TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI *AUGMENTED REALITY* (AR) DALAM INSPEKSI PROYEK KONSTRUKSI (*IMPLEMENTATION OF AUGMENTED REALITY (AR) IN CONSTRUCTION PROJECT INSPECTION*)

(Pekerjaan Struktur Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Surabaya)

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

LUTHFI FITRI PRAMUDYA
20511268

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

IMPLEMENTASI *AUGMENTED REALITY* (AR) DALAM INSPEKSI PROYEK KONSTRUKSI (*IMPLEMENTATION OF AUGMENTED REALITY (AR) IN CONSTRUCTION PROJECT INSPECTION*)

(Pekerjaan Struktur Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Surabaya)

Disusun Oleh

Luthfi Fitri Pramudya
20511268

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

Diuji pada tanggal 17 Juni 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Ir. Vendie Abma, S.T., M.T., IPM	**Ir. Tri Nugroho Sulistyantoro, S.T., M.T**	**Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D.**
NIK : 155111310	**NIK : 195110502**	**NIK : 155110108**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

25/7/2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya diri saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah dalam penulisan Tugas Akhir. Apabila dikemudian hari ditemukan bahwa laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Luthfi Fitri Pramudya

20511268

LEMBAR DEDIKASI

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Bapak Sarija, M.Pd. dan Ibu Sunarti selaku Orang Tua dan juga Prima Aini selaku adik yang telah memberikan dukungan secara materiil, moral, semangat, dan doa sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir.
2. Aniqun Saidatul, Yurika Sabrina Ananda, Muhammad Annas dan Syafiq Fauzi selaku teman, sahabat, dan keluarga yang senantiasa menemani, memberikan motivasi, dan memberi dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir.
3. Naufal Isa, Ridwan Ikrar, Rizky Yandhi, Imran Ahmad, Muhammad Fadhil Rofi'i dan seluruh bolo-bolo nyeni yang senantiasa memberi bantuan tenaga dan motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir.
4. Semua teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dari awal hingga akhir perkuliahan.
5. Terakhir, ucapan terima kasih kepada diri saya sendiri. *Good Job* Brooo!!!

ABSTRAK

Penggunaan teknologi Augmented Reality (AR) berbasis Building Information Modeling (BIM) memiliki potensi besar dalam mendukung manajemen konstruksi dan keselamatan kerja. Meskipun banyak literatur membahas keunggulan teknologi ini, masih sedikit studi yang menunjukkan dampaknya secara langsung pada proyek konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran AR dalam proses inspeksi pada tahap konstruksi serta mengidentifikasi kendala dalam penerapannya di lapangan.

Uji coba peneletian dilakukan pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Pengumpulan data dilakukan dengan metode *review* dokumen proyek, uji coba di lapangan, wawancara struktur, dan studi literatur. Data primer yang dilakukan adalah hasil analisis kendala dilakukan wawancara kepada narasumber kunci sedangkan data sekunder adalah *shopdrawing for construction* dari proyek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa AR memungkinkan visualisasi model secara real-time, sehingga mempermudah deteksi kesalahan pekerjaan dan potensi bahaya sejak dini. Selain itu, AR juga mendukung kolaborasi melalui integrasi dengan *Common Data Environment* (CDE). Meskipun demikian, efektivitas AR dipengaruhi oleh kualitas model, kondisi lingkungan, dan kestabilan koneksi internet. Beberapa kendala utama yang diidentifikasi meliputi rendahnya kesiapan SDM, kurangnya penerimaan publik terhadap teknologi baru, dominasi metode inspeksi konvensional menggunakan gambar 2D, serta tingginya biaya lisensi perangkat lunak AR.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, BIM, inspeksi konstruksi, visualisasi 3D, kendala implementasi

ABSTRACT

The use of Augmented Reality (AR) technology based on Building Information Modeling (BIM) has great potential in supporting construction management and occupational safety. Although many studies have discussed the advantages of this technology, only a few have demonstrated its direct impact on construction projects. This research aims to examine the role of AR in the inspection process during the construction phase and to identify the challenges in its practical implementation on-site.

The research trial was conducted on the Structural Work Project of the Basement Podium Phase 1 and Tower Aubrey of Grand Shamaya in Surabaya. Data collection methods included project document review, field testing, structural interviews, and literature study. Primary data was obtained from interviews with key informants to analyze implementation challenges, while secondary data consisted of construction shop drawings from the project.

The results of the study show that AR enables real-time visualization of models on-site, which facilitates early detection of construction errors and potential hazards. In addition, AR supports collaboration through integration with the Common Data Environment (CDE). However, its effectiveness is influenced by the quality of the model, environmental conditions, and internet connectivity. Several key challenges were identified, including the low readiness of human resources, limited public acceptance of new technologies, the dominance of conventional inspection methods using 2D drawings, and the high cost of AR software licenses.

Keywords**:** *Augmented Reality, Building Information Modeling, construction inspection, implementation challenges, 3D visualization*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Implementasi *Augmented Reality* (AR) Dalam Inspeksi Proyek Konstruksi". Pada kesempatan kali ini penulis juga ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam proses penulisan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

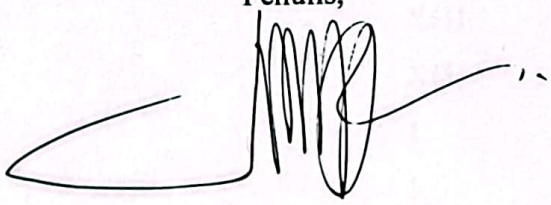
1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph. D (Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Vendie Abma, S.T., M.T., IPM, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan waktu, bimbingan, kritik, saran, dan motivasi selama penyusunan Tugas Akhir berlangsung.
3. Bapak Ir. Tri Nugroho Sulistyantoro, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, arahan, serta masukan selama proses Tugas Akhir ini berlangsung.
4. Bapak Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, arahan, serta masukan selama proses Tugas Akhir ini berlangsung.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membagikan ilmu kepada penulis selama menempuh masa studi program sarjana.
6. PT PP Grand Shamaya yang telah memberikan fasilitas dalam pengambilan data guna melakukan penelitian Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang turut memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, diharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat kepada berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 26 Juni 2025
Penulis,



Luthfi Fitri Pramudya
20511268

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR **I**

HALAMAN PENGESAHAN **II**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **III**

LEMBAR DEDIKASI **IV**

ABSTRAK **V**

ABSTRACT **VI**

KATA PENGANTAR **VII**

DAFTAR ISI **IX**

DAFTAR TABEL **XIII**

DAFTAR GAMBAR **XIV**

BAB I **1**

1.1 Latar belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 5

BAB II **7**

2.1 Penelitian Terdahulu 7

2.1.1. Implementasi Teknologi Digital pada Tahap Konstruksi 7

2.1.2. Penerapan Building Information Modeling 7

2.1.3. *Augmented Reality* dalam Proses Konstruksi 8

2.1.4. Integrasi BIM dengan *Augmented Reality* Model 9

2.1.5. Inspeksi dan Monitoring Proyek Konstruksi Berbasis BIM 10

2.1.6. Integrasi Augmented Reality dan Building Information Modeling untuk Peningkatan Inspeksi Konstruksi 11

2.1.7. Penerapan *Augmented Reality* untuk Peningkatan Produktivias Konstruksi 12

2.2 Perbandingan Terhadap Penelitian Sebelumnya 13

BAB III **19**
3.1 Manajemen Konstruksi Berbasis BIM 19
3.1.1. Definisi BIM dalam Industri Konstruksi 19
3.1.2. Manfaat BIM dalam Manajemen Konstruksi 20
3.1.3. Peranan BIM dalam Konstruksi dan Manajemen Proyek 24
3.1.4. BIM-*based Collaboration and Coordination* 24
3.1.5. *Common Data Environtment* (CDE) 29
3.1.6. Peran dan Tanggung Jawab Pelaku Konstruksi pada Proyek Berbasis BIM 32
3.1.7. *Lean Construction* 39
3.2 Pengendalian Proyek 40
3.2.1 Penjadwalan 40
3.2.2 Monitoring 44
3.2.3 Progress Pekerjaan 48
3.2.4 Inspeksi 48
3.3 Simulasi BIM – AR 49
3.3.1 Definisi *Augmented Reality* 49
3.3.2 Jenis *Augmented Reality* 50
3.3.3 Manfaat *Augmented Reality* 50
3.3.4 *Augmented Reality* dalam Proyek Konstruksi 54
3.3.5 *Software Augmented Reality* Berbasis BIM 58
3.3.6 Integrasi antara BIM dan AR 61
3.4 Uji Keabsahan 64
3.4.1 Uji Kredibilitas 65
BAB IV **67**
4.1 Jenis Penelitian 67
4.2 Lokasi Penelitian 67
4.3 Objek Penelitian 68
4.4 Data Penelitian 68
4.4.1 Data Primer 69
4.4.2 Data Sekunder 69

4.5 *Software* Pendukung Penelitian 69
4.6 Metode Pengumpulan Data 70
4.6.1. Wawancara Terstruktur 71
4.6.2. Observasi 71
4.6.3. Studi Literatur 72
4.6.4. Studi Dokumen 72
4.7 Penentuan Informan 73
4.8 Analisis Data 74
4.8.1 Langkah-Langkah Analisis Data 75
4.9 Permodelan 3D, *Schedule*, dan *Augmented Reality* 76
4.9.1. Permodelan 3D Struktur 76
4.9.2. *Schedule* Pekerjaan 78
4.9.3. Simulasi AR 78
4.10 Langkah Penelitian 81
4.11 Bagan Alir Penelitian 81
BAB V **85**
5.1 Tinjauan Umum 85
5.2 Data Penelitian 85
5.2.1 Informasi Data Proyek 86
5.2.2 Dokumen Gambar Proyek 87
5.2.3 Dokumen 3D Model pada *Software* Autodesk Revit 87
5.2.4 Dokumen Harga Satuan Pokok Pekerjaan 87
5.2.5 Dokumen Penjadwalan Proyek 88
5.3 Analisis Data 89
5.3.1 Analisis Data untuk Permodelan bentuk 3 Dimensi (3D) 89
5.3.2 Analisis Data untuk Penjadwalan Pekerjaan 115
5.3.3 Analisis Penjadwalan Menggunakan *Software* Microsoft Project 123
5.3.4 Integrasi Data untuk Permodelan 4D *Schedule Simulation* 136
5.4 *Augmented Reality* (AR) 143
5.4.1. Observasi Kondisi *Eksisting* Proyek 143
5.4.2. *Shopdrawing For Construction* 2 Dimensi Berbasis BIM 144

