompleks.
(Sholeh, 2025)	Efektivitas dan Akurasi Metode Manual dan BIM dalam Perhitungan Volume <i>Pile Cap</i> dan Pembedaan Bangunan Gedung.	Membandingkan deviasi Membandingkan volume beton & pembedaan <i>pilecap</i> antara perhitungan manual dan BIM.	Perhitungan manual <i>pilecap</i> berdasarkan DED, pemodelan 3D <i>pilecap</i> pada BIM, dan evaluasi deviasi kuantitas beton & besi.	Perhitungan manual: 1.842,17 m ³ beton, BIM: 1.822,87 m ³ . Efektivitas BIM 98,95% (beton) dan 99,06% (pembedaan). BIM lebih stabil dan presisi.
(Al Farizi & Sutantiningrum, 2025)	Evaluasi Metode Perhitungan QTO Tulangan Kolom Menggunakan BIM <i>Tekla Structures</i> dan <i>Revit</i> .	Menilai tingkat akurasi hasil QTO tulangan kolom menggunakan metode konvensional, <i>Revit</i> , dan <i>Tekla Structures</i> .	Pemodelan 3D elemen kolom pada <i>Revit</i> dan <i>Tekla</i> , perolehan QTO otomatis, dan perbandingan dengan perhitungan manual berdasarkan gambar DED.	Deviasi antara <i>Revit</i> dan <i>Tekla</i> 0%, menunjukkan konsistensi tinggi. Deviasi konvensional vs <i>Revit</i> 0,132%. BIM dinilai lebih akurat, cepat, dan minim interpretasi ganda.

Lanjutan Tabel 2. 2 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Utama
(Soebandono dkk., 2022)	Implementasi <i>Building Information Modelling</i> (BIM) Menggunakan <i>Tekla Structures</i> pada Konstruksi Gedung.	Mengidentifikasi perbedaan hasil volume pekerjaan dan efisiensi perhitungan antara metode konvensional dan BIM.	Pemodelan struktur gedung penuh menggunakan <i>Tekla Structures</i> berdasarkan gambar DED, perhitungan QTO otomatis, dan komparasi dengan hasil manual untuk beton, besi, dan bekisting.	Deviasi beton 0–0,28%, besi 1–1,1%, bekisting 0,22–3,39%. BIM terbukti meningkatkan akurasi perhitungan dan mengurangi durasi pengerjaan.
(Fadillah & Nofriadi, 2022)	<i>Quantity Take-Off</i> Pekerjaan Struktur Berbasis <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pajak Pratama Balige.	Membuktikan tingkat ketelitian QTO struktur antara metode konvensional dan BIM.	Pemodelan pondasi hingga pelat lantai pada <i>Tekla</i> serta perbandingan dengan hasil perhitungan DED manual untuk beton, bekisting, dan tulangan.	Akurasi beton 98,45%, bekisting 94,30%, pembesian 100,004%. BIM mengurangi <i>human error</i> seperti selimut beton & tekukan tulangan yang sering terlewat.
(Stefanus & Lutfiansyah, 2025)	Analisis Perbandingan Perhitungan <i>Quantity Take-Off</i> Metode Konvensional dengan Perhitungan Berbasis BIM Pada Pekerjaan Struktur Beton Jembatan.	Mengukur deviasi volume beton elemen jembatan antara metode manual dan BIM.	Pemodelan jembatan pada <i>Revit</i> , penghitungan volume otomatis, dan perbandingan dengan hasil konvensional <i>AutoCAD</i> dan <i>Excel</i> .	Deviasi volume 0,04%–3,64%, seluruhnya dalam batas toleransi QTO (0–5%). BIM dinilai lebih cepat, akurat, dan minim salah tafsir 2D.

2.4 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian yang Dilaksanakan

Bagian ini membandingkan penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilaksanakan untuk menunjukkan ruang kontribusi dan posisi penelitian secara jelas. Perbandingan dilakukan berdasarkan kesesuaian tema, objek, metode analisis, keluaran penelitian, serta fokus pembahasan. Perbandingan lengkap disajikan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Saat Ini

Peneliti Terdahulu	Kesamaan dengan Penelitian Saat Ini	Perbedaan/Gap dengan Penelitian Saat Ini
(Putriani & Sita, 2024)	Sama-sama menerapkan BIM menggunakan <i>Tekla Structures</i> untuk pemodelan struktur dan menghasilkan kuantitas material berbasis model digital.	Ruang lingkup penelitian difokuskan pada pengembangan model LOD 500 dan akurasi QTO struktur jembatan, sehingga belum mengevaluasi efisiensi waktu pemodelan serta efektivitas BIM secara menyeluruh, dan belum diterapkan pada struktur beton bertulang proyek transportasi rel.
(Sholeh, 2025)	Sama-sama membandingkan hasil perhitungan volume pekerjaan struktur antara metode konvensional dan BIM sebagai dasar evaluasi efektivitas.	Penelitian hanya difokuskan pada satu elemen <i>pilecap</i> pada bangunan gedung, sehingga belum mengkaji efisiensi waktu pemodelan, konsistensi hasil antar elemen struktur, serta penerapan BIM pada proyek infrastruktur transportasi.
(Al Farizi & Sutantiningrum, 2025)	Sama-sama menggunakan BIM untuk memperoleh QTO otomatis dan membandingkannya dengan metode konvensional.	Penelitian difokuskan pada evaluasi akurasi QTO tulangan kolom dan perbandingan antarperangkat BIM, sehingga belum membahas volume beton, efisiensi waktu pemodelan, serta efektivitas BIM pada struktur beton bertulang yang berulang.

Lanjutan Tabel 2. 4 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Saat Ini

Peneliti Terdahulu	Kesamaan dengan Penelitian Saat Ini	Perbedaan/Gap dengan Penelitian Saat Ini
(Soebandono dkk., 2022)	Sama-sama memanfaatkan <i>Tekla Structures</i> untuk pemodelan tiga dimensi dan perhitungan volume pekerjaan struktur secara otomatis.	Penelitian difokuskan pada bangunan gedung dan perbandingan volume pekerjaan, sehingga belum menilai efisiensi waktu pemodelan dan peran BIM dalam meningkatkan efektivitas koordinasi desain.
(Fadillah & Nofriadi, 2022)	Sama-sama menggunakan <i>Tekla Structures</i> untuk menghasilkan QTO struktur beton bertulang dan menilai ketelitian hasil pemodelan BIM.	Penelitian bertujuan menilai ketelitian QTO berbasis DED pada bangunan gedung, sehingga belum mengevaluasi efektivitas BIM terhadap efisiensi pemodelan serta belum diterapkan pada struktur beton bertulang proyek infrastruktur transportasi.
(Stefanus & Lutfiansyah, 2025)	Sama-sama membandingkan hasil QTO berbasis BIM dengan metode konvensional untuk menilai deviasi volume pekerjaan struktur.	Penelitian menggunakan <i>Autodesk Revit</i> dan difokuskan pada struktur jembatan, sehingga belum mengevaluasi penerapan <i>Tekla Structures</i> , efisiensi waktu pemodelan, serta karakteristik struktur beton bertulang proyek transportasi rel.

Berdasarkan perbandingan penelitian terdahulu yang disajikan pada Tabel 2.2, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya telah membuktikan keunggulan penerapan *Building Information Modeling* (BIM), khususnya dalam meningkatkan akurasi perhitungan kuantitas material dan konsistensi hasil pemodelan struktur. Namun demikian, ruang lingkup penelitian terdahulu umumnya masih terbatas pada evaluasi akurasi volume, perbandingan

hasil *Quantity Take-Off* (QTO), atau pemodelan elemen struktur tertentu pada bangunan gedung maupun jembatan. Aspek efisiensi waktu pemodelan serta penilaian efektivitas BIM secara menyeluruh, terutama yang dikaitkan dengan pengalaman dan persepsi praktisi BIM melalui pendekatan kualitatif seperti wawancara, masih belum banyak dikaji. Selain itu, penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada proyek transportasi rel perkotaan, seperti *pilecap*, *pier*, dan *Pier head* pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B, belum menjadi fokus utama dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis efektivitas penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* melalui evaluasi akurasi volume pekerjaan struktur dan efisiensi waktu pemodelan, yang didukung oleh data teknis pemodelan serta hasil wawancara dengan praktisi BIM, sehingga diharapkan mampu memberikan kontribusi yang lebih komprehensif terhadap pengembangan penerapan BIM pada proyek infrastruktur transportasi.

2.5 Keaslian Penelitian

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada pekerjaan struktur beton sebagian besar berfokus pada objek gedung atau jembatan, dengan tujuan utama mengevaluasi akurasi perhitungan kuantitas, menghasilkan pemodelan detail tertentu, atau membandingkan volume pekerjaan antara metode BIM dan metode konvensional. Walaupun memberikan kontribusi penting, studi-studi tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum menelaah penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada struktur beton bertulang proyek infrastruktur transportasi seperti LRT, yang memiliki karakteristik pekerjaan lebih kompleks, dimensi yang bervariasi, serta elemen struktur yang bersifat repetitif. Selain itu, penelitian terdahulu juga cenderung berfokus pada satu aspek saja, misalnya akurasi kuantitas atau detail pemodelan, sehingga belum memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai efektivitas penggunaan BIM dalam keseluruhan proses pemodelan elemen struktur.

Penelitian ini memiliki keaslian karena secara khusus meninjau efektivitas penerapan *Tekla Structures* pada struktur proyek LRT Jakarta Fase 1B yang terdiri

dari *pilecap*, *pier*, dan *pier head*. Struktur-struktur tersebut memiliki tingkat kompleksitas geometri yang berbeda dibandingkan elemen gedung maupun jembatan yang umumnya dikaji pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini tidak hanya membandingkan perbedaan volume antara metode konvensional dan hasil pemodelan BIM. Penelitian juga mengevaluasi efisiensi proses pemodelan serta konsistensi keluaran yang dihasilkan oleh *Tekla Structures*.. Pendekatan ini memberikan sudut pandang yang lebih luas karena menilai kinerja BIM dari beberapa aspek sekaligus, sehingga menghasilkan analisis yang lebih komprehensif untuk digunakan pada proyek infrastruktur transportasi.

Dengan demikian, penelitian ini menawarkan kontribusi baru yang belum dikaji oleh penelitian terdahulu. Penelitian ini tidak hanya menambah referensi mengenai pemanfaatan *Tekla Structures* pada proyek infrastruktur, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas BIM pada struktur beton bertulang yang menjadi elemen utama proyek LRT. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dinyatakan memiliki keaslian yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan, serta berpotensi menjadi acuan dalam penerapan BIM pada proyek serupa di masa mendatang.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Bab ini menyajikan landasan teoritis yang digunakan untuk mendukung analisis efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Teori yang dijelaskan mencakup konsep dasar proyek konstruksi, prinsip-prinsip manajemen proyek, pemahaman mengenai BIM sebagai sistem pemodelan informasi terpadu, serta fungsi *Tekla Structures* sebagai perangkat lunak pemodelan struktur beton bertulang. Selain itu, dipaparkan pula karakteristik struktur beton bertulang seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head* yang merupakan fokus utama penelitian.

Tinjauan umum ini memberikan kerangka pemahaman mengenai perbedaan pendekatan antara metode konvensional dan pemodelan 3D berbasis BIM dalam menghasilkan perhitungan volume, efisiensi waktu, serta konsistensi keluaran data pekerjaan struktur. Melalui uraian teori dalam bab ini, penelitian diarahkan untuk menilai sejauh mana penerapan BIM melalui *Tekla Structures* dapat meningkatkan kualitas proses pemodelan dan perhitungan volume pada pekerjaan struktur LRT, sehingga pembahasan pada bab selanjutnya dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan mendalam.

3.2 Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan terencana yang bertujuan untuk mewujudkan bangunan atau infrastruktur melalui proses perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, hingga pengendalian yang dilakukan dalam batasan waktu, biaya, mutu, serta sumber daya tertentu. Kegiatan ini bersifat unik karena setiap proyek memiliki kondisi lapangan, kebutuhan desain, metode konstruksi, serta spesifikasi teknis yang berbeda satu sama lain.

Proyek konstruksi memiliki tingkat risiko inheren yang muncul sejak tahap awal akibat ketidakpastian sumber daya, metode pelaksanaan, hingga perubahan kebutuhan proyek selama pekerjaan berlangsung (Maharani dkk., 2022). Dengan

demikian, keberhasilan proyek sangat dipengaruhi oleh kemampuan pengelolaan yang memastikan bahwa seluruh proses berjalan sesuai standar teknis dan regulasi yang berlaku.

Kompleksitas proyek konstruksi dipengaruhi oleh kondisi lapangan yang dinamis, variasi teknologi dan peralatan kerja, serta keberagaman tenaga kerja yang terlibat. Peningkatan skala proyek konstruksi modern menyebabkan tingginya potensi deviasi jadwal dan biaya apabila tidak didukung oleh manajemen waktu, sistem pengawasan, dan koordinasi antar-disiplin yang optimal (Nuranto dkk., 2022). Selain itu, peran sumber daya manusia menjadi faktor penentu utama, karena profesionalisme manajer proyek meliputi kemampuan merencanakan, mengorganisasi, mengarahkan, mengendalikan, serta mengambil keputusan strategis menjadi elemen krusial dalam menjaga kinerja proyek tetap sesuai sasaran meskipun menghadapi tantangan teknis maupun manajerial (R. Yusuf, 2022).

Jenis dan kategori proyek konstruksi di Indonesia secara umum terbagi menjadi proyek bangunan gedung dan proyek bangunan sipil. Proyek bangunan gedung meliputi pembangunan struktur seperti fasilitas perkantoran, pendidikan, hunian, dan bangunan komersial, sedangkan proyek sipil mencakup pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, jembatan, bendungan, irigasi, jalur transportasi, hingga fasilitas publik berskala besar lainnya. Pada proyek gedung, salah satu tantangan utama adalah terjadinya *waste material* akibat perubahan desain, kesalahan pelaksanaan, dan pekerjaan ulang yang berdampak pada biaya serta efisiensi proyek (Pertiwi dkk., 2019). Sementara itu, pada proyek sipil, kondisi geoteknik, cuaca, aksesibilitas lokasi, serta skala pekerjaan yang luas menjadi faktor yang paling memengaruhi produktivitas dan keberlangsungan pekerjaan.

Selain tantangan teknis, pengelolaan biaya dan waktu juga menjadi aspek penting dalam keberhasilan proyek konstruksi. Fluktuasi harga material dan ketidakakuratan estimasi biaya berpotensi menyebabkan deviasi anggaran dan gangguan pada kestabilan pembiayaan proyek, sehingga dibutuhkan model analisis biaya yang responsif terhadap perubahan variabel konstruksi (Agusman dkk., 2021). Monitoring kemajuan pekerjaan melalui kurva-S menjadi mekanisme penting untuk mengantisipasi keterlambatan dan memastikan progres lapangan

tetap sejalan dengan jadwal perencanaan (Auliansyah dkk., 2022). Selain itu, keberhasilan proyek merupakan hasil kombinasi dari efektivitas perencanaan, pengelolaan sumber daya manusia, koordinasi antar pihak, serta penerapan mitigasi risiko yang dilakukan secara menyeluruh sejak tahap awal proyek (Stringer dkk., 2025). Dengan demikian, proyek konstruksi dipahami sebagai kegiatan multidisipliner yang mengintegrasikan aspek teknis, manajerial, lingkungan, dan sumber daya secara bersamaan untuk menghasilkan konstruksi yang aman, efisien, dan sesuai standar.

Berdasarkan keseluruhan uraian tersebut, proyek konstruksi tidak hanya dipandang sebagai proses pembangunan fisik, tetapi juga sebagai sistem kerja kompleks yang memerlukan ketelitian perencanaan, ketepatan eksekusi, efektivitas pengendalian, dan kemampuan adaptasi terhadap ketidakpastian. Pemahaman mendalam mengenai karakteristik dan tantangan dalam proyek konstruksi menjadi landasan penting sebelum memasuki pembahasan lebih lanjut mengenai struktur pekerjaan, metode pelaksanaan, serta teknologi pendukung pada subbab berikutnya.

3.3 Manajemen Proyek Konstruksi

Manajemen proyek konstruksi merupakan proses terstruktur yang mencakup perencanaan, pengorganisasian, pengendalian, serta pengawasan terhadap seluruh aktivitas pembangunan agar tujuan proyek dapat dicapai sesuai batasan waktu, biaya, mutu, dan lingkup pekerjaan. Pada pelaksanaannya, manajemen proyek bertujuan mengoordinasikan penggunaan tenaga kerja, material, peralatan, dan informasi teknis secara efektif sehingga setiap aktivitas konstruksi berjalan sesuai standar dan regulasi. Manajemen proyek juga berfungsi mengantisipasi ketidakpastian yang timbul selama proses pelaksanaan, sehingga arah pembangunan dapat tetap terkontrol dan selaras dengan rencana awal proyek (Sari dkk., 2025).

Kompleksitas proyek konstruksi meningkat seiring bertambahnya skala pekerjaan dan banyaknya pihak yang terlibat, sehingga koordinasi dan kejelasan peran menjadi aspek penting dalam menjaga kelancaran pelaksanaan. Deviasi jadwal dan biaya sering terjadi akibat kurang optimalnya pengawasan waktu,

ketidakpastian pasokan material, serta perbedaan persepsi teknis antar *stakeholder* yang memengaruhi kualitas pelaksanaan pekerjaan. Kondisi tersebut diperkuat oleh temuan bahwa risiko internal dan eksternal pada proyek bangunan sering memengaruhi penyelesaian proyek, terutama pada aspek ketidaktepatan perencanaan dan ketidakpastian lingkungan kerja (Agusman dkk., 2021). Selain itu, profesionalisme manajer proyek menjadi faktor penentu karena manajer proyek bertanggung jawab dalam pengambilan keputusan, pengendalian pelaksanaan, serta kemampuan beradaptasi terhadap dinamika lapangan yang kompleks agar proyek tetap berjalan sesuai sasaran (R. Yusuf, 2022).

Manajemen dokumen teknis merupakan salah satu elemen fundamental dalam manajemen proyek karena dokumen seperti gambar kerja, spesifikasi teknis, dan rencana mutu berperan sebagai pedoman utama pelaksanaan konstruksi. Ketidakkonsistenan dokumen dapat menimbulkan interpretasi yang berbeda di lapangan, menyebabkan *rework*, pemborosan material, serta keterlambatan penyelesaian pekerjaan. Ketidakjelasan detail pada dokumen perencanaan terbukti menjadi faktor yang sering menghambat kelancaran proyek karena informasi teknis yang tidak lengkap berpotensi mengganggu alur koordinasi dan pengendalian pekerjaan di lapangan. Oleh karenanya, sistem pengendalian dokumen yang terorganisasi dengan baik menjadi bagian penting dalam menjaga kualitas pelaksanaan konstruksi.

Pengendalian sumber daya juga merupakan aspek kritis dalam manajemen proyek konstruksi. Ketersediaan material yang tidak tepat waktu, produktivitas tenaga kerja yang tidak stabil, serta performa peralatan yang tidak optimal dapat menyebabkan penyimpangan terhadap jadwal dan mutu pekerjaan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa keterlambatan material dan rendahnya produktivitas tenaga kerja merupakan hambatan utama yang sering memengaruhi progres proyek, sehingga sistem monitoring harian dan evaluasi berkala harus terus diterapkan untuk mengidentifikasi kendala di lapangan sebelum mengganggu jalannya proyek secara keseluruhan. Selain itu, penggunaan metode penjadwalan seperti *Precedence Diagram Method* (PDM) membantu tim proyek memahami hubungan logis antar

aktivitas sehingga aktivitas kritis dapat diidentifikasi lebih cepat dan durasi pelaksanaan proyek dapat dikendalikan secara lebih akurat (Dari dkk., 2025).

Perkembangan teknologi turut memberikan dampak signifikan terhadap efektivitas manajemen proyek konstruksi. Sistem informasi proyek, inspeksi digital berbasis mobile, dan integrasi data *real-time* memungkinkan pengambilan keputusan dilakukan secara cepat dan akurat sehingga mengurangi risiko kesalahan teknis dan administratif. Pemanfaatan teknologi digital terbukti meningkatkan akurasi data dan memperkuat proses pengawasan terutama pada proyek berskala besar yang memiliki kompleksitas tinggi dalam koordinasi lintas unit pekerjaan (Lolomsait & Setiawan, 2024). Selain teknologi digital, pendekatan manajemen modern seperti *lean construction* juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi proyek melalui pengurangan pemborosan dan peningkatan produktivitas kerja. (Lolomsait & Setiawan, 2024).

Pengendalian proyek juga dapat didukung oleh penggunaan perangkat lunak manajemen proyek untuk membantu monitoring progres pekerjaan, pengendalian waktu, serta evaluasi pelaksanaan konstruksi secara lebih terstruktur. Pemanfaatan teknologi digital dalam pengendalian proyek mampu meningkatkan ketepatan informasi, mempercepat proses pengawasan, serta membantu pengambilan keputusan secara lebih efektif selama pelaksanaan konstruksi. Dengan adanya sistem pengendalian yang terintegrasi, potensi keterlambatan pekerjaan dan penyimpangan terhadap perencanaan proyek dapat diminimalkan sehingga pelaksanaan konstruksi dapat berjalan lebih optimal (Nuranto dkk., 2022).

Secara keseluruhan, manajemen proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan yang mengintegrasikan aspek teknis, sumber daya, teknologi, penjadwalan, dan manajemen risiko untuk memastikan proses pembangunan berjalan efektif, efisien, serta sesuai target yang ditetapkan. Penerapan prinsip manajemen proyek yang baik mampu meningkatkan kualitas hasil konstruksi serta meminimalkan penyimpangan selama pelaksanaan proyek. Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai manajemen proyek konstruksi menjadi landasan penting dalam mendukung penyelesaian proyek infrastruktur dan bangunan dengan performa yang lebih baik di berbagai kondisi lingkungan dan skala pekerjaan.

3.4 *Building Information Modeling (BIM)*

Building Information Modeling (BIM) merupakan teknologi pemodelan digital yang memungkinkan integrasi informasi spasial dan non-spasial dalam satu platform untuk mendukung seluruh siklus hidup proyek konstruksi, mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga operasi dan pemeliharaan bangunan. BIM menyediakan representasi digital tiga dimensi yang terhubung dengan berbagai basis data teknis, sehingga dapat meningkatkan ketepatan desain, meminimalkan kesalahan koordinasi, serta meningkatkan akurasi pengambilan keputusan pada setiap tahapan proyek konstruksi (Putra, 2025). Dengan kemampuan pemodelan berbasis objek, BIM mengurangi ketergantungan pada dokumen kertas yang rentan terhadap ketidaksesuaian data, sehingga proses komunikasi antarpihak menjadi lebih efektif dan transparan. Selain sebagai alat desain, BIM juga berperan penting pada tahap konstruksi, khususnya dalam mendukung kebutuhan kontraktor melalui pemanfaatan data kuantitas dan informasi teknis yang diekstraksi langsung dari model digital (Abma dkk., 2026).

Dalam praktik konstruksi modern, BIM telah berkembang menuju platform multidimensi seperti BIM 4D untuk penjadwalan, BIM 5D untuk estimasi biaya, BIM 6D untuk analisis energi, dan BIM 7D yang digunakan untuk pengelolaan fasilitas dan pemeliharaan bangunan. Pemanfaatan dimensi-dimensi ini memungkinkan berbagai analisis simultan, seperti evaluasi produktivitas, optimasi biaya, simulasi durasi pekerjaan, hingga peninjauan performa bangunan jangka panjang. Penelitian menunjukkan bahwa evolusi BIM dari alat desain 3D sederhana menjadi platform manajemen proyek yang komprehensif telah meningkatkan efisiensi proyek, mengurangi keterlambatan, dan menurunkan tingkat kesalahan konstruksi secara signifikan hingga mencapai 30% pada beberapa studi kasus (Afra & Amna, 2025). Selain itu, BIM juga dipandang sebagai komponen penting dalam mendukung transformasi digital industri konstruksi karena mampu mengintegrasikan informasi proyek secara kolaboratif, meningkatkan efisiensi waktu dan biaya, serta memperbaiki koordinasi antar pemangku kepentingan proyek (Iqbal dkk., 2026).

Salah satu kontribusi BIM yang paling relevan bagi proyek konstruksi adalah kemampuan dalam pendeteksian benturan (*clash detection*) dan pengecekan volume pekerjaan. Proses ini membantu mengidentifikasi ketidaksesuaian antar elemen arsitektur, struktur, maupun MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*), yang sering kali tidak terdeteksi dalam gambar dua dimensi konvensional. Studi pemodelan BIM pada proyek rumah sakit menunjukkan perbedaan volume material yang signifikan antara perhitungan manual dan hasil pemodelan digital, serta ditemukannya benturan antar disiplin yang cukup banyak. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan BIM dapat mengurangi potensi pekerjaan tambah, meminimalkan risiko kesalahan, serta meningkatkan akurasi perencanaan biaya dan waktu secara keseluruhan (Jatmiko dkk., 2023). Temuan serupa juga ditunjukkan pada studi BIM berbasis *automated quantity take-off* pada struktur jembatan, di mana model BIM dengan *Level of Development* (LOD) 350 mampu menghasilkan perhitungan volume beton dan tulangan yang lebih konsisten serta mendukung proses pengambilan keputusan pada tahap pelaksanaan konstruksi (Abma dkk., 2026). Selain pada tahap perencanaan dan konstruksi, BIM juga dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan data bangunan dan dokumentasi teknis secara terintegrasi. Pemanfaatan tersebut menunjukkan bahwa BIM memiliki fungsi yang luas dalam mendukung pengelolaan informasi proyek konstruksi secara digital (Soetjipto dkk., 2023).

Meski manfaatnya sangat besar, tingkat adopsi BIM di Indonesia masih tergolong rendah. Hambatan yang muncul meliputi keterbatasan sumber daya manusia yang terampil, kurangnya standarisasi nasional, tingginya biaya awal implementasi, serta resistensi terhadap perubahan metode kerja dari sistem konvensional menuju sistem digital. Kajian implementasi BIM di Indonesia menegaskan bahwa faktor proses, pengetahuan teknis, serta perubahan budaya kerja menjadi tantangan utama yang perlu diatasi agar BIM dapat diintegrasikan secara lebih luas di sektor konstruksi nasional (Pantiga & Soekiman, 2021). Di sisi lain, minat penggunaan BIM juga dipengaruhi oleh persepsi kemudahan penggunaan dan persepsi manfaat teknologi tersebut. Studi mengenai *Technology Acceptance Model* (TAM) menunjukkan bahwa semakin tinggi persepsi manfaat dan persepsi

kemudahan penggunaan BIM, semakin tinggi pula minat arsitek di Indonesia untuk mengadopsi teknologi tersebut dalam pekerjaan mereka (A. Wijaya & Zaid, 2024).

Secara keseluruhan, BIM berperan sebagai inovasi digital yang mampu mentransformasi sistem manajemen proyek konstruksi menjadi lebih terintegrasi, akurat, dan efisien. Transformasi tersebut tidak hanya berkaitan dengan penggunaan teknologi, tetapi juga perubahan cara pengelolaan informasi dan kolaborasi antar pemangku kepentingan proyek, sehingga BIM semakin dipandang sebagai kompetensi penting yang dibutuhkan dalam industri konstruksi modern (Iqbal dkk., 2026). Implementasi BIM tidak hanya meningkatkan kualitas desain dan pelaksanaan proyek, tetapi juga memberikan dampak signifikan pada optimalisasi biaya, pengurangan risiko, serta peningkatan kinerja manajemen konstruksi secara menyeluruh. Oleh karena itu, pemahaman mengenai penerapan BIM menjadi elemen penting dalam menghadapi tantangan pembangunan modern yang menuntut proses konstruksi yang lebih cepat, transparan, serta berorientasi pada kualitas hasil pekerjaan.

3.5 *Tekla Structures*

Tekla Structures merupakan perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) yang berfokus pada pemodelan struktur secara detail untuk mendukung tahap perencanaan hingga pelaksanaan konstruksi. Keunggulan utama Tekla terletak pada kemampuannya menghasilkan model tiga dimensi yang dilengkapi data rinci mengenai material, dimensi struktur, detail sambungan, serta informasi penulangan, sehingga model yang dihasilkan tidak hanya bersifat visual tetapi juga mengandung informasi teknis yang relevan bagi proses perhitungan dan evaluasi struktur. Pemodelan berbasis objek ini memungkinkan terwujudnya gambar struktur yang konsisten, presisi, dan minim kesalahan, yang sangat penting untuk mengurangi risiko ketidaksesuaian antara dokumen perencanaan dan pelaksanaan di lapangan (Saputro dkk., 2021).

Dalam proses perancangan struktur, *Tekla Structures* mendukung pembuatan detail beton dan baja secara otomatis dengan akurasi tinggi, termasuk detail penulangan, koneksi baja, serta komponen struktural lainnya. Penelitian

menunjukkan bahwa *Tekla* mampu menghasilkan pemodelan struktur bangunan bertingkat dari pondasi hingga elemen atap dengan ketelitian dimensi yang sangat baik, sehingga mempermudah perencana dalam mengidentifikasi potensi konflik teknis sejak masa desain. Kemampuan *Tekla* untuk menyajikan pemodelan struktur yang komprehensif juga membantu perencana dalam menghasilkan dokumen kuantitas, gambar kerja, dan laporan detail struktur dengan tingkat konsistensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional (H. S. Wijaya dkk., 2024).

Peran *Tekla Structures* semakin signifikan ketika digunakan dalam integrasi perencanaan waktu dan biaya. Pengembangan model menuju BIM 4D dan BIM 5D memungkinkan perubahan pada desain langsung tercermin dalam simulasi penjadwalan maupun estimasi biaya. Melalui mekanisme ini, potensi keterlambatan dan kesalahan perhitungan volume dapat diantisipasi sejak awal melalui visualisasi proses konstruksi secara kronologis. Penerapan *Tekla* pada proyek gedung publik menunjukkan bahwa pemodelan 4D–5D mampu mempercepat proses evaluasi penjadwalan dan meningkatkan akurasi estimasi volume beton serta tulangan sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih efektif dan efisien dalam menghadapi dinamika proyek (Sabil & Erizal, 2023).

Akurasi perhitungan kuantitas material merupakan salah satu fungsi penting dari *Tekla Structures*. Dengan basis model yang terintegrasi, *Tekla* memungkinkan penghitungan volume beton, berat tulangan, dan elemen baja secara otomatis dan konsisten, sekaligus mengurangi potensi kesalahan yang sering terjadi pada metode manual. Penelitian yang membandingkan hasil perhitungan berbasis *Tekla Structures* dengan metode tradisional menunjukkan bahwa selisih volume yang dihasilkan relatif lebih kecil dan konsisten, terutama pada proyek dengan geometri struktur kompleks. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Tekla Structures* dapat membantu proses penyusunan BOQ dan perencanaan kebutuhan material secara lebih efisien (Soebandono dkk., 2022).

Selain akurasi teknis, *Tekla Structures* juga memiliki kemampuan kolaboratif yang tinggi dalam mendukung proses koordinasi lintas disiplin. Dengan fitur pembaruan otomatis, perubahan yang dilakukan pada satu elemen struktur akan langsung diperbarui pada seluruh model, sehingga mengurangi risiko

miskomunikasi antara perencana, pelaksana, dan pengawas. Kemampuan ini sangat penting terutama pada proyek konstruksi berskala besar yang memerlukan koordinasi intensif antara berbagai disiplin teknik. Studi implementasi *Tekla* pada proses pembangunan struktur menunjukkan bahwa kolaborasi digital yang difasilitasi oleh *Tekla* mampu mempercepat penyelesaian konflik desain dan meningkatkan kualitas dokumentasi teknis secara signifikan (Simatupang dkk., 2020). Selain itu, *Tekla* semakin banyak digunakan dalam konteks pendidikan dan pelatihan konstruksi, terbukti dari meningkatnya minat pengguna dalam mempelajari pemodelan struktur berbasis BIM untuk meningkatkan kompetensi profesional mereka di industri konstruksi modern (Aditya dkk., 2024).

Secara keseluruhan, *Tekla Structures* berperan penting dalam meningkatkan kualitas perencanaan dan pelaksanaan konstruksi melalui penyediaan model digital yang detail, akurat, dan terintegrasi. Kemampuannya dalam menghasilkan visualisasi struktur, perhitungan kuantitas material, simulasi penjadwalan, serta pemutakhiran informasi secara otomatis menjadikan *Tekla* sebagai salah satu teknologi BIM yang sangat strategis dalam industri konstruksi. Dengan demikian, pemahaman dan penerapan *Tekla Structures* merupakan bagian penting dalam menghadapi tuntutan digitalisasi konstruksi modern yang menekankan efisiensi, ketelitian, serta peningkatan kualitas teknis pada seluruh tahapan pembangunan.

Dalam penelitian ini, *Tekla Structures* digunakan sebagai perangkat utama untuk melakukan pemodelan struktur beton bertulang, menghasilkan *quantity take-off* (QTO), serta menganalisis efisiensi proses pemodelan dibandingkan metode konvensional berbasis gambar *Detail Engineering Design* (DED).

3.6 Struktur Bangunan LRT

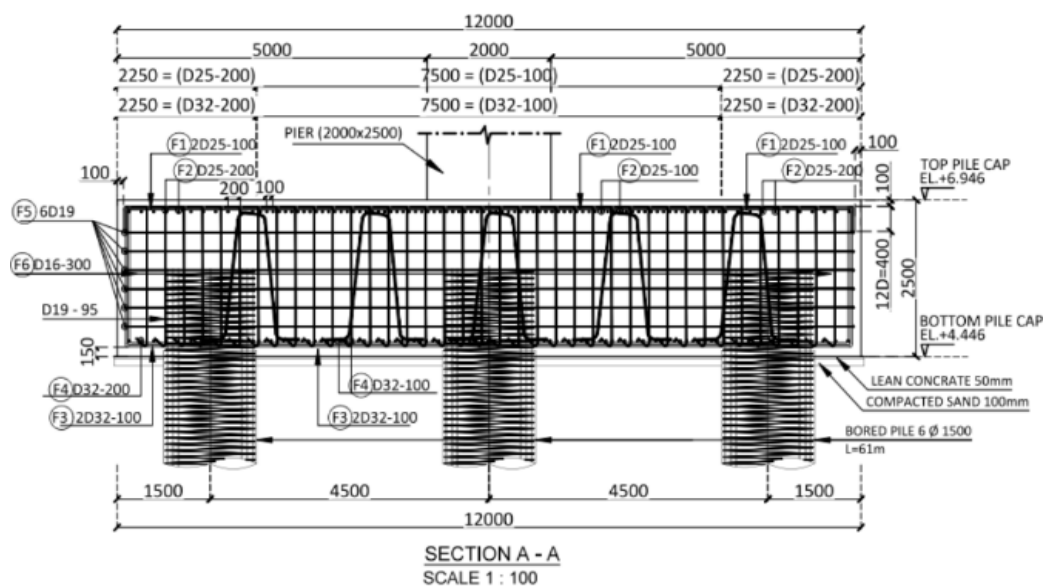
Struktur bangunan *Light Rail Transit* (LRT) merupakan bagian integral dari sistem transportasi rel perkotaan yang dirancang untuk menjamin keamanan, kestabilan, dan keandalan operasional kereta ringan. Pada wilayah perkotaan dengan tingkat kepadatan tinggi seperti DKI Jakarta, pembangunan LRT umumnya menerapkan konsep struktur layang (*elevated structure*). Penerapan struktur layang bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan ruang, meminimalkan gangguan

terhadap lalu lintas eksisting, serta mendukung peningkatan kapasitas dan efisiensi layanan transportasi publik. Pembangunan LRT Jakarta dilaksanakan secara bertahap sebagai bagian dari strategi pengembangan transportasi massal terintegrasi yang diharapkan mampu meningkatkan mobilitas masyarakat perkotaan (Nurokhman dkk., 2025).

Secara umum, struktur bangunan LRT tersusun atas beberapa komponen utama yang saling terhubung dan bekerja sebagai satu kesatuan sistem struktur, yaitu struktur bawah (*substructure*), struktur vertikal, dan struktur atas (*superstructure*). Struktur bawah berfungsi menyalurkan beban dari bangunan ke tanah dasar, struktur vertikal berperan sebagai elemen penyangga utama, sedangkan struktur atas berfungsi menopang jalur rel dan beban operasional kereta. Pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B rute Velodrome–Manggarai, pelaksanaan konstruksi struktur dilakukan melalui tahapan yang terencana dan berurutan, menyesuaikan dengan kondisi tanah, metode konstruksi, serta kebutuhan teknis di lapangan. Ketepatan dalam perencanaan dan pelaksanaan setiap komponen struktur menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan dan kinerja struktur secara keseluruhan (Al Rizki & Sutikno, 2025)

Struktur beton bertulang pada bangunan LRT memiliki peran yang sangat krusial karena berfungsi sebagai elemen utama penyalur beban dari struktur atas menuju struktur bawah. Struktur tersebut umumnya terdiri dari sistem pondasi *bored pile* yang dilengkapi dengan elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head*. Elemen-elemen ini memiliki karakteristik dimensi yang relatif besar, detail pembesian yang kompleks, serta tahapan pelaksanaan yang saling berkaitan. Tingginya kompleksitas struktur tersebut menjadikan elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* berpengaruh signifikan terhadap ketelitian perencanaan dan akurasi perhitungan volume pekerjaan struktur. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pembahasan struktur bangunan LRT difokuskan pada ketiga elemen tersebut sebagai objek utama kajian dan pemodelan.

3.6.1 *Pilecap*



Gambar 3. 2 *Pilecap*

(Sumber: Data Proyek)

Pilecap merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi sebagai penghubung antara struktur atas, seperti kolom atau *pier*, dengan sistem pondasi dalam berupa tiang, khususnya tiang bor (*bored pile*). Elemen ini menerima beban dari struktur atas kemudian mendistribusikannya ke seluruh tiang pondasi dalam satu kelompok sehingga beban tidak bekerja secara terpusat pada satu tiang saja. Dengan mekanisme tersebut, *pilecap* memungkinkan kelompok tiang bekerja

secara bersama sebagai satu kesatuan sistem fondasi dalam menyalurkan beban ke tanah dasar. Fungsi ini menjadikan *pilecap* sebagai komponen penting dalam menjamin kestabilan dan keandalan sistem struktur bawah pada bangunan beton bertulang (A. Wijaya & Sukarman, 2024).

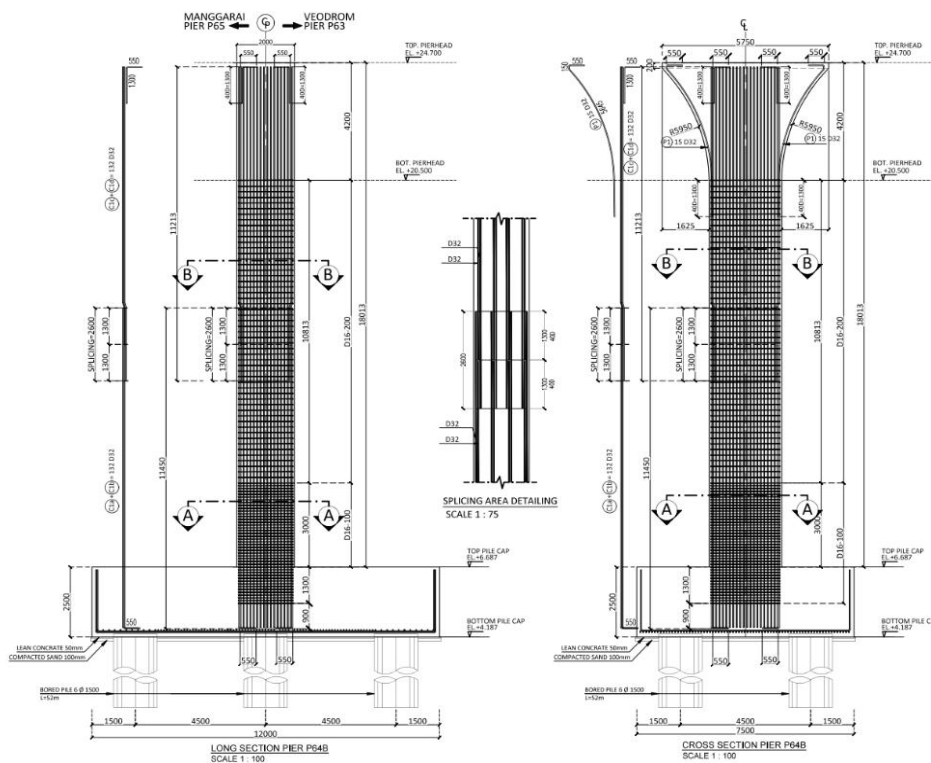
Ditinjau dari perilaku struktur, *pilecap* termasuk ke dalam elemen beton bertulang dengan karakteristik daerah gangguan (*disturbed region* atau *D-region*). Kondisi ini disebabkan oleh adanya konsentrasi gaya yang tinggi serta perubahan geometri yang signifikan pada daerah pertemuan antara kolom, *pilecap*, dan tiang pondasi. Pada elemen *pilecap*, distribusi regangan dan tegangan tidak bersifat linier sebagaimana asumsi pada balok atau pelat beton konvensional. Oleh karena itu, analisis dan perencanaan *pilecap* memerlukan pemahaman terhadap aliran gaya internal yang kompleks agar mekanisme penyaluran beban dari struktur atas ke pondasi dapat direpresentasikan secara lebih realistis (A. Wijaya & Sukarman, 2024).

Secara fundamental, *pilecap* merupakan elemen pelat beton bertulang dengan ketebalan yang relatif besar dibandingkan pelat lantai. Ketebalan tersebut diperlukan untuk menahan kombinasi gaya yang bekerja, meliputi gaya aksial, gaya geser satu arah, gaya geser dua arah, serta momen lentur yang berasal dari struktur atas dan reaksi tiang pondasi. Beban-beban tersebut diperoleh dari hasil analisis struktur atas dan diteruskan melalui *pilecap* menuju sistem pondasi dalam. Oleh karena itu, perencanaan dimensi dan detail pembesian *pilecap* menjadi aspek yang sangat krusial karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan elemen ini dalam menyalurkan beban secara aman dan merata ke seluruh tiang pondasi (Yusmar & Isda, 2024).