5.4.3. Gambar 3 Dimensi Berbasis BIM 145
5.4.4. Integrasi BIM – Augmented Reality 146
5.4.5. Proyeksi Permodelan *Augmented Reality* di Lapangan 153
5.5 Analisis Kendala 162
5.6 Pembahasan 167
5.6.1. Implementasi 4D BIM sebagai Simulasi Visual Pelaksanaan Proyek 168
5.6.2. Implementasi *Augmented Reality* (AR) sebagai Alat Inspeksi Tahap Konstruksi 171
BAB VI **179**
6.1. Kesimpulan 179
6.2. Saran 179
DAFTAR PUSTAKA **181**
LAMPIRAN **189**
Lampiran 1. Pedoman Wawacara 190
Lampiran 2 : Pedoman Observasi 193
Lampiran 3 : Pedoman Dokumentasi 195
Lampiran 4 : Gambaran Umum Denah Bangunan 196
Lampiran 5 : Hubungan Antar Kerja Unsur-Unsur Proyek 197
Lampiran 6 : Flowchart Pekerjaan 198
Lampiran 7 : Tampilan Proses Menggunakan AR 199
Lampiran 8 : Proses Wawancara 200
Lampiran 9 : Proses Observasi dengan Objek Terkait 201

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 14
Tabel 3.1 Roles and Responsibilities of Construction Players 33
Tabel 5.1 Level Elevasi 98
Tabel 5.2 Hari Libur Nasional dan Cuti Bersama 2022 – 2023 124
Tabel 5.3 Uraian, Durasi, dan Hubungan Keterkaitan Antar Pekerjaan 128
Tabel 5.4 Hasil Wawancara Indikator 1 (Sebelum Penerapan AR) 163
Tabel 5.5 Hasil Wawancara Indikator 2 (Penerapan AR) 164
Tabel 5.6 Hasil Wawancara Indikator 3 (Pasca Penerapan AR) 166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 BIM Dimension 19
Gambar 3.2 Level of Development BIM 20
Gambar 3.3 Desain Konseptual menggunakan Revit Architecture 34
Gambar 3.4 Analisis Desain Berkelanjutan menggunakan Revit 35
Gambar 3.5 Contoh Analisis Desain untuk Sipil & Struktur (C&S) 36
Gambar 3.6 Contoh Analisis Desain untuk MEP Engineers 36
Gambar 3.7 Perencanaan Konstruksi dengan model 4D BIM 37
Gambar 3.8 Take off Volume Pekerjaan menggunakan Vico Office 38
Gambar 3.9 Informasi Facility Management dalam digital model 39
Gambar 3.11 FS (Finish to Start) 43
Gambar 3.12 SS (Start to Start) 44
Gambar 3.13 SF (Start to Finish) 44
Gambar 3.14 FF (Finish to Finish) 44
Gambar 3.15 Augmented Reality dalam Konstruksi 54
Gambar 3.16 Logo Gamma AR 58
Gambar 3.17 Logo the Wild 59
Gambar 3.18 Logo Akular 59
Gambar 3.19 Logo hsbcad 60
Gambar 3.20 Logo Unity Reflact 60
Gambar 3.21 Alur Kerja Unity Reflect 61
Gambar 3.22 Logo augin 61
Gambar 3.23 Permodelan 3D Bangunan menggunakan Autodesk Revit 62
Gambar 3.24 Contoh Data Teknis Quantity Take Off Volume Pembesian 62
Gambar 3.25 Ekspor Model BIM dalam Ekstensi IFC 63
Gambar 3.26 Common Data Environtment (CDE) pada Software Pengembang Gamma AR 63

Gambar 4.1 Lokasi Proyek Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Surabaya. 68
Gambar 4.2 Flowchart Permodelan 3D Bangunan menggunakan Construction Template 77
Gambar 4.3 Flowchart Integrasi Schedule Pekerjaan dengan BIM Model 78
Gambar 4.4 Flowchart Integrasi Model 3D BIM ke AR 80
Gambar 4.5 Flowchart Keseluruhan Tahap Penelitian 84
Gambar 5.1 Software Autodesk Revit 2025 90
Gambar 5.2 Tampilan Awal Autodesk Revit 2025 90
Gambar 5.3 Tampilan untuk Memilih Template File 90
Gambar 5.4 Mengatur Satuan (Project Unit) 91
Gambar 5.5 Shopdrawing Strktural Basement 1 91
Gambar 5.6 Pengaturan Revit Link CAD 92
Gambar 5.7 Revit Link CAD 92
Gambar 5.8 Denah Pondasi Tiang dan Dimensi Tiang 93
Gambar 5.9 Referance Line Dimensi Pondasi Tiang 93
Gambar 5.10 Bentuk hasil family Pondasi Tiang 68.7 m 94
Gambar 5.11 Detail Profil Kolom KingPost 94
Gambar 5.12 Refrence Line Kolom KingPost KP4 95
Gambar 5.13 Hasil Permoldelan Family KingPost KP4 95
Gambar 5.14 Detail Dimensi Waller Beam CIM 1-1 96
Gambar 5.15 Refrence Line Waller Beam CIM 1-1 96
Gambar 5.16 Hasil Permodelan Waller Beam CIM 1-1 96
Gambar 5.17 Menyimpan Hasil Custom Family 97
Gambar 5.18 Garis Elevasi 97
Gambar 5.19 Tab New Structural Plan 98
Gambar 5.20 Link CAD dan Grid Line yang Sudah Digambar 99
Gambar 5.21 Denah Pondasi Bored Pile 100
Gambar 5.22 Potongan Tampak Samping Bored Pile 100
Gambar 5.23 Tampak 3D Pondasi Bored Pile 100
Gambar 5.24 Denah KingPost View Level Basement 1 101

Gambar 5.25 Potongan Tampak Samping Kingpost KP4 101
Gambar 5.26 Denah Baja Bekisting Basement 1 102
Gambar 5.27 Contoh Detail Profil dan Dimensi Baja Bekisting Basement 1 102
Gambar 5.28 Type Properties Baja Bekisting 103
Gambar 5.29 Baja Bekisting Tampak Atas 103
Gambar 5.30 Baja Bekisting Tampak 3D 104
Gambar 5.31 Denah Kolom Basement 1 104
Gambar 5.32 Denah Kolom Basement 2 105
Gambar 5.33 Gambar Detail Penulangan Kolom Basement 1 106
Gambar 5.34 Penggambaran Rebar secara Skecth Manual 106
Gambar 5.35 Hasil Permodelan Penulangan Kepala Kolom Basement 2 dan Kolom Basmeent 1 107
Gambar 5.36 Layout dan Dimensi Shearwall Tower 3 107
Gambar 5.37 Contoh Detail Penulangan Shearwall T3SW3 108
Gambar 5.38 Hasil Permodelan Shearwall T3SW3 Tampak Atas 108
Gambar 5.39 Hasil Permodelan Shearwall T3SW3 Tampak Potongan Samping 109
Gambar 5.40 Denah Balok Basmenet 1 109
Gambar 5.41 Contoh Detail Penulangan Balok Basement 1 110
Gambar 5.42 Penulangan Balok Basement 1 110
Gambar 5.43 Hasil Permodelan Balok Tampak Potongan Samping 110
Gambar 5.44 Denah Plat Lantai Basement 1 111
Gambar 5.45 Contoh Detail Penulangan Plat Lantai Basement 1 111
Gambar 5.46 Contoh Hasil Permodelan Penulangan Plat Lantai Tampak Samping 112
Gambar 5.47 Pembagian Zoning Galian Basement 1 112
Gambar 5.48 Hasil Permodelan TopoSolid Tampak Samping 113
Gambar 5.49 Hasil Permodelan 3D Basement 1 113
Gambar 5.50 Export File ke ekstensi IFC 114
Gambar 5.51 Export File dalam Ekstensi Naviswork (.nwc) 114
Gambar 5.52 Tab Schedules 116
Gambar 5.53 Tab New Schedule 116

Gambar 5.54 Tab Schedule Properties 117
Gambar 5.55 Tab Hasil Quantity Take Off Volume 117
Gambar 5.56 Export file Quantity Take Off 118
Gambar 5.57 Folder Penyimpanan Hasil Quantity Take Off Volume 118
Gambar 5.58 Pengelompokkan Volume Komponen Pekerjaan 119
Gambar 5.59 Sequence Pekerjaan Structure Zone 1 119
Gambar 5.60 Schedule Pekerjaan Substructure Basement 1 dari Dokumen Work Methode Statement (WMS) 120
Gambar 5.61 Contoh Tabel Produktivitas Pekerjaan 120
Gambar 5.62 Contoh HSPK Kota Surabaya 121
Gambar 5.63 Dokumen Laporan Hasil Mapping Progress Pekerjaan 121
Gambar 5.64 Perhitungan Durasi Pekerjaan 122
Gambar 5.65 Mengatur Project Option 124
Gambar 5.66 Mengatur Hari Libur Nasional dan Cuti Bersama 125
Gambar 5.67 Mengatur Work Weeks Proyek 126
Gambar 5.68 Mengatur Tanggal Awal Pelaksanaan 126
Gambar 5.69 Input Uraian Pekerjaan 127
Gambar 5.70 Input Durasi Pekerjaan 128
Gambar 5.71 Input Hubungan Antar Pekerjaan 135
Gambar 5.72 Tampilan Network Diagram 135
Gambar 5.73 Export file Model 3D ke ekstensi Naciswork (.nwc) 136
Gambar 5.74 Membuka Software Autodesk Naviswork 2025 137
Gambar 5.75 Input File 3D Model ke Naviswork 137
Gambar 5.76 3D Model dalam Naviswork 138
Gambar 5.77 Input Data Penjadwalan ke Naviswork 139
Gambar 5.78 Pengelompokan Item Model sesuai dengan Uraian Pekerjaan 140
Gambar 5.79 Attatch Sets Models dengan Penjadwalan 141
Gambar 5.80 Pengaturan Visual Simulation 142
Gambar 5.81 Hasil Permodelan 4D Visual Simulation 142
Gambar 5.82 Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan Basement Podium fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Actual Progress 143

Gambar 5.83 Struktur Pembesian Kolom Proyek Grand Shamaya Surabaya 144
Gambar 5.84 Shopdrawing for Construction Structural Item Basement 1 145
Gambar 5.85 Hasil Permodelan 3D Struktur Basement 1 Ring (non-void) 146
Gambar 5.86 Export 3D Model dengan Ekstensi (.ifc) 147
Gambar 5.87 Sign in Akun Gamma BIM Portal 148
Gambar 5.88 CDE Gamma BIM Portal 148
Gambar 5.89 Supportive CDE for Integrate with Gamma BIM Portal 149
Gambar 5.90 Uploaded modelBase pada Project Files Gamma BIM Portal 149
Gambar 5.91 Tampilan Menu Issues 150
Gambar 5.92 Issues Detail Report (export .pdf) 150
Gambar 5.93 Tampilan Menu Members Gamma BIM Portal 151
Gambar 5.94 Tampilan QR Code Gamma BIM Portal 151
Gambar 5.95 Hasil Generate QR Code Gamma BIM Portal 152
Gambar 5.96 Gamma AR Pada Google Play Store 152
Gambar 5.97 Gamma AR Pada Apple Apps Store 153
Gambar 5.98 Uji Coba Proyeksi AR di Site Proyek Apartemen Grand Shamaya 154
Gambar 5.99 Tampilan File modelBase pada Aplikasi Gamma AR 154
Gambar 5.100 Tampilan Pilihan Metode Penentuan Posisi 155
Gambar 5.101 Tampilan Pilih Floor Plan 156
Gambar 5.102 Menentukan Objek sebagai Acuan 156
Gambar 5.103 Menentukan Arah Proyeksi pada Sudut Objek 157
Gambar 5.104 Kursor Merah 158
Gambar 5.105 Bidang Penempatan telah muncul 158
Gambar 5.106 Plotting Titik Sudut dan Arah Proyeksi 159
Gambar 5.107 Penyelarasan Titik Level Tinjauan 160
Gambar 5.108 Hasil Proyeksi 3D Model AR di Lapangan 160
Gambar 5.109 Temuan Kesalahan Pekerjaan 161
Gambar 5.110 Report Issues 162
Gambar 5.117 Hasil 4D Visual Simulasi 169
Gambar 5.118 QR Code Percobaan dengan Skenario Pekerjaan Salah 172

Gambar 5. 119 QR Code Percobaan Report Issues 173
Gambar 5.120 Percobaan Pindah Level Tinjauan Proyeksi 174
Gambar 5.121 Percobaan Plotting Beda Level 175
Gambar 5.122 Percobaan Malam Hari 176
Gambar 5. 123 Object Mengikuti Arah Gerak Device 176
Gambar 5.124 Proyeksi All View Element 177

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proyek konstruksi merupakan teknologi yang mulai banyak diadaptasi oleh beberapa perusahaan konstruksi di Indoneisa. Penggunaan BIM diwajibkan hingga dimensi kelima untuk jenis kegiatan padat teknologi dan diwajibkan hingga dimensi kedelapan untuk jenis kegiatan padat moda (Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16, 2021). Dalam era digital, platform digital telah menjadi salah satu aspek penting dalam peningkatan produktivitas pekerjaan dalam konstruksi. Platform digital mencakup berbagai teknologi seperti *Building Information Modeling, Internet of things*, dan *software* manajemen proyek yang memungkinkan kolaborasi yang lebih baik, pemantauan pekerjaan secara real-time, dan pengambilan keputusan yang lebih cepat (Rexy, 2024). Penerapan teknologi informasi dalam bidang konstruksi telah diatur dalam standar internasional ISO 19086. ISO 19086 adalah standar internasional yang menetapkan pedoman untuk penggunaan dan implementasi teknologi informasi dan komunikasi dalam manajemen proyek konstruksi. ISO 19086 membantu menciptakan kerangka kerja yang seragam untuk memastikan interoperabilitas dan keberlanjutan dalam penggunaan teknologi digital dalam proyek konstruksi. Dengan menerapkan standar ini, proyek konstruksi dapat memanfaatkan teknologi dengan lebih efektif, mengurangi risiko kesalahan, dan meningkatkan koordinasi antar berbagai pihak yang terlibat (Rexy, 2024).

Pemanfaatan teknologi digital dalam industri konstruksi tidak hanya menjadi tren global tetapi juga menjadi kebutuhan mendesak di era modern ini (Wiraguna and Purwanto, 2024). BIM bukan hanya merupakan suatu alat yang digunakan untuk memvisualisasikan gambar tiga dimensi, akan tetapi penerapan dalam pelaksanaan konstruksi dijadikan sebagai media untuk mengelola berbagai macam informasi yang diperlukan dari berbagai disiplin ilmu terkait. Integrasi dari berbagai data informasi tersebut dapat disajikan untuk mendukung efektivitas pekerjaan.

Peran BIM dalam proses monitoring menjadi suatu hal yang sangat penting dalam manajemen digital proyek konstruksi yang mana berfungsi menjadi alat untuk membandingkan aktual pekerjaan di lapangan dengan perencanaan. Integrasi model 3D dengan penjadwalan pekerjaan memungkinkan *engineer* untuk optimalisasi pemantauan dan juga simulasi kemajuan pekerjaan (Tran *et al.*, 2021).

Metode pemantauan kemajuan pekerjaan yang dilaksanakan berbasis BIM adalah menggunakan integrasi antara *shopdrawing for construction* dengan 3D model yang di *plot* berdasarkan koordinat sesuai dengan elemen pekerjaan sehingga akan nampak progres pekerjaan jika dilihat menggunakan aplikasi *Augmented Reality*. Metode seperti ini akan memberikan peluang untuk melakukan pengamatan visual secara langsung sekaligus dapat membandingkan objek fisik dengan virtual pada tempat dan skala yang sama. Dengan begitu, kesesuaian pekerjaan pada elemen tersebut dapat disimpulkan secara *real-time* apakah terdapat kekeliruan atau tidak. Selain visualisasi 3D model, metode ini juga memungkinkan integrasi antar informasi yang dibutuhkan seperti informasi terkait jenis material yang digunakan, detail pekerjaan yang harus diselesaikan, dan juga masih banyak informasi yang dapat di tampilkan sehingga akan memudahkan insinyur dalam menentukan kesesuaian pekerjaan. Pengaplikasian teknologi *Augmented Reality* berbasis BIM seperti ini sudah mulai di adaptasi oleh beberapa proyek konstruksi seperti pada proyek SPAM Regional 1 Jatiluhur oleh PT. Wijaya Karya, Proyek Jembatan Conggeang, Tol Cisumdawu Seksi 5A oleh PT. Abipraya, Proyek Rail Loop TLS 6 & 7 PT Bukit Asam yang dikejakan oleh PTPP (Persero), dll.

Augmented Reality (AR) menawarkan pengalaman berupa interaksi dengan animasi 3D yang menggabungkan objek virtual dengan dunia nyata secara riil (Ok *et al.*, 2022). AR memiliki potensi yang signifikan dalam industri konstruksi, khususnya dalam perencanaan sebelum konstruksi dan desain arsitektur. Dalam desain arsitektur dan konstruksi, AR dapat menjembatani kesenjangan antara konsep dan praktik, membantu dalam semua tahap desain, seperti analisis, sintesis, dan evaluasi (Wastunimpuna and Purwanto, 2021). Sebagai alat visualisasi, AR mendapatkan tanggapan positif saat digunakan untuk presentasi arsitektur, meskipun efektivitasnya tergantung pada kompleksitas model bangunan 3D

(Hardikasari and Dewi, 2019). Sebuah studi yang mengembangkan aplikasi AR untuk tujuan ini menerima umpan balik yang sebagian besar positif dari pengguna (Firdanu, Achmadi and Adi Wibowo, 2020). Temuan ini menyoroti fleksibilitas dan janji AR dalam berbagai aspek konstruksi dan arsitektur.

Penggunaan teknologi *Augmented Reality* (AR) berbasis BIM memiliki potensi yang sangat besar pada industri konstruksi dalam mendukung manajemen konstruksi dan juga keselamatan kerja. Pada beberapa literatur penelitian juga menyebutkan bahwa penerapan AR untuk meningkatkan produktivitas di sektor konstruksi hingga saat ini masih tergolong rendah dibandingkan industri lain, padahal penerapan tersebut sangat berpotensi untuk meningkatkan produktivitas dalam proses konstruksi. Selain itu, penerapan AR pada proyek konstruksi juga akan mendukung proses *sustainability* dan *green construction*. Digitalisasi dalam konstruksi bukan hanya tentang meningkatkan produktivitas, akan tetapi juga membawa transformasi besar dalam cara proyek dikelola, dirancang, dan dieksekusi.