3.6.2 *Pier*

Pier merupakan elemen struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas menuju struktur bawah dan selanjutnya ke sistem pondasi. Secara struktural, *pier* bekerja serupa dengan kolom beton bertulang sebagai elemen tekan utama yang juga harus mampu menahan momen lentur akibat eksentrisitas beban dan gaya lateral. Studi oleh Tungadi et al. (2024) menjelaskan bahwa kolom beton bertulang dirancang untuk memikul beban gravitasi dan beban gempa secara

simultan, sehingga interaksi antara gaya aksial dan momen lentur menjadi aspek utama dalam perencanaan elemen vertikal. Prinsip tersebut relevan diterapkan pada *pier* struktur LRT karena elemen ini berperan sebagai penopang utama struktur atas dan sangat menentukan kestabilan sistem struktur secara keseluruhan. Untuk memberikan gambaran visual mengenai bentuk dan konfigurasi *pier* yang dikaji dalam penelitian ini, desain *pier* LRT Jakarta Fase 1B ditunjukkan pada Gambar 3.3 di bawah ini.



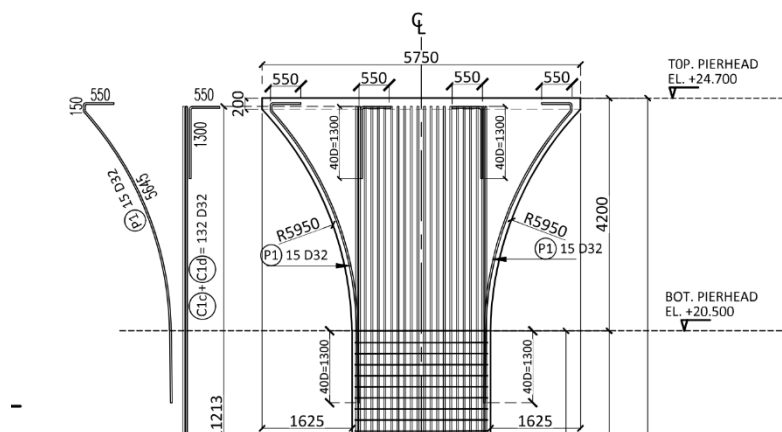
Gambar 3. 3 Pier
(Sumber: Data Proyek)

Selain menerima beban vertikal, *pier* juga harus dirancang untuk menahan beban lateral yang berasal dari angin dan gaya gempa, terutama karena struktur LRT berada pada elevasi tertentu. Penelitian mengenai evaluasi struktur *pier* dan *Pier head* menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembebanan, seperti penambahan bentang atau peningkatan beban, dapat menyebabkan peningkatan momen lentur yang signifikan pada elemen vertikal dan elemen tumpuannya. Salsabilla et al. (2025) mengungkapkan bahwa ketidakmampuan *pier* dan *pier head* dalam menahan

momen ultimit dapat memicu keretakan struktural yang berbahaya dan menurunkan kapasitas struktur secara keseluruhan. Temuan tersebut menegaskan bahwa *pier* harus memiliki kekakuan, kapasitas momen, serta detail pembesian yang memadai agar mampu bekerja aman di bawah kombinasi beban rencana maupun kondisi aktual.

Selain aspek struktural, bentuk dan dimensi *pier* pada LRT juga dipengaruhi oleh kondisi ruang perkotaan. Pada LRT Jakarta Fase 1B, desain *pier* disesuaikan dengan keterbatasan ruang kota, tinggi elevasi jalur, serta jarak antar bentang sehingga tetap memenuhi persyaratan stabilitas struktural sekaligus mendukung estetika perkotaan. Desain *pier* yang ramping namun tetap kuat menjadi pertimbangan penting agar keberadaan struktur LRT dapat diterima oleh masyarakat sebagai bagian dari ruang publik. Penelitian mengenai persepsi masyarakat terhadap struktur LRT Jakarta mencatat bahwa karakter visual *pier* yang proporsional dan tidak masif berlebihan berpengaruh positif terhadap penerimaan publik terhadap kehadiran infrastruktur LRT di kawasan perkotaan (Iqbal et al., 2025).

3.6.3 Pier head



Gambar 3. 4 Pier head
(Sumber: Data Proyek)

Pier head merupakan elemen struktur beton bertulang yang terletak di bagian atas *pier* dan berfungsi sebagai elemen tumpuan bagi struktur atas. Pada sistem *Light Rail Transit* (LRT) layang, *pier head* secara khusus berperan sebagai tumpuan bagi *PCU girder* (*Precast U-Girder*), yang menerima dan menyalurkan

reaksi tumpuan dari girder ke *pier*. Dengan fungsi tersebut, *pier head* menjadi elemen kunci dalam sistem transfer beban dari superstruktur menuju substruktur, sehingga harus dirancang dengan kapasitas yang memadai untuk menahan kombinasi gaya vertikal, momen lentur, dan gaya geser yang dihasilkan oleh reaksi *PCU girder* (Riswanto & Sukamdo, 2023).

Dari sudut pandang perilaku struktur, *pier head* termasuk elemen dengan aliran tegangan yang kompleks akibat konsentrasi gaya pada daerah tumpuan *PCU girder* serta diskontinuitas geometri antara *pier* dan struktur atas. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan kondisi bentang atau konfigurasi girder dapat meningkatkan tuntutan momen lentur yang harus dipikul oleh *pier head*. Apabila kapasitas elemen ini tidak dievaluasi secara memadai, maka *pier head* berpotensi bekerja melampaui kapasitas rencananya. Oleh karena itu, *pier head* dipandang sebagai elemen kritis dalam struktur LRT layang yang memerlukan pemahaman teoritis yang baik, baik dari aspek fungsi sebagai tumpuan *PCU girder* maupun dari aspek perilaku struktur akibat variasi pembebanan (Salsabilla dkk., 2025).

3.7 Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur

Perhitungan volume pekerjaan merupakan tahap krusial dalam penyusunan estimasi biaya proyek konstruksi karena menentukan ukuran fisik dari setiap item pekerjaan yang kemudian dikalikan dengan harga satuan untuk menghasilkan nilai total biaya. Ketelitian dalam perhitungan volume sangat penting agar hasil BOQ dan RAB merefleksikan kondisi lapangan yang nyata, terutama pada proyek infrastruktur yang kompleks seperti struktur LRT. Menurut penelitian terbaru, metode konvensional berbasis gambar 2D rentan menghasilkan deviasi karena kesalahan manusia, sementara metode berbasis BIM menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dalam perhitungan volume pekerjaan *pilecap* dan pembesian (Sholeh, 2025).

Dalam pendekatan konvensional, estimator menggunakan gambar kerja dua dimensi (2D) untuk melakukan penghitungan volume berdasarkan ukuran panjang, lebar, dan tinggi dari elemen struktur. Namun demikian, pada proyek nyata ditemukan terdapat selisih signifikan antara perhitungan manual dan realisasi

karena adanya penghitungan ganda, penggunaan dimensi kasar, dan pengabaian detail tulangan atau *overlapping* yang sering terjadi. Studi terbaru menunjukkan bahwa pada proyek pembangunan mesjid dan gedung Al-Qur'an Center Binjai, penggunaan metode konvensional menghasilkan volume pembesian kolom yang lebih tinggi hingga 10% dibandingkan metode BIM sehingga juga memengaruhi biaya hingga 8% (Batubara & Nasution, 2024). Oleh karena itu, proyek dengan elemen struktural kompleks seperti struktur LRT sangat membutuhkan ketelitian yang lebih tinggi jika menggunakan metode manual.

Metode BIM memungkinkan perhitungan volume dilakukan secara otomatis dari model digital yang mencakup dimensi, material, dan relasi elemen struktur. Hasil studi pada gedung menunjukkan bahwa selisih volume antara metode menggunakan BIM dan manual dapat ditekan hingga angka di bawah 1% pada beberapa elemen struktur seperti pondasi dan balok (Fachlevi dkk., 2023). Dengan demikian, penerapan metode BIM dalam perhitungan volume terbukti memberikan manfaat signifikan terutama pada proyek struktur besar seperti LRT, yang memiliki banyak elemen berulang dan membutuhkan akurasi tinggi.

3.7.1 Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode Konvensional

Metode konvensional dalam perhitungan volume pekerjaan merupakan pendekatan manual yang mengandalkan gambar kerja dua dimensi (2D) sebagai dasar penentuan dimensi setiap elemen struktur. Pada metode ini, estimator membaca denah, tampak, dan potongan untuk menafsirkan ukuran panjang, lebar, tinggi, ketebalan, serta detail komponen struktural sebelum dilakukan penghitungan volume. Seluruh proses dilakukan tanpa dukungan pemodelan digital, sehingga akurasi hasil sepenuhnya bergantung pada ketelitian dalam memahami gambar dan memastikan bahwa dimensi yang dipakai merupakan dimensi bersih yang sesuai dengan batas elemen.

Dalam praktiknya, metode konvensional dilakukan melalui beberapa langkah utama. Pertama, estimator mengidentifikasi jenis elemen yang akan dihitung, seperti balok, kolom, *pilecap*, atau pelat. Kedua, pengukuran dimensi elemen dilakukan langsung dari gambar rencana menggunakan skala atau ukuran

yang tercantum pada detail struktural. Ketiga, hasil pengukuran kemudian dikonversi menjadi volume menggunakan rumus geometris dasar. Selain itu, estimator harus memastikan bahwa tidak terjadi penghitungan ganda pada elemen-elemen yang saling berpotongan, serta memperhatikan detail seperti selimut beton, bentuk tidak beraturan, dan elemen-elemen tambahan yang mempengaruhi total volume. Tantangan metode konvensional terutama terletak pada terbatasnya kemampuan gambar 2D dalam menampilkan bentuk struktur secara menyeluruh, sehingga sering kali diperlukan proses pengecekan berulang untuk meminimalkan kesalahan pembacaan.

Metode ini juga diterapkan pada perhitungan pembesian, di mana estimator menafsirkan jumlah batang, panjang masing-masing batang, dan detail sambungan seperti *hook* serta *overlap* berdasarkan gambar detail tulangan. Semua informasi tersebut dihitung secara manual menggunakan tabel berat per meter untuk mendapatkan total berat tulangan. Pada proyek struktural yang kompleks, proses ini dapat menjadi cukup memakan waktu, dan kesalahan kecil pada pembacaan gambar dapat menghasilkan deviasi volume yang signifikan. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian yang menunjukkan bahwa perhitungan manual memiliki kecenderungan menghasilkan perbedaan volume akibat keterbatasan visualisasi gambar 2D dibandingkan metode digital yang lebih terstruktur (Juliani & Renaningsih, 2023).

Untuk menghasilkan perhitungan yang sistematis, metode konvensional menggunakan rumus dasar sebagai berikut:

1. Rumus Perhitungan Tulangan

Berat satuan tulangan dihitung menggunakan persamaan berikut berdasarkan diameter tulangan yang digunakan.

$$w = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times \frac{D^2}{1000} \right) \times \gamma \quad (3.1)$$

dengan:

w = berat satuan tulangan (kg/m)

D = diameter tulangan (mm)

γ = berat jenis baja (7850 kg/m^3)

Setelah berat satuan diperoleh, total berat tulangan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$W = L \times n \times w \quad (3.2)$$

dengan:

- W = total berat tulangan (kg)
- L = panjang tulangan per batang (m)
- n = jumlah batang tulangan
- w = berat satuan tulangan (kg/m)

2. Rumus Perhitungan Volume Beton

Perhitungan volume beton dilakukan berdasarkan dimensi geometris setiap elemen struktur yang diperoleh dari gambar *Detail Engineering Design* (DED). Volume beton dihitung menggunakan persamaan geometri sesuai dengan bentuk masing-masing elemen struktur. Pada elemen dengan bentuk prisma atau balok, volume beton dihitung berdasarkan perkalian dimensi panjang, lebar, dan tinggi elemen. Sementara itu, pada elemen dengan bentuk yang lebih kompleks, seperti *pier head*, geometri struktur disederhanakan menjadi beberapa bangun geometri dasar sehingga proses perhitungan volume dapat dilakukan secara sistematis. Perhitungan volume beton pada elemen berbentuk balok atau persegi panjang dilakukan menggunakan Persamaan (3.3).

$$V_b = P_b \times B_b \times T_b \quad (3.3)$$

dengan:

- V_b = volume beton (m^3)
- P_b = panjang elemen (m)
- B_b = lebar elemen (m)
- T_b = tinggi atau tebal elemen (m)

Pada elemen *pier head*, geometri struktur dimodelkan sebagai kombinasi bangun trapesium dan persegi panjang sesuai dengan dimensi yang ditunjukkan

pada gambar *Detail Engineering Design* (DED). Oleh karena itu, luas penampang bagian trapesium dihitung terlebih dahulu menggunakan Persamaan (3.4).

$$A_t = \frac{(a_t + b_t)}{2} \times h_t \quad (3.4)$$

dengan:

A_t = luas penampang trapesium (m)

a_t = panjang sisi sejajar bagian atas trapesium (m)

b_t = panjang sisi sejajar bagian bawah trapesium (m)

h_t = tinggi trapesium (m)

Setelah luas penampang trapesium diperoleh, volume beton pada bagian tersebut dihitung dengan mengalikan luas penampang terhadap panjang elemen memanjang sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3.5).

$$V_t = A_t \times P_t \quad (3.5)$$

dengan:

V_t = volume beton bagian trapesium (m³)

A_t = luas penampang trapesium (m²)

P_t = panjang elemen memanjang (m)

Volume total *pier head* diperoleh dari penjumlahan volume bagian trapesium dan volume bagian persegi panjang. Selanjutnya, volume total setiap elemen struktur diperoleh dengan menjumlahkan volume seluruh komponen penyusunnya.

Perhitungan volume beton dilakukan tanpa mengurangi volume tulangan karena pekerjaan pembesian dihitung secara terpisah dalam satuan berat (kg). Pendekatan tersebut sejalan dengan proses *quantity take-off* pada perangkat lunak *Tekla Structures* yang menggunakan parameter *gross volume*. Dengan demikian, hasil perhitungan metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) dapat dibandingkan secara setara. Perhitungan metode konvensional

dilakukan berdasarkan dimensi yang diperoleh dari gambar *Detail Engineering Design* (DED) dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*.

3.7.2 Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur Menggunakan Metode

Building Information Modeling (BIM)

Metode *Building Information Modeling* (BIM) merupakan pendekatan digital yang memungkinkan perhitungan volume pekerjaan dilakukan secara otomatis dari model tiga dimensi (3D) yang telah terintegrasi dengan informasi material, geometri, serta detail konstruksi. Seluruh elemen struktur dalam model BIM memiliki parameter yang dapat diekstrak langsung menjadi data *quantity take-off* sehingga proses pengukuran tidak memerlukan perhitungan manual seperti pada metode konvensional. Keunggulan pendekatan ini adalah akurasi yang tinggi karena volume dihitung berdasarkan objek digital yang telah disesuaikan dengan gambar rencana dan standar teknis proyek (Tampubolon & Sari, 2024)

Proses QTO menggunakan BIM dimulai dari pembangunan model struktur secara menyeluruh, meliputi pondasi, kolom, balok, pelat, hingga elemen pembesian. Setelah model dibuat dalam *Tekla Structures*, perangkat lunak akan mengekstraksi volume beton, panjang tulangan, luas bekisting, serta parameter lain secara otomatis melalui fitur seperti *Organizer* dan *Model Data Export*. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat proses estimasi, tetapi juga menjaga konsistensi perhitungan karena setiap perubahan desain pada model akan menghasilkan pembaruan otomatis pada volume pekerjaan terkait. Hal ini terbukti efektif dalam berbagai proyek karena penghitungan diperoleh secara *real-time* dari model 3D yang konsisten dan tidak bergantung pada pengukuran manual tradisional (Aditya dkk., 2024).

Dalam konteks pekerjaan struktur beton dan tulangan, BIM memberikan detail yang lebih presisi. Model pembesian di *Tekla Structures* memungkinkan peninjauan lengkap terhadap bentuk tulangan, panjang sambungan, dimensi hook, serta jarak sengkang, sehingga risiko deviasi hitungan dapat diminimalkan. Hal ini sangat penting dalam proyek besar seperti LRT dan gedung bertingkat yang memiliki elemen berulang dan kompleks. Studi lain menunjukkan bahwa penggunaan *Tekla Structures* dalam perhitungan QTO menghasilkan perbedaan

volume yang sangat kecil dibandingkan BoQ, menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dan mampu mengurangi pengaruh kesalahan manusia yang umum terjadi pada metode konvensional (Maulina dkk., 2023).

Keunggulan BIM juga terlihat dari kemampuannya mendeteksi benturan (*clash detection*) antar elemen sebelum masuk tahap perhitungan volume. Fitur ini memberikan kepastian bahwa setiap komponen dalam model tidak saling tumpang tindih sehingga volume yang dihasilkan benar-benar merepresentasikan kondisi konstruksi aktual. Selain itu, visualisasi model 3D memudahkan estimator dalam memahami hubungan antar elemen struktural, mempercepat proses *review*, dan meningkatkan koordinasi antartim teknis. Secara keseluruhan, pemanfaatan BIM untuk perhitungan volume menawarkan efisiensi yang lebih tinggi, akurasi yang lebih baik, serta fleksibilitas dalam menyesuaikan perubahan desain. Dengan kemampuan otomatisasi, integrasi data, dan visualisasi yang komprehensif, metode ini sangat mendukung penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), pengendalian biaya proyek, serta evaluasi teknis selama siklus konstruksi. Pendekatan ini menjadi standar baru dalam proses estimasi kuantitas untuk memastikan hasil perhitungan lebih tepat, cepat, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Pada penelitian ini, perhitungan volume berbasis BIM dilakukan menggunakan *Tekla Structures* melalui proses pemodelan tiga dimensi yang menghasilkan *quantity take-off* (QTO) secara otomatis dan terintegrasi.

3.8 Efektivitas dan Efisiensi Pemodelan

Efektivitas pemodelan berbasis *Building Information Modeling* (BIM) didefinisikan sebagai tingkat keberhasilan suatu model dalam menghasilkan informasi yang akurat, konsisten, dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan teknis. Dalam perencanaan struktur, efektivitas pemodelan berkaitan dengan kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi desain secara tepat serta menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan dan perhitungan kuantitas pekerjaan. Sholeh (2025) menjelaskan bahwa efektivitas pemodelan BIM dapat ditinjau melalui tingkat akurasi hasil perhitungan yang dihasilkan dibandingkan metode konvensional. Pemodelan BIM menghasilkan data

yang lebih konsisten dan mampu mengurangi potensi kesalahan yang disebabkan oleh proses perhitungan manual maupun kesalahan *input* data.

Selain ditinjau dari akurasi hasil perhitungan, efektivitas BIM juga berkaitan dengan kemampuan model dalam mendukung koordinasi desain. Abhista dkk., (2025) menyatakan bahwa teknologi BIM dengan fitur *clash detection* membantu mengidentifikasi benturan antar elemen sejak tahap perencanaan sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan desain. Fitur *clash detection* berfungsi untuk mendeteksi ketidaksesuaian antar elemen secara dini sebelum konstruksi dimulai sehingga dapat mencegah revisi berulang, pembengkakan biaya, keterlambatan jadwal, dan penurunan kualitas pekerjaan. Oleh karena itu, kemampuan model dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan *clash* dapat digunakan untuk menilai efektivitas penerapan BIM dalam mendukung koordinasi desain.

Sementara itu, efisiensi pemodelan merujuk pada kemampuan proses pemodelan dalam mencapai tujuan perencanaan dengan penggunaan waktu, tenaga, dan sumber daya yang lebih optimal. Pemodelan dikatakan efisien apabila mampu mempercepat alur kerja perencanaan, mengurangi pekerjaan berulang, serta mempermudah proses pembaruan data tanpa menurunkan kualitas informasi yang dihasilkan. Dalam konteks BIM, efisiensi juga ditunjukkan oleh kemampuan sistem dalam mengintegrasikan berbagai informasi perencanaan ke dalam satu model sehingga proses koordinasi dan revisi desain dapat dilakukan secara lebih cepat dan terkendali. Penerapan BIM berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi proyek konstruksi melalui integrasi data dan otomatisasi proses sehingga proses perencanaan dapat dilakukan secara lebih efektif dibandingkan metode konvensional (Unbara, 2024).

Selain mendukung efisiensi proses, BIM juga berperan dalam meningkatkan efektivitas perencanaan melalui penyediaan informasi yang terintegrasi dan konsisten. Integrasi informasi dalam satu model memungkinkan proses koordinasi, pengendalian, dan pengambilan keputusan dilakukan secara lebih cepat dan akurat. Ramandhani dkk., (2025) menyatakan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi perencanaan karena informasi proyek

tersimpan dalam satu model yang terintegrasi sehingga mendukung proses koordinasi dan pengendalian proyek secara lebih optimal.

Berdasarkan konsep tersebut, efektivitas penerapan BIM dalam penelitian ini ditinjau melalui dua indikator, yaitu akurasi hasil pemodelan dan koordinasi desain. Akurasi hasil pemodelan digunakan untuk menilai kemampuan BIM dalam menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten dan sesuai dengan kondisi perencanaan, sedangkan koordinasi desain digunakan untuk menilai kemampuan BIM dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan konflik antar elemen struktur melalui proses *clash detection*. Adapun efisiensi BIM ditinjau melalui efisiensi waktu pemodelan berdasarkan persepsi praktisi BIM terhadap pengaruh penggunaan BIM dibandingkan metode konvensional. Indikator dan parameter analisis yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Indikator dan Parameter Analisis Penelitian

Indikator	Parameter Analisis
Akurasi hasil pemodelan	Deviasi volume beton dan berat tulangan antara metode BIM dan metode konvensional
Koordinasi desain	Identifikasi <i>clash</i> pada model struktur dan penyelesaiannya
Efisiensi waktu pemodelan	Persepsi praktisi BIM mengenai pengaruh BIM terhadap percepatan proses pemodelan, kemudahan revisi desain, pengurangan pekerjaan berulang, dan efisiensi alur kerja dibandingkan metode konvensional

Berdasarkan Tabel 3.1, efektivitas penerapan BIM dalam penelitian ini ditinjau melalui kemampuan model menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten serta kemampuannya dalam mengidentifikasi *clash* pada model struktur. Sementara itu, efisiensi ditinjau melalui persepsi praktisi BIM mengenai pengaruh penerapan BIM terhadap proses pemodelan. Pendekatan tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja BIM dibandingkan metode konvensional, baik dari sisi kualitas hasil maupun kemudahan proses kerja.

Analisis akurasi hasil pemodelan dilakukan melalui perbandingan hasil QTO antara metode BIM dan metode konvensional. Tingkat kesesuaian hasil perhitungan tersebut dinyatakan dalam bentuk deviasi. Nilai deviasi digunakan untuk menunjukkan besarnya perbedaan hasil perhitungan yang diperoleh dari kedua metode. Semakin kecil nilai deviasi yang dihasilkan, semakin tinggi tingkat efektivitas pemodelan BIM dalam menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten. Perhitungan deviasi dilakukan menggunakan Persamaan (3.6).

$$Deviasi = \frac{|Q_{BIM} - Q_K|}{Q_K} \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan:

Deviasi = deviasi hasil *quantity take-off* (%)

Q_{BIM} = hasil *quantity take-off* menggunakan BIM

Q_K = hasil *quantity take-off* metode konvensional

Selain ditinjau melalui akurasi hasil perhitungan, efektivitas BIM juga dievaluasi melalui kemampuan model dalam mengidentifikasi *clash*. *Clash* merupakan kondisi terjadinya benturan atau tumpang tindih antar elemen pada model yang berpotensi menimbulkan permasalahan pada tahap pelaksanaan konstruksi. Kemampuan model dalam mengidentifikasi *clash* memungkinkan potensi konflik diketahui sejak tahap perencanaan sehingga dapat dilakukan penyesuaian sebelum pekerjaan dilaksanakan di lapangan. Oleh karena itu, identifikasi dan penyelesaian *clash* menjadi salah satu indikator penting dalam menilai efektivitas penerapan BIM pada pekerjaan struktur.

Penilaian efisiensi waktu pemodelan dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif melalui wawancara dengan praktisi BIM yang memiliki pengalaman dalam penerapan BIM pada proyek infrastruktur. Wawancara dilakukan untuk memperoleh pemahaman mengenai pengaruh BIM terhadap percepatan proses pemodelan, kemudahan revisi desain, pengurangan pekerjaan berulang, serta efisiensi alur kerja dibandingkan metode konvensional berbasis gambar *Detail Engineering Design* (DED). Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak melakukan pengukuran durasi pemodelan secara langsung, melainkan meninjau

efisiensi waktu berdasarkan pengalaman dan penilaian praktisi yang terlibat dalam implementasi BIM.

Secara konseptual, efektivitas dan efisiensi merupakan dua aspek yang saling melengkapi dalam menilai kinerja pemodelan berbasis BIM. Efektivitas menekankan pada kualitas dan ketepatan keluaran pemodelan dalam memenuhi kebutuhan perencanaan, sedangkan efisiensi berfokus pada optimalisasi proses untuk menghasilkan keluaran tersebut dengan penggunaan sumber daya yang lebih minimal. Oleh karena itu, kedua aspek tersebut menjadi landasan dalam mengevaluasi penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Analisis dilakukan melalui perbandingan antara metode BIM dan metode konvensional berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang sama. Fokus penelitian meliputi perbandingan hasil *quantity take-off* (QTO), efisiensi proses pemodelan, serta evaluasi efektivitas penggunaan BIM pada pekerjaan struktur beton bertulang yang terdiri atas *pilecap*, *pier*, dan *Pier head*. Selain analisis kuantitatif, penelitian ini juga didukung oleh data kualitatif melalui wawancara semi-terstruktur dengan praktisi BIM yang memiliki pengalaman dalam pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures*.

Bab ini menjelaskan pendekatan penelitian yang digunakan untuk menganalisis efektivitas penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Pembahasan mencakup jenis penelitian, lokasi studi, subjek dan objek penelitian, data penelitian, instrumen penelitian, prosedur validasi, serta tahapan penelitian yang digunakan dalam proses analisis perbandingan antara metode BIM dan metode konvensional.

4.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed method* yang mengombinasikan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui perbandingan hasil *quantity take-off* (QTO) antara metode BIM dan metode konvensional berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang sama. Sementara itu, pendekatan kualitatif dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur dengan praktisi BIM guna memperoleh pemahaman mengenai efisiensi proses pemodelan, kemudahan revisi desain, serta efektivitas penggunaan

BIM dalam pekerjaan struktur beton bertulang (Creswell & Creswell, 2023). Data hasil wawancara digunakan sebagai pendukung analisis penelitian dan tidak dijadikan sebagai satu-satunya dasar penilaian efektivitas BIM. Oleh karena itu, hasil wawancara dikombinasikan dengan analisis kuantitatif hasil pemodelan dan *quantity take-off* (QTO) untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih objektif.

Pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini diterapkan untuk melakukan perbandingan objektif terhadap volume elemen struktur yang dihasilkan oleh pemodelan BIM dan metode konvensional yang sebelumnya digunakan dalam penyusunan data teknis proyek. Analisis kuantitatif ini tidak hanya menilai akurasi angka perhitungan volume pekerjaan struktur, tetapi juga mempertimbangkan dampaknya terhadap kecepatan penyediaan informasi teknis sebagai salah satu indikator efisiensi pekerjaan struktur yang sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi. Selain itu, pendekatan kuantitatif membantu peneliti mengidentifikasi potensi pengurangan *human error* yang sering terjadi dalam metode konvensional sehingga BIM dapat ditunjukkan memiliki keunggulan sistematis dalam mendukung kinerja teknis pemodelan struktur (Sugiyono, 2023).

Namun, efektivitas BIM tidak dapat dinilai secara menyeluruh apabila hanya bergantung pada data numerik. Oleh karena itu, pendekatan kualitatif dilakukan untuk menggali persepsi dan pemahaman praktisi konstruksi yang memiliki pengalaman dalam pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures*. Pendekatan ini bertujuan untuk menilai bagaimana BIM mendukung efisiensi dalam praktik, seperti kemudahan dalam representasi struktur tiga dimensi, peningkatan koordinasi antardisiplin teknik, serta kemampuan BIM dalam menyediakan informasi digital yang terorganisir dan siap digunakan kapan pun dalam pengambilan keputusan teknis. Kualitatif memberikan konteks bahwa efisiensi dalam pekerjaan struktur tidak hanya tercermin pada akurasi data, tetapi juga pada kelancaran proses kerja tim dan efektivitas komunikasi teknis yang ditingkatkan oleh BIM (Sugiyono, 2023).

Untuk memastikan kualitas temuan kualitatif, penelitian ini menerapkan teknik validasi berupa triangulasi informasi. Teknik ini dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian jawaban antarpraktisi sehingga interpretasi hasil

wawancara dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Validitas data penting untuk memastikan bahwa penilaian terhadap efektivitas BIM benar-benar mencerminkan kondisi operasional di lapangan serta memenuhi standar *rigor* dalam metodologi penelitian kualitatif guna menghasilkan data yang kredibel, reliabel, serta bebas dari bias interpretatif dalam proses analisis (A. M. Yusuf, 2017).

Berdasarkan strategi penelitian, penelitian ini mengadopsi pendekatan studi kasus karena fokus kajian diarahkan pada satu objek proyek spesifik yaitu Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Studi kasus memungkinkan analisis mendalam terhadap konteks penerapan BIM pada pekerjaan struktur yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi, seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head* yang membutuhkan ketelitian permodelan untuk memastikan kesesuaian informasi struktur dengan desain teknis. Dengan meninjau proyek nyata, penelitian ini menghasilkan temuan yang tidak hanya teoretis, tetapi juga aplikatif bagi praktisi yang menghadapi tantangan penggunaan BIM dalam lingkungan konstruksi modern (Creswell & Creswell, 2023).

Integrasi pendekatan kuantitatif dan kualitatif memberikan keluasan dan kedalaman analisis sehingga hasil penelitian mampu menunjukkan keterkaitan antara keunggulan teknis BIM dalam menghasilkan data estimasi yang akurat dan kontribusi teknologi tersebut dalam meningkatkan efektivitas pemodelan struktur pada proyek konstruksi. Metode campuran memperkuat kekuatan ilmiah penelitian dan memungkinkan hasil temuan menjadi rujukan bagi pihak yang ingin mengoptimalkan kinerja teknis pekerjaan struktur melalui pemanfaatan teknologi berbasis model digital pada proyek serupa di masa mendatang (Budiastuti & Bandur, 2018)

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini berada pada Proyek Pembangunan LRT Jakarta Fase 1B yang berlokasi di Provinsi DKI Jakarta. Proyek ini membentang sepanjang kurang lebih 6,4 kilometer dan berada di area strategis yang menghubungkan kawasan padat aktivitas di Jakarta Timur hingga Jakarta Selatan. Pembangunan proyek ini dibagi menjadi dua zona utama, yaitu:

1. Zona 1 : Dari titik P1B hingga P103B, yang membentang dari kawasan Velodrome hingga Pasar Pramuka.
2. Zona 2 : Dari titik P104B hingga P186B, yang membentang dari kawasan Pasar Pramuka hingga Manggarai.

Gambaran umum lokasi proyek serta pembagian zona pada Proyek Pembangunan LRT Jakarta Tahap 1B dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Proyek dan Pembagian Zona LRT Jakarta Fase 1B
(Sumber: Data Proyek)

4.4 Subjek dan Objek Penelitian

4.4.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian merupakan pihak atau entitas yang menjadi sumber data dalam suatu penelitian. Menurut Sugiyono, (2023), subjek penelitian adalah orang, benda, organisasi, atau kegiatan yang memiliki karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan dijadikan sebagai sumber data. Subjek penelitian berkaitan dengan pihak atau entitas tempat data penelitian diperoleh, baik melalui pengamatan, pengukuran, maupun penelaahan dokumen, sehingga keberadaannya berperan penting dalam mendukung proses pengumpulan data. Dengan demikian, subjek penelitian tidak selalu berupa individu atau responden, tetapi dapat berupa objek non-manusia atau aktivitas tertentu sepanjang memenuhi karakteristik yang relevan dengan tujuan penelitian dan menyediakan data yang diperlukan untuk dianalisis (Sugiyono, 2023).

Subjek penelitian pada tugas akhir ini terdiri atas dua jenis, yaitu subjek manusia dan subjek non-manusia. Subjek manusia dalam penelitian ini adalah narasumber wawancara, yang terdiri dari praktisi atau personel proyek yang

memiliki keterlibatan langsung dan pemahaman terhadap penerapan *Building Information Modeling* (BIM) serta penggunaan *Tekla Structures* pada proyek infrastruktur. Pemilihan narasumber dilakukan secara purposive berdasarkan pengalaman kerja, keterlibatan dalam proses pemodelan BIM *Tekla Structures*, serta pemahaman terhadap proses *quantity take-off* (QTO) dan koordinasi model struktur. Narasumber tersebut berperan dalam memberikan data primer berupa informasi, penjelasan teknis, serta klarifikasi terhadap proses pemodelan dan perhitungan volume struktur.

Selain itu, subjek non-manusia dalam penelitian ini adalah Proyek Pembangunan LRT Jakarta Fase 1B, yang berfungsi sebagai sumber data sekunder. Proyek tersebut menyediakan data teknis berupa dokumen *Detail Engineering Design* (DED), gambar perencanaan, spesifikasi struktur, serta informasi desain yang digunakan dalam proses pemodelan dan analisis kuantitas. Seluruh data yang diperoleh dari subjek penelitian tersebut dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk mendukung pencapaian tujuan penelitian. Data hasil wawancara digunakan sebagai pendukung analisis penelitian dan dikombinasikan dengan hasil pemodelan serta perhitungan volume pekerjaan struktur untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih objektif.

4.4.2 Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan fokus utama yang dikaji dan dianalisis dalam suatu penelitian. Menurut Sugiyono, (2023), objek penelitian adalah atribut, sifat, nilai, atau variabel tertentu dari orang, benda, atau kegiatan yang ditetapkan untuk dipelajari dan dianalisis guna memperoleh kesimpulan. Objek penelitian berkaitan dengan apa yang diteliti secara langsung dan menjadi pusat perhatian dalam proses analisis penelitian, sehingga penetapan objek penelitian harus selaras dengan tujuan penelitian yang ingin dicapai (Sugiyono, 2023).

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah pemodelan dan perhitungan volume elemen struktur menggunakan pendekatan *Building Information Modeling* (BIM) dengan perangkat lunak *Tekla Structures* pada Proyek Pembangunan LRT Jakarta Fase 1B. Elemen struktur yang menjadi objek kajian meliputi *pilecap*, *pier*, dan *pier head*, yang berfungsi sebagai komponen utama penopang struktur lintasan

LRT. Pemodelan elemen-elemen tersebut dilakukan berdasarkan dokumen *Detail Engineering Design* (DED) proyek.

Selain itu, objek penelitian juga mencakup data volume beton dan baja, detail konstruksi struktur, serta hasil *quantity take-off* (QTO) yang dihasilkan dari proses pemodelan menggunakan *Tekla Structures*. Seluruh objek tersebut dianalisis untuk menilai tingkat efektivitas, konsistensi hasil perhitungan, dan efisiensi penggunaan BIM dalam perhitungan volume pekerjaan struktur LRT. Dengan demikian, objek penelitian ini berfokus pada aspek teknis pemodelan dan analisis kuantitas struktur yang menjadi inti pembahasan dalam tugas akhir ini.

4.5 Data Penelitian dan Prosedur Perolehannya

Data penelitian merupakan komponen penting yang digunakan sebagai dasar dalam proses analisis untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, data digunakan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B melalui perbandingan antara metode BIM dan metode konvensional. Oleh karena itu, data yang digunakan harus relevan, sistematis, dan mampu mendukung proses analisis secara objektif agar hasil penelitian yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Sugiyono, 2023).

Dalam penelitian ini, data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder yang dikombinasikan untuk mendukung proses analisis efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada pekerjaan struktur. Data primer diperoleh secara langsung melalui proses penelitian, sedangkan data sekunder digunakan sebagai acuan teknis dan pembanding dalam proses analisis pemodelan serta perhitungan volume pekerjaan struktur berdasarkan dokumen *Detail Engineering Design* (DED) proyek.

4.5.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui aktivitas penelitian dan memiliki tingkat keaslian yang tinggi, karena menggambarkan objek penelitian secara aktual (Sulung & Muspawi, 2024). Dalam

penelitian ini, data primer berperan sebagai dasar dalam memperoleh hasil estimasi kuantitas berbasis BIM serta memberikan informasi implementatif berdasarkan pengalaman praktis. Oleh karena itu, data primer digunakan untuk memberikan bukti teknis sekaligus perspektif profesional mengenai efektivitas BIM. Data primer yang digunakan meliputi:

1. *Output* Pemodelan *Tekla Structures*

Data primer ini berupa *output* pemodelan 3D menggunakan *Tekla Structures* yang menghasilkan perhitungan otomatis volume beton dan *bar bending schedule* (BBS) untuk elemen struktur yang dimodelkan. Data tersebut digunakan sebagai dasar perbandingan terhadap hasil estimasi kuantitas metode konvensional untuk menilai konsistensi dan ketelitian kuantitas yang dihasilkan model.

2. Data Hasil Wawancara

Data primer ini berupa rangkuman hasil wawancara semi-terstruktur dengan seorang BIM *expert* yang memberikan informasi mengenai pengalaman dan pandangannya terhadap penggunaan *Tekla Structures* dalam pemodelan desain. Data ini digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian terkait pengaruh penerapan *Tekla Structures* terhadap efisiensi waktu pemodelan dan koordinasi desain, sehingga hasil analisis tidak hanya berdasarkan parameter kuantitatif, tetapi juga mempertimbangkan aspek implementatif dalam praktik industri konstruksi.

4.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari dokumen yang telah tersedia sebelumnya dan digunakan sebagai acuan teknis dalam proses analisis penelitian (Sulung & Muspawi, 2024). Dalam penelitian ini, data sekunder menjadi dasar dalam proses pemodelan struktur, perhitungan volume konvensional, serta pembandingan terhadap hasil *quantity take-off* (QTO) yang diperoleh dari *Tekla Structures*. Data sekunder yang digunakan meliputi:

1. Data Gambar *Detail Engineering Design* (DED)

Data utama yang digunakan berupa gambar DED struktur proyek LRT Jakarta Fase 1B, meliputi gambar *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada seluruh titik bentang. Gambar tersebut menjadi acuan dalam proses pemodelan ulang (*remodeling*)

menggunakan *Tekla Structures* sehingga menghasilkan model 3D yang sesuai dengan kondisi desain rencana.

2. Data Spesifikasi Teknis Struktur

Data ini mencakup informasi teknis seperti dimensi elemen struktur, jenis dan mutu material (beton dan tulangan), detail penulangan, serta parameter teknis lainnya. Spesifikasi ini diperlukan untuk memastikan model BIM yang dihasilkan sesuai dengan standar yang berlaku pada proyek.

3. Data Volume Perhitungan Konvensional

Data berupa hasil perhitungan volume pekerjaan struktur yang dilakukan secara manual atau semi-manual berdasarkan gambar kerja 2D. Data ini digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil *quantity take-off* (QTO) dari *Tekla Structures* untuk menilai perbedaan, konsistensi hasil perhitungan, dan efisiensi proses perhitungan volume antara metode konvensional dan metode BIM.

4. Dokumentasi Proyek

Dokumentasi proyek, foto pekerjaan, serta laporan teknis digunakan sebagai data pendukung untuk memahami konteks pekerjaan struktur dan membantu pemeriksaan kesesuaian model terhadap dokumen perencanaan yang digunakan dalam penelitian.

4.6 Instrumen dan Prosedur Validasi Penelitian

Instrumen penelitian merupakan alat yang digunakan untuk memperoleh dan mengukur data secara sistematis sehingga hasil analisis dapat memberikan kesimpulan yang objektif serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Sugiyono, 2023). Pada penelitian dengan pendekatan kombinasi, pemilihan instrumen harus menyesuaikan kebutuhan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif agar informasi yang diperoleh lebih komprehensif serta saling melengkapi sesuai karakteristik *mixed methods* (Creswell & Creswell, 2023). Oleh karena itu, instrumen dalam penelitian ini disusun untuk mendukung tahapan pemodelan BIM, pengumpulan data wawancara, serta proses pengolahan data kuantitas.

Selain pemilihan instrumen, validasi data juga menjadi aspek penting yang bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan sahih, konsisten, dan

sesuai dengan kondisi sebenarnya (Sugiyono, 2023). Pada komponen data kualitatif, validitas ditingkatkan melalui strategi triangulasi serta pemeriksaan kesesuaian temuan dengan pendapat narasumber di lapangan sebagaimana direkomendasikan dalam praktik validitas kualitatif (Creswell & Creswell, 2023). Dengan adanya prosedur validasi ini, tingkat kredibilitas dan keandalan data dapat terjaga sehingga hasil interpretasi dan kesimpulan penelitian memiliki dasar metodologis yang kuat.

Subbab ini selanjutnya menguraikan instrumen teknis yang digunakan dalam pemodelan BIM, profil praktisi BIM sebagai narasumber wawancara, instrumen pertanyaan dalam pengumpulan data kualitatif, serta prosedur validasi yang diterapkan untuk memastikan data yang dianalisis layak dan akurat.

4.6.1 Perangkat Teknis

Dalam penelitian mengenai efektivitas pemodelan struktur menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B, penggunaan aplikasi pendukung memiliki peran penting untuk memastikan seluruh proses analisis dapat berjalan secara sistematis, akurat, dan sesuai standar teknis. Setiap perangkat lunak yang digunakan memiliki fungsi spesifik yang saling melengkapi, mulai dari membaca data desain, melakukan pemodelan tiga dimensi, hingga mengolah hasil perhitungan volume. Aplikasi-aplikasi ini menjadi fondasi utama dalam menghasilkan data yang konsisten antara model BIM dan metode konvensional, sehingga proses perbandingan dapat dilakukan secara objektif. Aplikasi pendukung yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Tekla Structures

Tekla Structures merupakan perangkat lunak utama yang digunakan untuk pemodelan 3D elemen struktur LRT seperti *pilecap*, *pier*, dan *pier head*. Aplikasi ini memungkinkan pemodelan yang detail dan parametrik sehingga setiap perubahan geometri langsung terintegrasi dalam data volume dan informasi teknis lainnya. *Tekla Structures* juga menyediakan fitur *quantity take-off* (QTO) otomatis yang membantu menghasilkan perhitungan volume secara cepat, akurat, dan konsisten. Kemampuan ini menjadikan Tekla sebagai platform utama dalam analisis efektivitas pemodelan berbasis BIM.

2. *AutoCAD*

AutoCAD digunakan untuk membuka, membaca, dan memverifikasi gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang menjadi dasar pemodelan. Gambar 2D seperti denah, tampak, dan potongan diperiksa terlebih dahulu menggunakan *AutoCAD* untuk memastikan kesesuaian dimensi sebelum direplikasi ke dalam model 3D *Tekla Structures*. Peran *AutoCAD* dalam penelitian ini adalah memastikan bahwa proses pemodelan mengacu pada data desain yang benar dan valid.