Implementasi AR pada proses konstruksi di indonesia masih sangat terbatas (Hardikasari and Dewi, 2019). Keterbatasan tersebut dimungkinkan oleh beberapa hal yang salah satunya adalah budaya kerja yang masih menggunakan metode tradisional pada proses inspeksi pekerjaan (Andi, Alifen and Chandra, 2010). Selain itu, kurangnya pemahaman akan manfaat implementasi AR terhadap proses konstruksi menjadi suatu hal yang juga menjadi penghambat adopsi teknologi ini (Salim, Sudibio and Nugraha, 2022). Lebih dari itu, terbatasnya Implementasi AR dalam dunia konstruksi juga disebabkan oleh kurangnya data hasil implementasi AR di proyek konstruksi (Silitonga, Hendrawan and Jin, 2024). Banyak literatur yang menyebutkan kelebihan dan potensi yang dimiliki oleh perkembangan teknologi ini akan tetapi sangat sedikit yang membuktikan langsung bagaimana AR-BIM dapat berdampak pada sebuah proyek konstruksi.

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas maka dapat disimpulkan dimana potensi dari penggunaan AR yang berintegrasi dengan *platform* BIM dalam proyek konstruksi akan memberikan berbagai macam manfaat. Salah satu proyek dari PT PP (Persero) Tbk yaitu Pembangunan Apartemen Grand Shamaya paket Pekerjaan

Struktur Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey menerapkan BIM dalam proses konstruksinya. Akan tetapi, proses inspeksi dan monitoring progres pekerjaan belum mengimplementasikan teknologi AR dan masih menggunakan cara konvensional. Penelitian ini akan berfokus pada penerapan teknologi yang belum digunakan secara masif yaitu penerapan teknologi AR dalam proses inspeksi dan monitoring proyek konstruksi. Tujuan utama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai uji coba penerapan teknologi AR dalam proses pemantauan konstruksi, sehingga dapat memberikan gambaran terhadap peran, ketepatan dan juga kendala-kendala yang ada. Pentingnya penelitian ini tidak hanya terletak pada bagaimana AR dapat berdampak pada sebuah proyek, tetapi juga pada dampak positif terhadap perkembangan industri konstruksi di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Penerapan *Augmented Reality* berbasis BIM dalam proses inspeksi pada tahap konstruksi?
2. Apa yang menjadi kendala implementasi penggunaan *Augmented Reality* berbasis BIM pada tahap konstruksi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka dapat diambil tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui penerapan *Augmented Reality* berbasis BIM dalam proses Inspeksi pada tahap konstruksi.
2. Mengetahui kendala dan juga tantangan penggunaan *Augmented reality* berbasis BIM pada tahap konstruksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Manfaat penelitian bagi konsultan perencana dan kontraktor.

Pada tugas akhir ini, peneliti berharap dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan kepada pihak terkait dalam upaya peningkatan sumber daya baik dari segi adaptasi teknologi yang digunakan maupun dari kemampuan *engineer*. Digitalisasi proses pekerjaan yang terintegrasi dengan BIM menggunakan teknologi *Augmented Reality* dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alat inspeksi terintegrasi dengan dokumen BIM sehingga diharapkan akan memudahkan dan juga meningkatkan efektivitas pekerjaan dari segi biaya dan waktu untuk meningkatkan manajemen proyek.

2. Manfaat penelitian bagi mahasiswa.

   Peneliti berharap agar hasil dari penelitian ini dapat menambah pengetahuan mengenai pentingnya otomatisasi proses inspeksi dan monitoring pekerjaan konstruksi menggunakan teknologi *Augmented Reality* berbasis BIM. Selain itu, peneliti juga berharap bahwa penelitian ini dapat dijadiikan sebagai bahan untuk kajian lebih lanjut mengenai peran teknologi *Augmented Reality* dalam bidang konstruksi sehingga nantinya dapat mendukung kelancaran proyek serta meningkatkan manajemen proyek.

1.5 Batasan Penelitian

Dikarenakan penelitian ini memiliki keterbatasan waktu dan juga biaya, maka diperlukan suatu batasan dalam penelitian agar pembahasan yang dilakukan dapat terfokus pada hal tertentu dan tepat waktu. Batasan penelitian pada tugas akhir ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Data proyek yang digunakan penelitian adalah gambar kerja struktur beton bertulang.
2. Permodelan 3D menggunakan *software* yang telah direncanakan yaitu Autodesk Revit sebagai *software autorized structural modeling* dan Gamma AR sebagai pengembang AR dengan kedua *software* tersebut menggunakan lisensi *student version*.
3. Objek penelitian adalah Proyek Pekerjaan Struktur Basement 1 Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Surabaya

5. Menganalisis implementasi *Augmented Reality* pada pelaksanaan ispeksi tahap kosntuksi proyek berdasarkan parameter pengendalian proyek konstruksi pada saat proses inspeksi pekerjaan serta standar spesifikasi gambar kerja detail struktur bangunan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memuat seluruh informasi dari penelitian terdahulu yang relevan dengan masalah dan metode yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya. Penelitian terdahulu berfungsi sebagai acuan untuk memudahkan metode dan arah penelitian yang dilakukan.

2.1.1. Implementasi Teknologi Digital pada Tahap Konstruksi

Kajian impementasi teknologi digital pada tahapan konstruksi *Oceanarium* di Indonesia telah dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam proses konstruksi (Wiraguna and Purwanto, 2024). Dalam penelitian ini digunakan metode studi literatur dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital, seperti penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dan sistem pemantauan konstruksi berbasis sensor, secara signifikan dapat mempercepat proses konstruksi, alokasi sumber daya, dan meningkatkan efisiensi serta dapat mengurangi risiko kesalahan. Hasil tersebut memberikan kontribusi positif terhadap proses *Oceanarium* di Indonesia, sehingga memperkuat keunggulan kompetitif. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan dasar untuk meningkatkan konstruksi melalui pemanfaatan teknologi digital pada sektor *Oceanarium* Indonesia.

2.1.2. Penerapan Building Information Modeling

Analisis serta demonstrasi terkait penerapan teknologi BIM pada proses pekerjaan proyek konstruksi dilakuakn bahwa berdasarkan situasi aktual proyek yang kemudian dikombinasikan dengan karakteristik EPC (*Engineering, Procurement, Construction*), divisi yang menangani tentang BIM di proyek tersebut dapat mencapai dan juga memperjelas dari tujuan BIM proyek tersebut (Yu *et al.*, 2024). Selain itu, pengintegrasian teknologi BIM ke dalam manajemen proyek EPC akan memungkinkan untuk mewujudkan keterkaitan desain dan juga pengadaan yang efisien.

Penelitian ini membuktikan pemanfaatan teknologi BIM secara efektif akan memberikan dampak peningkatan yang signifikan untuk setiap pekerjaan yang menggunakan konsep EPC. Teknologi BIM dapat digunakan untuk mensimulasikan rendering bangunan, simulasi visual sinar matahari dan pencahayaan, membuat virtual animasi terkait progres pekerjaan antara situasi aktual di lapangan dan desain 3D, selain itu BIM juga dapat digunakan untuk memfasilitasi komunikasi terhadap perubahan yang mungkin dilakukan antara owner, konsultan perencana, dan kontraktor. Selain itu, teknologi BIM juga menunjukkan potensi besar untuk penerapan dalam tahap desain lebih lanjut, seperti mekanikal dan elektrikal, konstruksi dekorasi kolom glulam, dan optimalisasi bentuk struktur.

Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan mode EPC, teknologi BIM dapat diterapkan lebih mendalam serta dapat dijalankan berdasarkan tahapan desain dan konstruksi. Meskipun manfaat dan target dari penggunaan BIM pada proyek konstruksi Pusat Konferensi Internasional Ningbo ini telah tercapai dengan menghubungkan antara konsultan perencana dan juga kontraktor, akan tetapi peneliti menyadari bahwa penerapan BIM dalam proyek tersebut belum sepenuhnya mendalam. Kedepannya, peneliti akan menggunakan proyek tersebut sebagai media untuk menerapkan BIM pada keseluruhan tahap konstruksi, mulai dari tahap desain gambar konstruksi, tahap pelaksanaan konstruksi, hingga tahap operasi dan pemeliharaan sehingga semua pihak yang terlibat dalam proyek dapat berinteraksi secara komunikatif dalam pengambilan keputusan yang *advance*, dan berkontribusi dalam penerapan *value of BIM* pada keseluruhan tahap konstruksi.

2.1.3. *Augmented Reality* dalam Proses Konstruksi

Tinjauan literatur menggunakan metode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*) dilakukan dengan tujuan utama dari untuk memberikan panduan kepada para peneliti yang bermaksud untuk mengerjakan adaptasi teknologi *Augmented Reality* untuk tahap perakitan sektor konstruksi (Alkan and Basaga, 2023). Berdasarkan temuan yang diperoleh dari penelitian ini, peta jalan alternatif telah mengenai perangkat lunak, domain perakitan, alat pencitraan, dan kata kunci yang harus fokus para peneliti yang tertarik untuk bekerja di bidang ini. Penelitian menunjukkan bahwa teknologi

Augmented Reality (AR) dapat disesuaikan dengan fase perakitan industri konstruksi. Semua artikel yang dilakukan di bidang ini telah menunjukkan hasil positif ketika menerapkan teknologi ini ke industri. Jika dapat diakses oleh pekerja konstruksi, teknologi ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap produktivitas tenaga kerja. Teknologi *Augmented Reality* harus dilihat sebagai peluang untuk berintegrasi dengan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) di lokasi konstruksi. Namun, tantangan utama penerapan tekologi ini di industri adalah bahwa teknologi tersebut saat ini tidak menawarkan tingkat kenyamanan dan kesesuaian yang diperlukan untuk digunakan di lokasi konstruksi. Agar dapat diadopsi secara luas di sektor konstruksi, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan teknologi yang lebih terjangkau yang dirancang khusus untuk pekerja konstruksi yang berfokus hanya pada fitur-fitur yang diperlukan. Tinjauan literatur ini berfungsi sebagai panduan penting yang menawarkan peta jalan alternatif bagi para peneliti di bidang ini untuk membimbing dan mendorong mereka untuk bekerja di bidang ini. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa adaptasi teknologi *Augmented Reality* pada tahap perakitan konstruksi mempunyai potensi terobosan untuk membentuk masa depan sektor konstruksi. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proyek yang ada saat ini namun juga memiliki kapasitas untuk menetapkan standar industri baru dengan meningkatkan kualitas konstruksi. Kemajuan di bidang ini memiliki kekuatan untuk memimpin industri konstruksi menuju transformasi digital yang komprehensif, memungkinkan realisasi proyek yang lebih cepat, cerdas, dan berkelanjutan.