3. *Microsoft Excel*

Microsoft Excel digunakan sebagai alat utama dalam pengolahan data numerik. Hasil QTO dari *Tekla Structures* serta hasil perhitungan konvensional direkap, diklasifikasikan, dan dibandingkan menggunakan *Excel*. Proses analisis deviasi volume, penyajian tabel, serta pengolahan data pendukung dilakukan melalui fungsi-fungsi kalkulasi *Excel* sehingga hasil analisis dapat disusun secara sistematis dan mudah diinterpretasikan.

4. Aplikasi Penunjang Dokumentasi

Aplikasi seperti *PDF reader* atau *viewer* digunakan untuk meninjau dokumen teknis, spesifikasi material, laporan proyek, serta referensi pendukung lainnya. Fungsi ini diperlukan untuk memastikan kesesuaian informasi dari berbagai dokumen sebelum digunakan pada tahap pemodelan dan analisis.

Dengan dukungan aplikasi-aplikasi tersebut, penelitian dapat dilakukan secara terintegrasi mulai dari tahap pembacaan data desain, pemodelan struktur, hingga analisis perbandingan volume yang menjadi inti penelitian. Setiap perangkat lunak memiliki kontribusi yang signifikan dalam menghasilkan data yang akurat dan terstandarisasi.

4.6.2 Profil Praktisi BIM

Pemilihan praktisi BIM sebagai narasumber dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *purposive sampling*, yaitu teknik penentuan informan berdasarkan pertimbangan tertentu agar data yang diperoleh benar-benar relevan dengan kebutuhan penelitian. Sugiyono menjelaskan bahwa *purposive sampling* merupakan teknik pengambilan sampel sumber data dengan pertimbangan bahwa informan

adalah pihak yang dianggap paling mengetahui fenomena yang diteliti, sehingga dapat memberikan informasi yang kaya dan mendalam (Sugiyono, 2023). Prinsip ini sejalan dengan Muri Yusuf, yang menegaskan bahwa pemilihan informan dalam penelitian kualitatif harus dilandasi tujuan tertentu (*purposive*), yaitu memilih individu yang memiliki pemahaman kontekstual terhadap objek penelitian sehingga informasi yang diberikan bersifat akurat dan bermakna (A. M. Yusuf, 2017). Oleh karena itu, praktisi BIM dipilih berdasarkan kompetensinya dalam pemodelan digital, manajemen informasi proyek, serta pengalaman profesional yang relevan dengan penggunaan *Tekla Structures*.

Selain pemilihan informan, aspek validitas data kualitatif juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan profil narasumber. Creswell menekankan bahwa validitas dalam penelitian kualitatif dapat ditingkatkan melalui pemilihan partisipan yang tepat, penerapan triangulasi, serta pengecekan ulang interpretasi data melalui *member checking* (Creswell & Creswell, 2023). Hal ini diperkuat oleh Sugiyono, yang menyatakan bahwa kredibilitas data dalam penelitian kualitatif dapat dijaga melalui ketepatan sumber data, ketekunan peneliti, serta penggunaan teknik validasi seperti triangulasi dan *member check* (Sugiyono, 2023). Dengan mempertimbangkan prinsip-prinsip tersebut, penelitian ini memilih praktisi BIM yang memiliki pengalaman langsung dalam pemodelan struktur, estimasi kuantitas, dan koordinasi desain, sehingga wawancara dapat memberikan gambaran implementatif mengenai efektivitas *Tekla Structures*, terutama dalam aspek efisiensi waktu pemodelan dan alur koordinasi desain.

1. Arief Rahman, S.T., M.M.

Narasumber pertama merupakan profesional dengan pengalaman lebih dari dua dekade dalam penerapan BIM, manajemen informasi digital, *Lean Construction*, serta teknologi konstruksi berbasis AI dan *augmented reality*. Beliau pernah menduduki berbagai posisi strategis seperti BIM Manager, Subject Matter Expert BIM, Senior Support Engineer Autodesk, serta Senior Application Engineer di perusahaan-perusahaan multinasional di Indonesia, Singapura, Malaysia, dan Arab Saudi. Kompetensi yang dimiliki meliputi BIM 3D–8D, *Advanced Work Packaging*, *ISO 19650 Information Management*, serta sertifikasi SKK BIM Manager Madya

(BNSP). Dengan latar belakang tersebut, narasumber ini memberikan perspektif implementatif yang penting dalam menilai efektivitas *Tekla Structures*, terutama terkait kecepatan pemodelan, kemudahan revisi desain, dan otomatisasi estimasi kuantitas.

2. Ir. Imam Agung Baskoro, S.T.

Praktisi BIM yang memiliki pengalaman dalam pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures* pada proyek konstruksi infrastruktur. Narasumber memiliki pengalaman profesional pada divisi BIM dan Engineering Digital PT Wijaya Karya Bangunan Gedung Tbk. (*WIKI Gedung*), serta terlibat dalam proses pemodelan struktur, *quantity take-off* (QTO), koordinasi BIM, implementasi BIM 4D dan BIM 5D, serta pengembangan sistem BIM pada berbagai proyek konstruksi infrastruktur di Indonesia. Selain itu, narasumber juga memiliki sertifikasi *Tekla Structures User Certification* dan pengalaman dalam penerapan BIM berbasis standar ISO 19650.

3. Andi Bachtiar

Narasumber ketiga merupakan praktisi BIM dan spesialis *Tekla Structures* yang memiliki pengalaman lebih dari 15 tahun dalam bidang pemodelan struktur, steel detailing, dan rekayasa konstruksi pada proyek bangunan, industri, kelautan, serta *offshore*. Beliau memiliki pengalaman profesional di berbagai perusahaan nasional maupun internasional, seperti Malaysia Marine & Heavy Engineering (MHB), Synergy Engineering, Saipem Indonesia, PT Duta Hita Jaya, PT Gerbang Sarana Baja, dan perusahaan konstruksi lainnya. Kompetensi yang dimiliki meliputi pemodelan struktur 3D menggunakan *Tekla Structures*, *steel detailing*, *Material Take Off* (MTO), *Bill of Material* (BOM), penyusunan gambar fabrikasi, serta dokumentasi teknik untuk kebutuhan fabrikasi dan konstruksi. Selain itu, beliau juga terlibat dalam berbagai proyek infrastruktur, fasilitas industri, *floating jetty*, *conveyor structure*, serta platform lepas pantai (*offshore platform*). Dengan latar belakang tersebut, narasumber memberikan perspektif praktis mengenai efektivitas penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* dari segi durasi pemodelan.

Pemilihan narasumber dilakukan secara purposive berdasarkan pengalaman kerja dan keterlibatan dalam proses pemodelan BIM pada proyek konstruksi sehingga data wawancara yang diperoleh relevan dengan tujuan penelitian.

4.6.3 Instrumen Pertanyaan

Instrumen pertanyaan dalam penelitian ini disusun melalui pendekatan wawancara semi-terstruktur, yaitu teknik wawancara yang memadukan pertanyaan terarah dengan fleksibilitas bagi narasumber untuk memberikan jawaban yang lebih luas dan mendalam. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan data kualitatif yang kaya dan kontekstual, terutama ketika informasi yang diperlukan berkaitan dengan pengalaman profesional serta proses teknis penerapan *Tekla Structures* dalam pemodelan struktur. Creswell menjelaskan bahwa wawancara semi-terstruktur memungkinkan peneliti menggunakan pertanyaan terbuka (*open-ended questions*) yang memberi ruang bagi partisipan untuk mengemukakan pandangan secara natural sehingga pemahaman yang diperoleh lebih komprehensif terhadap fenomena yang diteliti (Creswell & Creswell, 2023).

Menurut Sugiyono, wawancara merupakan instrumen yang penting dalam penelitian kualitatif karena memberikan kesempatan untuk menggali makna di balik pengalaman informan dan memperoleh penjelasan mendalam mengenai suatu proses yang tidak dapat ditangkap melalui instrumen terstruktur (Sugiyono, 2023). Sejalan dengan hal tersebut, Muri Yusuf menekankan bahwa instrumen wawancara perlu disusun secara sistematis dengan mempertimbangkan keterkaitan antara tujuan penelitian dan informasi yang hendak digali, namun tetap mempertahankan fleksibilitas agar narasumber dapat menyampaikan pengalaman secara autentik (A. M. Yusuf, 2017). Berdasarkan prinsip tersebut, instrumen pertanyaan dalam penelitian ini dirancang untuk menggali persepsi dan pengalaman praktisi BIM mengenai efektivitas *Tekla Structures*, khususnya terkait efisiensi waktu pemodelan, koordinasi desain, serta keakuratan informasi kuantitas. Instrumen lengkap wawancara disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 1 Instrumen Pertanyaan Wawancara Praktisi BIM

No.	Pertanyaan	Tujuan Pertanyaan
1.	Bagaimana pengalaman Anda dalam melakukan pemodelan struktur menggunakan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dengan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i> ?	Memastikan narasumber memiliki pengalaman langsung dalam pemodelan struktur menggunakan BIM Tekla.
2.	Berdasarkan pengalaman Anda, apakah penggunaan <i>Tekla Structures</i> membuat waktu pemodelan struktur menjadi lebih cepat, sama, atau lebih lama dibandingkan dengan metode konvensional?	Menilai efektivitas waktu pemodelan BIM secara langsung melalui perbandingan dengan metode konvensional.
3.	Faktor-faktor apa saja yang paling memengaruhi cepat atau lambatnya waktu pemodelan struktur saat menggunakan <i>Tekla Structures</i> ?	Mengidentifikasi faktor utama yang memengaruhi durasi waktu pemodelan struktur berbasis BIM.
4.	Apakah penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi dalam <i>Tekla Structures</i> , seperti pemodelan parametrik, <i>auto rebar</i> , <i>clash detection</i> , dan perhitungan kuantitas otomatis, berdampak pada percepatan waktu pemodelan struktur?	Menilai kontribusi fitur-fitur Tekla terhadap efisiensi waktu pemodelan struktur.
5.	Bagaimana pengaruh revisi desain terhadap durasi pemodelan struktur menggunakan <i>Tekla Structures</i> , dan apakah waktu revisi tersebut lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional?	Mengevaluasi efektivitas BIM dalam menangani revisi desain dari sisi waktu pemodelan.
6.	Secara keseluruhan, bagaimana Anda menilai efektivitas waktu pemodelan struktur menggunakan BIM <i>Tekla Structures</i> ?	Memperoleh penilaian akhir narasumber mengenai efektivitas waktu pemodelan struktur berbasis BIM.

4.6.4 Prosedur Validasi Data

Validasi data dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa informasi yang diperoleh dari pemodelan *Tekla Structures* dan wawancara dengan praktisi BIM memiliki tingkat ketelitian, konsistensi, dan keterandalan yang memadai. Dalam penelitian kualitatif, validitas dipandang sebagai upaya memastikan bahwa data yang dihimpun mampu merepresentasikan pengalaman dan kondisi sebenarnya secara akurat. Creswell menjelaskan bahwa validitas kualitatif dapat ditingkatkan melalui penerapan strategi seperti triangulasi, pemilihan informan yang relevan, serta pengecekan ulang temuan kepada partisipan (*member checking*) agar interpretasi peneliti tetap berada dalam koridor informasi yang diberikan (Creswell & Creswell, 2023). Dengan demikian, pendekatan validitas kualitatif menjadi fondasi penting dalam menjamin keabsahan data yang diperoleh melalui wawancara.

Pandangan tersebut diperkuat oleh Sugiyono, yang menegaskan bahwa kredibilitas data kualitatif dapat dijaga melalui ketekunan dalam pemeriksaan, pemanfaatan sumber data yang memadai, serta penggunaan triangulasi untuk menilai konsistensi informasi dari berbagai sumber (Sugiyono, 2023). Muri Yusuf turut menekankan bahwa validitas dalam penelitian kualitatif mengharuskan adanya pemeriksaan kesesuaian informasi, pemahaman konteks saat data diperoleh, serta penerapan teknik *cross-checking* agar tidak terjadi kesalahan interpretasi terhadap makna yang disampaikan narasumber (A. M. Yusuf, 2017). Ketiga landasan metodologis ini memberikan dasar teoritis yang kuat dalam merumuskan prosedur validasi pada penelitian ini.

Prosedur validasi pada penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu validasi data kualitatif dan validasi teknis pemodelan. Validasi data kualitatif dilakukan melalui *member checking*, yaitu meminta narasumber meninjau kembali ringkasan hasil wawancara untuk memastikan bahwa interpretasi peneliti sesuai dengan maksud yang disampaikan. Sementara itu, validasi teknis pemodelan dilakukan dengan memeriksa kesesuaian model *Tekla Structures* terhadap gambar *Detail Engineering Design* (DED), meliputi dimensi elemen, bentuk geometri, detail penulangan, parameter material, serta hasil *quantity take-off* (QTO).

Model dinyatakan memenuhi apabila elemen struktur yang dimodelkan telah sesuai dengan gambar DED dan keluaran *quantity take-off* (QTO) dapat digunakan untuk analisis perbandingan dengan metode konvensional. Apabila ditemukan ketidaksesuaian dimensi, bentuk elemen, detail tulangan, atau hasil QTO terhadap dokumen perencanaan, maka model dinyatakan belum memenuhi dan perlu dilakukan revisi pemodelan. Dengan demikian, validasi dalam penelitian ini tidak dilakukan terhadap kondisi aktual pelaksanaan di lapangan, melainkan terhadap dokumen perencanaan yang digunakan sebagai dasar penelitian.

Apabila ditemukan ketidaksesuaian antara model dan gambar DED, seperti perbedaan dimensi, kesalahan bentuk elemen, ketidaksesuaian detail tulangan, atau keluaran QTO yang tidak konsisten, maka model dinyatakan belum memenuhi dan perlu dilakukan revisi pemodelan. Dengan demikian, validasi dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membandingkan hasil pemodelan terhadap kondisi aktual pelaksanaan di lapangan, melainkan untuk memastikan bahwa model BIM yang digunakan telah sesuai dengan dokumen perencanaan yang menjadi dasar analisis.

Pada aspek teknis, validasi dilakukan dengan memverifikasi kesesuaian model *Tekla Structures* terhadap data desain yang menjadi acuannya. Pemeriksaan dilakukan melalui verifikasi geometri model dengan gambar *Detail Engineering Design* (DED), pengecekan parameter material dan detail penulangan, serta perbandingan hasil *quantity take-off* (QTO) otomatis dengan perhitungan konvensional. Validasi teknis ini memastikan bahwa model yang digunakan dalam analisis tidak hanya akurat secara visual, tetapi juga sah secara kuantitatif sehingga layak dijadikan dasar untuk menilai efektivitas pemodelan BIM.

Secara keseluruhan, penerapan triangulasi, *member checking*, dan validasi teknis memberikan jaminan bahwa data yang dianalisis memiliki kredibilitas dan keandalan yang memadai. Kombinasi pendekatan kualitatif dan teknis tersebut menghasilkan proses verifikasi yang komprehensif sehingga temuan penelitian mengenai efektivitas waktu pemodelan *Tekla Structures* dapat dipertanggungjawabkan secara metodologis.

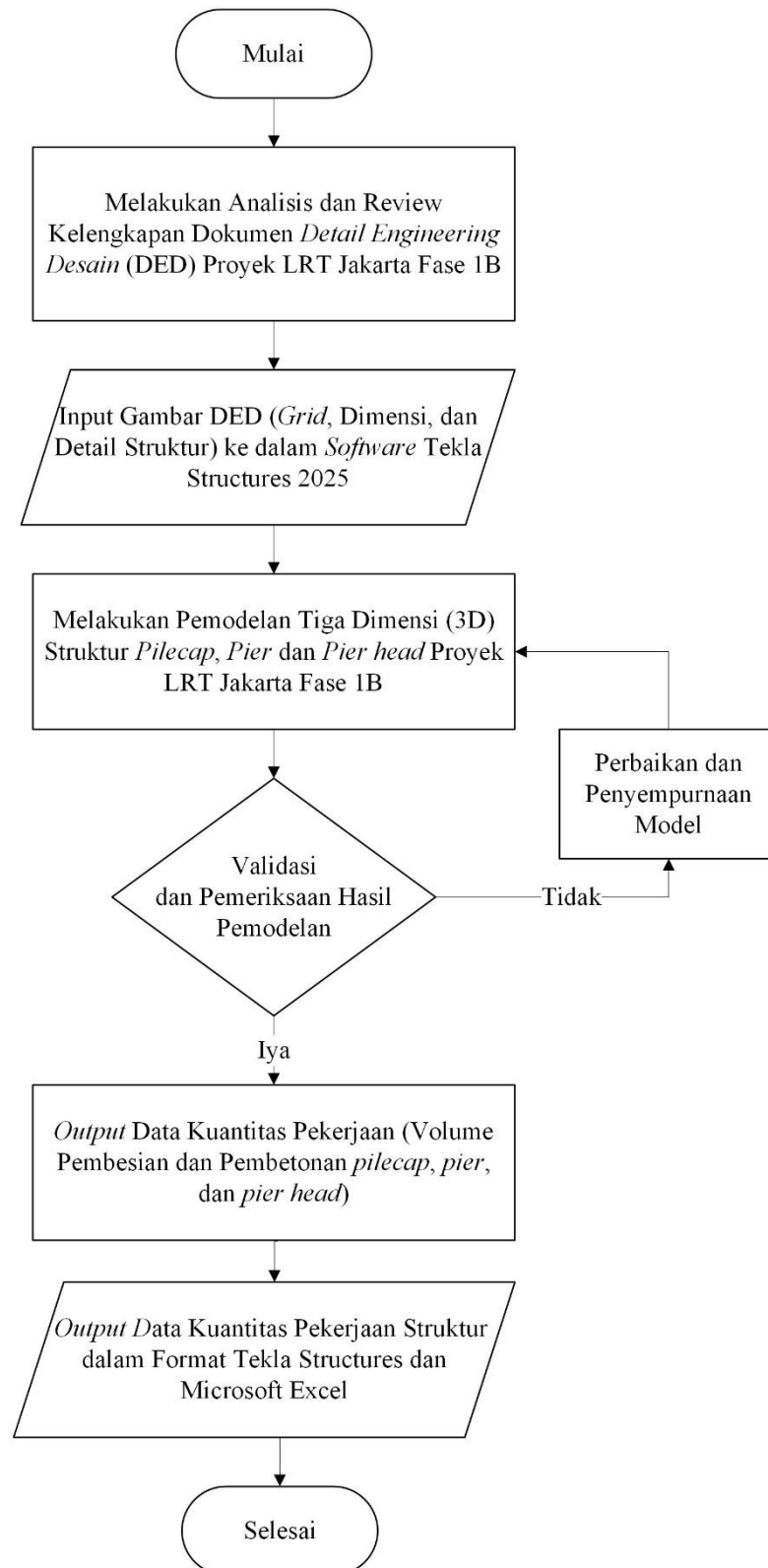
4.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun secara sistematis untuk mendukung analisis efektivitas penerapan Building Information Modeling (BIM) menggunakan *Tekla Structures* terhadap peningkatan efisiensi pekerjaan struktur pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Setiap langkah dirancang agar proses pengumpulan data, pemodelan struktur, dan analisis efisiensi dapat dilakukan secara terarah dan konsisten, sehingga mampu menggambarkan kontribusi BIM secara akurat dalam konteks pekerjaan struktur. A. M. Yusuf (2017) menekankan bahwa perumusan tahapan penelitian yang jelas dan berurutan penting untuk menjamin ketepatan proses pengolahan data dan penarikan kesimpulan, sehingga keseluruhan rangkaian penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dengan berlandaskan prinsip tersebut, penelitian ini merumuskan tahapan kerja yang terstruktur untuk menilai secara menyeluruh efektivitas *Tekla Structures* dalam meningkatkan efisiensi pekerjaan.

Tahapan analisis data yang harus dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi literatur mengenai BIM, *Tekla Structures*, estimasi kuantitas pekerjaan struktur, indikator efisiensi, serta penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan teoretis.
2. Mengidentifikasi konsep-konsep utama dan teori pendukung yang berkaitan dengan efektivitas BIM, alur pemodelan struktur, serta faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi pekerjaan struktur.
3. Merumuskan rumusan masalah, tujuan penelitian, dan batasan penelitian agar fokus kajian tetap terarah pada efektivitas penerapan *Tekla Structures*.
4. Mengumpulkan data sekunder dari proyek, meliputi gambar *Detail Engineering Design* (DED), spesifikasi teknis struktur, dokumentasi pekerjaan struktur, serta perhitungan volume konvensional.
5. Melakukan verifikasi kelayakan data sekunder dengan memeriksa kesesuaian dimensi, kelengkapan gambar, dan standar teknis yang dijadikan acuan pemodelan.

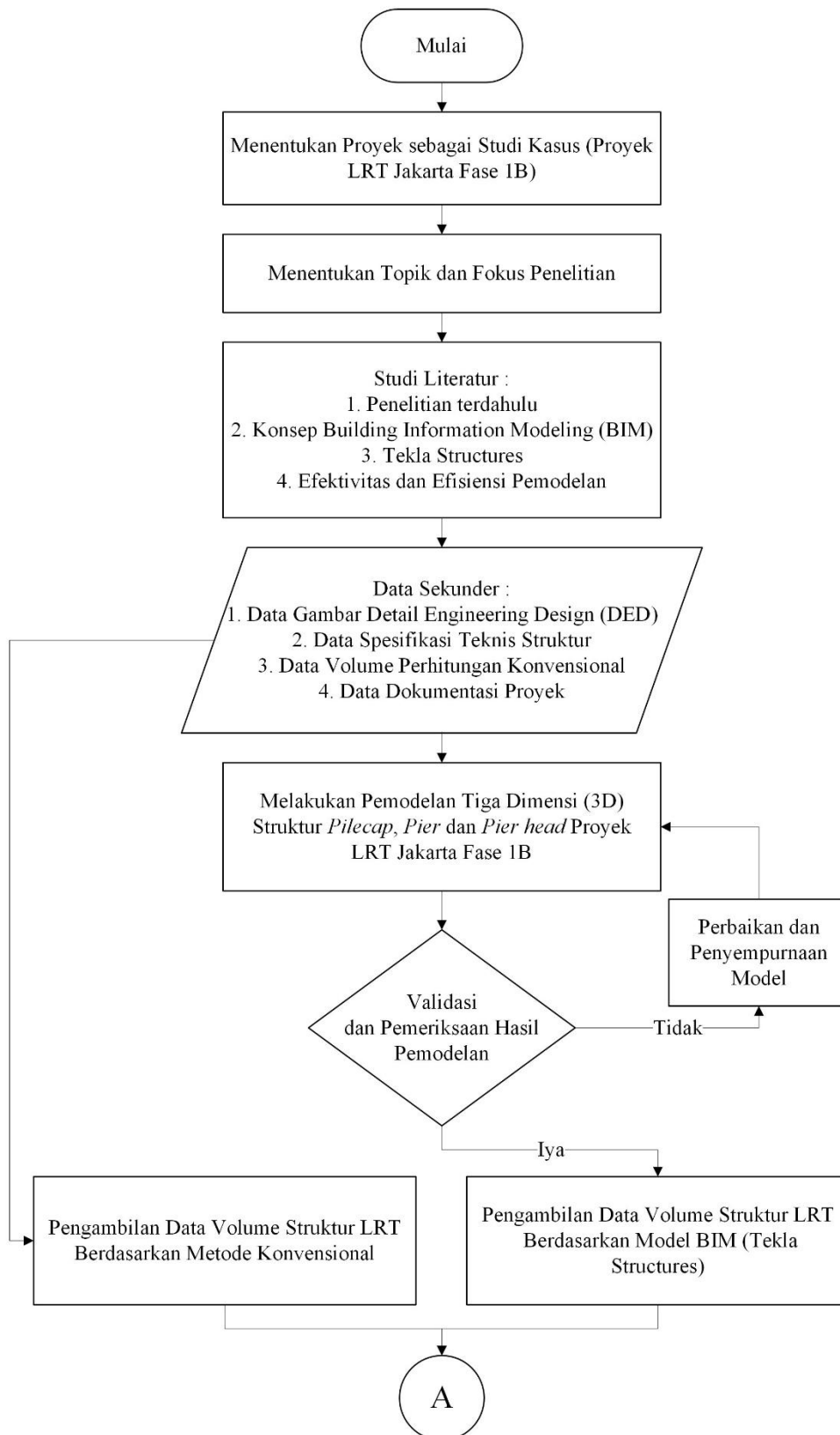
6. Melakukan pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures* untuk menghasilkan model 3D *pilecap*, *pier*, dan *pier head* sebagai representasi teknis pekerjaan struktur sesuai gambar DED. Bagan alir atau *flowchart* untuk tahapan proses pengaplikasian perangkat lunak BIM *Tekla Structures 2025* dapat dilihat pada gambar 4.1.



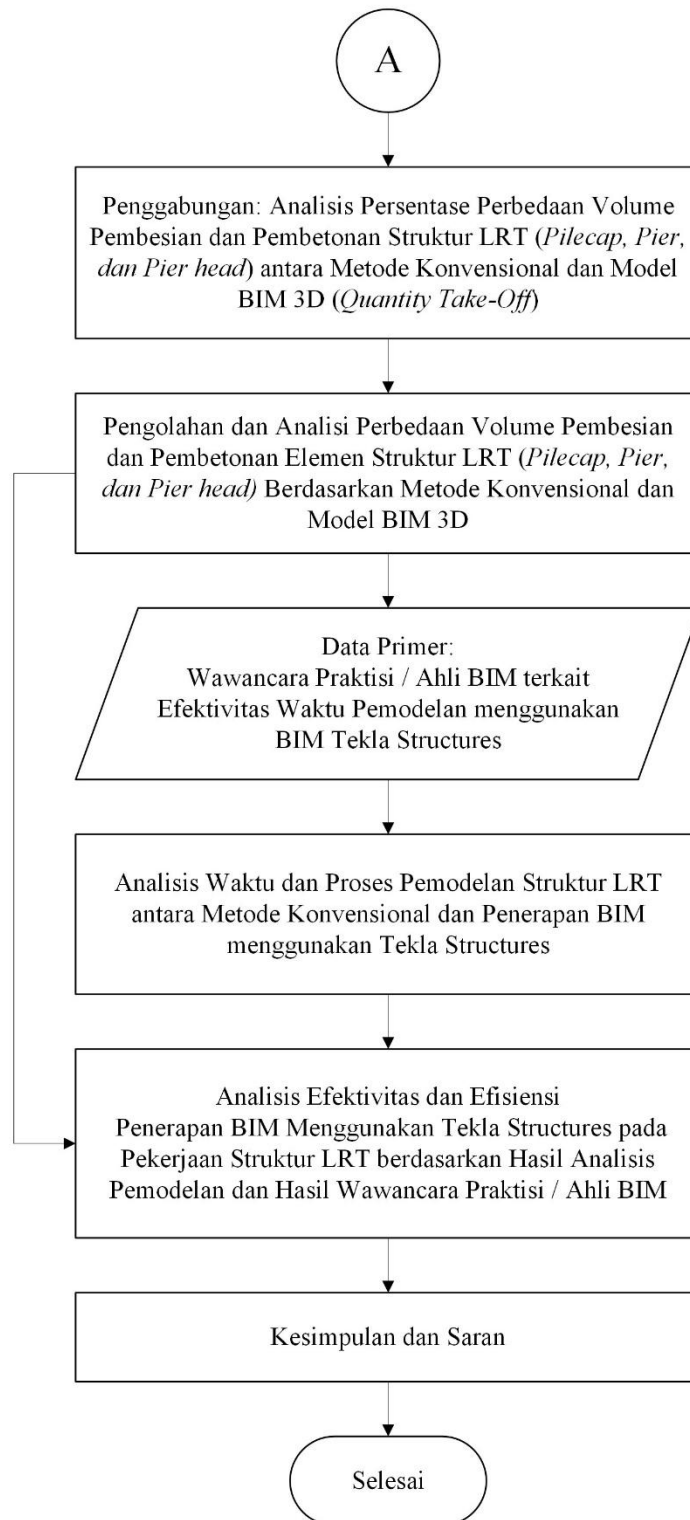
Gambar 4. 2 Bagan Alir Pemodelan Tekla

7. Menghasilkan data primer melalui *output* pemodelan, meliputi volume beton, *bar bending schedule* (BBS), alur kerja pemodelan, serta informasi yang berkaitan dengan potensi efisiensi proses pekerjaan struktur.
8. Mengumpulkan data primer kualitatif melalui wawancara semi-terstruktur dengan praktisi BIM untuk memperoleh pandangan profesional tentang efektivitas *Tekla Structures* terhadap efisiensi pekerjaan struktur.
9. Menganalisis efektivitas penerapan BIM, terutama terkait peningkatan efisiensi pekerjaan struktur melalui perbandingan antara hasil pemodelan *Tekla Structures* dan metode konvensional.
10. Menganalisis data wawancara untuk menguatkan temuan kuantitatif serta memahami faktor implementatif yang memengaruhi efektivitas waktu pemodelan penggunaan BIM dalam pekerjaan struktur.
11. Melakukan validasi data penelitian melalui triangulasi antara data primer, data sekunder, dan hasil wawancara, serta pengecekan teknis model untuk memastikan keakuratan dan konsistensi informasi.
12. Menyusun hasil analisis dan menarik kesimpulan mengenai efektivitas penggunaan *Tekla Structures* dalam meningkatkan efisiensi pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B, serta menyusun rekomendasi untuk penerapan BIM pada proyek selanjutnya.

Bagan alir atau yang biasa juga disebut Flowchart dalam penyusunan Tugas Akhir Penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut yang berada di halaman selanjutnya.



Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. 4 Lanjutan Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Penelitian

Bab ini menyajikan data penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam proses pemodelan dan analisis penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan perangkat lunak *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Data penelitian diperoleh dari dokumen teknis proyek yang berkaitan dengan pekerjaan struktur beton bertulang, seperti gambar *Detailed Engineering Design (DED)*, *shop drawing*, detail pembedaan, serta informasi teknis lainnya yang meliputi dimensi elemen struktur, spesifikasi material, dan konfigurasi penulangan. Seluruh data tersebut digunakan sebagai acuan utama dalam pelaksanaan pemodelan struktur berbasis BIM serta perhitungan kuantitas pekerjaan struktur pada penelitian ini.

Selain digunakan untuk proses pemodelan, data penelitian juga dimanfaatkan sebagai dasar dalam analisis kuantitatif melalui perbandingan hasil pemodelan *Tekla Structures* dengan metode konvensional. Penggunaan data yang sama pada kedua metode bertujuan untuk menghasilkan perbandingan yang objektif dan konsisten, sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat mencerminkan kondisi aktual pekerjaan struktur di lapangan. Dengan demikian, ketelitian dalam pemilihan dan pengolahan data menjadi aspek penting agar hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara teknis maupun akademis.

Data penelitian pada bab ini dibagi ke dalam dua bagian utama, yaitu informasi umum proyek dan data *Detailed Engineering Design (DED)* yang digunakan dalam proses pemodelan struktur. Kedua jenis data tersebut menjadi dasar dalam pelaksanaan tahapan penelitian selanjutnya, mulai dari proses pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures*, analisis kuantitas pekerjaan, hingga evaluasi efektivitas penerapan BIM pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

5.1.1 Informasi Umum Proyek

Proyek LRT Jakarta Fase 1B Velodrome–Manggarai merupakan proyek pembangunan jalur kereta ringan (*Light Rail Transit*) yang menghubungkan Stasiun Velodrome hingga Stasiun Manggarai di Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta. Proyek ini dibangun dengan konsep struktur layang (*elevated structure*) yang terdiri atas berbagai elemen struktur beton bertulang. Pada penelitian ini, Proyek LRT Jakarta Fase 1B dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki pekerjaan struktur yang kompleks dengan tingkat detail penulangan yang tinggi, khususnya pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* yang menjadi fokus pemodelan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) dengan perangkat lunak *Tekla Structures*.

Pelaksanaan proyek menggunakan sistem kontrak *Design and Build*, yaitu metode pengadaan yang mengintegrasikan proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi dalam satu kontrak. Dalam pelaksanaannya, proyek melibatkan berbagai pihak yang berperan dalam proses perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan verifikasi pekerjaan konstruksi. Adapun informasi umum proyek yang menjadi objek penelitian dapat diuraikan sebagai berikut.

Nama Paket Pekerjaan	: Jakarta LRT <i>Construction, Phase 1B Velodrome–Manggarai</i>
Lokasi Pekerjaan	: Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta, Velodrome–Manggarai
Jenis Kontrak	: Design and Build
Nilai Kontrak	: Rp 4.145.100.000.000,- (Excl. PPN)
Masa Pelaksanaan	: 30 Agustus 2023 s.d. 30 Agustus 2026
Masa Pemeliharaan	: 31 Agustus 2026 s.d. 30 Agustus 2028
Waktu Pelaksanaan	: 1080 hari kalender
Waktu Pemeliharaan	: 720 hari kalender
Kontraktor Pelaksana	: 1. PT Waskita Karya 2. PT Nindya Karya 3. PT Len Railway Systems
Konsultan Perencana	: PT Perentjana Djaja

Berdasarkan informasi umum tersebut, Proyek LRT Jakarta Fase 1B merupakan proyek infrastruktur dengan ruang lingkup pekerjaan yang kompleks karena melibatkan berbagai tahapan pekerjaan konstruksi, mulai dari pekerjaan sipil dan struktur hingga sistem pendukung operasional perkeretaapian. Selain itu, pelaksanaan proyek juga melibatkan berbagai pihak, seperti kontraktor pelaksana, konsultan perencana, *Project Management Consultant* (PMC), dan *Third Party Verifier* (TPV), sehingga diperlukan koordinasi dan pengelolaan informasi yang baik selama proses perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi. Kondisi tersebut menjadikan penerapan *Building Information Modeling* (BIM) relevan untuk mendukung integrasi informasi, koordinasi desain, dan pengendalian data proyek secara lebih efektif.

Selain ditinjau dari aspek manajemen proyek, Proyek LRT Jakarta Fase 1B juga memiliki karakteristik struktur yang cukup kompleks, khususnya pada elemen struktur beton bertulang yang menjadi bagian utama struktur layang. Pada penelitian ini, objek yang dianalisis dibatasi pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada titik P64 sampai dengan P67 di Zona 1. Ketiga elemen tersebut dipilih karena memiliki tingkat kompleksitas geometri dan detail penulangan yang cukup tinggi, sehingga sesuai untuk digunakan dalam analisis efektivitas penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures*. Adapun data teknis proyek Jakarta LRT Construction Phase 1B Velodrome–Manggarai yang menjadi objek penelitian adalah sebagai berikut.

Panjang Jalur	: ±6,4 km
Pembagian Zona	: 1. Zona 1: 3,66 km (P0B–P104B) 2. Zona 2: 2,74 km (P104B–P186B)
Jumlah Stasiun	: 5 stasiun: 1. Stasiun Pemuda Rawamangun 2. Stasiun Pramuka BPKP 3. Stasiun Pasar Pramuka 4. Stasiun Matraman 5. Stasiun Manggarai
Lebar Jembatan	: 9,45 meter
Lebar Jalur	: 9,15 meter

Jenis Pondasi	: <i>Bored Pile</i>
Jenis Pier	: 1. <i>Single Pier</i> 2. <i>Single Pier with Double Cantilever</i> 3. <i>Portal Pier</i> 4. <i>Balance Cantilever</i>
Tipe Pier Berdasarkan Area	: 1. <i>Main Track: PC-U Girder & Steel Box Girder</i> 2. <i>Area Stasiun: PC-I Girder</i>

Informasi umum dan data teknis proyek yang telah diuraikan memberikan gambaran mengenai kondisi Proyek LRT Jakarta Fase 1B sebagai objek penelitian. Data tersebut menunjukkan bahwa proyek ini merupakan proyek struktur layang (*elevated structure*) yang terdiri atas berbagai elemen struktur beton bertulang yang saling terintegrasi. Dalam penelitian ini, informasi umum dan data teknis proyek digunakan sebagai dasar untuk memahami karakteristik objek yang diteliti serta mendukung proses analisis penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures*. Dengan demikian, data proyek yang telah disajikan menjadi landasan dalam pelaksanaan tahapan penelitian pada elemen struktur yang menjadi fokus pembahasan.

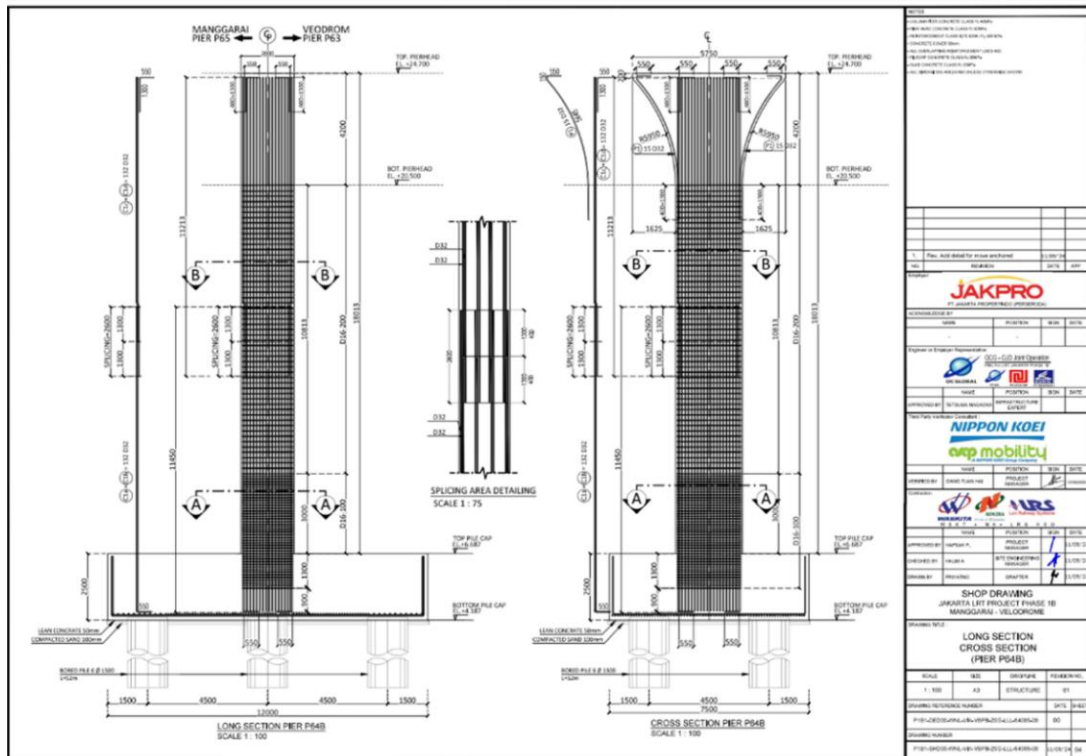
5.1.2 Detailed Engineering Design (DED) Proyek

Detailed Engineering Design (DED) merupakan dokumen perencanaan yang digunakan sebagai sumber data utama dalam penelitian ini. Dokumen tersebut memuat informasi teknis yang diperlukan dalam proses analisis, seperti dimensi elemen struktur, detail penulangan, elevasi, spesifikasi material, serta ketentuan teknis lainnya yang berkaitan dengan pekerjaan struktur beton bertulang. Data yang terdapat dalam dokumen DED menjadi dasar dalam penyusunan seluruh tahapan analisis yang dilakukan pada penelitian ini.

DED yang digunakan berasal dari Proyek LRT Jakarta Fase 1B dan mencakup elemen struktur *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada titik yang menjadi objek penelitian. Ketiga elemen tersebut dipilih karena merupakan komponen utama struktur yang memiliki karakteristik geometri dan konfigurasi penulangan yang beragam. Selain itu, elemen-elemen tersebut juga memiliki volume pekerjaan yang cukup signifikan sehingga dapat merepresentasikan penerapan *Building*

Information Modeling (BIM) dalam proses perhitungan kuantitas pekerjaan struktur.

Contoh dokumen DED yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Contoh Detailed Engineering Design (DED)
(Sumber: Data Pribadi)

Dokumen DED pada Gambar 5.1 digunakan sebagai dasar dalam memperoleh data geometrik dan detail penulangan yang diperlukan untuk perhitungan volume beton serta berat tulangan menggunakan metode konvensional. Selain itu, informasi yang sama juga digunakan dalam proses pemodelan tiga dimensi menggunakan *Tekla Structures* untuk menghasilkan *quantity take-off* (QTO) pada metode BIM. Dengan demikian, seluruh analisis pada penelitian ini disusun berdasarkan data perencanaan yang sama sehingga perbandingan hasil dapat dilakukan secara konsisten. Dokumen DED secara lengkap disajikan pada lampiran penelitian sebagai data pendukung proses analisis dan pemodelan.

5.2 Pemodelan Struktur Menggunakan *Tekla Structures*

Pemodelan struktur pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Tekla Structures* berdasarkan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Pemodelan dilakukan untuk menghasilkan model tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi aktual elemen struktur yang diteliti, yaitu *pilecap*, *pier*, dan *pier head* beserta detail pembesiannya. Selain menghasilkan visualisasi tiga dimensi, model yang dibuat juga digunakan sebagai dasar untuk memperoleh data kuantitas pekerjaan serta melakukan pemeriksaan terhadap potensi konflik antar elemen struktur maupun tulangan. Oleh karena itu, pembahasan pada subbab ini mencakup proses pemodelan struktur dan penerapan *clash detection* sebagai bagian dari verifikasi model sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

5.2.1 Proses Pemodelan Struktur

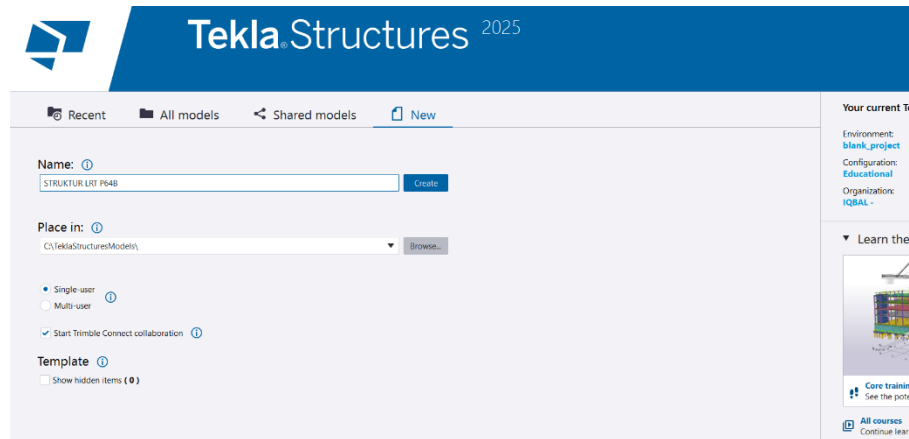
Pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures* dilakukan berdasarkan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) untuk menghasilkan model tiga dimensi elemen pilecap, pier, dan *Pier head* pada struktur P64, P65, P66, dan P67 Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Model yang dihasilkan digunakan sebagai dasar untuk memperoleh data *Quantity Take-Off* (QTO) serta mendukung proses verifikasi model. Adapun tahapan pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures* pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Pembuatan File Model Baru

Tahap awal pemodelan dilakukan dengan membuat file model baru pada perangkat lunak *Tekla Structures* menggunakan *template blank model*. Pada tahap ini, satu file model dibuat sebagai wadah utama untuk seluruh proses pemodelan elemen struktur yang menjadi objek penelitian, yaitu *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada titik P64, P65, P66, dan P67. Penggunaan file model baru bertujuan untuk menyediakan lingkungan kerja yang terorganisasi sehingga seluruh data pemodelan dapat tersimpan dan dikelola dalam satu basis data yang sama.

Setelah file model dibuat, dilakukan pengaturan identitas model yang meliputi nama proyek, satuan pengukuran, serta lokasi penyimpanan model. Pengaturan tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh proses pemodelan dilakukan

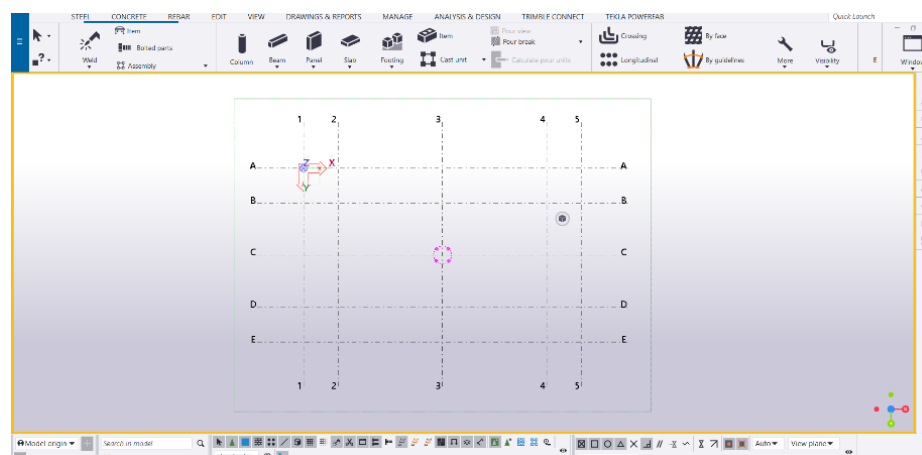
secara konsisten sesuai dengan data perencanaan yang digunakan dalam penelitian. Tampilan awal setelah pembuatan file model baru dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Tampilan Awal *Tekla Structures*
(Sumber: Data Pribadi)

2. Pembuatan *Grid Model*

Setelah file model dibuat, tahap selanjutnya adalah pembuatan *grid model* pada *Tekla Structures*. Pada penelitian ini, *grid* digunakan sebagai acuan visual untuk mempermudah proses pemodelan dan navigasi dalam area kerja. Pengaturan *grid* dilakukan secara sederhana sesuai kebutuhan pemodelan elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada struktur P64, P65, P66, dan P67. Selain membantu dalam pengaturan tampilan model, penggunaan *grid* juga memudahkan identifikasi posisi relatif antar elemen struktur selama proses pemodelan berlangsung.

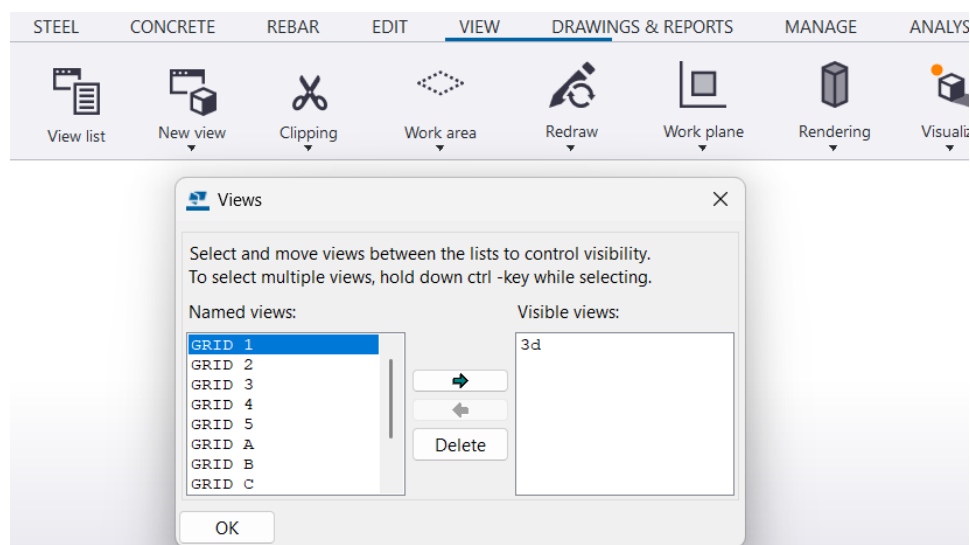


Gambar 5. 3 Proses Pembuatan *Grid*
(Sumber: Data Pribadi)

Gambar 5.3 menunjukkan proses pembuatan *grid model* pada *Tekla Structures* yang digunakan sebagai acuan visual selama pemodelan. Meskipun tidak berpengaruh secara langsung terhadap hasil *quantity take-off* (QTO), keberadaan *grid* membantu dalam pengaturan area kerja, pengelolaan tampilan model, serta mempermudah proses pemodelan dan pemeriksaan elemen struktur yang ditinjau dalam penelitian ini.

3. Pengaturan *View Model*

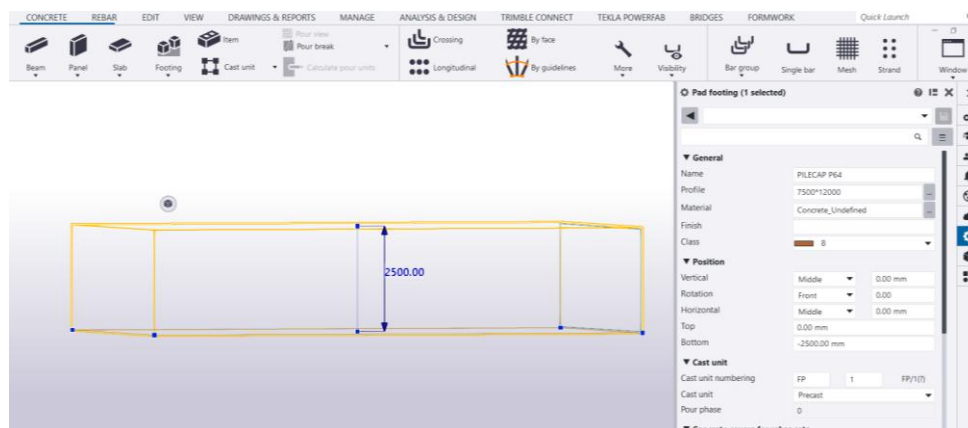
Setelah *grid model* selesai dibuat, dilakukan pengaturan *view model* untuk mempermudah proses pemodelan dan pemeriksaan elemen struktur pada *Tekla Structures*. Pengaturan *view* dilakukan dengan membuat beberapa tampilan kerja, seperti *plan view*, *elevation view*, dan *3D view*, yang disesuaikan dengan kebutuhan pemodelan. Pada penelitian ini, pengaturan *view* tidak memengaruhi hasil pemodelan maupun data *quantity take-off* (QTO) yang dihasilkan, namun berfungsi sebagai alat bantu visualisasi untuk mempermudah proses pemodelan dan pengamatan model struktur. Melalui pengaturan tampilan yang sesuai, bentuk, dimensi, serta hubungan antar elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* dapat diamati dengan lebih jelas sehingga proses pemodelan dan pemeriksaan model dapat dilakukan secara lebih efektif. Tampilan *view model* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Proses Pembuatan *Grid*
(Sumber: Data Pribadi)

4. Pemodelan Struktur *Pilecap*

Setelah pengaturan *view model* selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pemodelan struktur *pilecap* sebagai elemen struktur pertama yang dimodelkan dalam penelitian ini. Pemodelan dilakukan menggunakan *concrete part* pada *Tekla Structures* dengan mengacu pada dimensi dan bentuk geometrik yang terdapat pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Proses pemodelan diawali dengan penentuan posisi elemen, kemudian dilanjutkan dengan penginputan dimensi berupa panjang, lebar, dan tinggi *pilecap* sesuai data perencanaan. Pada penelitian ini, struktur *pilecap* yang dimodelkan merupakan bagian dari struktur P64, P65, P66, dan P67 yang menjadi objek penelitian. Selain dimensi utama, pemodelan juga memperhatikan bentuk geometrik dan detail struktur yang terdapat pada gambar perencanaan sehingga model yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi desain secara akurat. Model *pilecap* yang telah dibuat selanjutnya menjadi dasar dalam proses pemodelan tulangan serta perhitungan volume beton menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM). Hasil pemodelan struktur *pilecap* dapat dilihat pada Gambar 5.5.

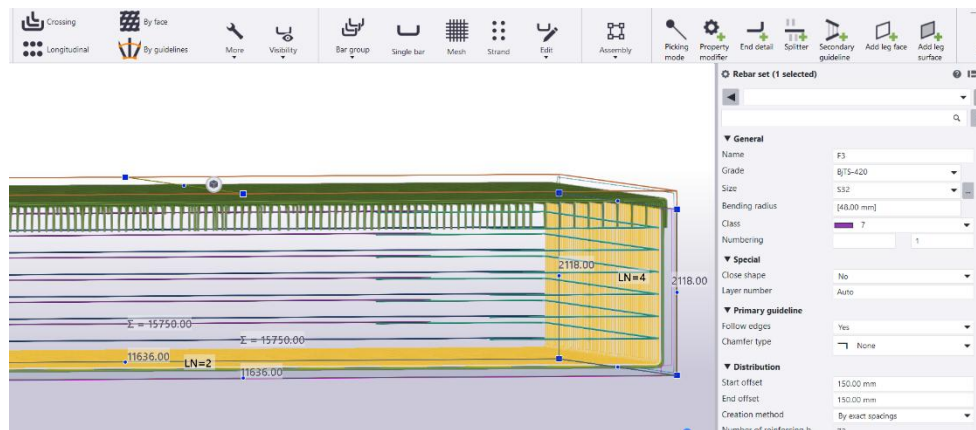


Gambar 5. 5 Pemodelan Struktur *Pilecap*
(Sumber: Data Pribadi)

5. Pemodelan Tulangan *Pilecap*

Setelah model beton *pilecap* selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pemodelan tulangan sebagai representasi detail pembesian pada elemen tersebut. Pemodelan dilakukan berdasarkan detail penulangan yang tercantum pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) dengan menggunakan kombinasi

fitur *crossing rebar*, *rebar group*, dan *single rebar* pada *Tekla Structures*. Parameter yang dimasukkan meliputi diameter tulangan, jumlah batang, jarak antar tulangan, panjang penyaluran, serta bentuk dan konfigurasi tulangan sesuai dengan gambar perencanaan. Mengingat *pilecap* memiliki jumlah dan variasi tulangan yang cukup banyak, proses pemodelan dilakukan secara bertahap untuk memastikan kesesuaian antara model dengan detail pembesian yang direncanakan. Hasil pemodelan tulangan *pilecap* dapat dilihat pada Gambar 5.6.



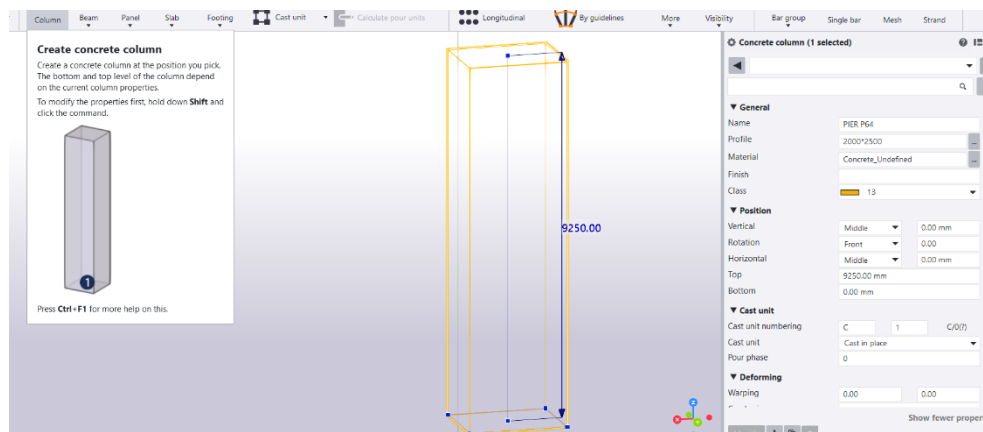
Gambar 5. 6 Pemodelan Tulangan *Pilecap*
(Sumber: Data Pribadi)

Gambar 5.6 menunjukkan hasil pemodelan tulangan *pilecap* yang disusun berdasarkan detail pembesian pada dokumen DED. Dalam proses pemodelan, dilakukan beberapa penyesuaian terhadap posisi dan susunan tulangan tanpa mengubah spesifikasi utama yang telah ditetapkan dalam perencanaan. Penyesuaian tersebut bertujuan untuk meminimalkan potensi *clash* antar tulangan pada model tiga dimensi sehingga konfigurasi pembesian dapat direpresentasikan secara lebih realistis. Model tulangan yang telah terbentuk selanjutnya digunakan untuk menghasilkan data berat tulangan melalui fitur *quantity take-off* (QTO) pada *Tekla Structures*.

6. Pemodelan Struktur *Pier*

Setelah pemodelan *pilecap* selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pemodelan struktur *pier* sebagai elemen vertikal yang menghubungkan *pilecap* dengan *pier head*. Pemodelan dilakukan menggunakan fitur *concrete column* pada

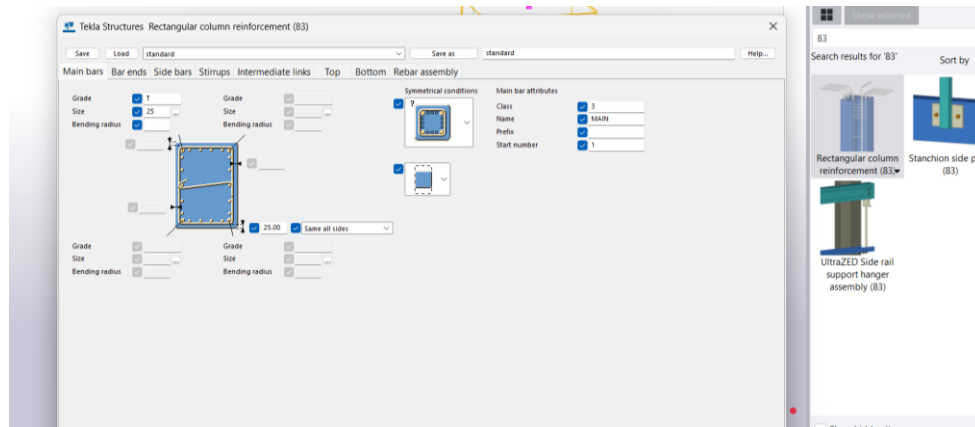
Tekla Structures dengan mengacu pada dimensi dan elevasi yang terdapat pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Proses pemodelan diawali dengan penentuan posisi *pier* pada bagian atas *pilecap*, kemudian dilanjutkan dengan penginputan dimensi penampang dan tinggi struktur sesuai data perencanaan. Pada penelitian ini, struktur *pier* yang dimodelkan meliputi P64, P65, P66, dan P67 yang memiliki dimensi penampang yang sama, namun dengan variasi tinggi yang mengikuti elevasi masing-masing struktur. Model yang dihasilkan digunakan untuk merepresentasikan geometri struktur secara tiga dimensi serta sebagai dasar dalam proses perhitungan volume beton dan pemodelan tulangan pada tahap berikutnya. Hasil pemodelan struktur *pier* dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Pemodelan Struktur Pier
(Sumber: Data Pribadi)

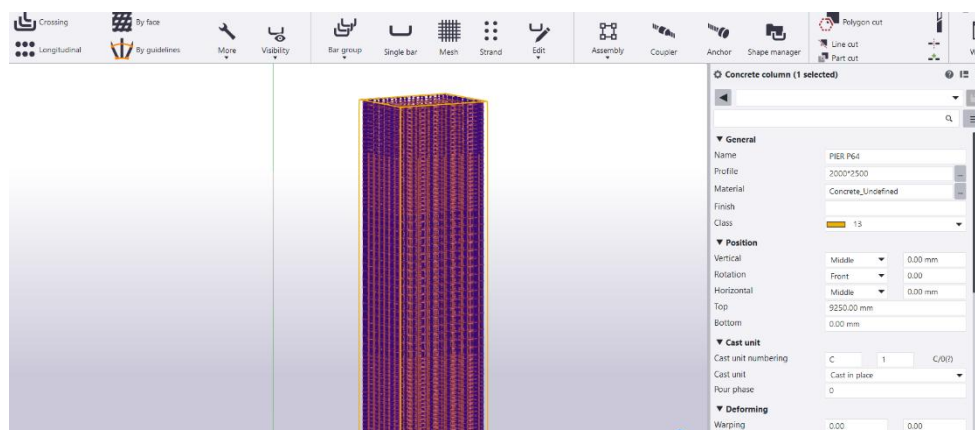
7. Pemodelan Tulangan Pier

Setelah model beton *pier* selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pemodelan tulangan *pier* berdasarkan detail pembesian yang terdapat pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Pemodelan dilakukan menggunakan komponen *Rectangular Column Reinforcement* (83) pada *Tekla Structures* untuk membentuk tulangan longitudinal dan sengkang sesuai dengan dimensi penampang *pier*. Penggunaan komponen ini mempermudah proses pemodelan karena sebagian besar konfigurasi pembesian dapat dihasilkan secara otomatis setelah parameter yang diperlukan diinput sesuai dengan dokumen perencanaan. Proses penggunaan komponen *Rectangular Column Reinforcement* (83) dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Penggunaan Komponen *Rectangular Column Reinforcement* (83)
(Sumber: Data Pribadi)

Setelah parameter pembesian dimasukkan, *Tekla Structures* secara otomatis menghasilkan model tulangan sesuai konfigurasi yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan dan penyesuaian pada beberapa bagian tertentu untuk memastikan kesesuaian model dengan detail pembesian pada dokumen DED serta meminimalkan potensi *clash* antar tulangan. Hasil akhir pemodelan tulangan *pier* yang telah terbentuk dapat dilihat pada Gambar 5.9.

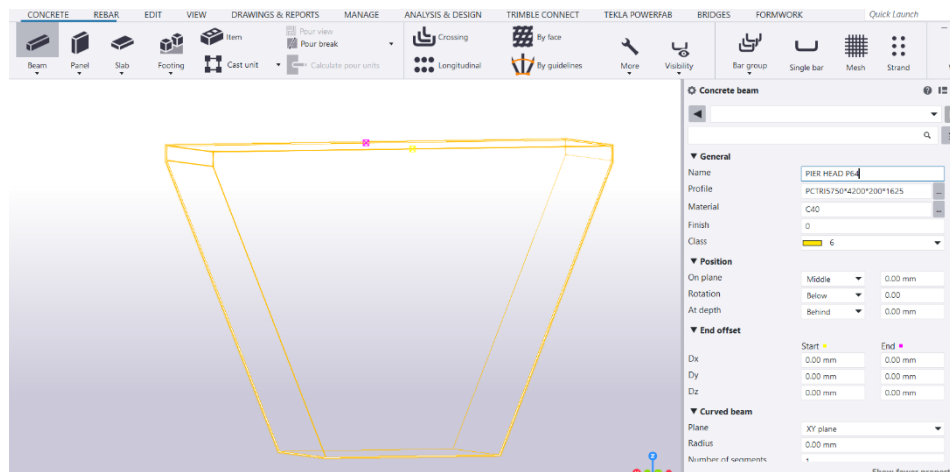


Gambar 5. 9 Hasil Pemodelan Tulangan *Pier*
(Sumber: Data Pribadi)

8. Pemodelan Struktur *Pier head*

Setelah pemodelan struktur dan tulangan *pier* selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pemodelan struktur *pier head* sebagai elemen yang berfungsi mendukung struktur atas dan meneruskan beban dari *girder* menuju *pier*.

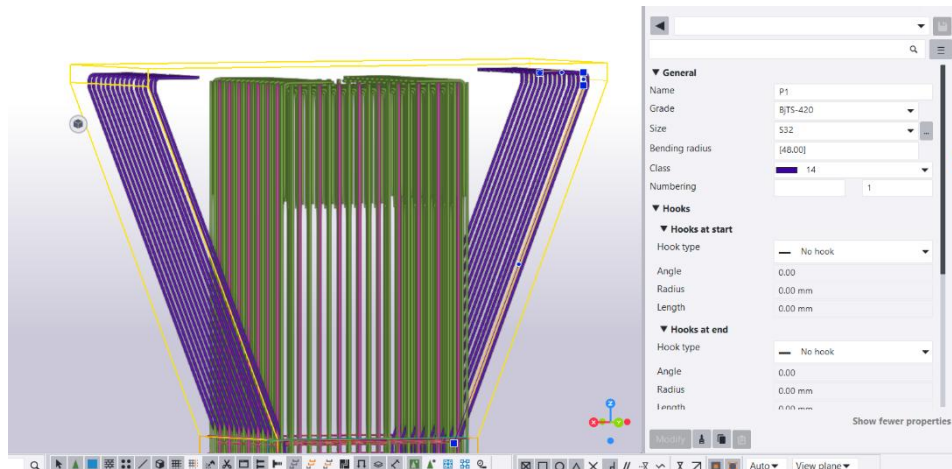
Pemodelan dilakukan berdasarkan dimensi yang terdapat pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) menggunakan kombinasi beberapa elemen beton pada *Tekla Structures*. Proses pemodelan diawali dengan pembentukan geometri utama *pier head* yang kemudian disesuaikan dengan dimensi pada gambar perencanaan hingga membentuk konfigurasi struktur yang diinginkan. Mengingat dimensi *pier head* lebih bervariasi dibandingkan elemen *pier*, proses pemodelan dilakukan secara bertahap untuk memastikan kesesuaian model dengan dokumen perencanaan. Hasil pemodelan struktur *pier head* dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Pemodelan Struktur *Pier head*
(Sumber: Data Pribadi)

9. Pemodelan Tulangan *Pier head*

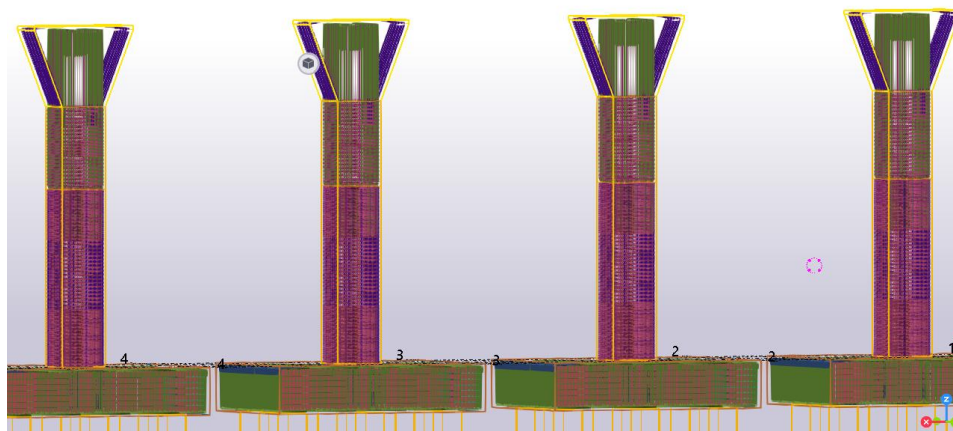
Setelah model beton *pier head* selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pemodelan tulangan berdasarkan detail pembesian yang terdapat pada dokumen DED. Pemodelan dilakukan menggunakan fitur *single rebar* pada *Tekla Structures* karena bentuk dan konfigurasi pembesian pada *pier head* cukup bervariasi sehingga memerlukan penyesuaian secara individual pada setiap batang tulangan. Penggunaan *single rebar* memberikan fleksibilitas dalam membentuk detail pembesian sesuai kebutuhan desain, terutama pada bagian-bagian yang tidak dapat dimodelkan secara optimal menggunakan komponen pembesian otomatis. Parameter yang dimasukkan meliputi diameter tulangan, panjang batang, bentuk tekukan, panjang penyaluran, serta posisi tulangan sesuai dengan dokumen perencanaan. Hasil pemodelan tulangan *pier head* dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Pemodelan Tulangan *Pier head*
(Sumber: Data Pribadi)

10. Pemeriksaan Model (*Model Checking*)

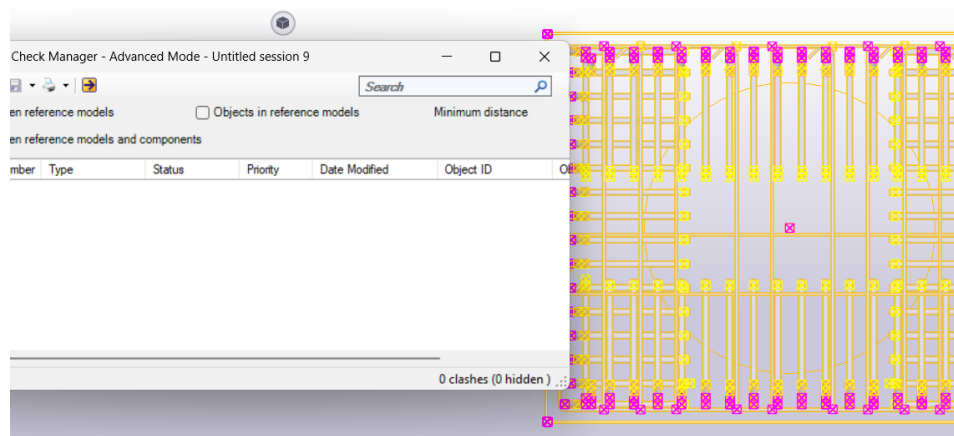
Setelah seluruh elemen struktur dan tulangan selesai dimodelkan, dilakukan tahap *model checking* untuk memastikan bahwa model telah sesuai dengan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Pemeriksaan dilakukan terhadap dimensi elemen struktur, konfigurasi pembesian, serta keterhubungan antara *pilecap*, *pier*, dan *Pier head* dalam model. Hasil keseluruhan pemodelan struktur yang telah selesai dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Hasil Pemodelan Struktur P64–P67
(Sumber: Data Pribadi)

Model yang telah terbentuk selanjutnya diperiksa menggunakan fitur pemeriksaan pada *Tekla Structures* untuk mengidentifikasi kemungkinan

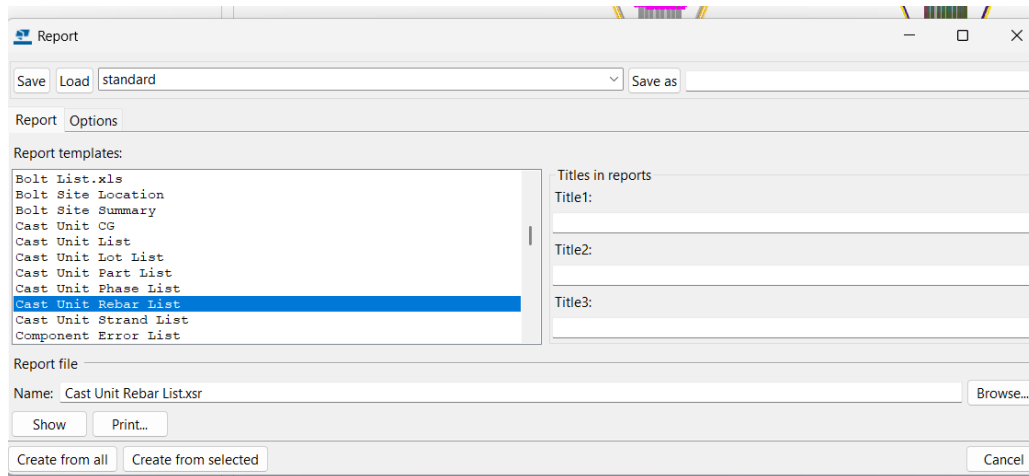
terjadinya *clash* antar elemen maupun antar tulangan yang dapat memengaruhi keakuratan model. Selain itu, dilakukan verifikasi terhadap dimensi, posisi elemen, dan konfigurasi pembesian agar sesuai dengan data perencanaan yang digunakan. Tahap *model checking* ini bertujuan untuk memastikan bahwa model telah memenuhi kebutuhan analisis dan siap digunakan pada proses pengeluaran data *quantity take-off* (QTO). Proses pemeriksaan model dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5. 13 Proses *Model Checking* Menggunakan *Clash Check Manager*
(Sumber: Data Pribadi)

11. Pengeluaran Data *Quantity Take-Off* (QTO)

Setelah model dinyatakan sesuai melalui tahap *model checking*, dilakukan proses pengeluaran data *quantity take-off* (QTO) menggunakan fitur yang tersedia pada *Tekla Structures*. Proses ini dilakukan untuk memperoleh informasi kuantitas pekerjaan secara otomatis berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat. Data yang dihasilkan meliputi volume beton dan berat tulangan pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* untuk struktur P64, P65, P66, dan P67 yang menjadi objek penelitian. Pengeluaran data dilakukan melalui pembuatan laporan (*report*) berdasarkan informasi geometri dan pembesian yang tersimpan dalam model sehingga kuantitas yang diperoleh sesuai dengan hasil pemodelan yang telah dilakukan. Data tersebut selanjutnya digunakan dalam analisis kuantitas pekerjaan menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM). Proses pengeluaran data *quantity take-off* (QTO) dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5. 14 Proses Pengeluaran Data *Quantity Take-Off* (QTO)
(Sumber: Data Pribadi)

Setelah proses pengeluaran data dilakukan, *Tekla Structures* menghasilkan laporan *quantity take-off* (QTO) yang memuat informasi kuantitas pekerjaan berdasarkan model yang telah dibuat. Laporan tersebut menyajikan data volume beton dan berat tulangan untuk setiap elemen struktur yang dimodelkan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis kuantitas pekerjaan pada penelitian ini. Contoh hasil laporan *quantity take-off* (QTO) yang dihasilkan dari *Tekla Structures* dapat dilihat pada Gambar 5.15.

List

Report

CAST UNIT

BILL OF QUANTITIES

PROJECT NUMBER: 1

PROJECT NAME: Trimble

Page 1

Date: 14.06.2026

Cast unit

Count

Main part material

Volume (m³)

Weight (kg)

P/O(?)

2

Concr***

69.06

165756.0

Reinforcement:

Type

Pos

Count

Grade

Diam

Legnth

A

B

C

D

E

F

kg/one

kg/all

00

32

BjT***

S32

9860

9863

62.2

1992.5

11

132

BjT***

S32

11860

55011370

74.9

9658.6

26

100

BjT***

S32

11170

8368

216

2599

100

194

70.5

7053.5

34

30

BjT***

S32

6300

1321

4323

169

1657

566

3993

39.8

1194.5

99

841

BjT***

S16

8680

13.7

6968.1

Reinforcement total weight (kg):

26867.2

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):

192623.2

Cast unit

Count

Main part material

Volume (m³)

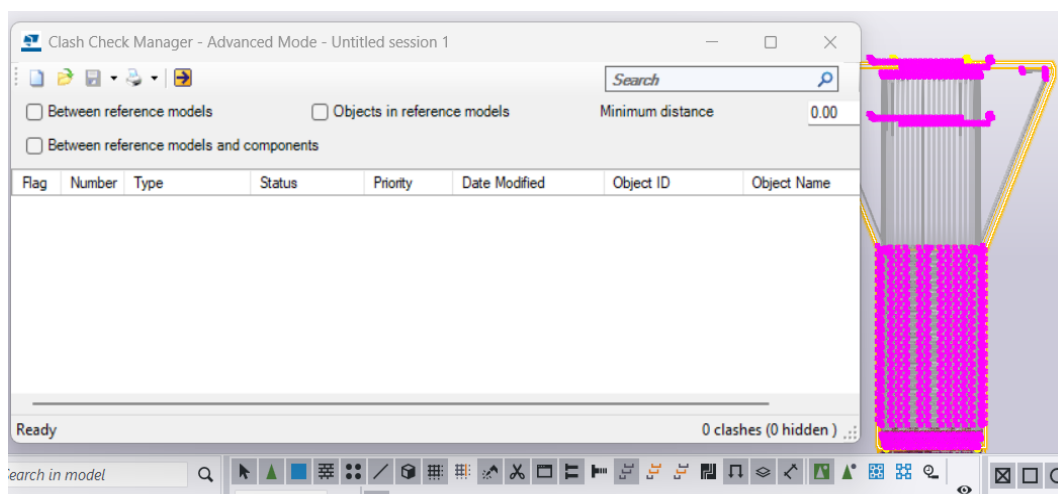
Weight (kg)

Gambar 5. 15 Proses Pengeluaran Data *Quantity Take-Off* (QTO)
(Sumber: Data Pribadi)

5.2.2 Clash Detection

Setelah proses pemodelan selesai dilakukan, model diperiksa menggunakan fitur *Clash Check Manager* pada *Tekla Structures* untuk mengidentifikasi potensi *clash* antar elemen maupun antar tulangan. Pemeriksaan dilakukan dengan nilai toleransi (*tolerance*) sebesar 0 mm sehingga setiap potensi benturan pada model dapat terdeteksi secara langsung. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang digunakan telah sesuai dengan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

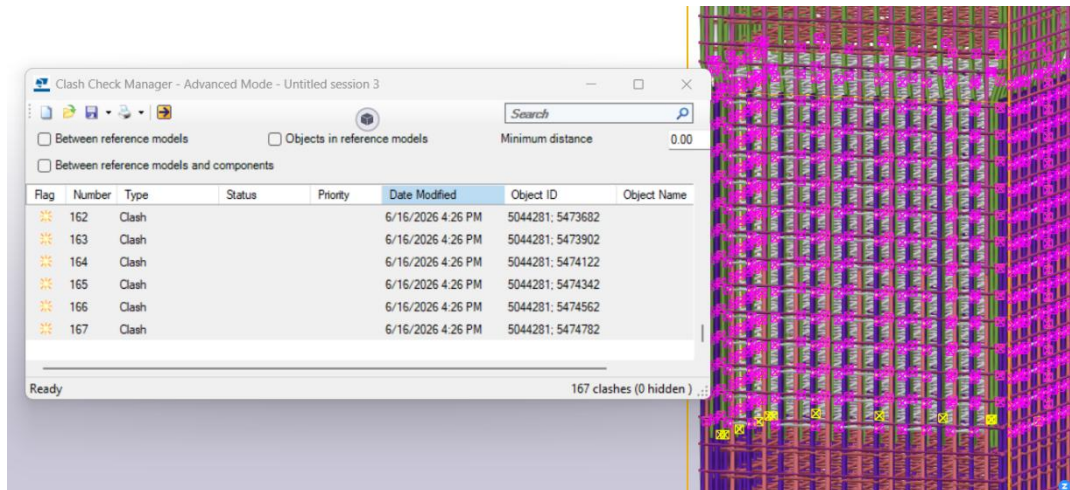
Berdasarkan hasil pemeriksaan, secara umum tidak ditemukan *clash* pada elemen struktur maupun detail pembesian yang dimodelkan. Namun, ditemukan potensi *clash* pada area sambungan (*lapping*) tulangan longitudinal pier. Hasil pemeriksaan *clash detection* ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5. 16 Hasil Pemeriksaan *Clash Detection* pada Model
(Sumber: Data Pribadi)

Meskipun tidak ditemukan *clash* pada model secara keseluruhan, pemeriksaan lebih lanjut pada area sambungan (*lapping*) tulangan longitudinal pier menunjukkan adanya potensi konflik geometrik. Pada daerah sambungan, jumlah batang tulangan dalam satu penampang menjadi empat batang yang tersusun berdekatan sehingga beberapa tulangan sengkang berpotensi berpotongan dengan bagian tekukan tulangan longitudinal dan terdeteksi sebagai *clash* pada model tiga dimensi. Berdasarkan hasil pemeriksaan menggunakan *Clash Check Manager*

dengan nilai toleransi (*tolerance*) 0 mm, teridentifikasi sebanyak 167 *clash* yang seluruhnya terkonsentrasi pada area sambungan tulangan longitudinal *pier*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Hasil Pemeriksaan *Clash Detection* pada tulangan lapping
(Sumber: Data Pribadi)

Temuan tersebut tidak menunjukkan adanya kesalahan pemodelan, melainkan merupakan konsekuensi dari konfigurasi pembesian pada area sambungan tulangan. Seluruh *clash* yang teridentifikasi berada pada area *lapping* dan tidak ditemukan pada elemen struktur maupun area pembesian lainnya. Oleh karena itu, fitur *clash detection* pada *Tekla Structures* dapat membantu mengidentifikasi area dengan tingkat kepadatan pembesian yang tinggi sehingga potensi permasalahan pada tahap pelaksanaan dapat diketahui lebih awal.

Berdasarkan hasil pemeriksaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa model struktur yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi ketentuan geometrik dan tidak memiliki *clash* yang memengaruhi validitas model secara keseluruhan. Selain itu, penerapan *clash detection* membantu mengidentifikasi potensi konflik pembesian yang sulit diamati melalui gambar dua dimensi sehingga dapat menjadi bahan evaluasi sebelum pekerjaan konstruksi dilaksanakan. Kemampuan ini menunjukkan salah satu keunggulan BIM dalam mendukung proses verifikasi desain secara lebih komprehensif dibandingkan metode konvensional sebelum pelaksanaan konstruksi dimulai.

5.3 Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi hasil *quantity take-off* (QTO) pekerjaan struktur antara metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Analisis difokuskan pada elemen struktur beton bertulang yang meliputi *pilecap*, *pier*, dan *pier head* sebagai elemen utama penopang struktur jalur layang LRT. Evaluasi dilakukan menggunakan gambar *Detailed Engineering Design* (DED) yang sama sehingga proses perbandingan hasil perhitungan antara kedua metode dapat dilakukan secara konsisten dan objektif.

Metode konvensional dilakukan melalui perhitungan volume beton dan berat tulangan berdasarkan interpretasi gambar dua dimensi serta data teknis yang tercantum pada dokumen perencanaan. Sementara itu, metode *Building Information Modeling* (BIM) dilakukan melalui proses pemodelan tiga dimensi menggunakan *Tekla Structures* yang mampu menghasilkan data *quantity take-off* secara otomatis berdasarkan model struktur yang telah dibuat. Hasil yang diperoleh dari kedua metode selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui selisih dan tingkat deviasi volume beton serta kebutuhan tulangan pada masing-masing elemen struktur, sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai tingkat kesesuaian hasil perhitungan antara metode konvensional dan metode BIM menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

5.3.1 Analisis Quantity Take-Off (QTO) Metode Konvensional

Perhitungan *quantity take-off* (QTO) metode konvensional dilakukan berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) dan *shop drawing* pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Perhitungan dilakukan secara manual dengan mengacu pada dimensi elemen struktur, detail pembesian, panjang tulangan, jumlah batang, serta diameter tulangan yang digunakan pada masing-masing elemen struktur. Elemen yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi *pilecap* serta *pier* dan *pier head* pada struktur P64 sampai dengan P67.

Perhitungan kebutuhan tulangan dilakukan berdasarkan panjang total tulangan dan berat satuan sesuai diameter tulangan yang digunakan. Berat satuan tulangan dihitung menggunakan Persamaan 3.1, sedangkan total berat tulangan

dihitung menggunakan Persamaan 3.2. Sebagai contoh, salah satu kode tulangan pada elemen *pilecap* memiliki panjang 1.200 cm dengan jumlah 146 batang dan diameter D25. Panjang tulangan terlebih dahulu dikonversi menjadi 12 m, kemudian berat satuan tulangan dihitung sebagai berikut.

$$w = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times \frac{25^2}{1000} \right) \times 7850 = 3,854 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya, total berat tulangan dihitung menggunakan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$W = 12 \times 146 \times 3,854 = 6.750,456 \text{ kg}$$

Perhitungan tersebut dilakukan pada seluruh kode pembesian yang terdapat pada masing-masing elemen struktur. Berdasarkan hasil identifikasi gambar kerja, dimensi dan konfigurasi pembesian *pilecap* P64, P65, P66, dan P67 memiliki spesifikasi yang sama sehingga hasil perhitungan kebutuhan tulangan pada keempat elemen tersebut bernilai identik. Oleh karena itu, rekapitulasi detail kebutuhan tulangan hanya ditampilkan pada *pilecap* P64 sebagai representasi perhitungan untuk struktur lainnya. Rekapitulasi kebutuhan tulangan *pilecap* P64 dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan *Pilecap* P64

No Kode	Panjang (cm)	Jumlah	Diameter (mm)	Jumlah Berat (kg)
F1	1.200	146	25	6.750,456
F1'	180	146	25	1.012,568
F2	820	97	25	3.064,676
F3	580	146	32	5.345,848
F3'	1.200	146	32	11.060,376
F4	1.190	97	32	7.287,096
F5	1.200	12	19	320,544
F5'	866	12	19	231,326
F6	249	912	16	3.583,449
Total				38.656,339

Berdasarkan Tabel 5.1, total kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* P64 diperoleh sebesar 38.656,339 kg. Kebutuhan tulangan tersebut merupakan hasil akumulasi dari seluruh kode pembesian yang digunakan pada elemen *pilecap*, mulai dari tulangan lapis atas, tulangan lapis bawah, tulangan peminggang, hingga tulangan *ties*. Nilai terbesar terdapat pada kode tulangan F3' dan F4 yang menggunakan diameter D32, sehingga memberikan kontribusi paling besar terhadap total berat tulangan.