2.1.4. Integrasi BIM dengan *Augmented Reality* Model

Studi kasus mengungkap potensi manfaat AR-BIM dari tiga prespektif yaitu, pertama penggunaan AR-BIM adalah sebagai alat inspeksi pada tahap konstruksi (Saar *et al.*, 2019). Insinyur tidak perlu lagi membawa gambar A1 ke lokasi proyek untuk tujuan inspeksi. Kedua, penggunaan AR-BIM adalah sebagai media untuk manajemen fasilitas. Tim manajemen fasilitas bisa dengan mudah mengidentifikasi pipa bagian dalam (baik listrik maupun pipa ledeng) tanpa mengacu gambar kerja yang rumit. Ketiga, penggunaan AR-BIM adalah untuk tujuan pelatihan. AR-BIM mengizinkan proyek untuk didokumentasikan dalam

database. Hal tersebut menjadi penting karena tingginya tingkat pergantian dalam industri konstrusi, sehingga pendatang baru dapat dilatih dari arsip AR-BIM. Pelatihan tersebut melibatkan prosedur inspeksi teknik, keselamatan, inspoeksi forensik, dan lain-lain. Mengenai kasus penggunaan pada BIM, manfaat yang dapat diberikan dari penggunaan AR-BIM adalah memungkinkan insinyur untuk menyampaikan informasi pemeliharaan secara *real-time*, meningkatkan efisiensi dan keakuratan rencana di lapangan, dan memudahkan kolaborasi antara anggota proyek saat menyusun rencana konstruksi. Saat pengguna AR-BIM berkolaborasi dengan orang lain, klien, atau mereka yang berlatar belakang teknik konstruksi, pengalaman mendalam seperti ini akan membantu menyampaikan konsep yang sulit diungkapkan melalui cara konvensional. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa 63% peserta percaya bahwa AR dapat memfasilitasi deteksi masalah dini pada tahap desain (Piroozfar *et al.*, 2017). Peneliti menyimpulkan bahwa BIM memberikan kontribusi yang terbatas pada kerja lapangan karena terbatasnya interakasi antara dunia nyata dan dunia maya. Namun, integrasi AR ke dalam sistem BIM menyediakan *platform* untuk mencapai interaksi. Sistem AR-BIM memungkinkan personel terkait memperoleh umpan balik dengan segera hanya dengan memasang perangkat seluler pada elemen konstruksi. Perbedaan antara informasi yang dimodelkan dengan informasi di lokasi dari elemen-elemen tertentu dan semua elemen yang saling bergantung akan dibandingkan dalam lingkungan AR, yang kemudian dapat diketahui perbedaan yang ditunjukkan dari model rencana dan realisasi di lapangan. Sistem AR-BIM yang diusulkan juga relatif lebih terjangkau jika dibandingkan dengan tiga metode lain yang telah dipaparkan. Industri konstruksi terkesan ketinggalan jaman dan para pemangku kepentingan enggan berinvestasi, terutama pada perangkat teknologi inovatif. Oleh karena itu, sistem AR-BIM yang diusulkan dirancang untuk mengurangi biaya investasi awal sekaligus menjaga manfaat AR dalam integrasi BIM.

2.1.5. Inspeksi dan Monitoring Proyek Konstruksi Berbasis BIM

Sebuah sistem pemantauan dan presentasi kemajuan proyek konstruksi di lokasi konstruksi diusulkan berdasarkan integrasi BIM dengan teknologi *Augmented Reality* (Wang and Chen, 2020). Tujuan dari penelitian tersebut adalah

untuk melakukan pemosisian sistem AR di lokasi konstruksi melalui kerangka kerja ARKit berdasarkan SLAM untuk lokasi dalam ruangan pada tahap konstruksi, dan dapat merespon perubahan yang tidak diketahui dengan cepat di lokasi yang sulit. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah penelitian implementasi. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah bahwa pada tahap konstruksi yang berbeda, bidang refrensi dinamis tanpa pengaturan awal perangkat sensor tambahan melakukan inisialisasi pemposisian sistem yang cepat. Posisi dalam ruangan ditentukan dengan memindai karakteristik lingkungan lokasi secara visual, kemudian dengan mengunduh informasi terkait dengan model BIM dan informasi kemajuan proyek, mode integrasi virtual dan nyata di lokasi memungkinkan untuk melihat ketinggian level, posisi, dan kemajuan komponen. Selanjutnya, pengumpulan data dilakukan melalui interaksi pengguna dengan sistem AR, dan data yang terkumpul kemudian diintegrasikan untuk dapat memberikan fungsi umpan balik yang dapat dilihat secara visual, seperti perbandingan antara perencanaan dengan kemajuan aktual di lokasi dan simulasi konstruksi. Melalui kombinasi AR dan pemosisian dalam ruangan, visualisasi informasi BIM yang diusulkan dapat meningkatkan model visual BIM yang ada dan dapat secara efektif serta cepat dalam mengumpulkan dan memperoleh informasi terkait proses konstruksi. Sehingga proses tersebut dapat mengurangi kerumitan dalam inspeksi dan waktu yyang dibutuhkan. Melalui umpan balik visual secara real-time di lokasi, adegan virtual dan aktual dapat ditumpangkan pada satu layer secara bersamaan, sehingga mendukung pemantauan dan diskusi konstruksi di lokasi.

2.1.6. Integrasi Augmented Reality dan Building Information Modeling untuk Peningkatan Inspeksi Konstruksi

Bergantungnya proses konstruksi pada penggunaan gambar CAD secara tradisional dan metode manual untuk inspeksi serta pemantauan bangunan masih menjadi tantangan yang signifikan dalam industri konstruksi (Pan and Isnaeni, 2024). Artikel tersebut menyajikan proposal transformatif yang memanfaatkan *Augmented Reality* (AR) untuk merevolusi proses ini. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan kelayakan praktis dan manfaat integrasi AR-BIM dalam manajemen konstruksi, khususnya dalam bidang inspeksi dan pemantauan.

Metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari lima fase, dimulai dengan konversi gambar CAD 2D menjadi BIM 3D, diikuti dengan simulasi integrasi AR-BIM di lokasi konstruksi menggunakan aplikasi AR komersial. Tahap akhir mencakup pengujian dan evaluasi prototipe ini. Temuan menunjukkan bahwa integrasi BIM 3D dengan teknologi AR tidak hanya layak, tetapi juga bermanfaat dalam menggantikan proses berbasis kertas, sehingga dapat meningkatkan pembagian informasi, komunikasi, dan efisiensi pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Namun, akurasi superposisi antara objek virtual dan aktual perlu ditingkatkan untuk mengurangi perbedaan antara sekenario yang dibangun dan yang direncanakan. Hasil dari penelitian ini memiliki potensi signifikan untuk mengubah pelaksanaan proyek konstruksi dengan mengganti metode tradisional dengan solusi digital yang lebih efisien. Arah penelitian di masa mendatang mencakup pengujian ekstensif dalam berbagai skenario konstruksi, meningkatkan kompleksitas model, mengeksplorasi penerapan algoritma pembelajaran mesin untuk analisis data, dan memperluas studi untuk mencakup tahap lain dari siklus hidup konstruksi.

2.1.7. Penerapan *Augmented Reality* untuk Peningkatan Produktivias Konstruksi

Tinjauan jurnal akademik menggunakan pendekatan *systematic review* dengan tujuan untuk melaporkan pengaplikasian *Augmented Reality* yang penting untuk peningkatan produktivitas kontraktor. Berdasarkan tinjauan sistematis penelitian yang ada, AR dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas konstruksi dengan menerapkan teknologi dalam perakitan komponen konstruksi, pelatihan dan pendidikan, pemantauan dan pengendalian, fungsi interdisipliner, kesehatan dan keselamatan, dan informasi desain AR, sebuah teknologi inovatif, membantu memfasilitasi prosedur perakitan tugas dengan melapisi informasi data BIM langsung di lokasi konstruksi. AR dapat membantu menentukan secara akurat potensi kesalahan dalam dokumentasi desain karena memungkinkan pekerja dan manajer medeteksi kesalahan dan kelalaian dimensi secara otomatis di lokasi kerja, yang pada akhirnya akan mengurangi tingkat pengerjaan ulang dalam konstruksi. AR juga bermanfaat untuk identifikasi awal potensi bahaya dan kecelakaan, pertukaran informasi real-timedi antara peserta proyek, penemuan awal kesalahan

desain, dan peningkatan interpretasi desain, yang akan membantu memitigasi aktivitas yang tidak menambah nilai. Seiring dengan kemajuan teknologi *Augmented Reality* (AR), organisasi konstruksi harus terus berkembang dan memanfaatkan peluang baru dalam penerapannya guna meningkatkan produktivitas konstruksi. Penelitian ini penting dalam pelaksanaan proyek dimana organisasi mereka dapat menerapkan teknologi *Augmented Reality*. Meskipun teknologi Augmented Reality (AR) berguna untuk meningkatkan produktivitas konstruksi, ada dua faktor penting yang dapat menghalangi kontraktor untuk menerapkannya. Ini termasuk biaya yang terkait dengan *Augmented Reality* dan kurangnya Departemen Teknologi Informasi (DTI) yang berfungsi di beberapa perusahaan konstruksi.

2.2 Perbandingan Terhadap Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang akan dilakukan saat ini, terdapat beberapa rujukan penelitian terdahulu yang sifatnya diperbarui. Penelitian sebelumnya mempunyai kesamaan dalam pembahasannya yaitu membahas mengenai pengaplikasian sistem monitoring menggunakan teknologi terkini berbasis perangkat lunak dalam proses inspeksi pada tahap konstruksi.