Berdasarkan hasil identifikasi gambar kerja, *pilecap* P64, P65, P66, dan P67 memiliki dimensi serta konfigurasi pembesian yang sama. Oleh karena itu, hasil perhitungan kebutuhan tulangan pada *pilecap* P64 dapat digunakan sebagai representasi untuk *pilecap* lainnya. Rekapitulasi total kebutuhan tulangan *pilecap* P64 sampai dengan P67 ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Total Kebutuhan Tulangan *Pilecap*

Struktur	Berat Tulangan (kg)
P64	38.656,339
P65	38.656,339
P66	38.656,339
P67	38.656,339
Total	154.625,356

Setelah diperoleh rekapitulasi kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap*, perhitungan dilanjutkan pada elemen *pier* dan *pier head*. Berbeda dengan *pilecap* yang memiliki dimensi dan konfigurasi pembesian yang seragam, elemen *pier* dan *pier head* pada struktur P64 sampai dengan P67 memiliki variasi dimensi, tinggi struktur, serta detail pembesian yang berbeda pada masing-masing titik. Perbedaan tersebut menyebabkan kebutuhan tulangan pada setiap struktur tidak dapat disamaratakan sehingga perhitungan harus dilakukan secara terpisah untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Rekapitulasi kebutuhan tulangan *pier* dan *pier head* pada struktur P64 ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan *Pier* dan *Pier head* P64

No Kode	Panjang (cm)	Jumlah	Diameter (mm)	Jumlah Berat (kg)
C1a	1.200	100	32	7.575,600
C1b	1.125	32	32	2.272,680
C1c	1.121	100	32	7.078,767
C1d	991	32	32	2.002,585
C1e	205	132	32	1.708,298
P1	635	30	32	1.201,680
C2	877,4	44	16	609,196
C3	534,6	132	16	1.113,550
C3'	559,2	44	16	388,264
C4	444,2	132	16	925,251
C4'	469	84	16	621,669
C5	877,4	54	16	747,650
C6	534,6	162	16	1.366,630
C6'	559,2	54	16	476,506
C7	444,2	162	16	1.135,535
C7'	469	108	16	799,289
Total				30.023,150

Berdasarkan Tabel 5.3, total kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* P64 diperoleh sebesar 30.023,150 kg. Kebutuhan tulangan terbesar terdapat pada kode pembesian C1a dan C1c yang menggunakan diameter D32 sebagai tulangan utama struktur. Sementara itu, tulangan dengan diameter D16 digunakan sebagai tulangan pengikat dan *ties* yang berfungsi menjaga kestabilan konfigurasi pembesian pada elemen *pier* dan *Pier head*.

Perhitungan kebutuhan tulangan selanjutnya dilakukan pada elemen *pier* dan *pier head* P65. Secara umum, konfigurasi pembesian pada struktur P65 memiliki kesamaan dengan struktur sebelumnya, namun terdapat beberapa penyesuaian dimensi pada beberapa kode pembesian yang memengaruhi kebutuhan tulangan yang digunakan. Perbedaan tersebut menyebabkan panjang dan berat beberapa tulangan tidak sepenuhnya sama dengan struktur P64. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan tulangan tetap dilakukan secara terpisah untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi perencanaan pada dokumen *Detailed Engineering*

Design (DED). Rekapitulasi kebutuhan tulangan pier dan *pier head* P65 ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan *Pier* dan *Pier head* P65

No Kode	Panjang (cm)	Jumlah	Diameter (mm)	Jumlah Berat (kg)
C1a	1.200	100	32	7.575,600
C1b	1.125	32	32	2.272,680
C1c	1.112	100	32	7.018,162
C1d	982	32	32	1.983,191
C1e	205	132	32	1.708,298
P1	635	30	32	1.201,680
C2	877,4	44	16	609,196
C3	534,6	132	16	1.113,550
C3'	559,2	44	16	388,264
C4	444,2	132	16	925,251
C4'	469	84	16	621,669
C5	877,4	54	16	747,650
C6	534,6	162	16	1.366,630
C6'	559,2	54	16	476,506
C7	444,2	162	16	1.135,535
C7'	469	108	16	799,289
Total				29.943,151

Berdasarkan Tabel 5.4, total kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* P65 diperoleh sebesar 29.943,151 kg. Secara umum, kebutuhan tulangan pada struktur P65 memiliki nilai yang relatif mendekati struktur P64 karena konfigurasi pembesian yang digunakan masih serupa pada sebagian besar elemen struktur.

Perhitungan kebutuhan tulangan selanjutnya dilakukan pada elemen *pier* dan *pier head* P66. Secara umum, konfigurasi pembesian pada struktur P66 masih memiliki kesamaan dengan struktur sebelumnya, dengan beberapa penyesuaian dimensi pada tulangan utama yang memengaruhi kebutuhan tulangan secara keseluruhan. Perbedaan tersebut menyebabkan panjang dan berat beberapa kode tulangan mengalami perubahan dibandingkan struktur sebelumnya. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan tulangan dilakukan secara terpisah agar hasil yang diperoleh

sesuai dengan detail perencanaan yang tercantum pada dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Rekapitulasi kebutuhan tulangan *pier* dan *pier head* P66 ditunjukkan pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan *Pier* dan *Pier head* P66

No Kode	Panjang (cm)	Jumlah	Diameter (mm)	Jumlah Berat (kg)
C1a	1.200	100	32	7.575,600
C1b	1.070	32	32	2.161,571
C1c	1.107	100	32	6.987,228
C1d	997	32	32	1.973,292
C1e	205	132	32	1.708,298
P1	635	30	32	1.201,680
C2	877,4	44	16	609,196
C3	534,6	132	16	1.113,550
C3'	559,2	44	16	388,264
C4	444,2	132	16	925,251
C4'	469	84	16	621,669
C5	877,4	54	16	747,650
C6	534,6	162	16	1.366,630
C6'	559,2	54	16	476,506
C7	444,2	162	16	1.135,535
C7'	469	108	16	799,289
Total				29.791,209

Berdasarkan Tabel 5.5, total kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* P66 diperoleh sebesar 29.791,209 kg. Secara umum, kebutuhan tulangan pada struktur P66 masih berada pada rentang yang relatif mendekati struktur sebelumnya karena sebagian besar konfigurasi pembedaan yang digunakan memiliki spesifikasi yang serupa.

Perhitungan kebutuhan tulangan selanjutnya dilakukan pada elemen *pier* dan *pier head* P67. Secara umum, konfigurasi pembedaan pada struktur P67 masih serupa dengan struktur sebelumnya, dengan beberapa penyesuaian jumlah tulangan pada beberapa kode pembedaan utama. Rekapitulasi kebutuhan tulangan *pier* dan *pier head* P67 ditunjukkan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan *Pier* dan *Pier head* P67

No Kode	Panjang (cm)	Jumlah	Diameter (mm)	Jumlah Berat (kg)
C1a	1.200	100	32	7.575,600
C1b	1.125	32	32	2.272,680
C1c	1.121	100	32	7.078,767
C1d	991	32	32	2.002,585
C1e	205	132	32	1.708,298
P1	635	30	32	1.201,680
C2	877,4	44	16	609,196
C3	534,6	132	16	1.113,550
C3'	559,2	44	16	388,264
C4	444,2	132	16	925,251
C4'	469	84	16	621,669
C5	877,4	54	16	747,650
C6	534,6	162	16	1.366,630
C6'	559,2	54	16	476,506
C7	444,2	162	16	1.135,535
C7'	469	108	16	799,289
Total				30.023,150

Berdasarkan Tabel 5.6, total kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* P67 diperoleh sebesar 30.023,150 kg. Secara umum, kebutuhan tulangan pada struktur P67 masih menunjukkan konfigurasi pembesian yang serupa dengan struktur sebelumnya, dengan dominasi penggunaan tulangan utama diameter D32 dan tulangan pengikat diameter D16 pada elemen struktur. Hal ini menunjukkan bahwa pola pembesian yang digunakan relatif konsisten dengan struktur lainnya.

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* serta *pier* dan *pier head* P64 sampai dengan P67, selanjutnya dilakukan rekapitulasi total kebutuhan tulangan metode konvensional pada seluruh elemen struktur yang dianalisis. Rekapitulasi tersebut bertujuan untuk mengetahui total kebutuhan tulangan keseluruhan yang nantinya digunakan sebagai dasar pembandingan terhadap hasil *quantity take-off* (QTO) menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) dengan *Tekla Structures*. Rekapitulasi total kebutuhan tulangan metode konvensional ditunjukkan pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Total Kebutuhan Tulangan Metode Konvensional

Struktur	<i>Pilecap</i> (kg)	<i>Pier dan Pier head</i> (kg)	Total (kg)
P64	38.656,339	30.023,150	68.679,489
P65	38.656,339	29.943,151	68.599,490
P66	38.656,339	29.791,209	68.447,548
P67	38.656,339	30.023,150	68.679,489
Total	154.625,356	119.780,660	274.406,016

Berdasarkan Tabel 5.7, total kebutuhan tulangan metode konvensional pada seluruh elemen struktur yang dianalisis diperoleh sebesar 274.406,016 kg. Kebutuhan tulangan terbesar terdapat pada elemen *pilecap* karena dimensi elemen dan konfigurasi pembesian utama yang digunakan relatif lebih besar dibandingkan elemen *pier* dan *pier head*. Hasil rekapitulasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar pembandingan terhadap hasil *quantity take-off* (QTO) yang diperoleh melalui pemodelan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada subbab berikutnya.

Perhitungan volume beton pada elemen *pilecap* dilakukan berdasarkan dimensi geometris elemen yang diperoleh dari gambar *Detail Engineering Design* (DED). Volume beton dihitung menggunakan Persamaan 3.3 tanpa mengurangi volume tulangan, karena pekerjaan pembesian dihitung secara terpisah dalam satuan berat (kg). Pendekatan ini juga digunakan pada perhitungan *quantity take-off* (QTO) di *Tekla Structures* melalui parameter *gross volume*, sehingga hasil perhitungan metode konvensional dan metode BIM dapat dibandingkan secara setara.

Berdasarkan hasil identifikasi gambar kerja, pilecap P64, P65, P66, dan P67 memiliki dimensi yang sama, yaitu panjang 12 m, lebar 7,5 m, dan tinggi 2,5 m. Oleh karena itu, hasil perhitungan volume beton pada *pilecap* P64 dapat digunakan sebagai representasi untuk pilecap lainnya. Perhitungan volume beton *pilecap* P64 dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$V_b = 12 \times 7,5 \times 2,5 = 225 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, volume beton pada elemen *pilecap* P64 diperoleh sebesar 225 m^3 . Karena *pilecap* P65, P66, dan P67 memiliki dimensi yang identik, maka volume beton pada masing-masing elemen juga memiliki nilai yang sama. Rekapitulasi volume beton *pilecap* P64 sampai dengan P67 ditunjukkan pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Volume Beton *Pilecap* Metode Konvensional

Struktur	Volume Beton (m^3)
P64	225
P65	225
P66	225
P67	225
Total	900

Perhitungan volume beton pada elemen *pier* dan *pier head* dilakukan berdasarkan dimensi geometris elemen yang diperoleh dari gambar *Detail Engineering Design* (DED). Volume beton dihitung menggunakan Persamaan 3.3 tanpa mengurangi volume tulangan, karena pekerjaan pembesian dihitung secara terpisah dalam satuan berat (kg). Pendekatan ini juga digunakan pada perhitungan *quantity take-off* (QTO) di *Tekla Structures* melalui parameter *gross volume*, sehingga hasil perhitungan metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) dapat dibandingkan secara setara. Berdasarkan hasil identifikasi gambar kerja, elemen *pier* dan *pier head* P64, P65, P66, dan P67 memiliki dimensi yang relatif serupa. Oleh karena itu, perhitungan volume beton secara rinci hanya ditampilkan pada elemen P64 sebagai representasi, sedangkan elemen P65, P66, dan P67 disajikan dalam bentuk rekapitulasi.

Perhitungan volume beton elemen *pier* dan *pier head* dilakukan dengan membagi struktur menjadi dua bagian utama, yaitu badan *pier* dan *pier head*. Pada penelitian ini, geometri *pier head* dimodelkan sebagai gabungan bangun trapesium dan persegi panjang sesuai dimensi pada gambar DED. Pendekatan tersebut digunakan untuk merepresentasikan bentuk geometris *pier head* secara sederhana sehingga proses perhitungan volume beton dapat dilakukan secara sistematis dan

konsisten. Badan *pier* memiliki dimensi panjang 2,00 m, lebar 2,50 m, dan tinggi 13,813 m. Perhitungan volume beton badan *pier* dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$V_b = 2,0 \times 2,5 \times 13,813 = 69,065 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, volume beton pada badan *pier* diperoleh sebesar 69,065 m³. Selanjutnya, volume beton *pier head* dihitung berdasarkan penjumlahan volume bagian trapesium dan volume bagian persegi panjang. Bagian utama *pier head* berbentuk trapesium dengan lebar atas 5,75 m, lebar bawah 2,50 m, tinggi 4,00 m, dan lebar memanjang 2,00 m. Luas penampang trapesium dihitung menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$A_t = \frac{(5,75 + 2,5)}{2} \times 4 = 16,5 \text{ m}^2$$

Volume beton bagian trapesium kemudian dihitung menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$V_t = 16,5 \times 2 = 33 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, volume beton pada bagian trapesium *pier head* diperoleh sebesar 33,000 m³. Selain bagian trapesium, *pier head* juga memiliki bagian atas berbentuk persegi panjang dengan panjang 5,75 m, lebar 2,00 m, dan tinggi 0,20 m. Perhitungan volume beton bagian persegi panjang dilakukan menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$V_b = 5,75 \times 2 \times 0,2 = 2,3 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, volume beton pada bagian persegi panjang *pier head* diperoleh sebesar 2,3 m³. Volume beton *pier head* diperoleh dari penjumlahan volume bagian trapesium dan volume bagian persegi panjang sebagai berikut.

$$V_{\text{pierhead}} = 33 + 2,3 = 35,3 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, volume beton *pier head* diperoleh sebesar 35,300 m³. Total volume beton elemen *pier* dan *pier head* diperoleh dari penjumlahan volume badan *pier* dan volume *pier head* sebagai berikut.

$$V = 69,065 + 35,3 = 104,365 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, total volume beton gabungan elemen *pier* dan *pier head* pada P64 diperoleh sebesar 104,365 m³. Rekapitulasi volume beton elemen *pier* dan *pier head* metode konvensional untuk P64 sampai dengan P67 ditunjukkan pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Volume Beton *Pier* + *Pier head* Metode Konvensional

Struktur	Volume Beton (m ³)
P64	104,365
P65	103,585
P66	103,640
P67	103,070
Total	414,660

Setelah diperoleh volume beton pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head*, selanjutnya dilakukan rekapitulasi untuk mengetahui total volume beton struktur bawah pada P64 sampai dengan P67. Rekapitulasi ini dilakukan dengan menjumlahkan volume beton *pilecap* dan volume beton gabungan *pier* serta *pier head* pada masing-masing struktur

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Volume Beton Struktur Metode Konvensional

Struktur	Volume Beton <i>Pilecap</i> (m ³)	Volume Beton <i>Pier</i> + <i>Pier head</i> (m ³)	Total Volume Beton (m ³)
P64	225,000	104,365	329,365
P65	225,000	103,885	328,885
P66	225,000	103,640	328,640
P67	225,000	103,070	328,070
Total	900,000	414,960	1.314,960

Berdasarkan Tabel 5.10, total volume beton struktur bawah pada P64 sampai dengan P67 menggunakan metode konvensional diperoleh sebesar 1.314,960 m³. Jumlah tersebut terdiri dari volume beton *pilecap* sebesar 900,000 m³ dan volume beton gabungan *pier* serta *pier head* sebesar 414,960 m³. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar perbandingan terhadap hasil *quantity take-off* (QTO) yang diperoleh dari pemodelan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada tahap analisis berikutnya.

5.3.2 Analisis Quantity Take-Off (QTO) Menggunakan *Tekla Structures*

Analisis *quantity take-off* (QTO) menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) dilakukan berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak *Tekla Structures*. Data kuantitas pekerjaan diperoleh melalui proses pengeluaran *report* setelah seluruh elemen struktur *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada titik P64, P65, P66, dan P67 selesai dimodelkan dan dinyatakan sesuai melalui proses *model checking*. Informasi yang dihasilkan meliputi kebutuhan tulangan dan volume beton yang tersimpan pada model sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis kuantitas pekerjaan struktur.

Perhitungan kuantitas menggunakan *Tekla Structures* dilakukan secara otomatis berdasarkan informasi geometri dan pembesian yang telah dimodelkan. Berbeda dengan metode konvensional yang memerlukan proses interpretasi gambar dua dimensi serta perhitungan manual, metode *Building Information Modeling* (BIM) menghasilkan data kuantitas secara langsung dari model tiga dimensi. Dengan demikian, seluruh perubahan yang dilakukan pada model akan memperbarui informasi kuantitas secara otomatis sehingga konsistensi data dapat terjaga selama proses analisis.

Berdasarkan hasil *quantity take-off* yang dihasilkan oleh *Tekla Structures*, diperoleh kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* untuk struktur P64 sampai dengan P67. Rekapitulasi kebutuhan tulangan tersebut mencakup seluruh elemen struktur yang dimodelkan dan digunakan sebagai dasar dalam analisis perbandingan dengan hasil perhitungan metode konvensional. Hasil perhitungan kebutuhan tulangan untuk masing-masing struktur ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan dengan *Tekla Structures*

Struktur	<i>Pilecap</i> (kg)	<i>Pier dan Pier head</i> (kg)	Total (kg)
P64	35.927,600	29.504,100	65.431,700
P65	35.927,600	29.405,900	65.333,500
P66	35.927,600	29.355,800	65.283,400
P67	35.927,600	29.239,200	65.166,800
Total	143.710,400	117.505,000	261.215,400

Berdasarkan Tabel 5.11, total kebutuhan tulangan yang diperoleh dari hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures* sebesar 261.215,400 kg. Kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* untuk struktur P64 sampai dengan P67 memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 35.927,600 kg pada setiap struktur. Sementara itu, kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* menunjukkan variasi pada masing-masing struktur, dengan nilai terbesar terdapat pada struktur P64 sebesar 29.504,100 kg dan nilai terkecil pada struktur P67 sebesar 29.239,200 kg. Hasil rekapitulasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar pembandingan terhadap hasil perhitungan kebutuhan tulangan menggunakan metode konvensional pada tahap analisis berikutnya.

Selain menghasilkan data kebutuhan tulangan, *Tekla Structures* juga menghasilkan data volume beton berdasarkan parameter *gross volume* yang tersimpan pada model. Parameter tersebut digunakan agar dasar perhitungan volume beton yang dihasilkan memiliki kesesuaian dengan metode konvensional sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara setara. Rekapitulasi volume beton hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures* ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Volume Beton Menggunakan *Tekla Structures*

Struktur	Volume Beton <i>Pilecap</i> (m ³)	Volume Beton <i>Pier + Pier head</i> (m ³)	Total Volume Beton (m ³)
P64	225,000	104,365	329,365
P65	225,000	103,885	328,885
P66	225,000	103,640	328,640
P67	225,000	103,070	328,070
Total	900,000	414,960	1.314,960

Berdasarkan Tabel 5.12, total volume beton yang diperoleh dari hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures* sebesar 1.314,960 m³. Jumlah tersebut terdiri dari volume beton *pilecap* sebesar 900,000 m³ dan volume beton gabungan elemen *pier* serta *pier head* sebesar 414,960 m³. Volume beton *pilecap* pada struktur P64 sampai dengan P67 memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 225,000 m³ untuk setiap struktur. Sementara itu, volume beton gabungan elemen *pier* dan *pier head* menunjukkan variasi pada masing-masing struktur sesuai dengan dimensi geometris yang dimodelkan. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perbandingan terhadap hasil perhitungan metode konvensional untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil *quantity take-off* yang diperoleh dari kedua metode.

Berdasarkan hasil *quantity take-off* yang diperoleh, *Tekla Structures* mampu menghasilkan data kebutuhan tulangan dan volume beton secara otomatis berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat. Data kuantitas yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis perbandingan antara metode *Building Information Modeling* (BIM) dan metode konvensional yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

5.3.3 Perbandingan Hasil Quantity Take-Off (QTO)

Setelah diperoleh hasil perhitungan kuantitas pekerjaan menggunakan metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures*, selanjutnya dilakukan perbandingan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil yang diperoleh dari kedua metode tersebut. Perbandingan dilakukan terhadap kebutuhan tulangan dan volume beton pada elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* untuk struktur P64 sampai dengan P67. Analisis perbandingan dilakukan dengan menghitung selisih dan deviasi antara hasil metode konvensional dan hasil *quantity take-off* yang diperoleh dari *Tekla Structures*. Nilai deviasi digunakan untuk menunjukkan besarnya perbedaan hasil yang diperoleh dari kedua metode terhadap hasil perhitungan konvensional.

Sebagai contoh, perhitungan deviasi kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* struktur P64 dilakukan sebagai berikut.

$$\text{Deviasi} = \frac{38.656,339 - 35.927,600}{38.656,339} \times 100\% = 7,06\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai deviasi kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* struktur P64 sebesar 7,06%. Perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh elemen struktur yang dianalisis sehingga diperoleh hasil perbandingan kebutuhan tulangan pada elemen *pilecap* antara metode konvensional dan *Tekla Structures* ditunjukkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Elemen *Pilecap*

Struktur	Konvensional (kg)	<i>Tekla Structures</i> (kg)	Selisih (kg)	Deviasi (%)
P64	38.656,339	35.927,600	2.728,739	7,06
P65	38.656,339	35.927,600	2.728,739	7,06
P66	38.656,339	35.927,600	2.728,739	7,06
P67	38.656,339	35.927,600	2.728,739	7,06
Total	154.625,356	143.710,400	10.914,956	7,06

Berdasarkan Tabel 5.13, kebutuhan tulangan elemen *pilecap* yang diperoleh menggunakan metode konvensional menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures* pada seluruh struktur yang dianalisis. Selisih kebutuhan tulangan pada setiap struktur memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 2.728,739 kg. Kondisi tersebut terjadi karena elemen *pilecap* pada struktur P64 sampai dengan P67 memiliki dimensi dan konfigurasi pembesian yang sama sehingga menghasilkan kebutuhan tulangan yang identik pada masing-masing struktur. Nilai deviasi yang diperoleh pada seluruh struktur juga menunjukkan hasil yang sama, yaitu sebesar 7,06%. Secara keseluruhan, total kebutuhan tulangan elemen *pilecap* yang diperoleh menggunakan metode konvensional sebesar 154.625,356 kg, sedangkan hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures* sebesar 143.710,400 kg dengan selisih sebesar 10.914,956 kg.

Perbandingan kebutuhan tulangan pada elemen *pier* dan *pier head* antara metode konvensional dan *Tekla Structures* ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Elemen *Pier* dan *Pier head*

Struktur	Konvensional (kg)	<i>Tekla Structures</i> (kg)	Selisih (kg)	Deviasi (%)
P64	30.023,150	29.504,100	519,050	1,73
P65	29.943,151	29.405,900	537,251	1,79
P66	29.791,209	29.355,800	435,409	1,46
P67	30.023,150	29.239,200	783,950	2,61
Total	119.780,660	117.505,000	2.275,660	1,90

Berdasarkan Tabel 5.14, kebutuhan tulangan elemen *pier* dan *Pier head* yang diperoleh menggunakan metode konvensional juga menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan hasil *quantity take-off* menggunakan *Tekla Structures*. Namun demikian, selisih yang diperoleh relatif lebih kecil dibandingkan elemen *pilecap*. Selisih terbesar terdapat pada struktur P67 sebesar 783,950 kg dengan deviasi sebesar 2,61%, sedangkan selisih terkecil terdapat pada struktur P66 sebesar 435,409 kg dengan deviasi sebesar 1,46%. Perbedaan nilai deviasi pada masing-masing struktur menunjukkan adanya variasi kebutuhan tulangan yang dihasilkan oleh kedua metode sesuai dengan konfigurasi pembesian pada setiap elemen. Secara keseluruhan diperoleh selisih kebutuhan tulangan sebesar 2.275,660 kg dengan deviasi total sebesar 1,90%.

Selain kebutuhan tulangan, dilakukan pula perbandingan terhadap volume beton yang diperoleh dari metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures*. Hasil perbandingan volume beton ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Perbandingan Volume Beton Metode Konvensional dan Metode BIM *Tekla Structures*

Struktur	Konvensional (kg)	<i>Tekla Structures</i> (kg)	Selisih (kg)	Deviasi (%)
P64	329,365	329,365	0,000	0,00
P65	328,885	328,885	0,000	0,00
P66	328,640	328,640	0,000	0,00
P67	328,070	328,070	0,000	0,00
Total	1.314,960	1.314,960	0,000	0,00

Berdasarkan Tabel 5.15, volume beton yang diperoleh menggunakan metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menunjukkan hasil yang sama pada seluruh struktur yang dianalisis. Volume beton pada struktur P64, P65, P66, dan P67 memiliki nilai yang identik antara kedua metode sehingga tidak menghasilkan selisih maupun deviasi. Secara keseluruhan diperoleh total volume beton sebesar 1.314,960 m³ baik pada metode konvensional maupun metode *Tekla Structures*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perhitungan volume beton menggunakan kedua metode memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi karena seluruh dimensi geometris elemen yang digunakan dalam perhitungan berasal dari data *Detailed Engineering Design* (DED) yang sama.

Secara umum, hasil perbandingan menunjukkan bahwa perbedaan kuantitas pekerjaan hanya terjadi pada kebutuhan tulangan, sedangkan volume beton yang diperoleh dari kedua metode menunjukkan hasil yang sama. Deviasi terbesar diperoleh pada kebutuhan tulangan elemen *pilecap* sebesar 7,06%, sedangkan deviasi total kebutuhan tulangan sebesar 4,81%. Sementara itu, volume beton menunjukkan deviasi sebesar 0,00%. Hasil perbandingan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembahasan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan hasil *quantity take-off* antara metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

5.4 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dalam penelitian ini dilakukan melalui wawancara semi terstruktur dengan praktisi yang memiliki pengalaman dalam penerapan *Building Information Modeling* (BIM), khususnya menggunakan perangkat lunak *Tekla Structures*. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas BIM dalam meningkatkan efisiensi waktu pemodelan struktur berdasarkan pengalaman langsung di lapangan. Wawancara difokuskan pada aspek durasi pemodelan untuk mengidentifikasi perbedaan waktu pengerjaan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM, serta menggali

faktor-faktor yang memengaruhi kecepatan pemodelan, peran fitur otomatisasi *Tekla Structures*, dan dampak perubahan desain terhadap waktu pemodelan.

Instrumen wawancara disusun secara sistematis untuk mendukung tujuan penelitian, dengan pertanyaan yang dirancang guna menggali pengalaman, persepsi, dan penilaian narasumber terhadap penggunaan *Tekla Structures* dalam proses pemodelan struktur. Wawancara dilaksanakan secara fleksibel sehingga peneliti dapat mengembangkan pertanyaan lanjutan untuk memperoleh informasi yang lebih mendalam. Hasil wawancara kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan kesamaan pandangan antar narasumber terkait efektivitas penggunaan BIM dalam meningkatkan efisiensi waktu pemodelan. Analisis ini juga digunakan sebagai data pendukung untuk memperkuat hasil analisis kuantitatif sehingga menghasilkan kesimpulan penelitian yang lebih komprehensif dan terintegrasi.

5.4.1 Hasil Rekap Wawancara Semi Terstruktur

Pelaksanaan wawancara diawali dengan kegiatan *briefing* kepada narasumber untuk menjelaskan tujuan penelitian, ruang lingkup pembahasan, serta mekanisme wawancara yang akan dilakukan. Selanjutnya, peneliti menyampaikan pertanyaan inti yang telah disusun dalam instrumen wawancara, dengan tetap memberikan keleluasaan kepada narasumber untuk mengembangkan jawaban berdasarkan pengalaman profesional yang dimiliki. Wawancara dilakukan secara daring menggunakan platform *Zoom Meeting* dan didokumentasikan untuk keperluan analisis lebih lanjut.

Hasil wawancara kemudian ditranskripsikan dan dirangkum ke dalam bentuk poin-poin utama guna mempermudah proses pengolahan dan interpretasi data. Rekap hasil wawancara disusun berdasarkan tema pertanyaan yang telah ditentukan, yaitu terkait perbandingan waktu pemodelan antara metode konvensional dan BIM, faktor-faktor yang memengaruhi durasi pemodelan, kontribusi fitur *Tekla Structures* terhadap efisiensi waktu, serta dampak revisi desain terhadap proses pemodelan. Berikut merupakan hasil rekap wawancara dari masing-masing narasumber.

1. Hasil Wawancara Narasumber 1

Pelaksanaan wawancara dengan narasumber pertama, yaitu Bapak Arief Rahman, S.T., M.M., dilakukan secara daring menggunakan *software Zoom Call Meeting* pada tanggal 13 Januari 2026 pukul 16.00–16.30 WIB. Hasil wawancara semi terstruktur yang telah dilakukan selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel pada bagian berikut.

Tabel 5. 16 Hasil Wawancara Narasumber 1

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Bagaimana pengalaman Anda dalam melakukan pemodelan struktur menggunakan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dengan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i> ?	Pengalaman dalam menggunakan <i>Tekla Structures</i> untuk pemodelan struktur dinilai cukup membantu karena perangkat lunak ini telah dilengkapi dengan <i>template</i> pemodelan serta <i>library</i> elemen struktur yang terintegrasi, sehingga memudahkan proses pemodelan dan membuat pekerjaan menjadi lebih cepat serta terukur. Durasi pemodelan sendiri bergantung pada tingkat kompleksitas struktur yang dimodelkan, sehingga tidak dapat disamaratakan antara satu jenis proyek dengan proyek lainnya, seperti antara bangunan gedung dan jembatan yang memiliki karakteristik berbeda. Namun demikian, apabila dibandingkan dengan metode konvensional, penggunaan <i>Tekla Structures</i> mampu mempercepat proses pemodelan secara signifikan, yaitu sekitar 60% lebih cepat atau setara dengan pengurangan waktu hingga sepertiga dari durasi pemodelan manual.

Lanjutan Tabel 5. 17 Hasil Wawancara Narasumber 1

No.	Pertanyaan	Jawaban
2.	Berdasarkan pengalaman Anda, apakah penggunaan <i>Tekla Structures</i> membuat waktu pemodelan struktur menjadi lebih cepat, sama, atau lebih lama dibandingkan dengan metode konvensional?	Penggunaan <i>Tekla Structures</i> pada dasarnya dapat menghasilkan waktu pemodelan yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional, namun hal tersebut bergantung pada tahapan penggunaannya. Pada tahap awal, terutama ketika memulai dari nol, proses pemodelan di <i>Tekla Structures</i> cenderung membutuhkan waktu lebih lama karena pengguna harus melengkapi berbagai data, seperti material, spesifikasi, dan parameter lainnya sebelum melakukan pemodelan. Berbeda dengan metode konvensional yang dapat langsung dilakukan secara manual, <i>Tekla Structures</i> memerlukan proses <i>setup</i> yang lebih sistematis. Namun, setelah data, material, dan spesifikasi tersebut telah terbangun dengan baik, proses pemodelan menggunakan <i>Tekla Structures</i> menjadi jauh lebih cepat dibandingkan metode konvensional, sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa <i>Tekla Structures</i> lebih efisien pada tahap operasional setelah tahap awal terlewati.
3.	Faktor-faktor apa saja yang paling memengaruhi cepat atau lambatnya waktu pemodelan struktur saat menggunakan <i>Tekla Structures</i> ?	Faktor-faktor yang memengaruhi cepat atau lambatnya waktu pemodelan struktur menggunakan <i>Tekla Structures</i> secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga aspek utama, yaitu <i>people</i> ,

Lanjutan Tabel 5. 18 Hasil Wawancara Narasumber 1

No.	Pertanyaan	Jawaban
		<i>process</i>, dan <i>technology</i>. Dari sisi teknologi, faktor yang berpengaruh meliputi versi perangkat lunak yang digunakan, pembaruan (<i>update</i>) sistem, serta kesesuaian spesifikasi perangkat dengan kebutuhan <i>software</i>. Selain itu, adanya aturan, standar, dan prosedur operasional (<i>Standard Operating Procedure/SOP</i>) dalam pemodelan juga turut memengaruhi, karena setiap perusahaan dapat memiliki tahapan dan alur kerja (<i>workflow</i>) yang berbeda dalam penggunaan <i>Tekla Structures</i>. Dari sisi sumber daya manusia (<i>people</i>), faktor yang berpengaruh meliputi kemampuan <i>hard skill</i> dan <i>soft skill</i>. <i>Hard skill</i> berkaitan dengan penguasaan teknis penggunaan <i>Tekla Structures</i>, mulai dari fitur hingga proses pemodelan secara menyeluruh, sedangkan <i>soft skill</i> berkaitan dengan pemahaman terhadap aspek <i>engineering</i> dan alur kerja proyek. Dengan pemahaman yang baik terhadap kedua aspek tersebut, pemodelan dapat dilakukan secara lebih efektif dan sesuai dengan <i>workflow</i> yang tepat.
4.	Apakah penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi dalam <i>Tekla Structures</i> , seperti pemodelan parametrik, <i>auto rebar</i> , <i>clash detection</i> , dan perhitungan kuantitas	Iya, otomatis hal tersebut akan berdampak pada percepatan waktu pemodelan struktur. Pada metode konvensional, seperti dalam proses <i>clash detection</i> , perlu dilakukan pengecekan

Lanjutan Tabel 5. 19 Hasil Wawancara Narasumber 1

No.	Pertanyaan	Jawaban
	otomatis, berdampak pada percepatan waktu pemodelan struktur?	secara manual dengan melakukan <i>superimpose</i> dari berbagai aspek, baik dari sisi <i>section</i> , <i>layout</i> , maupun elemen lainnya, yang belum tentu menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi. Bahkan dengan pemodelan 3D sekalipun, <i>effort</i> yang dibutuhkan masih cukup besar karena banyak tahapan yang harus dilakukan secara manual. Namun, dengan menggunakan <i>Tekla Structures</i> , sistem sudah memiliki logika pemodelan dan <i>workflow</i> yang jelas, sehingga proses seperti <i>clash detection</i> dan <i>superimpose</i> dapat dilakukan secara lebih terstruktur melalui pendekatan parametrik dalam model 3D. Meskipun demikian, parameter-parameter tersebut tetap perlu disusun oleh pengguna, sehingga dalam penerapannya tetap membutuhkan kemampuan <i>hard skill</i> dan <i>soft skill</i> dari pengguna itu sendiri.
5.	Bagaimana pengaruh revisi desain terhadap durasi pemodelan struktur menggunakan <i>Tekla Structures</i> , dan apakah waktu revisi tersebut lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional?	Iya, hal tersebut umum terjadi pada perangkat lunak BIM seperti <i>Tekla Structures</i> , <i>Revit</i> , dan sejenisnya, di mana model yang digunakan bersifat parametrik. Pengguna dapat menampilkan <i>section</i> , <i>shop drawing</i> , dan <i>layout</i> secara otomatis. Pada saat terjadi revisi, yang diperbarui adalah modelnya, dan secara otomatis perubahan tersebut akan langsung memperbarui <i>shop</i>

Lanjutan Tabel 5. 20 Hasil Wawancara Narasumber 1

No.	Pertanyaan	Jawaban
		<i>drawing</i>, detail, dan elemen lainnya. Dengan demikian, proses revisi menjadi lebih cepat dan efisien dibandingkan metode konvensional yang masih memerlukan pembaruan secara manual pada setiap gambar.
6.	Secara keseluruhan, bagaimana Anda menilai efektivitas waktu pemodelan struktur menggunakan BIM <i>Tekla Structures</i>?	Secara keseluruhan, pemodelan BIM menggunakan <i>Tekla Structures</i> dinilai sangat cepat dan efektif. Namun demikian, kecepatan dan efektivitas tersebut juga bergantung pada beberapa faktor, mulai dari spesifikasi <i>software</i> yang digunakan, versi <i>software</i>, serta spesifikasi hardware seperti laptop atau PC. Semakin besar dan kompleks model yang dikerjakan, maka dibutuhkan perangkat dengan spesifikasi yang lebih mumpuni. Selain itu, faktor sumber daya manusia juga sangat berpengaruh, baik dari sisi <i>hard skill</i> maupun <i>soft skill</i>. <i>Hard skill</i> berkaitan dengan tingkat pemahaman pengguna terhadap <i>Tekla Structures</i> dan <i>workflow</i> pemodelan, sedangkan <i>soft skill</i> berkaitan dengan pemahaman terhadap aspek <i>engineering</i>, proses pemodelan, serta manajemen BIM yang diterapkan. Dengan demikian, efektivitas penggunaan <i>Tekla Structures</i> tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh kemampuan pengguna dan kondisi pendukung lainnya.

Berdasarkan hasil wawancara dengan narasumber pertama, penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* dinilai mampu meningkatkan efisiensi waktu pemodelan struktur dibandingkan metode konvensional, terutama karena adanya *template*, *library* elemen struktur, fitur parametrik, otomatisasi, *clash detection*, serta kemampuan pembaruan gambar secara otomatis saat terjadi revisi desain. Meskipun pada tahap awal *Tekla Structures* membutuhkan proses *setup* yang lebih sistematis, seperti pengaturan material, spesifikasi, parameter, dan *workflow*, penggunaan *Tekla Structures* menjadi lebih cepat setelah data awal terbentuk. Narasumber juga menjelaskan bahwa efektivitas pemodelan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan perangkat lunak, tetapi juga dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu *people*, *process*, dan *technology*. Faktor sumber daya manusia meliputi *hard skill* dalam mengoperasikan *Tekla Structures* dan *soft skill* dalam memahami aspek *engineering* serta alur kerja proyek, sedangkan faktor teknologi meliputi versi *software*, pembaruan sistem, dan spesifikasi perangkat yang digunakan. Dengan demikian, *Tekla Structures* dapat disimpulkan efektif dalam mempercepat proses pemodelan, mempermudah revisi desain, serta meningkatkan keterpaduan proses kerja apabila didukung oleh kemampuan pengguna dan perangkat yang memadai.

2. Hasil Wawancara Narasumber 2

Pelaksanaan wawancara dengan narasumber kedua, yaitu Bapak Ir. Imam Agung Baskoro, S.T., dilakukan secara daring menggunakan *software* Zoom Call Meeting pada tanggal 24 April 2026 pukul 15.00–16.00 WIB. Hasil wawancara semi terstruktur yang telah dilakukan selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel pada bagian berikut.

Tabel 5. 21 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Bagaimana pengalaman Anda dalam melakukan pemodelan struktur menggunakan <i>Building Information</i>	Pengalaman dalam menggunakan <i>Tekla Structures</i> untuk kebutuhan pemodelan BIM dinilai cukup membantu bagi

Lanjutan Tabel 5. 22 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
	<i>Modeling</i> (BIM) dengan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i> ?	<i>engineer</i> , khususnya dalam pekerjaan struktur. <i>Tekla Structures</i> sangat mendukung kebutuhan <i>drawing</i> , baik <i>single drawing</i> , <i>assembly drawing</i> , <i>general arrangement (GA)</i> , denah, detail sambungan, hingga kebutuhan <i>quantity take-off (QTO)</i> . Selain itu, <i>Tekla Structures</i> juga membantu dalam penyediaan model informasi, gambar kerja, hingga <i>detailing</i> struktur secara menyeluruh. Dalam konteks <i>construction management</i> , <i>Tekla Structures</i> memiliki fitur seperti <i>cast in place</i> atau <i>concrete management</i> yang membantu dalam perhitungan volume pengecoran serta estimasi <i>waste material</i> , khususnya untuk kebutuhan pembesian. Terdapat pula <i>add-on</i> seperti <i>rebar optimization</i> yang sangat membantu dalam perhitungan kebutuhan material, meskipun beberapa fitur bersifat berbayar dan memiliki keterbatasan pada versi standar. Secara umum, <i>Tekla Structures</i> dinilai sangat <i>powerful</i> pada pekerjaan struktur, terutama untuk elemen baja dan konstruksi fabrikasi, serta masih dapat digunakan pada beberapa kebutuhan industrial seperti pipa, <i>conveyor</i> , silo, dan tangki. Namun demikian, untuk pekerjaan arsitektural dan <i>Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP)</i> , kemampuan <i>Tekla</i>

Lanjutan Tabel 5. 23 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
		<i>Structures</i> relatif terbatas dan tidak sekuat pada aspek struktural.
2.	Berdasarkan pengalaman Anda, apakah penggunaan <i>Tekla Structures</i> membuat waktu pemodelan struktur menjadi lebih cepat, sama, atau lebih lama dibandingkan dengan metode konvensional?	Sebenarnya penggunaan <i>Tekla Structures</i> lebih cepat, namun hal tersebut tergantung pada kemampuan penggunanya. Jika dibandingkan antara tim yang sama-sama mahir, baik pengguna aplikasi konvensional seperti <i>AutoCAD</i> maupun pengguna <i>Tekla Structures</i> , maka <i>Tekla Structures</i> cenderung lebih cepat karena dalam satu kali pemodelan sudah dapat menghasilkan beberapa <i>output</i> sekaligus, seperti gambar, <i>QTO</i> , dan informasi lainnya. Berbeda dengan metode konvensional atau dua dimensi yang prosesnya terpisah atau parsial, di mana gambar, volume, dan model 3D dikerjakan secara terpisah menggunakan aplikasi yang berbeda, seperti <i>AutoCAD</i> untuk gambar 2D, <i>SketchUp</i> atau perangkat lunak sejenis untuk pemodelan 3D, serta <i>Microsoft Excel</i> untuk perhitungan volume. Dengan <i>Tekla Structures</i> , koordinasi antar <i>output</i> menjadi lebih terintegrasi dan meminimalkan ketidaksesuaian antara model 3D, <i>QTO</i> , dan gambar. Namun, jika hanya dilihat dari satu jenis <i>output</i> saja, misalnya gambar dua dimensi, metode konvensional dapat lebih cepat

Lanjutan Tabel 5. 24 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
		karena tidak memerlukan proses pemodelan 3D terlebih dahulu. Akan tetapi, apabila dibandingkan secara keseluruhan dengan mempertimbangkan <i>output</i> 2D, 3D, dan <i>QTO</i> secara bersamaan, maka penggunaan BIM <i>Tekla Structures</i> lebih cepat dibandingkan metode konvensional.
3.	Faktor-faktor apa saja yang paling memengaruhi cepat atau lambatnya waktu pemodelan struktur saat menggunakan <i>Tekla Structures</i> ?	Faktor yang paling berpengaruh terhadap cepat atau lambatnya waktu pemodelan menggunakan <i>Tekla Structures</i> terutama adalah pemahaman pengguna (<i>user</i>) terhadap perangkat lunak tersebut. Apabila pengguna belum memahami penggunaan <i>Tekla Structures</i> , maka proses pemodelan akan membutuhkan waktu lebih lama karena masih melalui tahap <i>trial and error</i> . Selain itu, faktor infrastruktur juga sangat berpengaruh, khususnya performa perangkat yang digunakan seperti <i>PC</i> atau <i>laptop</i> . BIM memiliki ukuran file yang relatif besar sehingga membutuhkan spesifikasi perangkat yang lebih tinggi dibandingkan perangkat lunak konvensional seperti <i>CAD</i> . Semakin kompleks model yang dikerjakan, maka semakin tinggi pula spesifikasi perangkat yang dibutuhkan agar proses pemodelan dapat berjalan dengan lancar. Sementara itu, data yang digunakan pada dasarnya sama sehingga

Lanjutan Tabel 5. 25 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
		tidak menjadi faktor utama yang memengaruhi kecepatan, melainkan lebih ditentukan oleh pengalaman pengguna dan dukungan perangkat yang digunakan.
4.	Apakah penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi dalam <i>Tekla Structures</i> , seperti pemodelan parametrik, <i>auto rebar</i> , <i>clash detection</i> , dan perhitungan kuantitas otomatis, berdampak pada percepatan waktu pemodelan struktur?	Penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi dalam <i>Tekla Structures</i> dinilai sangat membantu mempercepat waktu pemodelan. <i>Tekla Structures</i> menyediakan berbagai komponen seperti <i>intelligent component</i> untuk elemen-elemen umum, meskipun pada kebutuhan tertentu pengguna tetap perlu melakukan <i>customization</i> atau membuat komponen otomatisasi sendiri. Fitur ini juga sangat membantu saat terjadi revisi, karena perubahan dapat dilakukan secara otomatis melalui penggunaan <i>filter</i> atau <i>custom component</i> tanpa mengubah elemen satu per satu. Selain itu, <i>Tekla Structures</i> dinilai <i>user friendly</i> dengan tampilan yang sederhana dan tidak terlalu banyak <i>interface</i> , sehingga memudahkan pengguna memahami fungsi <i>tools</i> yang tersedia. Proses pemodelan juga lebih praktis karena dapat dilakukan dalam tampilan 3D, termasuk untuk menyesuaikan dimensi atau posisi elemen melalui fitur <i>direct modification</i> , yang semakin mendukung efisiensi proses pemodelan struktur.