Berdasarkan hasil peninjauan yang telah dilakukan penelitian terdahulu dapat dirangkum dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perspektif	Penelitian							
	(Wiraguna and Purwanto, 2024)	(Yu *et al.*, 2024)	(Alkan and Basaga, 2023)	(Saar *et al.*, 2019)	(Wang and Chen, 2020)	(Pan and Isnaeni, 2024)	(Adebowale and Agumba, 2022)	(Pramudya, 2025)
Judul	Implementasi Teknologi Digital pada Tahap Konstruksi *Oceanarium* di Indonesia	*Application and Reaserch of BIM Technology in the Construction of Ningbo International Conference Center*	*Augmented Reality Technologies in Construction Project Assembly Phases*	*BIM Integration in Augmented Reality Model*	*A Construction Progress On-Site Monitoring and Presentation System Based on the Integration of Augmented Reality and BIM*	*Integration of Augmented Reality and Building Information Modeling for Enhanced Construction Inspection – A Case Study*	*Application of Augmented Reality for Construction Productivity Improvement: A Systematic Review*	Implementasi A*ugmented Reality* (AR) Dalam Inspeksi Proyek Konstruksi
Objek Penelitian	Proyek Konstruksi *Oceanarium*	Proyek Konstruksi Pembangunan *Ningbo International Conference Center*	40 Artikel yang diakses melalui *database web of science*	Model bangunan tempat tinggal setinggi 1,5 lantai	Pengembangan sistem pemantauan dan presentasi menggunakan *Augmented Reality* "ARKit"	Proyek konstruksi bangunan pabrik lima lantai dengan satu basement	Jurnal Akademik yang diperoleh dari *database Scopus* dan *Web of Science*	Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perspektif	Penelitian							
	(Wiraguna and Purwanto, 2024)	(Yu *et al.*, 2024)	(Alkan and Basaga, 2023)	(Saar *et al.*, 2019)	(Wang and Chen, 2020)	(Pan and Isnaeni, 2024)	(Adebowale and Agumba, 2022)	(Pramudya, 2025)
Metode	Penelitian Implementasi	Studi pustaka dan demonstrasi kasus	Tinjauan literatur PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*)	Perhitungan terhadap sistem AR-BIM melalui *Structure Sensor, Unity* 3D, dan C#.	Penelitian implementasi pengembangan aplikasi ARKit di lokasi konstruksi dengan berbagai tahap pengembangan	Metodologi penelitian terdiri dari konversi gambar CAD 2D menjadi BIM 3D, simulasi integrasi AR-BIM. pengujian dan evaluasi.	*systematic review* jurnal akademik	Tinjauan literatur, Permodelan 3D, Implementasi AR, Wawancara, evaluasi
Tujuan	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam proses konstruksi pembangunan *Oceanarium*.	Menganalisis dan melakukan studi serta demonstrasi terkait penerapan teknologi BIM pada proses pekerjaan konstruksi	Memberikan panduan untuk mengerjakan adaptasi teknologi *Augmented Reality* untuk tahap perakitan sektor konstruksi	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kredibilitas integrasi BIM ke dalam AR (AR-BIM) di industri konstruksi	Pengembangan sistem pemantauan dan presentasi kemajuan konstruksi melalui integrasi model BIM dengan AR.	Menunjukkan kelayakan dan manfaat integrasi AR-BIM dalam manajemen konstruksi, khususnya inspeksi dan pemantauan.	Bertujuan untuk melaporkan pengaplikasian *Augmented Reality* untuk peningkatan produktivitas kontraktor.	Mengetahui bagaimana peran dan kendala implementasi AR-BIM untuk inspeksi tahap konstruksi

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perspektif	Penelitian							
	(Wiraguna and Purwanto, 2024)	(Yu *et al.*, 2024)	(Alkan and Basaga, 2023)	(Saar *et al.*, 2019)	(Wang and Chen, 2020)	(Pan and Isnaeni, 2024)	(Adebowale and Agumba, 2022)	(Pramudya, 2025)
Hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital, seperti penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dan sistem pemantauan konstruksi berbasis sensor, secara	Penggunaan BIM pada proyek konstruksi Pusat Konferensi Internasional Ningbo ini telah tercapai dengan menghubungkan antara konsultan perencana dan juga kontraktor, akan tetapi peneliti menyadari bahwa penerapan BIM	Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proyek yang ada saat ini namun juga memiliki kapasitas untuk menetapkan standar industri baru dengan meningkatkan kualitas konstruksi. Kemajuan di bidang ini	Hasil menunjukkan bahwa BIM kompatibel untuk diintegrasikan dengan platform AR. Sistem AR-BIM memungkinkan personel terkait memperoleh umpan balik dengan segera hanya dengan memasang	Kemampuan beradaptasi, sinkronisasi, dan kenyamanan yang diberikan oleh sistem yang diusulkan dapat memberikan efisiensi personel konstruksi di lokasi dalam memahami kemajuan, perencanaan, dan pengambilan keputusan. Melalui	Penelitian ini memiliki potensi signifikan untuk mengubah pelaksanaan proyek dengan solusi digital yang lebih efisien. Arah penelitian di masa mendatang mencakup pengujian dalam berbagai	AR dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas konstruksi dengan menerapkan teknologi dalam pemantauan dan pengendalian, fungsi interdisipliner, kesehatan dan keselamatan.	-

	signifikan dapat mempercepat proses konstruksi, alokasi sumber daya, dan meningkatkan efisiensi serta dapat mengurangi risiko kesalahan.	dalam proyek tersebut belum sepenuhnya mendalam.	memiliki kekuatan untuk memimpin industri konstruksi menuju transformasi digital yang komprehensif, memungkinkan realisasi proyek yang lebih cepat, cerdas, dan berkelanjutan.	perangkat seluler pada elemen konstruksi. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa 63% peserta percaya bahwa AR dapat memfasilitasi deteksi masalah dini pada tahap desain (Piroozfar *et al.*, 2017).	kombinasi AR dan pemosisian dalam ruangan, visualisasi informasi BIM yang diusulkan dapat meningkatkan model visual BIM yang ada dan dapat secara efektif serta cepat dalam mengumpulkan dan memperoleh informasi terkait proses konstruksi.	skenario konstruksi, meningkatkan kompleksitas model, mengeksplorasi penerapan algoritma pembelajaran mesin untuk analisis data, dan memperluas studi untuk mencakup tahap lain dari siklus hidup konstruksi.	Sebuah teknologi inovatif, membantu memfasilitasi prosedur perakitan tugas dengan melapisi informasi data BIM langsung di lokasi konstruksi.	

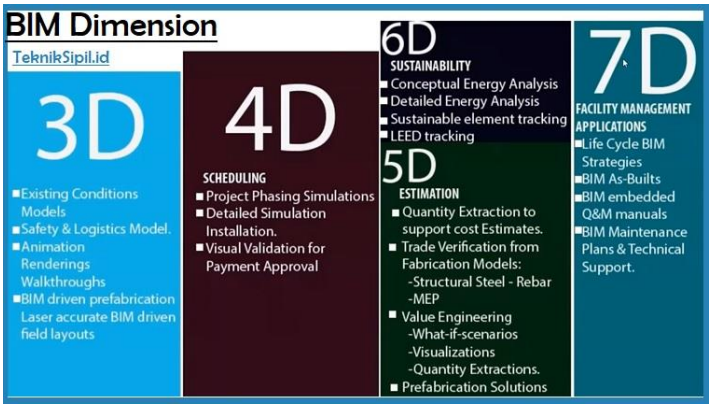
Berdasarkan Tabel 2.1 dalam penelitian terdahulu yang telah ditinjau, terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian ini. Perbedaan pertama dapat dilihat pada metode yang dilakukan bahwa pada penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif, wawancara, dokumen primer, observasi, dan implementasi lapangan. Perbedaan selanjutnya yaitu dari lokasi penelitian, yang mana pada penelitian ini dilakukan di Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan teknologi *Augmented Reality* dapat digunakan pada proses inspeksi tahap konstruksi. Penelitian ini akan menilai bagaimana pengaruh dari pengimplementasian teknologi tersebut yang dilakukan dengan cara wawancara kepada narasumber kunci untuk mengetahui efek dari penerapan baik dari segi efektivitas pekerjaan, waktu, dan biaya. Dengan indikator yang telah disebutkan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini memiliki perbedaan yang signifikan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, sehingga keaslian penelitian ini dapat dipertanggung jawabkan.

BAB III
LANDASAN TEORI

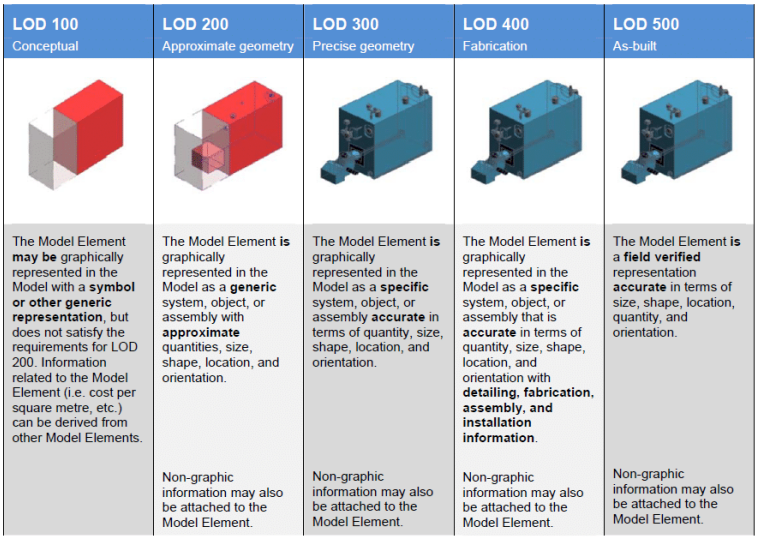
3.1 Manajemen Konstruksi Berbasis BIM

3.1.1. Definisi BIM dalam Industri Konstruksi

Building Information Modeling (BIM) adalah prosedur kompleks yang mencakup interaksi dengan informasi dari berbagai tahap konstruksi, bersama dengan kerja sama dan manajemen umum sebuah proyek. Hasil akhir dari BIM adalah model informasi bangunan yang mencakup rincian informasi tentang bagaimana bangunan tersebut dibangun, sejarah keputusan yang dibuat pada tahap apa, dan informasi penting lainnya. Kesalahpahaman yang populer tentang definisi BIM dalam konstruksi adalah bahwa BIM hanyalah perpanjangan dari perangkat lunak pemodelan 3D tradisional - tetapi BIM lebih dari itu (Ocean, 2024). BIM memungkinkan insinyur memvisualisasikan seluruh tahapan dan detail pekerjaan secara lengkap dan jelas, mulai dari proses perencanaan awal hingga akhir. Dengan begitu, BIM akan mendorong insinyur untuk optimalisasi pekerjaan dalam desain, analisis kemungkinan terjadinya risiko, dan peningkatan kinerja proyek konstruksi (Prihartanto, 2023). Dalam penerapan BIM pada industri konstruksi, terdapat beberapa tingkatan level penerapan sesuai dengan kebutuhan masing-masing proyek. Tingkatan *Dimension Level* dan *Level of Development* BIM dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.1 BIM *Dimension*
(Sumber: TeknikSipil.id)