Lanjutan Tabel 5. 26 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
5.	Bagaimana pengaruh revisi desain terhadap durasi pemodelan struktur menggunakan <i>Tekla Structures</i> , dan apakah waktu revisi tersebut lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional?	Untuk revisi desain, penggunaan <i>Tekla Structures</i> dinilai lebih cepat dibandingkan metode konvensional karena perubahan cukup dilakukan pada model, sehingga secara otomatis akan memperbarui seluruh gambar, baik <i>single drawing</i> , <i>assembly drawing</i> , maupun <i>general arrangement (GA)</i> . Dengan demikian, satu kali revisi dapat langsung menyesuaikan seluruh <i>output</i> secara terintegrasi. Hal ini terutama berlaku untuk perubahan yang bersifat minor, seperti perubahan ukuran profil atau pergeseran posisi elemen, yang masih dapat ditangani dengan cepat. Namun, untuk perubahan yang bersifat mayor, seperti perubahan ukuran bangunan atau perubahan <i>grid</i> secara signifikan, tetap diperlukan penyesuaian tambahan pada model. Meskipun <i>Tekla Structures</i> memiliki fitur seperti <i>magnetic grid</i> yang dapat membantu penyesuaian, pada perubahan besar, khususnya pada elemen seperti <i>rafter</i> , masih dibutuhkan proses penyesuaian lanjutan. Secara umum, revisi menggunakan <i>Tekla Structures</i> tetap lebih cepat, terutama untuk perubahan yang tidak terlalu signifikan.
6.	Secara keseluruhan, bagaimana Anda menilai efektivitas waktu pemodelan	Secara keseluruhan, penggunaan BIM <i>Tekla Structures</i> dinilai cukup cepat dan efektif karena dalam satu model 3D

Lanjutan Tabel 5. 27 Hasil Wawancara Narasumber 2

No.	Pertanyaan	Jawaban
	struktur menggunakan BIM <i>Tekla Structures</i> ?	sudah dapat mencakup berbagai kebutuhan sekaligus, seperti informasi spesifikasi, <i>QTO</i>, gambar, hingga <i>monitoring</i> pekerjaan. <i>Tekla Structures</i> juga memiliki fitur yang mendukung kebutuhan <i>monitoring</i> seperti <i>sequence</i> serta dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak analisis struktur seperti <i>Tekla Structural Designer</i>, <i>SAP2000</i>, maupun <i>ETABS</i> melalui <i>add-on</i> yang tersedia, sehingga proses menjadi lebih cepat dan terintegrasi. Hal ini menunjukkan bahwa siklus penggunaan model tidak berhenti pada tahap pemodelan saja, tetapi dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lanjutan dalam proyek. Selain itu, dari sisi visualisasi, <i>Tekla Structures</i> mampu menampilkan model secara detail, termasuk elemen tersembunyi seperti sambungan, tulangan (<i>rebar</i>), hingga detail sambungan dan pengelasan, sehingga memudahkan dalam proses presentasi kepada pihak terkait. <i>Tekla Structures</i> juga menyediakan fitur visualisasi seperti <i>visualizer</i> yang dapat digunakan untuk kebutuhan presentasi. Dengan demikian, penggunaan <i>Tekla Structures</i> dinilai efektif dan efisien dalam mendukung pemodelan struktur secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil wawancara dengan narasumber kedua, penggunaan *Tekla Structures* dinilai sangat membantu dalam proses pemodelan struktur karena mampu menghasilkan berbagai *output* secara terintegrasi, seperti model 3D, *single drawing*, *assembly drawing*, *general arrangement*, detail sambungan, *quantity take-off (QTO)*, hingga kebutuhan *monitoring* pekerjaan. Narasumber menjelaskan bahwa dibandingkan metode konvensional yang umumnya memisahkan proses gambar 2D, model 3D, dan perhitungan volume pada beberapa aplikasi berbeda, *Tekla Structures* dinilai lebih efisien karena seluruh informasi dapat dikelola dalam satu model digital. Efisiensi tersebut semakin meningkat melalui penggunaan fitur parametrik, *intelligent component*, *custom component*, *direct modification*, serta pembaruan otomatis terhadap gambar ketika terjadi revisi desain. Namun demikian, tingkat efektivitas penggunaan *Tekla Structures* tetap dipengaruhi oleh kemampuan pengguna dan dukungan perangkat yang digunakan, mengingat model BIM memiliki ukuran file yang relatif besar dan membutuhkan spesifikasi komputer yang memadai. Secara keseluruhan, narasumber menilai bahwa BIM *Tekla Structures* efektif dan efisien dalam mendukung pemodelan struktur secara menyeluruh, baik dari aspek visualisasi, kuantitas, gambar kerja, koordinasi *output*, maupun integrasi dengan perangkat lunak analisis struktur lainnya.

3. Hasil Wawancara Narasumber 3

wawancara dengan narasumber kedua, yaitu Bapak Andi Bachtiar dilakukan secara daring menggunakan *software* Zoom Call Meeting pada tanggal 21 Mei 2026 pukul 15.00–16.00 WIB. Hasil wawancara semi terstruktur yang telah dilakukan selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel pada bagian berikut.

Tabel 5. 28 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Bagaimana pengalaman Anda dalam melakukan pemodelan struktur menggunakan <i>Building Information</i>	Pengalaman dalam menggunakan <i>Tekla Structures</i> untuk pemodelan struktur telah dilakukan selama kurang lebih 14 tahun, khususnya pada pekerjaan struktur

Lanjutan Tabel 5. 29 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
	<i>Modeling</i> (BIM) dengan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i> ?	dan fabrikasi. Selama penggunaan tersebut, <i>Tekla Structures</i> dinilai cukup membantu dalam proses pemodelan karena telah menyediakan berbagai komponen dan <i>macro</i> yang mendukung kebutuhan pemodelan struktur, terutama pada pekerjaan <i>concrete</i> dan <i>rebar</i> . Pada pekerjaan fabrikasi, proses pemodelan menjadi lebih cepat karena pengguna sudah memiliki <i>drawing construction</i> sebagai acuan sehingga tinggal melakukan pemodelan berdasarkan gambar yang tersedia. Selain itu, <i>Tekla Structures</i> dinilai lebih praktis dan efisien karena pengguna cukup memasukkan ukuran dan parameter tertentu, kemudian model dapat terbentuk secara otomatis. Namun demikian, penggunaan Tekla tetap memerlukan pemahaman terkait penggunaan komponen dan <i>macro</i> , terutama pada detail sambungan (<i>connection</i>) yang memiliki tingkat kompleksitas lebih tinggi.
2.	Berdasarkan pengalaman Anda, apakah penggunaan <i>Tekla Structures</i> membuat waktu pemodelan struktur menjadi lebih cepat, sama, atau lebih lama dibandingkan dengan metode konvensional?	Pada awal penggunaan <i>Tekla Structures</i> , sempat muncul anggapan bahwa penggunaan <i>AutoCAD</i> lebih cepat dibandingkan Tekla. Namun, setelah digunakan secara langsung, Tekla justru dinilai memiliki efisiensi waktu yang lebih baik, terutama untuk kebutuhan fabrikasi. Hal ini karena dalam satu kali

Lanjutan Tabel 5. 30 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
		pemodelan, Tekla dapat langsung menghasilkan berbagai <i>output</i> seperti <i>quantity take-off (QTO)</i>, gambar, tonase, luas area, dan kebutuhan engineering lainnya secara otomatis. Berbeda dengan metode konvensional menggunakan <i>AutoCAD</i> yang masih memerlukan perhitungan manual, bahkan hingga menghitung elemen-elemen kecil satu per satu. Oleh karena itu, penggunaan <i>Tekla Structures</i> dinilai jauh lebih cepat dan efisien karena berbagai kebutuhan pemodelan dan perhitungan sudah tersedia secara otomatis di dalam sistem.
3.	Faktor-faktor apa saja yang paling memengaruhi cepat atau lambatnya waktu pemodelan struktur saat menggunakan <i>Tekla Structures</i>?	Sebenarnya proses pemodelan menggunakan <i>Tekla Structures</i> tidak tergolong lambat, kecuali ketika terjadi revisi desain. Revisi menjadi salah satu faktor yang paling memengaruhi durasi pemodelan, baik pada tahap desain maupun fabrikasi. Pada tahap desain, revisi biasanya terjadi karena adanya perubahan hasil analisis engineering atau penambahan elemen tertentu sehingga model harus diperbarui secara berulang. Sementara itu, pada tahap fabrikasi, revisi dapat terjadi ketika terdapat perubahan <i>drawing</i>, misalnya dari revisi A menjadi revisi B, sehingga model harus diperbarui kembali. Namun demikian, pada <i>Tekla Structures</i>, perubahan pada model akan

Lanjutan Tabel 5. 31 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
		secara otomatis memperbarui gambar 2D dan <i>output</i> lainnya. Secara umum, apabila tidak terdapat revisi atau perubahan yang signifikan, proses pemodelan menggunakan <i>Tekla Structures</i> dinilai relatif cepat dan mudah dilakukan.
4.	Apakah penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi dalam <i>Tekla Structures</i> , seperti pemodelan parametrik, <i>auto rebar</i> , <i>clash detection</i> , dan perhitungan kuantitas otomatis, berdampak pada percepatan waktu pemodelan struktur?	Jelas, penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi seperti <i>macro</i> atau komponen pada <i>Tekla Structures</i> sangat mengefisiensi waktu dibandingkan metode manual menggunakan <i>AutoCAD</i> . <i>Tekla</i> telah menyediakan berbagai komponen yang penggunaannya cukup dengan memasukkan ukuran atau parameter tertentu, kemudian model dapat langsung terbentuk secara otomatis hanya dengan beberapa klik. Misalnya pada pemodelan <i>workshop</i> atau <i>conveyor</i> yang sudah memiliki standar ukuran dan kapasitas tertentu, komponen tersebut dapat disimpan dan digunakan kembali sehingga proses pemodelan menjadi jauh lebih cepat. Selain itu, <i>Tekla</i> juga dapat langsung menghasilkan <i>output</i> seperti <i>material take-off</i> (MTO) dan informasi lainnya secara otomatis. Namun demikian, efektivitas penggunaan fitur tersebut tetap bergantung pada pemahaman pengguna terhadap penggunaan komponen atau <i>macro</i> yang tersedia di dalam <i>Tekla Structures</i> .

Lanjutan Tabel 5. 32 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
5.	Bagaimana pengaruh revisi desain terhadap durasi pemodelan struktur menggunakan <i>Tekla Structures</i> , dan apakah waktu revisi tersebut lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional?	Pengaruh revisi desain terhadap durasi pemodelan menggunakan <i>Tekla Structures</i> tergantung pada jenis revisi yang terjadi, apakah bersifat minor atau mayor. Pada umumnya, revisi minor seperti perubahan posisi elemen atau perubahan diameter <i>rebar</i> tidak terlalu memerlukan waktu lama karena perubahan pada model akan otomatis memperbarui <i>drawing</i> dan <i>output</i> lainnya. Namun, revisi yang bersifat mayor, seperti perubahan ukuran profil, perubahan dimensi elemen, atau perubahan <i>grid</i>, dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap model dan <i>drawing</i>. Pada pekerjaan <i>concrete</i>, revisi dinilai lebih sederhana karena elemen yang berubah umumnya hanya detail tulangan. Selain itu, perubahan <i>grid</i> juga dapat menjadi cukup krusial, terutama apabila model menggunakan <i>actual coordinate</i> dan terintegrasi dengan disiplin lain melalui file <i>IFC</i>, karena kesalahan koordinat dapat menyebabkan <i>clash</i> antar model. Namun demikian, secara umum revisi menggunakan <i>Tekla Structures</i> tetap dinilai lebih cepat dibandingkan metode konvensional karena perubahan model dapat memperbarui gambar dan <i>output</i>

Lanjutan Tabel 5. 33 Hasil Wawancara Narasumber 3

No.	Pertanyaan	Jawaban
		secara otomatis tanpa perlu dilakukan penggambaran ulang secara manual.
6.	Secara keseluruhan, bagaimana Anda menilai efektivitas waktu pemodelan struktur menggunakan BIM <i>Tekla Structures</i> ?	Secara keseluruhan, penggunaan BIM <i>Tekla Structures</i> dinilai lebih mudah dan lebih cepat dibandingkan <i>software</i> lainnya berdasarkan pengalaman penggunaan selama kurang lebih 14 tahun. <i>Tekla Structures</i> dinilai lebih fokus dan <i>powerful</i> untuk kebutuhan struktur dan <i>concrete</i> , sehingga proses pemodelan dan <i>drawing</i> dapat dilakukan dengan lebih efisien. Dibandingkan <i>software</i> lain seperti <i>PDMS</i> yang digunakan untuk berbagai disiplin, Tekla dianggap lebih sederhana dan lebih mudah dipahami untuk pekerjaan struktur. Selain itu, sistem kerja Tekla juga dinilai mirip dengan <i>AutoCAD</i> , namun dengan hasil pemodelan langsung berbentuk 3D. Hal tersebut membuat proses pemodelan menjadi lebih praktis dan mempercepat pekerjaan karena berbagai komponen kebutuhan struktur sudah tersedia di dalam <i>Tekla Structures</i> , sehingga pengguna hanya perlu memasukkan ukuran dan parameter yang dibutuhkan. Dengan demikian, penggunaan <i>Tekla Structures</i> dinilai sangat membantu dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi waktu pemodelan struktur.

Berdasarkan hasil wawancara dengan narasumber ketiga, penggunaan *Tekla Structures* dinilai sangat membantu dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi waktu pemodelan struktur, khususnya pada pekerjaan struktur dan fabrikasi. Narasumber menjelaskan bahwa dibandingkan metode konvensional menggunakan *AutoCAD*, *Tekla Structures* mampu menghasilkan berbagai *output* secara otomatis dalam satu kali proses pemodelan, seperti *quantity take-off* (QTO), gambar kerja, tonase, luas area, hingga kebutuhan *engineering* lainnya. Efisiensi tersebut didukung oleh penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi seperti *macro*, *component*, *auto rebar*, serta pembaruan model otomatis ketika terjadi revisi desain. Selain itu, proses pemodelan dinilai lebih praktis karena pengguna hanya perlu memasukkan ukuran dan parameter tertentu sehingga model dapat terbentuk secara otomatis. Narasumber juga menjelaskan bahwa revisi desain menjadi salah satu faktor yang memengaruhi durasi pemodelan, terutama pada revisi mayor seperti perubahan dimensi elemen atau *grid*. Namun demikian, penggunaan *Tekla Structures* tetap dinilai lebih efektif karena perubahan model dapat langsung memperbarui gambar dan *output* lainnya tanpa perlu dilakukan penggambaran ulang secara manual. Secara keseluruhan, narasumber menilai bahwa BIM *Tekla Structures* lebih mudah, cepat, dan *powerful* untuk kebutuhan pemodelan struktur karena mampu mengintegrasikan proses pemodelan, gambar kerja, kuantitas, serta kebutuhan fabrikasi secara lebih praktis dan efisien.

5.4.2 Persamaan Hasil Wawancara

Berdasarkan hasil wawancara semi terstruktur yang telah dilakukan kepada tiga narasumber yang memiliki pengalaman dalam penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures*, diperoleh beberapa persamaan pandangan terkait efektivitas penggunaan BIM dalam pekerjaan pemodelan struktur. Persamaan jawaban tersebut menunjukkan adanya kesamaan persepsi para praktisi mengenai manfaat penggunaan *Tekla Structures*, faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas pemodelan, serta pengaruh BIM terhadap efisiensi waktu pekerjaan struktur. Ringkasan persamaan jawaban narasumber disajikan pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 34 Persamaan Jawaban Narasumber

Pertanyaan Wawancara	Persamaan Jawaban Narasumber
Apakah penggunaan BIM menggunakan <i>Tekla Structures</i> lebih efisien dibandingkan metode konvensional?	Seluruh narasumber menyatakan bahwa penggunaan <i>Tekla Structures</i> lebih efisien dibandingkan metode konvensional dalam proses pemodelan struktur.
Fitur apa yang mendukung efisiensi penggunaan <i>Tekla Structures</i> ?	Seluruh narasumber menyebutkan bahwa fitur parametrik dan otomatisasi menjadi faktor utama yang mendukung percepatan proses pemodelan.
Faktor apa yang memengaruhi efektivitas penggunaan BIM?	Seluruh narasumber menyatakan bahwa kompetensi pengguna, alur kerja, dan dukungan perangkat yang memadai menjadi faktor penting dalam implementasi BIM.
Bagaimana pengaruh revisi desain terhadap proses pemodelan?	Seluruh narasumber menyatakan bahwa revisi desain dapat dilakukan secara lebih efisien karena model dan gambar kerja dapat diperbarui secara otomatis.
Bagaimana penilaian terhadap penggunaan BIM menggunakan <i>Tekla Structures</i> pada pekerjaan struktur?	Seluruh narasumber menilai bahwa BIM menggunakan <i>Tekla Structures</i> efektif dalam mendukung pekerjaan pemodelan struktur melalui integrasi berbagai informasi dan keluaran proyek dalam satu model digital.

Berdasarkan Tabel 5.19, seluruh narasumber memiliki pandangan yang sama bahwa penggunaan *Tekla Structures* mampu meningkatkan efisiensi waktu pemodelan dibandingkan metode konvensional. Efisiensi tersebut diperoleh karena proses pemodelan dapat dilakukan lebih cepat melalui pemanfaatan fitur parametrik dan berbagai fitur otomatisasi yang tersedia pada perangkat lunak. Keberadaan fitur-fitur tersebut memungkinkan pengguna mengurangi pekerjaan yang bersifat berulang sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pemodelan menjadi lebih singkat dibandingkan metode konvensional.

Persamaan pandangan juga ditemukan pada faktor-faktor yang mendukung efisiensi penggunaan *Building Information Modeling* (BIM). Narasumber pertama menyoroti penggunaan *template*, *library* elemen struktur, dan *clash detection* sebagai fitur yang membantu mempercepat proses pemodelan. Sementara itu, narasumber kedua dan ketiga menekankan pemanfaatan fitur parametrik, *intelligent component*, *custom component*, *macro*, dan *auto rebar*. Meskipun terdapat perbedaan fitur yang disebutkan oleh masing-masing narasumber, seluruhnya sepakat bahwa fitur otomatisasi merupakan faktor utama yang mendukung peningkatan efisiensi pemodelan menggunakan *Tekla Structures*.

Pada aspek revisi desain, ketiga narasumber juga memberikan pandangan yang serupa. Perubahan yang dilakukan pada model dapat memperbarui gambar kerja dan informasi terkait secara otomatis. Kemampuan tersebut dinilai memberikan keunggulan dibandingkan metode konvensional karena proses pembaruan data tidak perlu dilakukan secara manual pada setiap dokumen yang terdampak oleh perubahan desain. Dengan demikian, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan revisi dapat dikurangi serta potensi ketidaksesuaian informasi antar dokumen dapat diminimalkan.

Selain itu, seluruh narasumber menyatakan bahwa efektivitas penggunaan BIM tidak hanya ditentukan oleh kemampuan perangkat lunak, tetapi juga dipengaruhi oleh kompetensi pengguna dan dukungan perangkat yang memadai. Kemampuan mengoperasikan perangkat lunak, pemahaman terhadap aspek rekayasa struktur, pengalaman pengguna, serta spesifikasi perangkat keras merupakan faktor yang memengaruhi kelancaran proses pemodelan. Secara umum, hasil wawancara menunjukkan bahwa ketiga narasumber memiliki pandangan yang konsisten mengenai manfaat penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur. Pemanfaatan BIM dinilai mampu meningkatkan efisiensi waktu pemodelan melalui penggunaan fitur parametrik dan otomatisasi, mempermudah proses revisi desain, serta mendukung integrasi berbagai informasi proyek dalam satu model digital. Temuan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembahasan mengenai efektivitas penggunaan BIM menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B.

5.5 Analisis Efektivitas dan Efisiensi Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) Menggunakan *Tekla Structures*

5.5.1 Analisis Efektivitas Penerapan BIM

Efektivitas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam penelitian ini ditinjau berdasarkan kemampuan model dalam menghasilkan informasi yang akurat dan mendukung kebutuhan perencanaan pekerjaan struktur. Berdasarkan hasil analisis kuantitatif yang telah dilakukan, pemodelan menggunakan *Tekla Structures* menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dibandingkan metode konvensional. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model yang dibuat mampu merepresentasikan kondisi perencanaan secara baik sehingga informasi volume beton dan berat tulangan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kuantitas pekerjaan struktur. Temuan ini menunjukkan bahwa pemodelan berbasis BIM mampu menghasilkan informasi yang konsisten dan dapat mendukung proses pengambilan keputusan pada tahap perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi (Abma dkk., 2026).

Selain menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten, model yang dibuat juga mendukung proses verifikasi desain melalui penerapan *clash detection*. Hasil pemeriksaan model menunjukkan bahwa *Tekla Structures* mampu mengidentifikasi potensi konflik pembesian pada area sambungan (*lapping*) tulangan longitudinal *pier* yang sulit diamati melalui gambar dua dimensi. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa BIM tidak hanya berfungsi sebagai sarana visualisasi, tetapi juga sebagai alat evaluasi desain yang dapat membantu mengidentifikasi potensi permasalahan konstruksi sebelum pekerjaan dilaksanakan di lapangan. Temuan serupa juga ditemukan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pemanfaatan BIM melalui proses *clash detection* mampu mengidentifikasi benturan antar elemen konstruksi yang sulit dideteksi melalui gambar dua dimensi sehingga dapat meminimalkan pekerjaan tambah pada tahap pelaksanaan konstruksi (Jatmiko dkk., 2023).

Secara keseluruhan, penerapan BIM menggunakan *Tekla Structures* dapat dinilai efektif dalam mendukung pekerjaan struktur. Efektivitas tersebut

ditunjukkan melalui kemampuan model dalam menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten, merepresentasikan kondisi perencanaan secara akurat, serta membantu proses verifikasi desain melalui identifikasi potensi konflik pembesian pada tahap perencanaan. Efektivitas tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam analisis efisiensi, karena model yang mampu menghasilkan informasi secara akurat juga memungkinkan proses pengelolaan data dan revisi desain dilakukan secara lebih efektif melalui pemanfaatan fitur-fitur yang tersedia pada *Tekla Structures*.

5.5.2 Analisis Efisiensi Penerapan BIM

Efisiensi penerapan *Building Information Modeling (BIM)* dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan hasil observasi selama proses pemodelan struktur menggunakan *Tekla Structures* serta hasil wawancara dengan praktisi *BIM*. Observasi dilakukan selama proses pemodelan elemen *pilecap*, *pier*, dan *pier head* pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B. Selama proses tersebut, diamati bahwa seluruh informasi proyek terintegrasi dalam satu model tiga dimensi sehingga setiap elemen struktur saling terhubung. Kondisi tersebut memungkinkan proses pemodelan dilakukan secara lebih sistematis dibandingkan metode konvensional berbasis gambar dua dimensi. Selain itu, perubahan dimensi elemen maupun konfigurasi tulangan dapat diterapkan secara langsung pada model tanpa harus melakukan penyusunan ulang gambar maupun perhitungan kuantitas pekerjaan secara manual. Hasil observasi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Tekla Structures* mampu mengurangi pekerjaan yang bersifat repetitif sehingga mendukung efisiensi proses pemodelan.

Hasil observasi tersebut sejalan dengan hasil wawancara terhadap praktisi *BIM* yang menyatakan bahwa penggunaan *Tekla Structures* mampu meningkatkan efisiensi proses pemodelan, terutama ketika terjadi perubahan desain selama proses perencanaan. Menurut para narasumber, seluruh perubahan yang dilakukan pada model akan diperbarui secara otomatis pada informasi yang saling terintegrasi sehingga tidak diperlukan penyesuaian secara terpisah pada setiap dokumen perencanaan. Integrasi tersebut juga mendukung pengelolaan informasi proyek sehingga proses revisi dapat dilakukan secara lebih cepat dibandingkan metode

konvensional. Efisiensi tersebut semakin didukung oleh kemampuan *Tekla Structures* dalam menghasilkan berbagai keluaran informasi secara otomatis berdasarkan model yang telah dibuat, seperti *Quantity Take-Off (QTO)* dan *Bar Bending Schedule (BBS)*. Selama proses pemodelan, perubahan pada model secara langsung memperbarui keluaran kuantitas pekerjaan tanpa memerlukan perhitungan ulang secara manual serta mendukung identifikasi potensi konflik pembesian melalui *clash detection*. Dengan demikian, satu model *BIM* tidak hanya berfungsi sebagai representasi visual struktur, tetapi juga sebagai sumber informasi yang mendukung berbagai kebutuhan perencanaan secara terintegrasi sehingga mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan informasi dalam proses perencanaan konstruksi (Pantiga & Soekiman, 2021).

Meskipun demikian, tingkat efisiensi yang diperoleh tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan perangkat lunak, tetapi juga oleh kompetensi pengguna dalam mengoperasikan *Tekla Structures* serta spesifikasi perangkat keras yang digunakan selama proses pemodelan. Semakin baik pemahaman pengguna terhadap alur kerja *BIM*, semakin optimal pula pemanfaatan berbagai fitur yang tersedia dalam perangkat lunak tersebut. Berdasarkan sintesis antara hasil observasi selama proses pemodelan dan hasil wawancara dengan praktisi *BIM*, dapat disimpulkan bahwa penerapan *Building Information Modeling (BIM)* menggunakan *Tekla Structures* mampu meningkatkan efisiensi pekerjaan struktur melalui integrasi informasi dalam satu model, kemudahan pelaksanaan revisi desain, otomatisasi pembaruan data, serta penyediaan keluaran informasi yang cepat dan konsisten.

5.5.3 Sintesis Efektivitas dan Efisiensi Penerapan BIM

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif dan kualitatif, penerapan *Building Information Modeling (BIM)* menggunakan *Tekla Structures* menunjukkan bahwa efektivitas dan efisiensi merupakan dua aspek yang saling mendukung dalam proses perencanaan pekerjaan struktur. Hasil analisis kuantitatif menunjukkan bahwa model yang disusun mampu menghasilkan informasi kuantitas pekerjaan dengan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap perhitungan konvensional serta mendukung proses verifikasi desain melalui *clash detection*. Sementara itu, hasil observasi selama proses pemodelan dan wawancara dengan praktisi *BIM* menunjukkan bahwa

informasi yang akurat tersebut dapat diperoleh melalui proses pemodelan yang terintegrasi sehingga perubahan desain, pembaruan data, dan penyusunan keluaran model dapat dilakukan secara lebih efisien

Hubungan antara efektivitas dan efisiensi tersebut menunjukkan bahwa kedua aspek saling melengkapi dalam mendukung proses perencanaan pekerjaan struktur.. Kemampuan model dalam menghasilkan informasi yang akurat akan memberikan manfaat yang lebih optimal apabila didukung oleh proses pemodelan yang efisien. Sebaliknya, efisiensi proses pemodelan akan memberikan nilai tambah yang lebih besar apabila informasi yang dihasilkan tetap memenuhi kebutuhan perencanaan secara akurat dan konsisten. Dengan demikian, penerapan BIM tidak hanya memberikan manfaat dari sisi kualitas informasi, tetapi juga dari sisi pengelolaan proses kerja.

Penerapan *Building Information Modeling (BIM)* menggunakan *Tekla Structures* tidak hanya berperan sebagai alat pemodelan tiga dimensi, tetapi juga sebagai sarana pendukung perencanaan yang mampu menghasilkan informasi kuantitas pekerjaan yang akurat, mempermudah proses koordinasi, serta mendukung pengambilan keputusan teknis pada pekerjaan struktur. Kemampuan model dalam memperbarui informasi secara otomatis ketika terjadi perubahan desain, menghasilkan *Quantity Take-Off (QTO)* dan *Bar Bending Schedule (BBS)*, serta mendukung identifikasi potensi konflik pembesian melalui *clash detection* menunjukkan bahwa *Tekla Structures* mampu meningkatkan kualitas informasi sekaligus efisiensi proses perencanaan. Temuan ini menunjukkan bahwa *Building Information Modeling (BIM)* berfungsi sebagai sumber informasi bersama yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan selama siklus hidup proyek konstruksi sehingga mampu mendukung proses perencanaan yang lebih terintegrasi dan efektif (Pantiga & Soekiman, 2021). Oleh karena itu, penggunaan *Tekla Structures* dapat menjadi pendekatan yang efektif dan efisien dalam mendukung perencanaan pekerjaan struktur pada proyek konstruksi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan Tekla Structures pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B berhasil menghasilkan model tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi perencanaan struktur berdasarkan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED). Hasil pemeriksaan model menunjukkan bahwa secara umum tidak ditemukan *clash* yang memengaruhi validitas model. Potensi *clash* hanya teridentifikasi pada area sambungan (*lapping*) tulangan longitudinal pier akibat tingginya kepadatan pembesian pada area tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa fitur *clash detection* pada *Tekla Structures* mampu mendukung proses verifikasi desain serta mengidentifikasi potensi konflik sejak tahap perencanaan sebelum pekerjaan konstruksi dilaksanakan.
2. Hasil *quantity take-off* (QTO) menggunakan *Tekla Structures* menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi dibandingkan metode konvensional. Perbandingan hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume beton memiliki deviasi sebesar 0,00%, sedangkan total kebutuhan tulangan memiliki deviasi sebesar 4,81%. Perbedaan kuantitas tulangan tersebut dipengaruhi oleh kemampuan *Tekla Structures* dalam merepresentasikan detail pembesian secara tiga dimensi, sehingga perhitungan dilakukan berdasarkan kondisi geometris struktur yang lebih rinci. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Tekla Structures* mampu menghasilkan data kuantitas pekerjaan yang konsisten dan dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kebutuhan material pekerjaan struktur.

3. Berdasarkan hasil wawancara dengan praktisi BIM, penggunaan *Tekla Structures* dinilai mampu meningkatkan efisiensi waktu pemodelan dibandingkan metode konvensional. Efisiensi tersebut diperoleh karena seluruh informasi proyek terintegrasi dalam satu model sehingga proses pemodelan, koordinasi, dan revisi desain dapat dilakukan secara lebih cepat dan terkendali. Selain itu, kemampuan *Tekla Structures* dalam menghasilkan keluaran seperti *quantity take-off* (QTO), *bar bending schedule* (BBS), dan *shop drawing* secara otomatis membantu mengurangi pekerjaan berulang serta meningkatkan produktivitas dalam proses perencanaan struktur.
4. Secara keseluruhan, penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *Tekla Structures* pada pekerjaan struktur Proyek LRT Jakarta Fase 1B dapat dinilai efektif dan efisien. Efektivitas ditunjukkan oleh kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi perencanaan struktur, menghasilkan data kuantitas pekerjaan dengan deviasi yang rendah, serta mendukung koordinasi desain melalui identifikasi potensi *clash*. Sementara itu, efisiensi ditunjukkan oleh kemudahan pengelolaan informasi dalam satu model terintegrasi, percepatan proses revisi desain, serta kemampuan menghasilkan berbagai keluaran perencanaan secara otomatis. Dengan demikian, *Tekla Structures* dapat menjadi alternatif yang andal untuk mendukung perencanaan pekerjaan struktur pada proyek infrastruktur sejenis.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan objek penelitian dengan melibatkan lebih banyak elemen struktur atau keseluruhan segmen proyek sehingga manfaat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh pada skala proyek yang lebih besar.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan kajian pada dimensi BIM yang lebih lanjut, seperti BIM 4D dan BIM 5D, melalui integrasi model dengan penjadwalan pekerjaan dan estimasi biaya proyek sehingga manfaat BIM dapat

ditinjau tidak hanya dari aspek kuantitas pekerjaan dan efisiensi pemodelan, tetapi juga dari aspek waktu dan biaya proyek.

3. Penerapan *clash detection* disarankan untuk dilakukan secara lebih komprehensif pada tahap perencanaan guna mengidentifikasi potensi konflik antar elemen struktur maupun pembesian sejak dini. Dengan demikian, potensi kendala pada tahap fabrikasi dan pelaksanaan konstruksi dapat diminimalkan sebelum pekerjaan dilakukan di lapangan.
4. Penggunaan *Tekla Structures* dalam pekerjaan struktur perlu didukung oleh sumber daya manusia yang memiliki kompetensi yang memadai dalam bidang pemodelan BIM dan rekayasa struktur. Oleh karena itu, pelatihan dan peningkatan kompetensi terkait BIM perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk mendukung implementasi teknologi secara optimal.
5. Institusi pendidikan tinggi, khususnya pada program studi teknik sipil, disarankan untuk meningkatkan pengenalan dan pembelajaran BIM sebagai bagian dari kurikulum pembelajaran. Penguasaan perangkat lunak BIM, seperti *Tekla Structures*, sejak masa perkuliahan diharapkan dapat meningkatkan kesiapan lulusan dalam menghadapi kebutuhan industri konstruksi yang semakin mengarah pada transformasi digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhista, M. A., Bramantoro, D. T. A., & Ramadhan, M. M. (2025). Evaluasi Efektivitas BIM dalam Clash Detection Pekerjaan Struktur dan Arsitektural pada Gedung Tujuh Lantai. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 4, 37–43.
- Abma, V., Sulistyanoro, T. N., & Nugraheni, F. (2026). Exploring BIM Based Automated Quantity Take Off for Contractors in Bridge Structural Models. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 10(1), 179–189. <https://doi.org/https://doi.org/10.70609/g-tech.v10i1.8735>
- Aditya, W., Purwandito, M., & Fauzia, A. (2024). Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Tekla Structures. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, 5(2), 86–94. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v5i2.853>
- Afra, L., & Amna, K. (2025). Perkembangan Teknologi Building Information Modeling (BIM) dalam Manajemen Proyek Konstruksi: Sebuah Systematic Literature Review. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365>
- Agusman, Prasetya, H. B., & Purba, H. H. (2021). Tinjauan dan Analisis Risiko dalam Proyek Konstruksi Bangunan: Studi Literatur. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 19(2), 95–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.52330/jtm.v19i2.29>
- Al Farizi, D. M., & Sutantiningrum, K. H. (2025). Evaluasi Metode Perhitungan QTO Tulangan Kolom dengan Tekla Structures dan Autodesk Revit. *Construction and Material Journal*, 7(1), 45–50.
- Al Rizki, M. B., & Sutikno. (2025). Pelaksanaan Pekerjaan Bored Pile P148B Proyek LRT Jakarta Phase 1B Velodrome – Manggarai Zona 2 Jakarta Selatan. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*, 591–598.
- Auliansyah, C. R., Irawan, J. D., & Ariwibisono, F. X. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Manajemen Proyek Konstruksi Menggunakan Kurva-S. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 1106–1114.
- Batubara, Z., & Nasution, R. S. (2024). Analisis Perbandingan Biaya Antara Konvensional Dengan Building Information Modelling Pada Proyek Pembangunan Masjid Dan Gedung Alqur'an Center Binjai. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 4(1), 8–17. <https://doi.org/10.51510/agregat.v4i1.1530>
- Budiastuti, D., & Bandur, A. (2018). *Validitas dan Reliabilitas Penelitian: Dilengkapi Analisis dengan NVIVO, SPSS, dan AMOS*. Mitra Wacana Media.
- Creswell, J. ., & Creswell, J. D. (2023). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (6th editio). SAGE Publications, Inc.

<https://archive.org/details/researchdesignO000unse>

- Dari, P. W., Anjarwati, S., & Suksmono, A. K. (2025). Analisis Penjadwalan Proyek Konstruksi dengan Metode Precedence Diagram Method (studi kasus: Proyek Pembangunan Mitra 10 Purwokerto). *CIVeng*, 6(1), 49–56.
- Fachlevi, S. R., Maulana, R., Ardian, O. H., & Sari, S. N. (2023). Analisis Perbandingan Perhitungan Volume Pada Bill of Quantity Menggunakan Software Autodesk Revit 2022 Dengan Perhitungan Manual Berdasarkan Sni 2847 Tahun 2019 Pada Gedung Serbaguna Di Desa Towangsan. *STORAGE: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, 2(3), 150–164. <https://doi.org/10.55123/storage.v2i3.2370>
- Fadillah, M., & Nofriadi. (2022). Quantity Take-Off Pekerjaan Struktur Berbasis Building Information Modeling (BIM) Pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pajak Pratama Balige. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 2(1), 24–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.51510/agregat.v2i1.733>
- Iqbal, I., Sulistyantoro, T. N., & Abma, V. (2026). Analisis kesiapan kompetensi sumber daya manusia terhadap implementasi BIM di industri konstruksi. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 5(2), 271–282.
- Iqbal, Mumtaz, S. A., & Sulistyantoro, T. N. (2025). Persepsi masyarakat terhadap LRT Jakarta fase 1B sebagai transportasi publik ramah lingkungan dan inklusif. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 5(1), 428–439.
- Jatmiko, A. D., Poerwanto, L., Tedja, B. G., Louis, L. E., Alexander, D., & Surya, A. (2023). Pemodelan Building Information Modeling Bangunan Rumah Sakit Untuk Pengecekan Volume dan Bentrokan. *Jurnal Arsitekta*, 5(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18860/jia.v4i1.3466>
- Juliani, M. P., & Renaningsih. (2023). Analisa Perbandingan Volume Beton Metode Konvensional pada Hasil Bill of Quantity (BQ) dan BIM Autodesk Revit 2020 terhadap Efektifitas Biaya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 631–637.
- Lolomsait, M. P., & Setiawan, H. (2024). Manfaat Penerapan Lean Construction Pada Proyek Konstruksi: Systematic Review. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) Ke-18*. <https://doi.org/10.62603/konteks.v2i2.229>
- Maharani, S. A., Sari, S., As'adi, M., & Saputro, A. P. (2022). Analisis Risiko pada Proyek Konstruksi Perumahan dengan Metode House of Risk (HOR) (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Perumahan PT ABC). *Journal Of Integrated System*, 5(1), 16–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.28932/jis.v5i1.3996>
- Maulina, E. E., Wiryasuta, I. K. H., & Rodiyani, M. (2023). Perhitungan Quantity Take Off Pekerjaan Beton pada Proyek X dengan Aplikasi Tekla Structures. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 1. <https://doi.org/10.30811/portal.v15i2.4276>
- Nuranto, A. S., Hartono, W., & Rifai, M. (2022). Analisis Percepatan Waktu

- terhadap Biaya Proyek Konstruksi Menggunakan Konsep Nilai Hasil dengan Program Primavera 6.0 (Studi Kasus: Proyek pelebaran Jalan, Banten). *Matriks Teknik Sipil*, 10(1), 39–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i1.55321>
- Nurokhman, Suryanto, Subagyo, S., & Madazzaman, W. Y. (2025). Dampak Transportasi Sistem Ligh Rail Transits Terhadap Kemacetan Lalu Lintas Dan Emisi Carbon Di Jakarta. *CivETech*, 7(1), 37–48.
- Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104–110.
- Pertiwi, I. M., Herlambang, F. S., & Kristinayanti, W. S. (2019). Analisis Waste Material Konstruksi Pada Proyek Gedung (Studi Kasus Pada Proyek Gedung Di Kabupaten Badung). *Jurnal Simetrik*, 9(1), 185–190.
- Putra, W. D. (2025). Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Manajemen Proyek Konstruksi (Literature Review). *JURNAL TEKNIK SIPIL MACCA*, 10(1), 85–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.33096/z0x8kk31>
- Putriani, O., & Sita, T. (2024). Optimasi Building Information Modeling (BIM) Tekla Structures pada Konstruksi Jembatan Sigompol 2 Paket I.4 – Pembangunan Jalan Kawasan Industri Terpadu (KIT) Batang. *Jurnal KoNTekS*, 1(3), 214–222.
- Ramandhani, E. A., Lenggogeni, & Yasinta, R. B. (2025). *Penerapan Teknologi Building Information Modeling (BIM) 4D pada Manajemen Waktu dalam Proyek Konstruksi*. 9(2), 22667–22673.
- Riswanto, F., & Sukamdo, P. (2023). Strut and Ties Method Pierhead Jembatan Menentukan Rangka Batang dan Perbandingan Kekuatan Ties antara SNI dan AASHTO. *Jurnal Konstruksia*, 14(2), 149–162. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24853/jk.14.2.149-162>
- Sabil, D., & Erizal. (2023). Penerapan Building Information Modeling (BIM) 5D pada Proyek Gedung Simpang Temu Dukuh Atas, Jakarta Pusat. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(2), 95–104. <https://doi.org/10.29244/jsil.8.02.95-104>
- Salsabilla, N. T., Indianto, A., & Yanuarini, E. (2025). Evaluasi Struktur Pier Head yang Mengalami Perubahan Bentang. *Construction and Material Journal*, 7(1).
- Saputro, D. N., Pamudji, G., Hermanto, N. I. S., & Widyaningrum, A. (2021). Pelatihan Dasar Pengoperasian Building Information Modeling (BIM) Tekla Structures bagi Guru SMK Teknik Bangunan di Kabupaten Banyumas. *Jurnal Pengabdian UNDIKMA*, 2(2), 134–141. <https://doi.org/10.33394/jpu.v2i2.4217>
- Sari, I. L., Aryani, V., & Santosa, D. P. (2025). Analisis Manajemen Proyek dalam Meningkatkan Efisiensi Operasional di Sektor Konstruksi. *Indonesian*

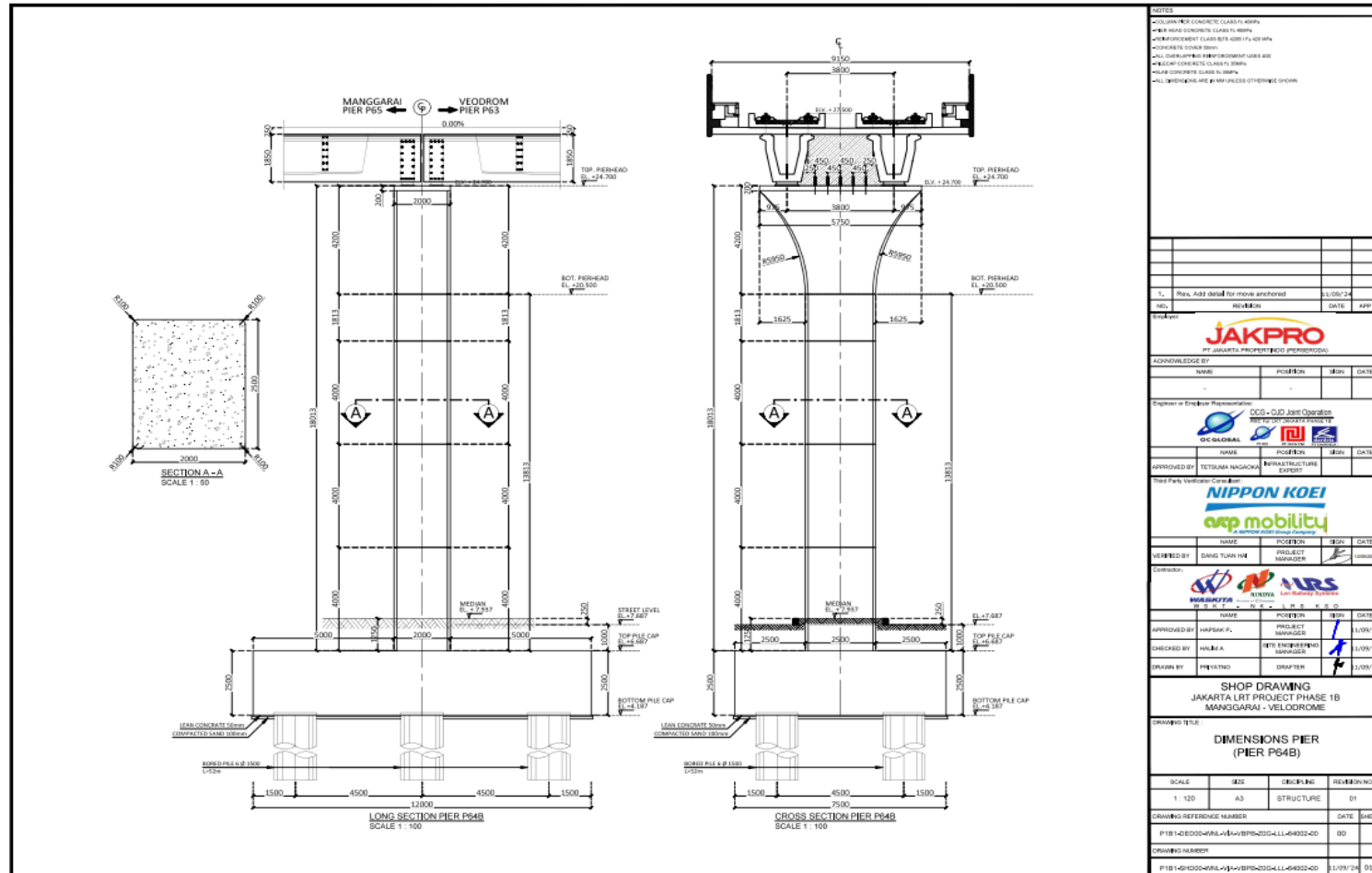
Research Journal on Education, 5(4), 591–595.