Gambar 3.2 *Level of Development* BIM
(Sumber: engbim.com)

Gambar tersebut merupakan detail dari sistem pembagian dari level penerapan BIM di proyek konstruksi dan akan senantiasa berkembang mengikuti dengan perkembangan teknologi dan pengetahuan. Dalam pengimplementasian BIM pada proyek konstruksi, pengguna akan diuntungkan dari segi efisiensi waktu, biaya pada saat perencanaan serta mumungkinkan untuk melakukan analisis untuk meminimalkan terjadinya risiko. Hal tersebut merupakan dampak atau manfaat utama yang diharapkan dari pengimplementasian BIM sebagai bentuk upaya digitalisasi proyek konstruksi menuju era konsturksi 4.0.

3.1.2. Manfaat BIM dalam Manajemen Konstruksi

Keunggulan utama *Building Information Modeling* (BIM) terletak pada kemampuannya untuk memberikan dampak yang besar pada semua tahapan proyek, mulai dari inisiasi hingga penyelesaian. Kemampuan yang berpengaruh ini memungkinkan kolaborasi tanpa batas di antara para konstruktor, perancang, insinyur, dan berbagai spesialis lainnya, yang mendorong tercapainya tujuan bersama melalui fasilitasi pertukaran informasi digital dan peningkatan kolaboratif lainnya.

Mengambil pendekatan yang sedikit berbeda terhadap keuntungan BIM selama proses konstruksi - berikut adalah sepuluh peningkatan yang paling signifikan dibandingkan sistem tanpa BIM:

1. *Changes Monitoring*

   Pemantauan yang lebih baik dari berbagai bagian proyek secara umum, kemampuan untuk mengembalikan semuanya jika perubahan terakhir menampilkan kesalahan - menghemat banyak waktu bagi para desainer jika dibandingkan dengan iterasi sebelumnya.

2. *Clash Detection*

   Permasalahan yang sering dijumpai pada proyek konstruksi adalah ketidakkonsistenan dari desain hingga geometri. Permasalahan muncul ketika terjadi tumpang tindih antara disiplin ilmu yang berbeda. dengan BIM, perencanaan bersama dapat dilakukan antar disiplin ilmu yang saling terkait sehingga ketidaksesuaian atau permasalahan dapat terdeteksi sejak awal. Selain itu, modifikasi juga dapat dilakukan pada tataran estetika.

3. *Improve Schduling/Sequencing*

   BIM dapat menghemat banyak *cost* atau pengeluaran dengan cara menggunakannya untuk estimasi biaya dari setiap pekerjaan, selain itu BIM juga berfungsi sebagai alat penghemat waktu. Menghilangkan berbagai kemunduran dari proses konstruksi, modifikasi yang mudah, dan dokumentasi simultan secara keseluruhan memungkinkan perusahaan untuk menghemat banyak waktu yang seharusnya dihabiskan untuk perubahan dan nuansa yang tidak perlu.

4. *Constacability*

   BIM memungkinkan anggota tim proyek untuk melakukan proses peninjauan untuk menyelesaikan permasalahan construcability, dan jika diperluakan dapat mengajukan permasalahan menuju RFIs (*Request for Informations*). Selain itu, BIM juga memungkinkan pengguna untuk dapat menyajikan data atau informasi dalam bentuk visual.

5. *Analysis*

   Pemanfaatan BIM dapat digunakan untuk membantu manajer proyek, perancang, dan insinyur dalam melakukan analisis untuk meningkatkan komitmen dalam pengmbilan sebauah keputusan. Misalnya, mengenai analisis energi proyek konstruksi, proses pengambilan yang lebih banyak dapat

dilaksanakan. Kemudian contoh lain pada perubahan material yang digunakan, mengubah orientasi volume dan bagian, san lain-lain.

6. *Time & Cost Estimation* (4D & 5D)

   BIM dapat memperkirakan waktu dan biaya, sehingga manajer proyek dapat menvisualisasikan proyek konstruksi pada saat proyek dilaksanakan sehingga dapat membantu dalam memahami secara lebih jelas terkait cara kerja dari masing-masing proyek. Perkiraan biaya dan waktu dapat dilakukan khususnya selama tahap satu proyek, untuk proses pengambilan keputusan yang akan digunakan dalam simulasi peminimalan biaya dan waktu yang diperlukan. Selain itu, BIM juga memiliki kemampuan untuk mensimulasikan berbagai alternatif untuk proyek konstruksi, sehingga memungkinkan manajer proyek untuk membuat prediksi dan mengetahui konsekuensi dari keputusan yang dipilih.

7. *Integration*

   Tim proyek yang menggunakan BIM dapat berinteraksi dengan model terpadu atau terintegrasi yang terdiri dari berbagai disiplin ilmu terkait. oleh karena itu, BIM dapat digunakan untuk mengoordinasikan hasil desain, analisis dan kegiatan konstruksi suatu proyek dari berbagai jenis tahapan konstruksi.

8. *Quantity Take Off*

   Quantuti Take Off pada model BIM dapat digunakan untuk membantu manajer maupun *engineer* untuk dapat menganalisis hasil keputusan dan mendapatkan refrensi yang jelas dari berbagai jenis alternatif pada keseluruhan siklus hidup proyek. Dengan mengintegrasikan model BIM dengan database yang berisikan informasi terkait perkiraan estimasi biaya dapat menghasilkan hasil perkiraan waktu yang singkat. Artinya dari kedua variabel tersebut dapat dilihat visualisasinya sehingga dapat dirubah sesuai dengan kebutuhan untuk mencapai efisiensi biaya dan waktu.

9. *Element Based Model*

   Karena model BIM pada umumnya terdiri dari berbagai kumpulan objek model yang diintegrasikan menjadi satu, maka masing-masing dari keseluruhan model tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan penoroman atau kode

tertentu dari objek yang lebih kecil. Solusi ini memungkinkan pendefinisian proyek dan cakupan yang jelas. Diferensiasi yang jelas dari setiap elemen dapat membantu menyederhanakan proses pengelolaan, desain, estimasi, dan konstruksi.

10. *Collaborating and Team Building*

    Semua hal yang dikerjakan dari masing-masing disiplin ilmu terkait akan disatukan kedalam satu model BIM. Hasilnya adalah proses penyesuaian berbasis waktu yang memungkinkan pekerja bekerja sebagai sebuah tim. Hal ini dapat meningkatkan kolaborasi yang efektif di seluruh proyek.

11. *Communication*

    Pada dasarnya BIM menggunakan unifikasi model, sehingga dimulai dari *entry*, modifikasi, dan data menggunakan model BIM. Hal tersebut akan memudahkan proses komunikasi dan kolaborasi antar masing-masing pihak dalam suatu proyek konstruksi, seperti sebagai kepala arsitek, insinyur, dan kontraktor. Hal tersebut akan mendukung kemudahan dalam proses komunikasi antar pihak sehingga perselisihan yang dimungkinkan terjadi dapat diminimalisir.

Salah satu alasan mengapa BIM sangat dihargai oleh banyak profesional industri adalah masalah yang mengakar kuat di industri ini selama bertahun-tahun. Sebagai contoh, banyak miskomunikasi antara pemangku kepentingan yang mengakibatkan pengerjaan ulang selama fase konstruksi - pengerjaan ulang yang membutuhkan biaya dan tenaga kerja. Banyak penelitian yang berbeda menunjukkan bagaimana pengerjaan ulang sendiri merupakan masalah besar bagi industri ini - dengan biaya pengerjaan ulang yang mencapai 5% dari total nilai proyek, dan waktu pengerjaan ulang yang menghabiskan waktu sebanyak 30% dari keseluruhan waktu kerja tim konstruksi. Biaya pengerjaan ulang sangat bervariasi tergantung pada ruang lingkup proyek dan banyak faktor lainnya, tetapi terdapat data industri dalam artikel *American Institute of Architects and Association of General Contractors* yang menyatakan bahwa biaya rata-rata untuk satu bentrokan desain adalah sekitar $ 1.500 (Ocean, 2024).

3.1.3. Peranan BIM dalam Konstruksi dan Manajemen Proyek

Building Information Modeling (BIM) memainkan peran penting dalam meningkatkan manajemen proyek konstruksi, terutama dalam proyek perumahan dan infrastruktur. BIM meningkatkan efisiensi, kolaborasi, dan komunikasi sepanjang siklus hidup proyek (Sarifudin and Fuk Jin, 2024). Hal ini memungkinkan pengembangan model 3D, memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik dan mengurangi pekerjaan ulang (Latiffi, Brahim and Fathi, 2016; Antoni, Despa and Widyawati, 2023). Implementasi BIM meluas dari desain hingga manajemen fasilitas, menawarkan manfaat seperti pengelolaan material yang lebih baik dan analisis biaya (Sarifudin and Fuk Jin, 2024). Namun, adopsi BIM menghadapi tantangan, termasuk kebutuhan akan perubahan dalam praktik dan penggunaan teknologi saat ini (Latiffi, Brahim and Fathi, 2016). Hambatan utama dalam implementasi BIM adalah kurangnya partisipasi manajemen dalam memberikan motivasi, pelatihan, dan pengawasan (Rizky Hutama and Sekarsari, 2019). Meskipun menghadapi tantangan ini, potensi BIM untuk meningkatkan hasil proyek menjadikannya alat yang berharga dalam manajemen konstruksi modern.