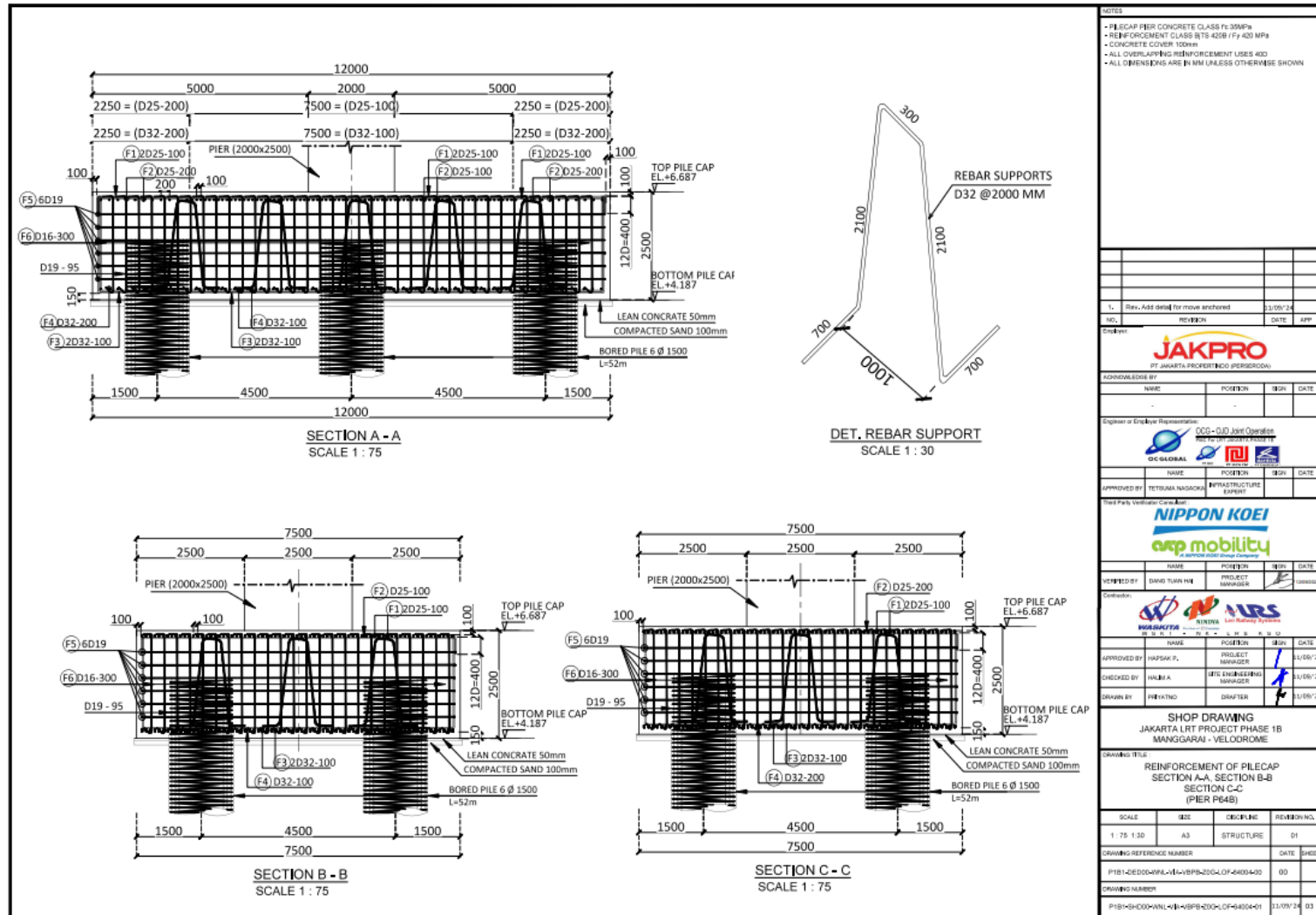
- Sholeh, G. I. (2025). Efektivitas dan Akurasi Metode Manual dan BIM dalam Perhitungan Volume Pile Cap dan Pembesian Bangunan Gedung. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 3(2), 89–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i2.786>
- Simatupang, P. H., Sir, T. M. W., & Wadu, V. A. (2020). Integrasi Program Tekla Structures Dan Sap2000 Dalam Perencanaan Gedung Beton Struktural. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 67–80.
- Soebandono, B., Hergantoro, G. S., & Priyo, M. (2022). Implementasi Building Information Modelling (BIM) Menggunakan Tekla Struktural Pada Konstruksi Gedung. *Bulletin of Civil Engineering*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.18196/bce.v2i1.12492>
- Soetjipto, J. W., Zarkasi, I. K., & Trisiana, A. (2023). Model Perancangan Pemeliharaan Bangunan Gedung Menggunakan Building Information Modeling (BIM). *Jurnal Permukiman*, 18(1), 1–15.
- Stefanus, & Lutfiansyah, Y. (2025). Analisis Perbandingan Perhitungan Quantity Take-Off Metode Konvensional dengan Perhitungan Berbasis BIM pada Pekerjaan Struktur Beton Jembatan (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Rengat–Pekanbaru). *Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 249–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.28932/jts.v21i2.8560>
- Stringer, Jusmidah, Fikri, M., & Nurhidayah. (2025). Analisis Persepsi Penerapan Manajemen Proyek Terhadap Keberhasilan Suatu Proyek Konstruksi. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 25(1), 185–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.35965/eco.v25i1.5869>
- Sugiyono. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Edisi Kedu). Alfabeta.
- Sulung, U., & Muspawi, M. (2024). Memahami Sumber Data Penelitian: Primer, Sekunder, dan Tersier. *Jurnal Edu Research*, 5(3), 110–116.
- Tampubolon, A. M., & Sari, Y. A. (2024). Implementation of BIM Using the Tekla Application in the Permata River View Housing Development Project. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 5(2), 272–280. <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i2.9379>
- Tungadi, R., Tanijaya, J., & Kalangi, H. T. (2024). Analisa Struktur Bangunan dengan Kolom Beton Bertulang Tidak Menerus. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 2(1), 23–32.
- Unbara, L. (2024). Improving Efficiency in Construction Projects through Utilization of BIM Technology in Construction Project Management. *Formosa Journal of Applied Sciences (FJAS)*, 3(10), 3933–3950. <https://doi.org/https://doi.org/10.55927/fjas.v3i10.11439>

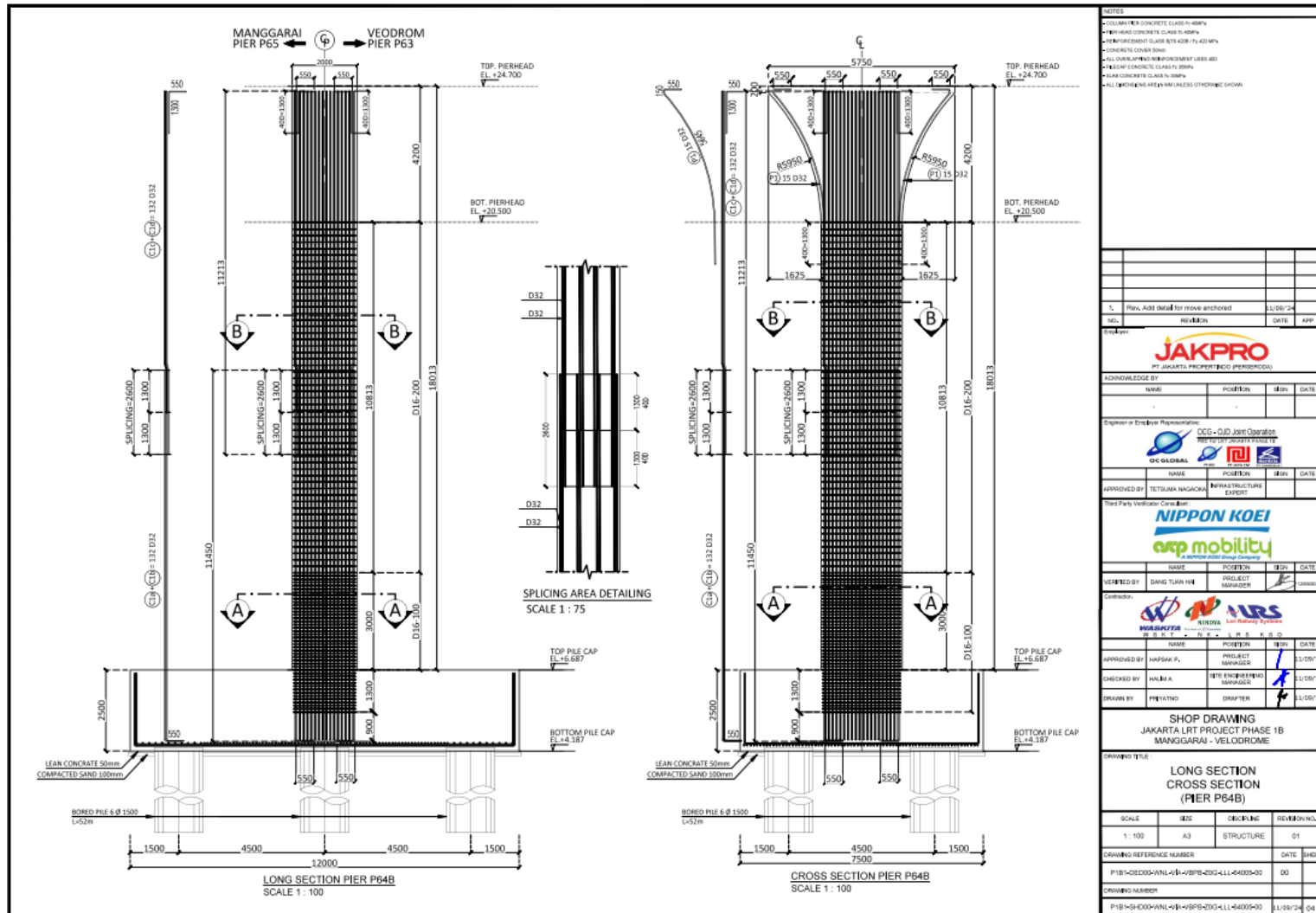
- Wijaya, A., & Sukarman. (2024). Pile Cap Design Using the Strut and Tie Model (STM) Method. *Jurnal Poli-Teknologi*, 23(2), 62–72.
- Wijaya, A., & Zaid. (2024). Penerapan Technology Acceptance Model (TAM) pada penggunaan Building Information Modeling (BIM) oleh para Arsitek Indonesia. *Journal of Multidisciplinary Science*, 1(1), 42–50. <https://doi.org/10.59631/multidiscience.v1i1.190>
- Wijaya, H. S., Sa'dillah, M., & Elsa, Y. R. N. (2024). Aplikasi Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Tekla Structures 2022 Pada Konstruksi Gedung Puskesmas Arjasa, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur. *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, 9(2), 466–478. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v9i2.1930>
- Yusmar, F., & Isda, R. R. (2024). Evaluation of Pile Cap Reinforcement Design Using Conventional and Finite Element with Strut and The Method Based on SNI 2847-2019. *Rekayasa Sipil*, 18(1), 18–23. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.01.4>
- Yusuf, A. M. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Penelitian Gabungan* (Edisi Pert). Kencana.
- Yusuf, R. (2022). Mengetahui Penyebab Profesional Manajer Proyek Dalam Kegiatan Proyek Konstruksi. *Tolis Ilmiah: Jurnal Penelitian*, 4(1), 43–50.

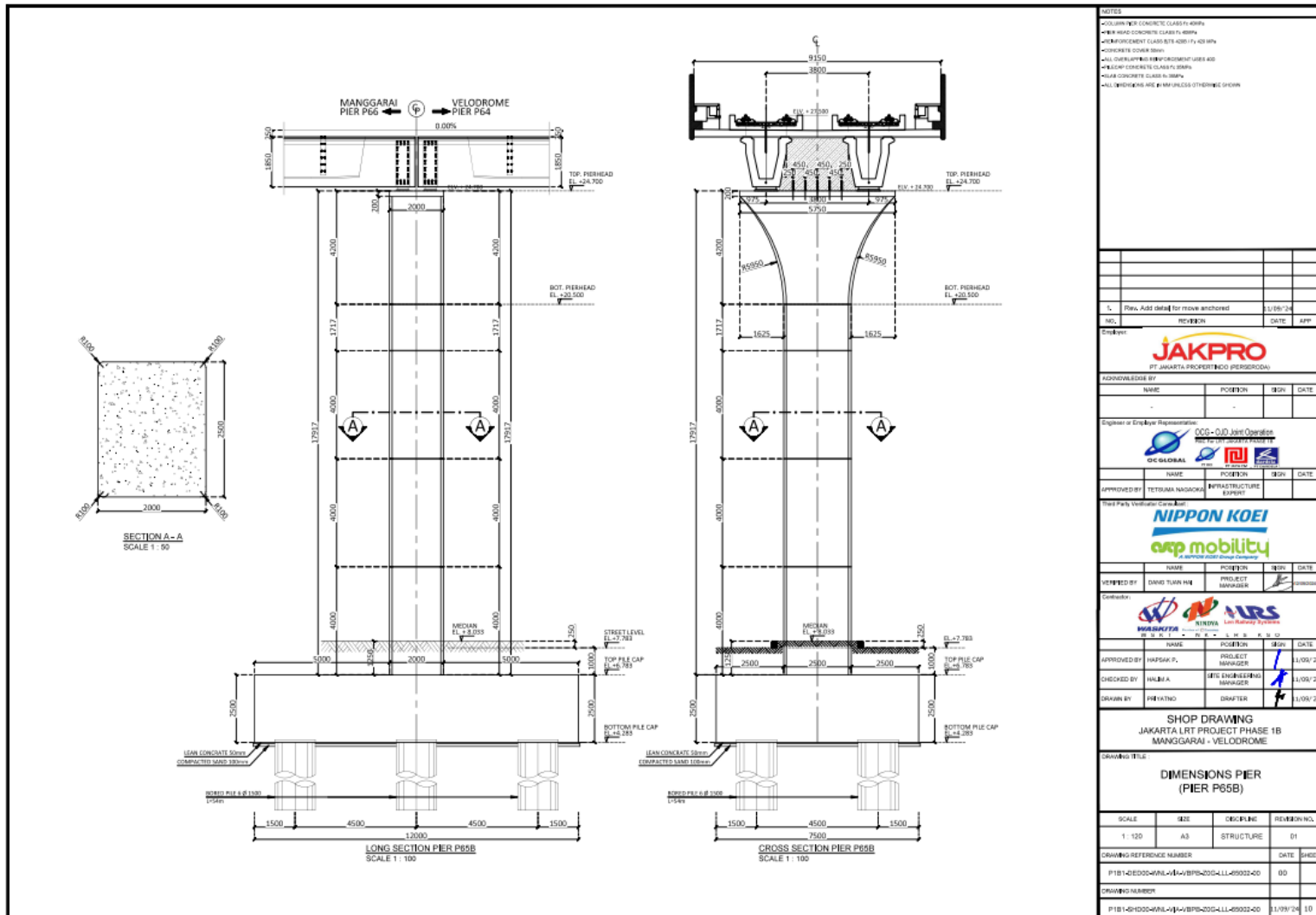
LAMPIRAN

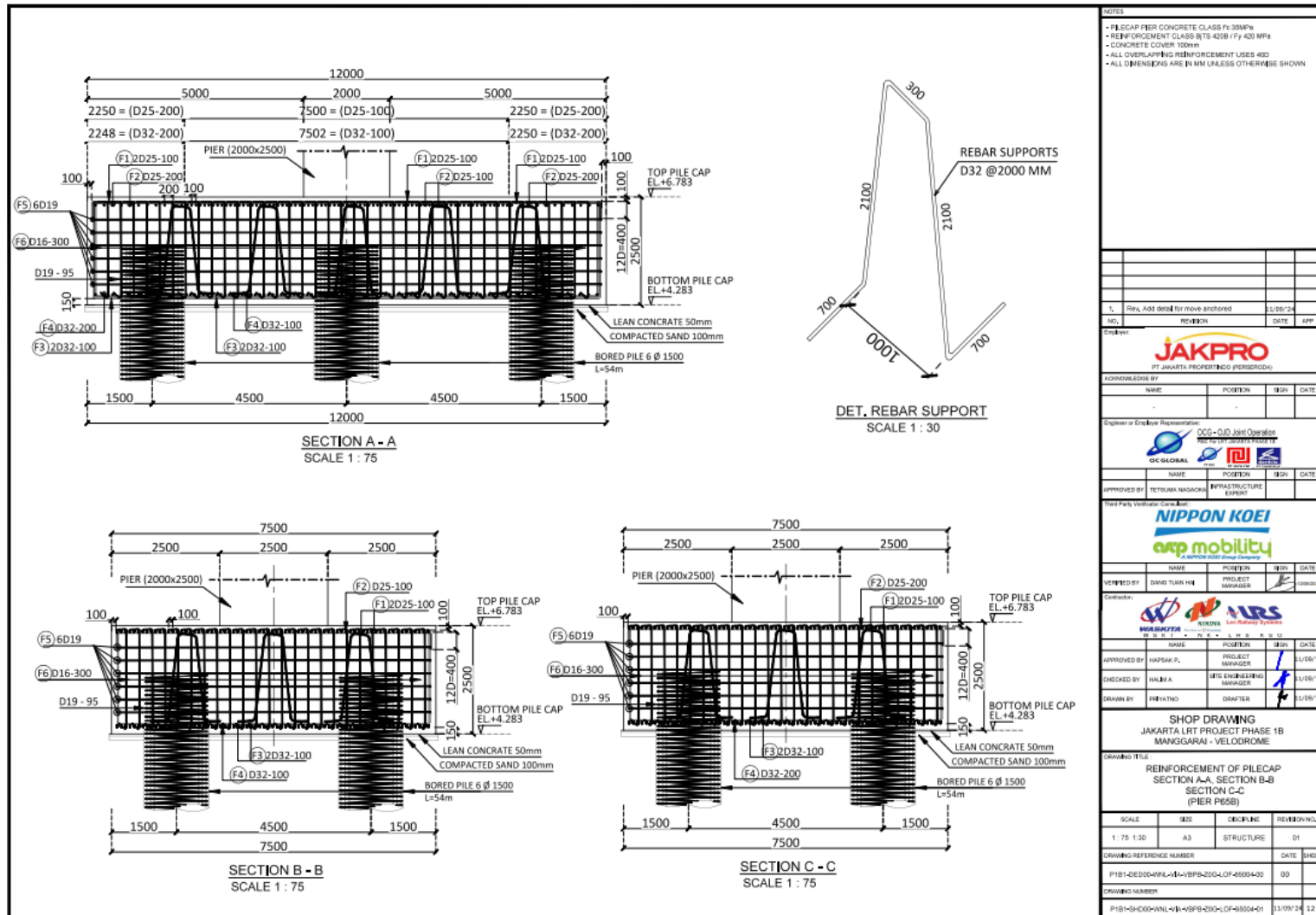
Lampiran 1 Shop Drawing Pilecap, Pier, dan Pier head P64-P67

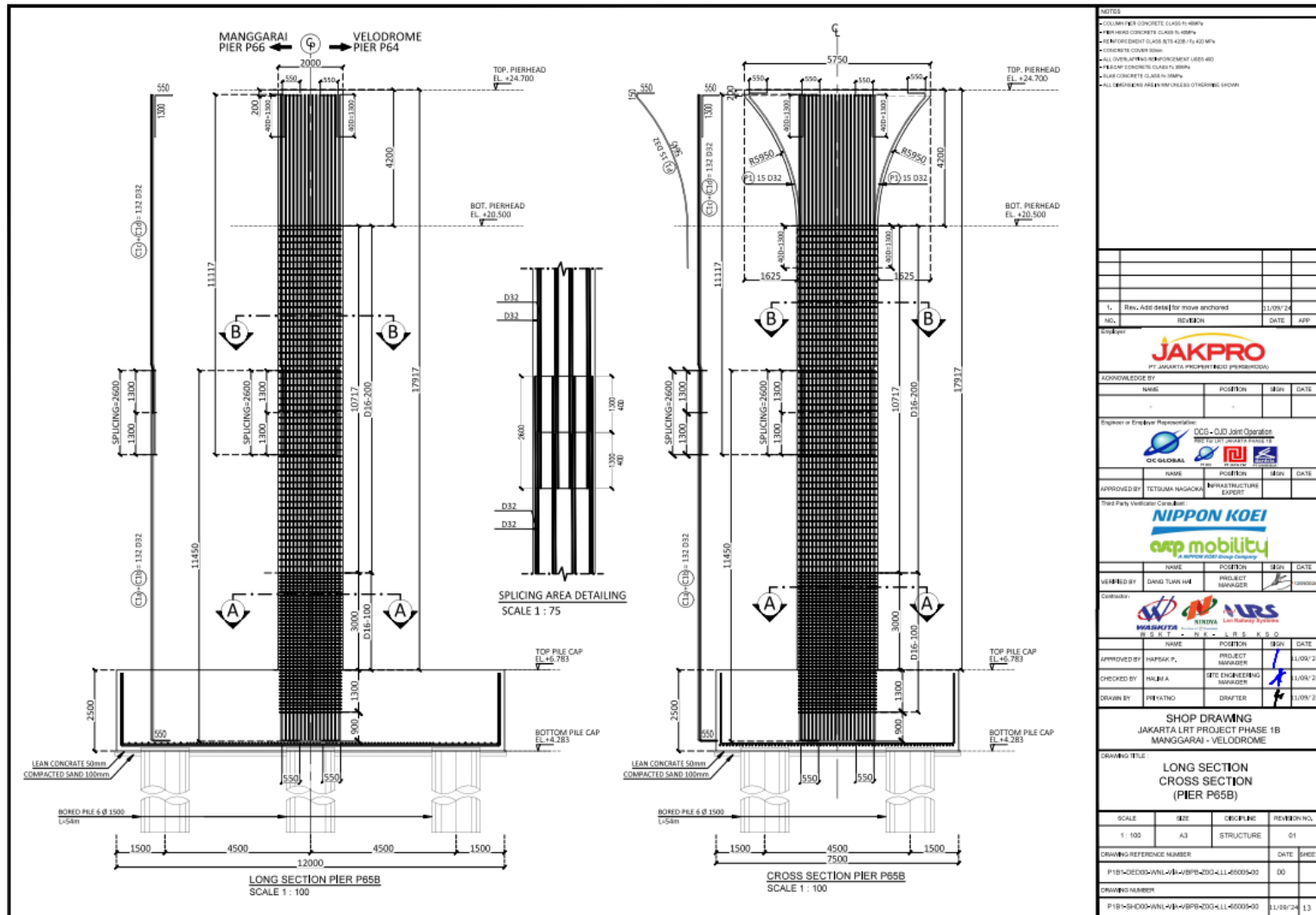


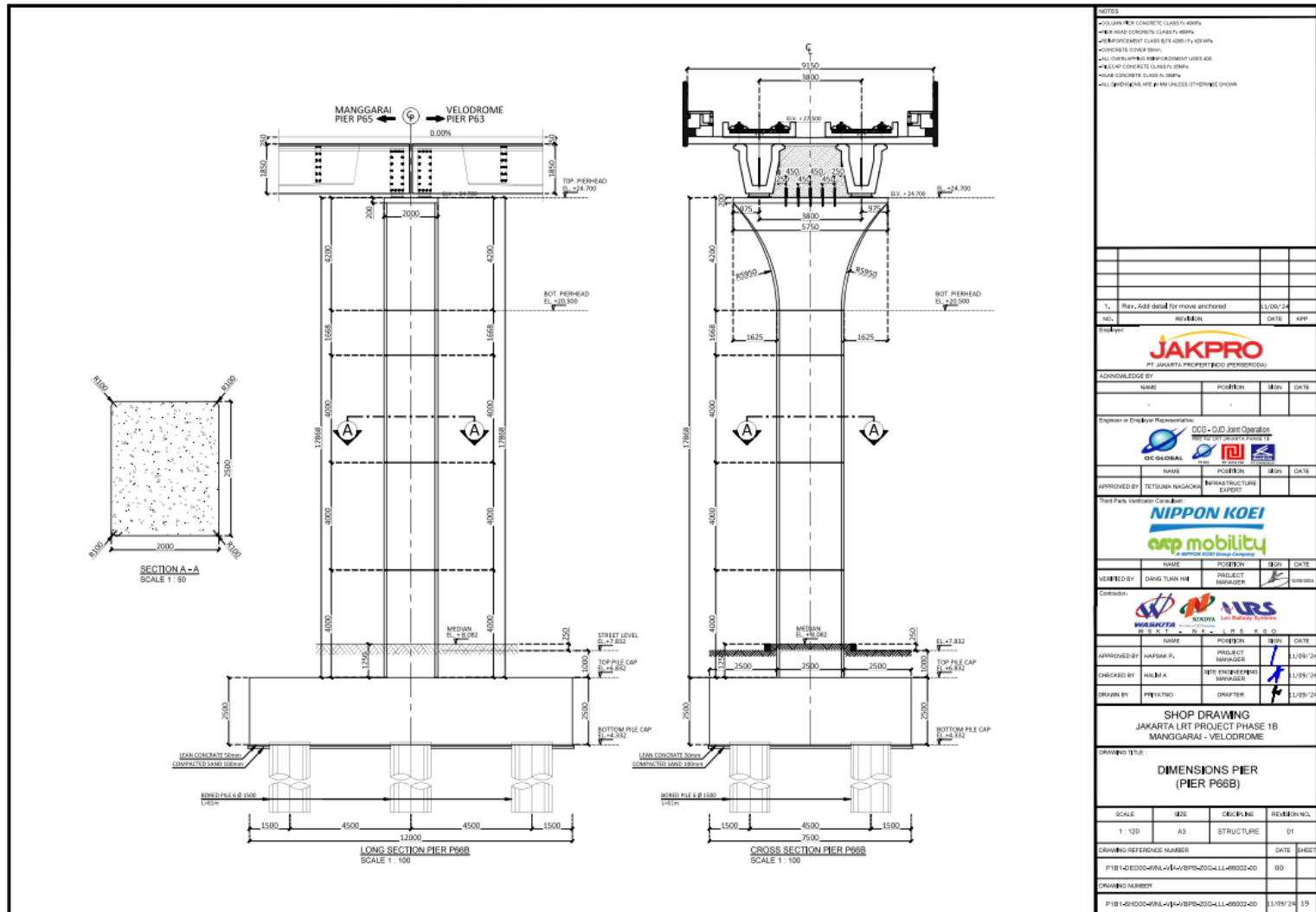


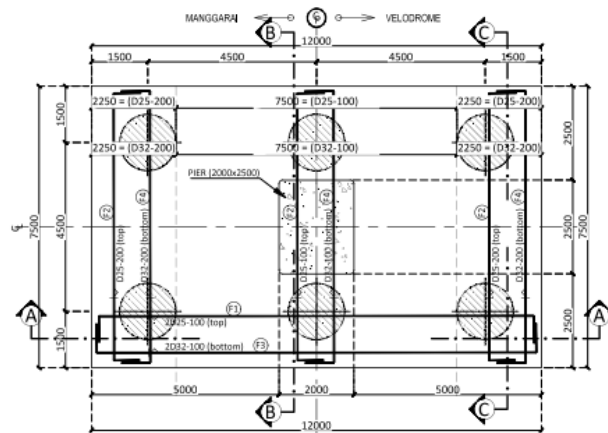




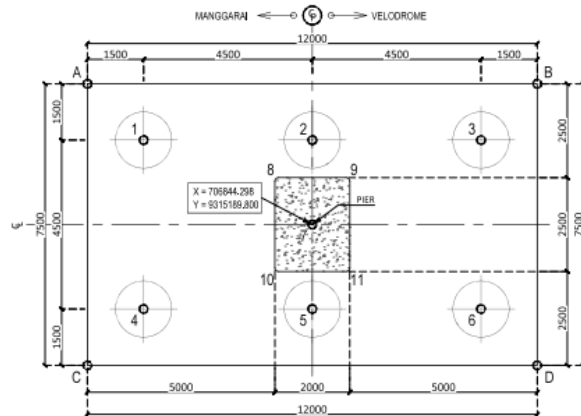








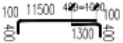
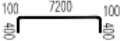
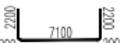
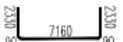
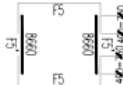
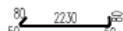
PLAN PILE CAP P66B
SCALE 1 : 100



PLAN PILE CAP P66B
SCALE 1 : 100

TYPE	GRID	POINT	COORDINATE	
			X	Y
PILE CAP	P 66 B	A	706837.959	9315192.943
		B	706849.901	9315194.121
		C	706838.695	9315185.479
		D	706850.637	9315186.657
BORED PILE	P 66 B	1	706839.599	9315191.598
		2	706844.078	9315192.039
		3	706848.556	9315192.481
		4	706840.041	9315187.120
		5	706844.519	9315187.561
		6	706848.997	9315188.007
PIER	P 66 B	7	706844.298	9315189.800
		8	706843.181	9315190.946
		9	706845.171	9315191.142
		10	706843.426	9315188.458
		11	706845.416	9315188.654

F.66 BAR BENDING SCHEDULE

CODE	REBAR SHAPE (mm)	DIAMETER (mm)	LENGTH (m)	QTY
F1		2D25-100	12 1.8	2x73=146 2x73=146
F2		D25-100 D25-200	8.2	97
F3		2D32-100	12 5.8	2x73=146 2x73=146
F4		D32-100 D32-200	11.9	97
F5		6D19	12.00	2x6=12
F5'		6D19	8.66	2x6=12
F6		D16-300	2.49	38x24=912

NOTES
- PILECAP PIER CONCRETE CLASS f_c 35MPa - REINFORCEMENT CLASS B15 420B / F_y 420 MPa - CONCRETE COVER 100mm - ALL OVERLAPPING REINFORCEMENT USES 40D - ALL DIMENSIONS ARE IN MM UNLESS OTHERWISE SHOWN

1.	Rev. Add date for move anchored	11/09/24	

JAKPRO
PT. JAKARTA PROPERTI Tbk (PERSERO)

ACKNOWLEDGE BY			
NAME	POSITION	SIGN	DATE

Engineer or Employer Representative:

CCG - CJD Joint Operation
RICE RD CRT JORHATA PHASE 1E

	NAME	POSITION	SIGN	DATE
APPROVED BY	TETSUMA NAGAOKA	INFRASTRUCTURE EXPERT		



	NAME	POSITION	SIGN	CA
VERIFIED BY	DANG TUNN HUI	PROJECT MANAGER		1208

	NAME	POSITION	SIGN	DATE
APPROVED BY	HAFSAK F.	PROJECT MANAGER		01/06/2018

CHECKED BY	HALIMA	SITE ENGINEERING MANAGER		01/0
DRAWN BY	PREYATHO	DRAFTER		01/0

SHOP DRAWING
JAKARTA LRT PROJECT PHASE 1B
MANGGARAI - VELODROME

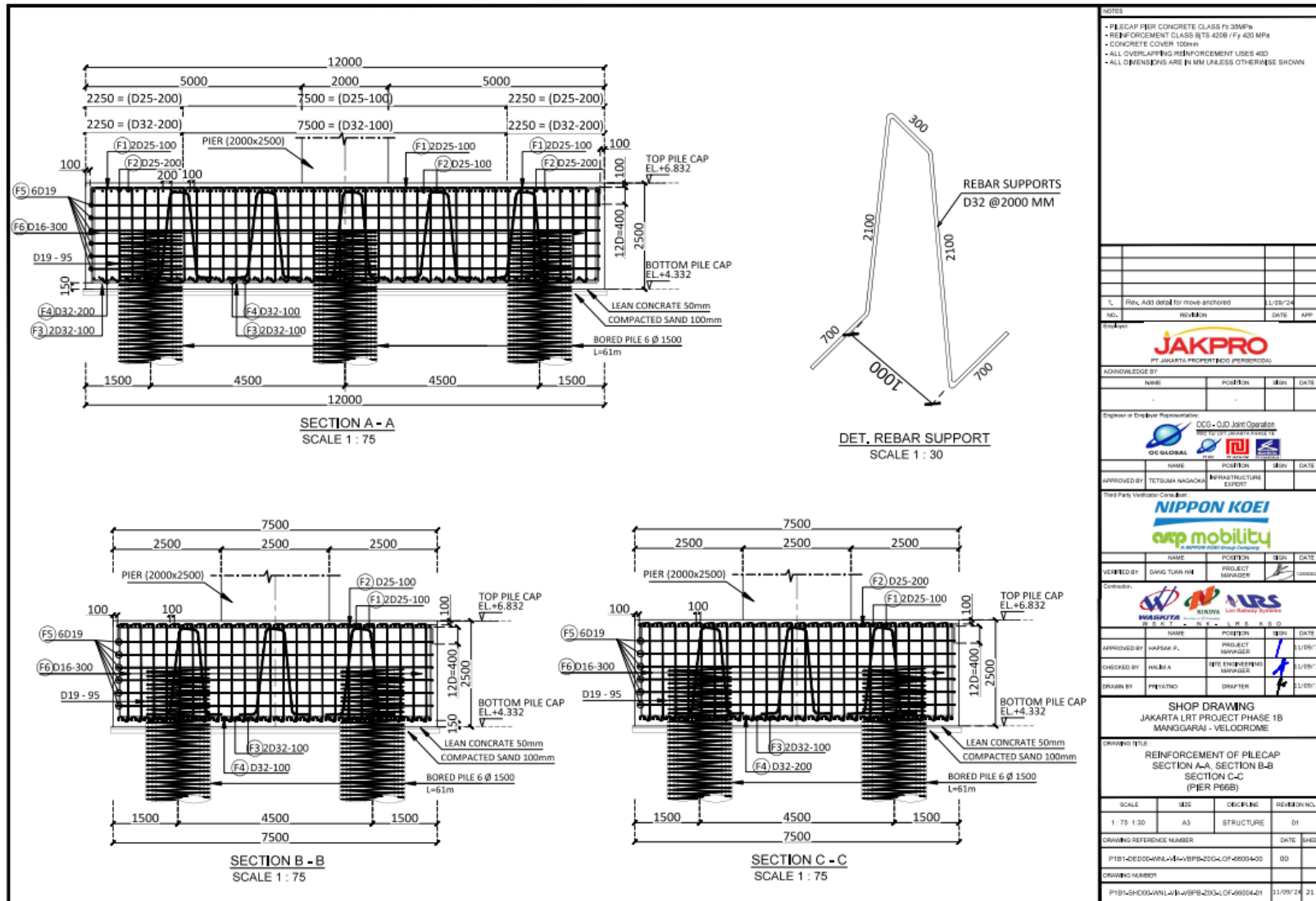
REINFORCEMENT OF PILECAP
(PIER D66B)

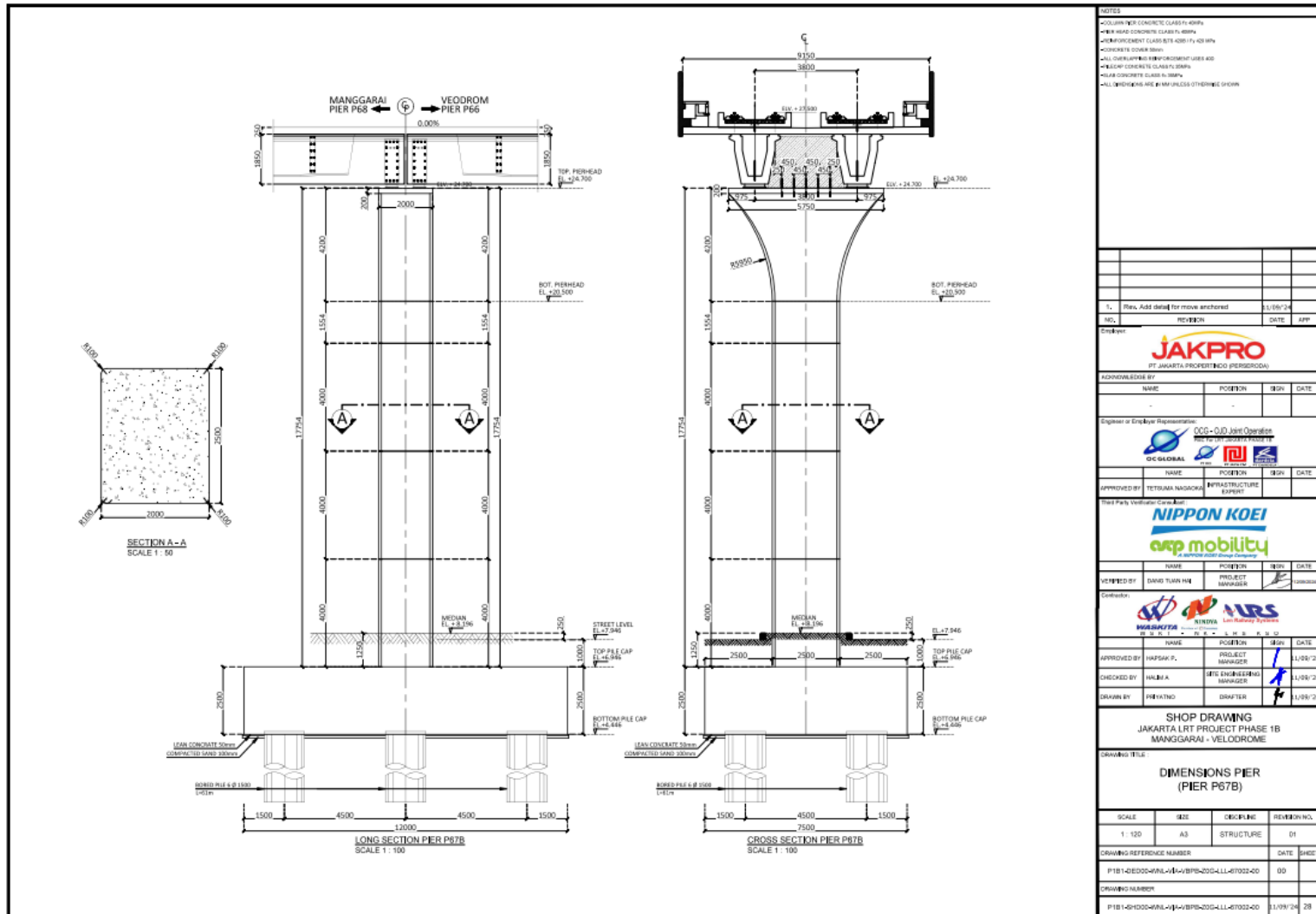
SCALE	SIZE	DISCIPLINE	REVISION

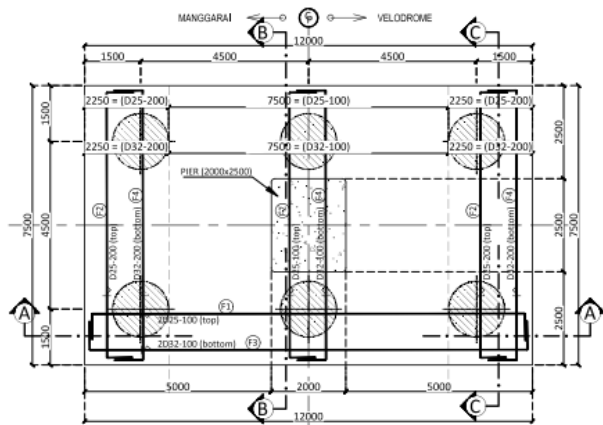
1:100	A3	STRUCTURE	01
DRAWING REFERENCE NUMBER			DATE

P1B1-DED00-WPL-V14-Y2PB-ZIG-LOF-66004-00	00
--	----

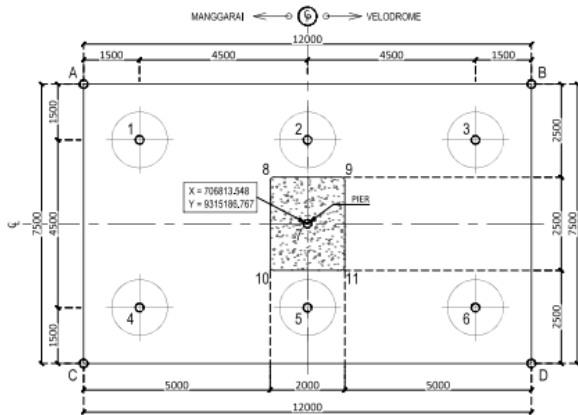
DRAWING NUMBER	
PR11-84000-000-014-0000-000-01 OF 0000-00	11/09/24







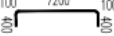
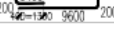
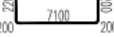
PLAN PILE CAP P67B
SCALE 1 : 100



PLAN PILE CAP P67B
SCALE 1 : 80

TYPE	GRID	POINT	COORDINATE	
			X	Y
PILE CAP	P 67 B	A	706807.208	9315189.910
		B	706819.150	9315191.089
		C	706807.945	9315182.446
		D	706819.887	9315183.625
BORED PILE	P 67 B	1	706808.849	9315188.565
		2	706813.327	9315189.007
		3	706817.805	9315189.448
		4	706809.290	9315184.087
		5	706813.768	9315184.528
		6	706818.247	9315184.970
PIER	P 67 B	7	706813.548	9315186.767
		8	706812.430	9315187.913
		9	706814.420	9315188.110
		10	706812.675	9315185.425
		11	706814.665	9315185.622

F.67 BAR BENDING SCHEDULE

CODE	REBAR SHAPE (mm)	DIAMETER (mm)	LENGTH (m)	QTY
F1		2D25-100	12 1.8	2x73=146 2x73=146
F2		D25-100 D25-200	8.2	97
F3		2D32-100	12 5.8	2x73=146 2x73=146
F4		D32-100 D32-200	11.9	97
F5		6D19	12.00	2x6=12
F5'		6D19	8.66	2x6=12
F6		D16-300	2.49	38x24=912

NOTES

- PULCAP FIBER CONCRETE CLASS Fc 35MPa
- REINFORCEMENT CLASS B15 420B / Fy 420 MPa
- CONCRETE COVER 100mm
- ALL OVERLAPPING REINFORCEMENT USES 40D
- ALL DIMENSIONS ARE IN MM UNLESS OTHERWISE SHOWN

1.	Rev. Add detail for move anchored	11/09/24	
NO.	REVISION	DATE	APP.

110

JAKPRO
PT. JAKARTA PROPERTINDO (PERSERO)

ACKNOWLEDGE BY			
NAME	POSITION	SIGN	DATE

Engineer or Employer Representative:

OCG - OJD Joint Operation
R&D for LST JOURNAL PAGE 18

	NAME	POSITION	SIGN	DATE
APPROVED BY	TETSUMA NAGAKURA	INFRASTRUCTURE EXPERT		

Third Party Verifier Certification



NIPPON KOEI
esp mobility
A NIPPON KOEI Group Company

	NAME	POSITION	SIGN	DATE
VERIFIED BY	DANG TUAN NH	PROJECT MANAGER		01/09/2021

Contractor:

WASKITA NINDYA MRS
Joint Venture
Last Railway Systems

WSKT - NE - LNE KSO

	NAME	POSITION	SIGN	DATE
APPROVED BY	HAFSAK P.	PROJECT MANAGER		11/09/
PROJECTED BY		DATE ENGINEERED		

CHECKED BY	HALIMA	QC CHECKED BY	MANAGER	11/04/20
DRAWN BY	PRİYATNO	DRAFTER		11/04/20

SHOP DRAWING
JAKARTA LRT PROJECT PHASE 1B
MANGGARAI - VELODROME

ORIGINATOR TITLE

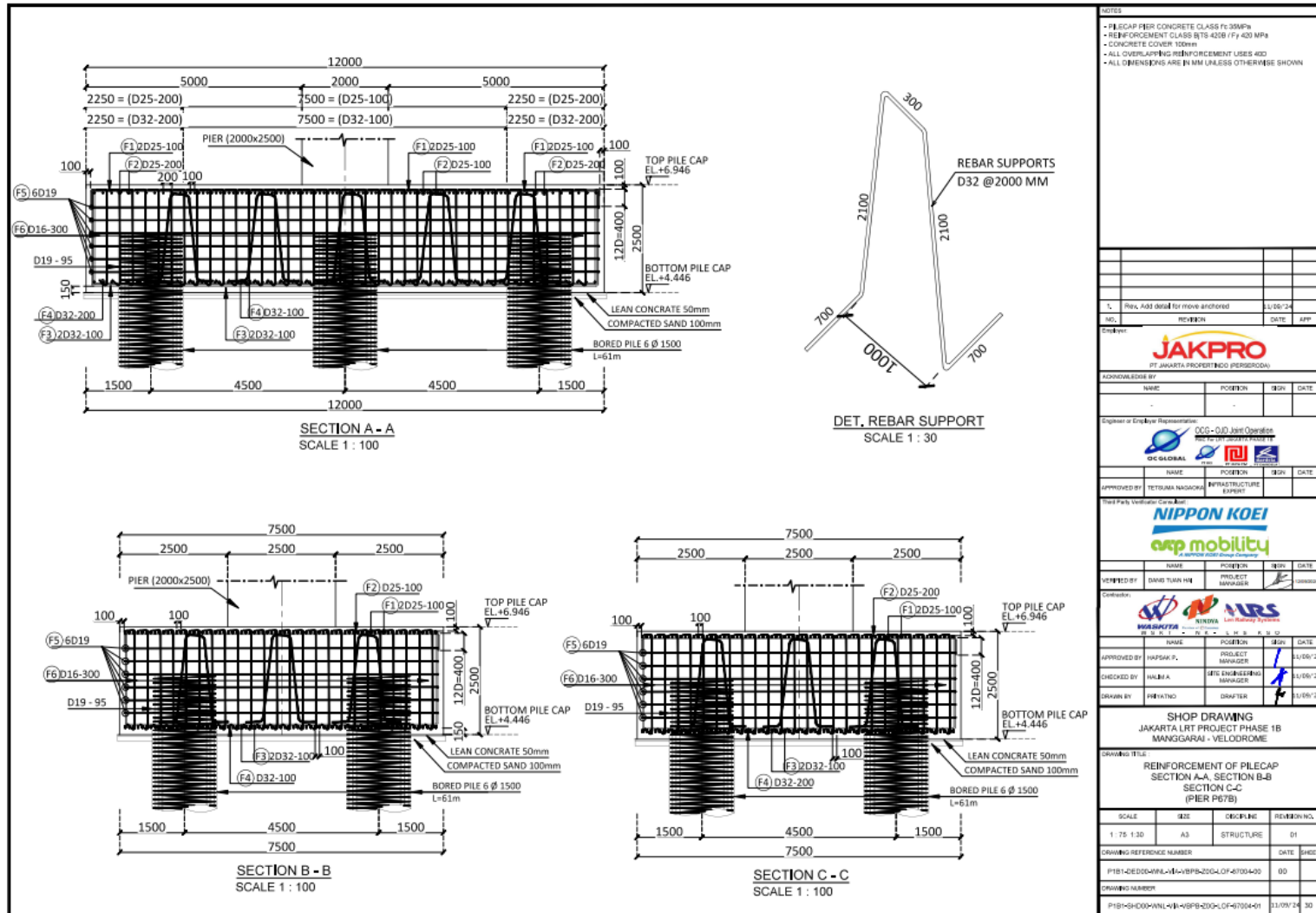
REINFORCEMENT OF PILECAP
(PIER P67B)

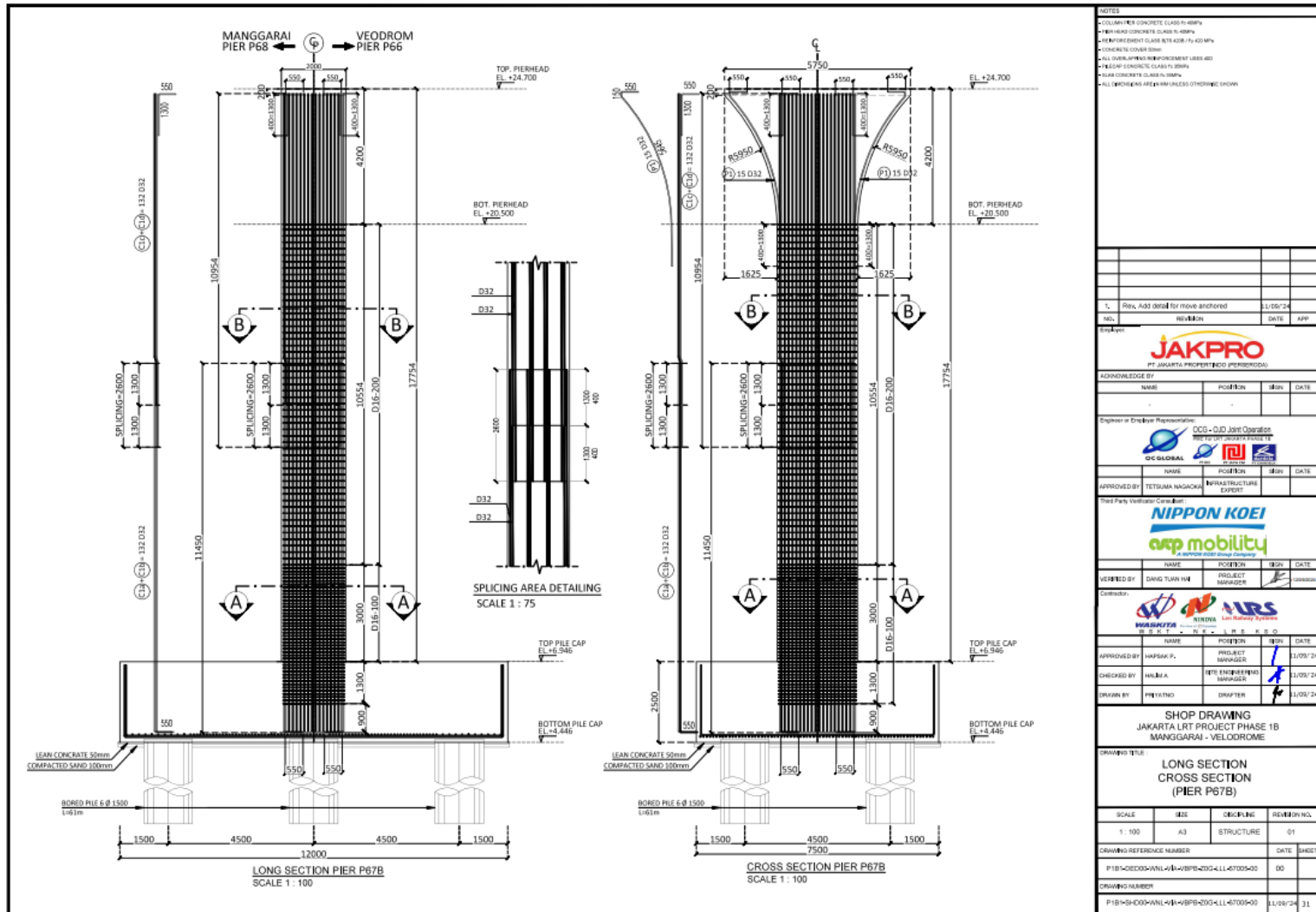
SCALE	SIZE	DISCIPLINE	REVISION NO.
1 : 100	A3	STRUCTURE	01

DRAWING REFERENCE NUMBER	DATE	SHEET
--------------------------	------	-------

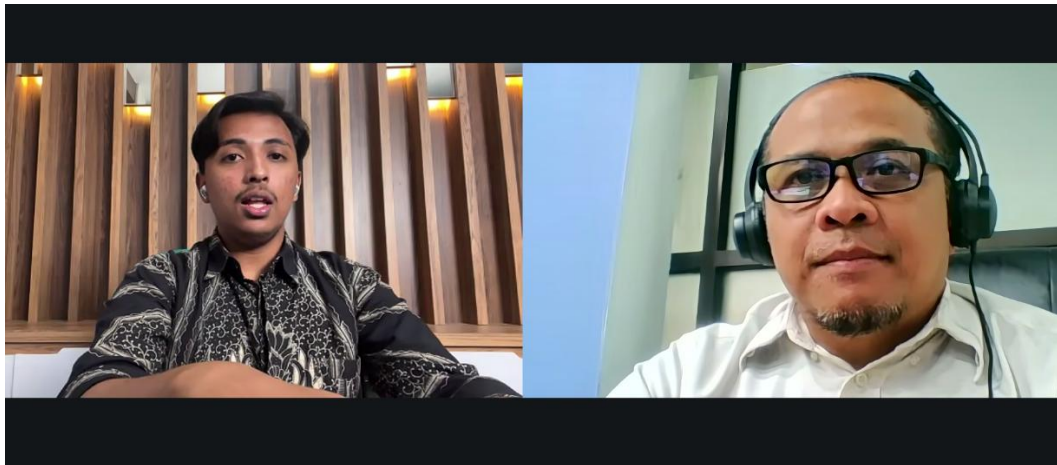
1. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁸ CFU/ml) 2. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁷ CFU/ml) 3. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁶ CFU/ml) 4. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁵ CFU/ml) 5. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁴ CFU/ml) 6. <i>Staphylococcus aureus</i> (10³ CFU/ml) 7. <i>Staphylococcus aureus</i> (10² CFU/ml) 8. <i>Staphylococcus aureus</i> (10¹ CFU/ml) 9. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁰ CFU/ml) 10. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁻¹ CFU/ml)	1. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁸ CFU/ml) 2. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁷ CFU/ml) 3. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁶ CFU/ml) 4. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁵ CFU/ml) 5. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁴ CFU/ml) 6. <i>Staphylococcus aureus</i> (10³ CFU/ml) 7. <i>Staphylococcus aureus</i> (10² CFU/ml) 8. <i>Staphylococcus aureus</i> (10¹ CFU/ml) 9. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁰ CFU/ml) 10. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁻¹ CFU/ml)	1. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁸ CFU/ml) 2. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁷ CFU/ml) 3. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁶ CFU/ml) 4. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁵ CFU/ml) 5. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁴ CFU/ml) 6. <i>Staphylococcus aureus</i> (10³ CFU/ml) 7. <i>Staphylococcus aureus</i> (10² CFU/ml) 8. <i>Staphylococcus aureus</i> (10¹ CFU/ml) 9. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁰ CFU/ml) 10. <i>Staphylococcus aureus</i> (10⁻¹ CFU/ml)
---	---	---

FILED IN THE OFFICE OF THE CLERK OF THE DISTRICT COURT OF THE DISTRICT OF COLUMBIA	00	
--	----	--

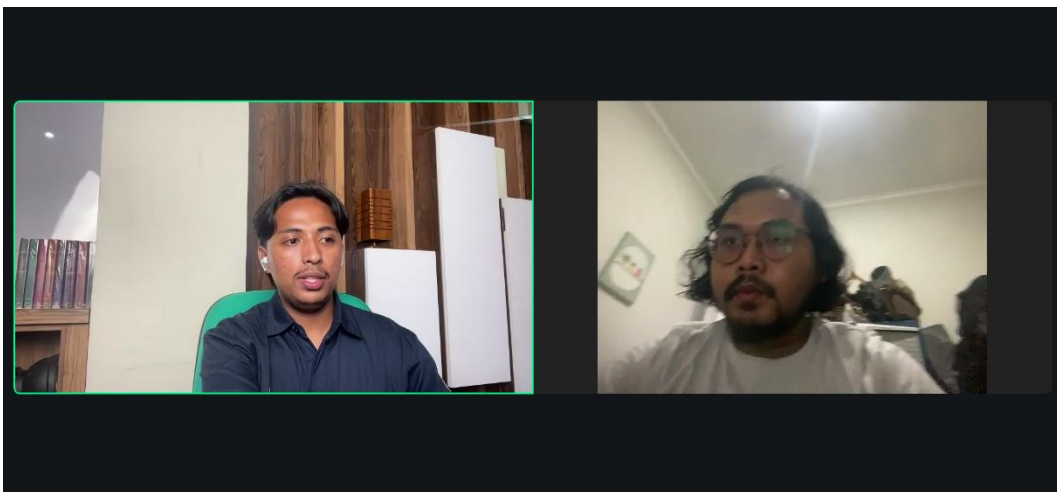




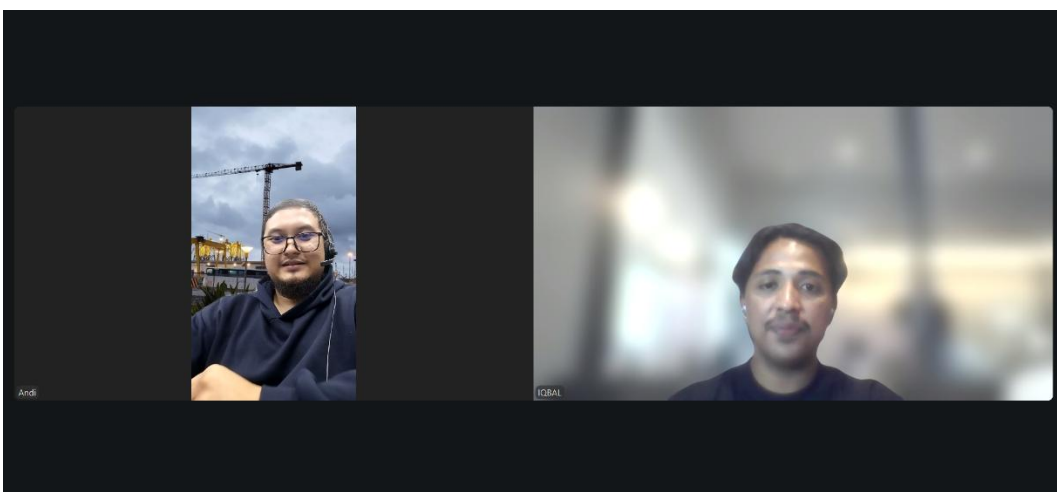
Lampiran 2 Dokumentasi wawancara



Gambar L-2. 1 Wawancara Narasumber 1



Gambar L-2. 2 Wawancara Narasumber 2



Gambar L-2. 3 Wawancara Narasumber 3

Lampiran 3 CV Narasumber



Arief Rahman ST. MM.
Subject Matter Expert (SME)
BIM & Digital Construction

Profesional BIM dengan pengalaman lebih dari 20 tahun yang berdedikasi menangani semua aspek Implementasi BIM, project management, AI-Robotic, AWP-Lean Construction, Smart Construction, dan Engineering Construction

EXPERIENCE

- **Senior Manager BIM-Lean Construction-Operational Technology**
 - PT. PP Persero Tbk - Jakarta, Indonesia
- **Subject Matter Expert - BIM Specialist**
 - PT PP Persero Tbk.
- **Senior Support Engineer**
 - Autodesk - Singapura
- **BIM Manager**
 - DAR ALRIYADH - Arab Saudi
- **Senior Piping Engineer**
 - EDS Asia - Malaysia
- **Senior Application Engineer**
 - Jakarta
- **CAD Engineer**
 - Boosung - Surabaya

EXPERTISE

- **PROJECT MANAGEMENT (AGILE, LEAN, AWP).** 
- **BIM Management (3D-8D).** 
- **ISO 19650 (BIM INFORMATION MANAGEMENT)** 
- **IMMERSIVE CONSTRUCTION (VR, AR, MR, XR)** 
- **SUSTAINABILITY (GREEN BUILDING, ESG)** 
- **ARTIFICIAL INTELLIGENCE - COMPUTER VISION** 
- **ROBOTIC – UAV/AERIAL- Remote Sensing (LIDAR/Laser, Quadraped robotic)** 

CERTIFICATION

- SKK BIM Manager Madya – BNSP
- Advance Work Packaging Champion – AWP University
- Green Building Practitioner (GP) - GBCI

Gambar L-3. 1 CV Narasumber 1



IMAM AGUNG BASKORO

CIVIL & BIM ENGINEER



+6285799721299



imam.a.baskoro@gmail.com



Depok, Jawa Barat

About Me

i'm a Civil Engineering graduate with an "Insinyur" title from PS PPI. I am passionate about construction management, project management and building information modeling (BIM). I have experience in bidding processes, project execution and monitoring, digital technology Implementation and ERP system integration.

Skills

- Construction Planning
- Project Management
- Lean Construction
- Building Information Modeling
- Structural Analysis
- ERP, Digital Technology & System Integration
- Communication & Team Leadership

Software:

CAD, Revit, Naviswork, Autodesk Construction Cloud, Tekla, Synchro4D, Drone Photogrammetry, Ms. Office, Glodon Cubicost, SAP2000/ETABS, Ms. Project, ERP, AI & Automation system.

Certification

- SKA Ahli Muda Manajemen Proyek - BNSP
- Tekla Structures User Certification
- Glodon Cubicost User Certification
- Glodon Cubicost Trainer Certification
- Pilot Drone Certification
- Procore Construction Management Professional Certificate
- Atlassian Agile Project Management Professional Certificate

Education

Universitas Islam Indonesia | 2019

S1 - Teknik Sipil | ST.

Institut Teknologi Indonesia | 2024

PS PPI - Insinyur | Ir.

Experience

Building Planning Asistant JTS-FTSP UII	2018
Structural Engineer PT. Trikon (Desain Bangun)	2018
Staff Engineering - BIM Dept PT. Wika Gedung	2019
Junior Expert Civil - BIM Dept PT. Wika Gedung	2024
BIM Coor - Basilika IKN WG - Brantas KSO	2025
Junior Expert Civil - ENGDIGI Dept PT. Wika Gedung	2026

Awards

1st Winner BIM5D Inspire Award Glodon Indonesia	2023
3rd Winner BIMWIKI & Transformation Award	2024
2nd Winner Kompetisi Konstruksi Ramping Neo 2.0	2024
Best KM Winner Innovation Award Wika Gedung	2023-2024
Best Change Agent CA Wika Gedung	2024



www.linkedin.com/in/imam-agung-baskoro-944258135

Gambar L-3. 2 CV Narasumber 2 Bagian 1

Contact

imam.a.baskoro@gmail.com

www.linkedin.com/in/imam-agung-baskoro-944258135 (LinkedIn)

Top Skills

Autodesk BIM 360

Survey Photogrammetry

Drone Piloting

Languages

English (Limited Working)

Indonesia (Full Professional)

Certifications

Pelatihan Plaxis2D

Tekla Structures User Certification

Lean Construction for Project Management

General English - Upper Intermediate - CEFR Level B2

Pelatihan Survey Photogrammetry

Honors-Awards

Finalis Panelis Tekla Modeling Challenge 2021

1st Winner BIM5D Inspire Award Glodon Indonesia

3rd BIMWIKA & Transformation Award | Kategori Best Maturity

3rd BIMWIKA & Transformation Award | Kategori Best Value

Best Change Agent AKHLAK 2024 Wika Gedung

Imam Agung Baskoro

Civil Engineer | BIM Engineer | BIM Instructor | Jr. Expert Project Management - 1st Winner 5DBIM Glodon Inspire Award 2023 - 2nd Winner K2R (Kompetisi Konstruksi Ramping) 2024

Jakarta, Indonesia

Experience

Freelance

Syabab Consultant

March 2018 - Present (8 years)

- BIM Modeler for Jetty Project, preparing 3D models for Rehab Berat Dermaga Multipurpose di Pelabuhan Pulau Pisau Project
- BIM Modeler for Jetty Project, preparing 3D models for Perpanjangan Dermaga Timur Pelabuhan Benoa Sepanjang 160 M Project
- BIM Modeler for KAI Depo Muaragula Ultimate Project, preparing 3D models & DED for Depo Lokomotif
- BIM Modeler for KAI Depo Muaragula Ultimate Project, preparing 3D models & DED for Depo Mesin Bubut
- BIM Modeler for KAI Depo Muaragula Ultimate Project, preparing 3D models & DED for Depo 4R
- Structures Analysis for 2nd Floor & High Rise Building (Clinic, Boarding House, Residence, etc)

PT Wijaya Karya Bangunan Gedung Tbk.

7 years

Jr. Civil Expert | BIM Department Engineering Division

September 2024 - Present (1 year 6 months)

Jakarta, Indonesia

- Prepared BIM documentation including Pre-BEP (BIM Execution Plan) and Mobilization Plans for both bidding and construction phases, following ISO 19650 framework.
- Conducted BIM monitoring and implementation using BIM Maturity Levels to ensure compliance and progress tracking.
- Developed and implemented BIM Level 2 systems integrated with SAP/ERP for enhanced data and cost management.
- Integrated Microsoft Project and Cubicost into the BIM process to improve collaboration and project scheduling accuracy.
- Applied Lean Construction principles through BIM tools such as Last Planner System and Material Optimization for delay analysis and waste reduction.

Page 1 of 4

Gambar L-3. 3 CV Narasumber 2 Bagian 2

- Supported Quantity Surveying (QS) activities for BIM 5D projects, including BMKG Jakarta-Bali project for ensuring accurate cost estimation and project control.

BIM Coordinator | Proyek Basilika IKN

June 2025 - February 2026 (9 months)

Ibu Kota Nusantara

- Prepared and monitored MIDP (Master Information Delivery Plan), TIDP (Task Information Delivery Plan), and BIM Mobilization Plan.
- Developed BIM documentation including BEP (BIM Execution Plan), EIR (Exchange Information Requirements), QA/QC BIM check, Risk Register, RACI Matrix, Clash Management Procedures and BIM progress reports.
- Performed BIM modeling and multidisciplinary collaboration using Revit Collaboration tools.
- Managed and monitored issues, workflows, and document control processes within CDE using Autodesk Construction Cloud by Autodesk.
- Coordinated BIM and document control activities with consultants, contractors, and subcontractors.
- Reviewed BIM models and technical documents, and conducted clash detection to ensure coordination and constructability.
- Prepared BIM 4D simulations for construction sequencing and schedule visualization.
- Research and developed BIM using dynamo and AI.
- Facilitated and supported ISO 19650 Part 1 & 2 surveillance audits by BSI (British Standards Institution), ensuring organizational compliance with BIM information management standards from International Organization for Standardization (ISO).

BIM Management & Coordination staff | BIM Department Engineering Division

November 2019 - September 2024 (4 years 11 months)

Jakarta, Indonesia

- Prepared Pre-BEP (BIM Execution Plan) and Mobilization Plans for bidding and construction phases aligned with ISO 19650.
- Led BIM monitoring and maturity assessments for ongoing projects to ensure compliance and digital progress tracking.
- Developed BIM Level 2 frameworks with integration to SAP/ERP, Microsoft Project, and Cubicost for improved collaboration, cost accuracy, and scheduling.
- Applied Lean Construction methods using BIM-based Last Planner System and Material Optimization to analyze delays and minimize waste.

Page 2 of 4

Gambar L-3. 4 CV Narasumber 2 Bagian 3

BIM Modeler & Project Management Staff (4D & 5D specialist) | BIM
Department Engineering Division
November 2019 - September 2024 (4 years 11 months)
Jakarta, Indonesia

- Prepared structural models (BIM3D) for bidding and design development
- 3D modeling and DED preparation Workshop WG Project, Cibungur Purwakarta
- 3D modeling and QTO preparation for renovation & additional floor Rumah Duka Grand Heaven Pluit Project, Jakarta Utara.
- 3D modeling for design and coordination UGM SGLC & ERIC Projects, Yogyakarta
- 3D modeling of roof structures Kemenko 1 Project, IKN
- 3D modeling for structure and rebar Pasar Pariaman Project, Padang
- BIM surveying and project monitoring RS Covid Tanjung Duren Project, Jakarta
- Created construction sequence and simulation models (BIM4D) for bidding and project planning (e.g., Jakarta International Stadium Project).
- Developed QTO models for cost estimation and quantity take-off (BIM5D) across multiple projects: Gedung Biofarma No.34 Bandung, Khayming School (Elementary Building) Surabaya, BMKG STMKG Tangerang, Telkomsel Facility Support Building Jakarta

Management Trainee | Biro Enjiniring
March 2019 - November 2019 (9 months)
Jakarta, Indonesia

- Preparing work method, schedule planning and construction method for Bidding
- Completely research and I've made report about rebar modeling and rebar optimizing potential with using Tekla Structures

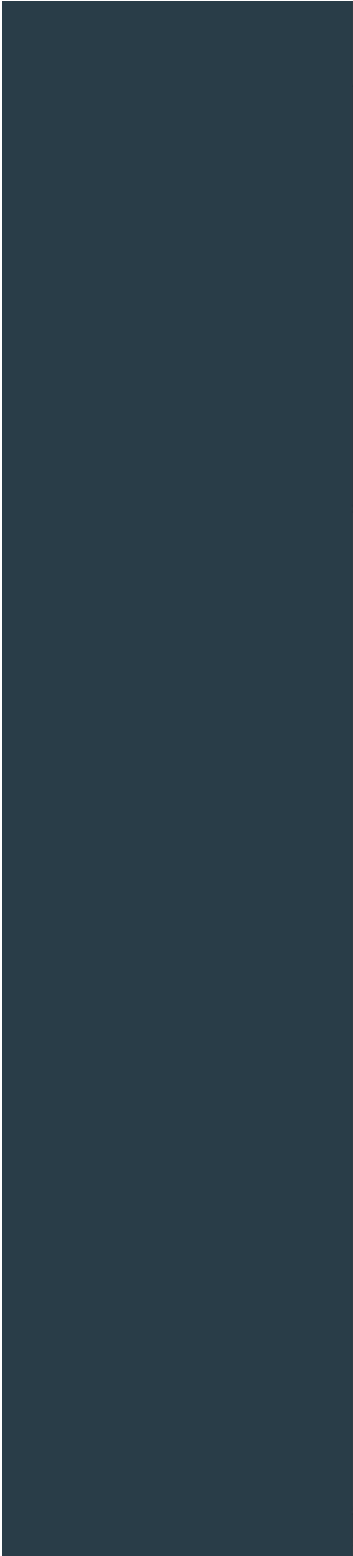
Desain Bangun
Desain Bangun (PT. Trikon)
October 2018 - January 2019 (4 months)
Yogyakarta, Indonesia

Universitas Islam Indonesia
Building Planning Assistant
2018 - 2018 (less than a year)
Yogyakarta, Indonesia

PT. Sinar Cerah Sempurna

Page 3 of 4

Gambar L-3. 5 CV Narasumber 2 Bagian 4



Proyek Pembangunan Gedung R.Soegondo FIB UGM
2016 - 2016 (less than a year)
Yogyakarta, Indonesia

Education

Institut Teknologi Indonesia
Insinyur (Ir), Program Profesi Insinyur · (2023 - 2024)

Universitas Islam Indonesia
Sarjana Teknik (ST), Teknik Sipil · (2013 - 2019)

Gambar L-3. 6 CV Narasumber 2 Bagian 5

ANDI BACHTIAR

TEKLA STRUCTURAL DESIGNER

LinkedIn: [linkedin.com/in/andi-bachtiar-7295b75a](https://www.linkedin.com/in/andi-bachtiar-7295b75a)

Highly experienced Tekla Structures Specialist with over 15 years of expertise in structural modeling, steel detailing, and engineering design across building, industrial, marine, and offshore sectors. Proven track record in delivering steel structure projects through the development of detailed 3D models, fabrication drawings, Material Take Off (MTO), Bill of Material (BOM), and comprehensive engineering documentation. Possesses extensive experience in supporting engineering, fabrication, and construction activities while ensuring accuracy, efficiency, and compliance with project requirements. Demonstrated ability to collaborate effectively within multidisciplinary teams and contribute to the successful execution of large-scale infrastructure, offshore platform, and industrial facility projects in both national and international environments.

AREA OF EXPERTISE

Tekla Structures	Steel Structure Design	Structural Modeling
Structural Engineering	Steel Detailing	Material Take Off (MTO)

PROFESSIONAL EXPERIENCE

Tekla Structural Designer Malaysia Marine & Heavy Engineering (MHB), Malaysia	Jul 2025 - Present
- Develops 3D structural models and fabrication drawings using Tekla Structures. - Supports structural engineering and steel detailing activities for industrial and offshore projects	
Tekla Structural Designer Synergy Engineering, Indonesia	Dec 2024 - Jul 2025
- Produced structural models and detailed drawings for steel structure projects. - Utilized Tekla Structures to support engineering and construction deliverables.	
Tekla Structural Designer Saipem, Indonesia	Aug 2022 - Dec 2024
- Performed structural modeling and detailing for offshore and industrial facilities. - Prepared engineering drawings and project documentation using Tekla Structures.	
Tekla Structural Draftman PT Duta Hita Jaya, Indonesia	Apr 2020 - May 2022
- Developed structural models and fabrication drawings for steel structures. - Assisted project teams in preparing detailing documentation.	
Senior Tekla Structural Draftman PT Dwijaya Sentral Sarana, Indonesia	May 2018 - Nov 2018
- Delivered detailing solutions for building, floating jetty, and conveyor structure projects. - Produced fabrication drawings and structural models using Tekla Structures.	
Senior Tekla Structural Draftman PT Gerbang Sarana Baja, Indonesia	Aug 2014 - Mar 2018
- Prepared structural models, shop drawings, and steel detailing deliverables. - Supported fabrication and construction teams through accurate project documentation.	
Structural Draftsman PT Bina Reka Cipta Utama, Indonesia	Mar 2012 - Apr 2014
- Produced structural drawings and detailing documentation for offshore platform projects. - Assisted engineering teams in developing structural models and construction drawings.	
Structural Draftsman PT RPE Engineering, Indonesia	Nov 2011 - Feb 2012
- Prepared and revised structural drawings for offshore facilities. - Supported engineering teams in drafting and technical documentation activities.	

Gambar L-3. 7 CV Narasumber 3

SELECTED PROJECT**Petronas Additional 3 Leg Well Head Platform**

Developed 3D structural models using Tekla Structures, generated Material Take Off (MTO), and produced detailed fabrication drawings for offshore platform structures.

KE38B, KE39, and KE54 Well Platform Project

Coordinated detailing activities, prepared Material Take Off (MTO) and Bill of Material (BOM), and supported the development of offshore monopod well platform structures.

Husky Additional 4 Leg Well Head Platform Project

Performed detailing of jacket and topside structures and prepared engineering documentation to support fabrication and construction activities.

Total Sisinubi Peciko 7 Project

Developed structural support designs and detailed engineering drawings for offshore facilities in accordance with project requirements.

Adaro Floating Jetty and Conveyor Project

Produced structural designs and detailing for floating jetty and conveyor facilities, including fabrication drawings for steel structures.

Pertamina WMO Well Head Platform Project

Prepared detailed structural drawings and Material Take Off (MTO) for offshore well head platform development.

Gambar L-3. 8 CV Narasumber 3

Lampiran 4 *Quantity Take-Off (QTO) Hasil Pemodelan Tekla Structures*

CAST UNIT		PROJECT NUMBER: 1		Page 1									
BILL OF QUANTITIES		PROJECT NAME: Trimble		Date: 18.06.2026									
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
P/O (?)		2	Concr***		69.06	165756.0							
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
00	***	32	BjT***	S32	9860	9863						62.2	1992.5
11	***	132	BjT***	S32	11860	55011370						74.9	9658.6
26	***	100	BjT***	S32	11170	8368	216	2599	100	194		70.5	7053.5
34	***	30	BjT***	S32	6300	1321	4323	169	1657	566	3993	39.8	1194.5
99	***	841	BjT***	S16	8680							13.7	6968.1

Reinforcement total weight (kg):												26867.2	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												192623.2	
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
PC/O (?)		1	Concr***		225.00	540000.0							
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
00	***	12	BjT***	S19	8390	8396						18.7	224.3
11	***	146	BjT***	S25	11850	40011500						45.7	3798.8
11	***	73	BjT***	S25	10770	37510446						41.5	3030.4
11	***	73	BjT***	S25	1630	375	1304					6.3	459.0
21	***	97	BjT***	S25	7920	350	7320	350				30.5	2962.6
21	***	73	BjT***	S32	15880	215011700	2150					1***	7318.7
21	***	73	BjT***	S32	15750	211811636	2118					99.4	7259.8
21	***	97	BjT***	S32	11280	2086	7230	2086				71.2	6909.3
21	***	12	BjT***	S19	11790	2348	7166	2348				26.2	314.9
99	***	139	BjT***	S16	8680							13.7	1145.3
99	***	912	BjT***	S16	2530							4.0	3649.6

Reinforcement total weight (kg):												37072.9	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												577073.2	
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
PH/O (?)		1	C40		35.30	86390.3							
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
11	***	132	BjT***	S32	1790	550	1300					11.3	1491.6

Reinforcement total weight (kg):												1491.6	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												87881.9	
=====													

Gambar L-5. 1 QTO Hasil Pemodelan *Tekla Structures* P64

Report

CAST UNIT		PROJECT NUMBER: 1		Page 1									
BILL OF QUANTITIES		PROJECT NAME: Trimble		Date: 18.06.2026									
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
P/O(?)		2	Concr***		68.58	164604.0							
=====													
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
00	***	32	BjT***	S32	9760	9767						61.6	1973.1
11	***	132	BjT***	S32	11860	55011370						74.9	9658.6
26	***	100	BjT***	S32	11070	8272	216	2599	100	194		69.9	6992.9
34	***	30	BjT***	S32	6210	1225	4323	169	1657	566	3993	39.2	1176.3
99	***	841	BjT***	S16	8680							13.7	6968.1
=====													
Reinforcement total weight (kg):												26769.0	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												191373.1	
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
PC/O(?)		1	Concr***		225.00	540000.0							
=====													
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
00	***	12	BjT***	S19	8390	8396						18.7	224.3
11	***	292	BjT***	S25	10770	37510446						41.5	7288.2
21	***	352	BjT***	S32	15880	215011700	2150					1***	24765.3
99	***	1051	BjT***	S16	2530							4.0	4795.0
=====													
Reinforcement total weight (kg):												37072.9	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												577073.2	
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							
PH/O(?)		1	Concr***		35.30	84720.0							
=====													
Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all
=====													
11	***	132	BjT***	S32	1790	550	1300					11.3	1491.6
=====													
Reinforcement total weight (kg):												1491.6	
=====													
CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												86211.6	
=====													

Gambar L-5. 2 QTO Hasil Pemodelan *Tekla Structures* P65

Report

CAST UNIT		PROJECT NUMBER: 1		Page 1									
BILL OF QUANTITIES		PROJECT NAME: Trimble		Date: 18.06.2026									
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							

P/O(?)		2	Concr***		68.34	164016.0							

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

00	***	32	BjT***	S32	9710	9718						61.3	1963.2
11	***	132	BjT***	S32	11860	55011370						74.9	9658.6
26	***	100	BjT***	S32	11020	8223	216	2599	100	194		69.6	6962.0
34	***	30	BjT***	S32	6160	1176	4323	169	1657	566	3993	38.9	1167.0
99	***	841	BjT***	S16	8680							13.7	6968.1

Reinforcement total weight (kg): 26718.9													

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg): 190735.0													
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							

PC/O(?)		1	Concr***		225.00	540000.0							

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

00	***	12	BjT***	S19	8390	8396						18.7	224.3
11	***	292	BjT***	S25	10770	37510446						41.5	7288.2
21	***	352	BjT***	S32	15880	215011700	2150					1***	24765.3
99	***	1051	BjT***	S16	2530							4.0	4795.0

Reinforcement total weight (kg): 37072.9													

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg): 577073.2													
=====													
Cast unit		Count	Main part material		Volume (m³)	Weight (kg)							

PH/O(?)		1	Concr***		35.30	84720.0							

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

11	***	132	BjT***	S32	1790	550	1300					11.3	1491.6

Reinforcement total weight (kg): 1491.6													

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg): 86211.6													
=====													

Gambar L-5. 3 QTO Hasil Pemodelan *Tekla Structures* P66

Report

CAST UNIT		PROJECT NUMBER: 1		Page 1									
BILL OF QUANTITIES		PROJECT NAME: Trimble		Date: 18.06.2026									
=====													
Cast unit		Count	Main part material			Volume (m³)			Weight (kg)				
P/O(?)		2	Concr***			67.77			162648.0				

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

00	***	32	BjT***	S32	9600	9604						60.6	1940.2
11	***	132	BjT***	S32	11860	55011370						74.9	9658.6
26	***	100	BjT***	S32	10910	8109	216	2599	100	194		68.9	6890.0
34	***	30	BjT***	S32	6040	1062	4323	169	1657	566	3993	38.1	1145.4
99	***	841	BjT***	S16	8680							13.7	6968.1

Reinforcement total weight (kg):												26602.3	

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												189250.4	
=====													
Cast unit		Count	Main part material			Volume (m³)			Weight (kg)				
PC/O(?)		1	Concr***			225.00			540000.0				

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

00	***	12	BjT***	S19	8390	8396						18.7	224.3
11	***	292	BjT***	S25	10770	37510446						41.5	7288.2
21	***	352	BjT***	S32	15880	215011700	2150					1***	24765.3
99	***	1051	BjT***	S16	2530							4.0	4795.0

Reinforcement total weight (kg):												37072.9	

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												577073.2	
=====													
Cast unit		Count	Main part material			Volume (m³)			Weight (kg)				
PH/O(?)		1	Concr***			35.30			84720.0				

Reinforcement:													
Type	Pos	Count	Grade	Diam	Legnth	A	B	C	D	E	F	kg/one	kg/all

11	***	132	BjT***	S32	1790	550	1300					11.3	1491.6

Reinforcement total weight (kg):												1491.6	

CAST UNIT TOTAL WEIGHT (kg):												86211.6	
=====													

Gambar L-5. 4 QTO Hasil Pemodelan *Tekla Structures* P65