3.1.4. BIM-*based Collaboration and Coordination*

BIM-*based collaboration* menuntut seluruh pemangku kepentingan dari proyek konstruksi untuk terlibat aktif dalam bertukar informasi dalam proyek dengan format yang baik antara satu dengan yang lain dalam periode waktu yang telah disepakati secara kontrak (Preidel, Konig and Bormann, 2018). Konsep BIM dalam proyek adalah bahwa keseluruhan pemangku kepentingan mulai dari *owner*, arsitek, kontraktor, *engineer*, maupun *supplier* untuk dapat saling bekerja sama dalam bertukar informasi yang berupa data maupun geometri, dan juga saling berkolaborasi dengan tujuan efisiensi proses konstruksi.

Dalam konteks BIM, kolaborasi sangat erat kaitannya dengan koordinasi pengembangan model, baik dalam satu disiplin ilmu maupun berbagai disiplin ilmu. Proses ini memungkinkan setiap disiplin untuk mengerjakan model 3D secara independen, yang kemudian dapat digabungkan menjadi satu model terkonsolidasi. Model-model ini bersifat dinamis dan dapat dimodifikasi sesuai dengan

perkembangan proyek. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa model-model tersebut dapat diakses oleh anggota tim proyek yang relevan.

Menurut (*Building and Construction Authority*, 2013) proses koordinasi memiliki beberapa perbedaan. Perbedaan utamanya adalah komunikasi dan visualisasi yang lebih baik bila dilakukan dengan model BIM. Berikut merupakan langkah-langkah koordinasi dengan menggunakan model BIM.

1. Menghubungkan Model (*Lingking the Models*)

   Tim koordinasi harus dapat mengabungkan berbagai disiplin ilmu ke dalam satu model pada suatu *environment* tertentu, mensimulasikan situs dan memeriksa setiap disiplin/isi yang berkaitan satu sama lain. Sebagian besar BIM authoring dan koordinasi memungkinkan tim untuk menghubungkan beberapa model.

2. Warna (*Colours*)

   Menetapkan warna yang berbeda pada setiap model dari masing-masing disiplin ilmu untuk visualisasi yang lebih baik. Hal ini akan memudahkan identifikasi elemen ketika dikomunikasikan melalui laporan. Tim harus menyepakati kode warna yang akan digunakan pada masing-masing disiplin ilmu dalam dokumen BEP dan mengikuti proses koordinasi yang cermat.

3. Pemeriksaan Visual dan Otomatis (*Visual and Automatic Checking*)

   Tim koordinasi dapat menggunakan pemeriksaan visual menggunakan alat navigasi seperti *walktrough, sectioning,* dll. atau pemeriksaan otomatis dengan menggunakan alat pemeriksaan untuk *clash*, *overlaps*, *clearence*, *code compilance*, dll.

4. Rapat Koordinasi (*Coordination Meeting*)

   Tim proyek harus bertemu secara teratur untuk mendiskusikan masalah yang diidentifikasi oleh tim koordinasi dalam pemeriksaan visual dan pemeriksaan otomatis dan keputusan penyelesaian serta pertanggung jawaban. Hal ini perlu didokumentasikan dalam bentuk laporan untuk ditindak lanjuti.

5. Laporan (*Reports*)

   Laporan harus berisi rincian masalah, lokasi, dan informasi terkait proses. Seperti gambar dengan komentar, koordinat, level, kisi, id elemen, tanggal,

waktu, ditentukan oleh, ditetapkan ke, dan resolusi. Tim harus menambahkan item tambahan berdasarkan kebutuhan proyek mereka.

6. Pembaruan Model (*Model Update*)

   Tim yang bertanggung jawab harus memperbarui model sesuai dengan resolusi yang disepakati dab diterbitkan kembali untuk koordinasi berikutnya.

Pada saat akan dilakukan koordinasi terdapat pemangku kepentingan yang terlibat. Pemangku kepentingan ini akan bertugas untuk mengarahkan pekerjaan dan sebagai penanggung jawab atas konstruksi fisik. Berikut ini merupakan daftar peran dalam organisasi terkait proyek berbasis BIM (BCA, 2013).

1. BIM *Project Manager*

   Memfasilitasi definisi dan implementasi dari:

   a. BIM *Execution Plan*
   b. Tujuan dan Penggunaan BIM
   c. Responability Matrix
   d. BIM *Deliverables*
   e. Jadwal *Delivery*
   f. Kontrol Kualitas Permodelan BIM
   g. Koordinasi BIM

2. BIM Coordinator untuk Konsultan

   Pada tahap desain dan konstruksi:

   a. Merumuskan dan mendokumentasikan
   b. Mendefinisikan penggunaan BIM spesifik untuk disiplin tertentu dan analisisnya
   c. koordinasi antar pemodel BIM, konsultan desain dan kontraktor
   d. koordinasi dengan kontraktor dan sub kontraktor
   e. memastikan kontrol kualitas atas proses perrmodelan

3. BIM Coordinator untuk Kontraktor

   Pada tahap konstruksi:

   a. Koordinasi dengan konsultan perencana dan sub-kontraktor
   b. Mempelajari dokumen tender

c. Melakukan review atas model desain BIM, model fabrikasi dan gambar-gambar
d. Menggunakan BIM untuk koordinasi, *sequencing*, dan konstrukabilitas pelaksanaan konstruksi
e. Membuat model konstruksi dan *as-built*
f. Memastikan kontrol kualitas atas proses permodelan

Dalam panduan adopsi BIM (2012) dalam skripsi (Ramadhani, 2023), penerapan BIM dalam organisasi pada saat proses koordinasi memiliki hal-hal penting untuk diperhatikan. Berikut merupakan hal-hal yang perlu dikoordinasikan dengan penerapan BIM.

1. BIM *Execution Plan* (BEP)

   Rencana Implementasi BIM (BIM *Execution Plan*/BEP) merupakan dokumen rencana implementasi BIM yang terdiri dari dua bagian, BEP kontrak yang dibuat oleh calon penyedia jasa pada proses tender, dan BEP proyek yang dibuat oleh penyedia jasa terpilih untuk mendetailkan rencana implementasi BIM yang menjadi panduan dan disepakati oleh seluruh pemangku kepentingan proyek untuk mencapai tujuan dan sasaran. Secara khusus dokumen ini menetapkan peran dan tanggung jawab anggota proyek dalam penggunaan BIM pada setiap tahapan proyek yang berisi hal-hal teknis dan detail terkait deliverable dan prosesnya, yang mana terkait dengan proses pembuatan, koordinasi, distribusi informasi. Dalam dokumen BEP, umunya berisi hal-hal sebagai berikut:

   a. Informasi Proyek
   b. Anggota Pelaksana Proyek
   c. Tujuan Proyek dan Penggunaan BIM setiap Tahapan Proyek
   d. *Deliverable* BIM di Setiap tahapan Proyek
   e. Pembuatan Model (*Model Author*) dan Pengguna Model (*User*) untuk setiap *deliverable* BIM
   f. Elemen-elemen model, tingkat kelengkapan informasi (*Level of Development*/LOD) dan atribut untuk setiap *deliverable* BIM
   g. Proses pembuatan model BIM, pemeliharaan dan kolaborasinya

h. Protokol atau prosedur distribusi informasi, format submisi

i. Sarana dan prasarana, software yang digunakan

BEP dibuat pada awal pelaksanaan proyek dan dapat diperbaharui (update) untuk mengakomodasi anggota baru atau jenis penggunaan BIM baru dalam suatu proyek. Semua pembaruan harus mendapat persetujuan dari pemilik proyek dan BIM manager

2. *Exchange Information Requirements* (EIR)

   Exchange Information Requirements (EIR) adalah dokumen yang dibuat oleh klien yang menguraikan semua persyaratan yang terkait dengan proses pengumpulan informasi BIM. EIR berfokus pada metode yang akan digunakan untuk mengumpulkan data dan membuat dokumen, dengan penekanan pada pertukaran informasi antara berbagai pemangku kepentingan dan metode verifikasi, replikasi, dan pengiriman model.

3. *Request for Information* (RFI)

   Permintaan informasi, yang sering dikenal sebagai RFI, adalah dokumen yang sering digunakan selama tahap konstruksi atau pelaksanaan proyek. Tujuan dari RFI adalah untuk mengklarifikasi informasi apa pun yang diperlukan dari sebuah proyek. Banyak RFI yang ditulis dan ditujukan selama proyek konstruksi untuk memastikan bahwa semuanya berjalan sesuai dengan spesifikasi, desain, dan bahan yang sesuai.

4. Model BIM

   Dalam melakukan koordinasi pada proyek berbasis BIM perlu dipastikan model BIM (3D-8D) yang digunakan pada proyek.

5. *Meeting*

   Meeting yang dilakukan untuk membahas kerja ke depan dan berbagai permasalahan seputar pelaksanaan di lapangan seperti usulan dari pelaksana atau mandor untuk merapikan pekerjaan tertentu agar dapat melakukan langkah selanjutnya. hasil keputusan setalah dilakukan meeting, seperti dokumentasi, notulensi, berita acara, dll.

6. *Submittal*

Pada implementasinya submittal digunakan untuk approval gambar dari kontraktor ke konsultan. Gambar shopdrawing maupun revisi bisa langsung ditujukan ke konsultan dan di tanda tangani secara digital. Dokumen yang diserahkan, seperti approval, material, ijin pekerjaan, shopdrawing, dll.

7. *Issues*

   Pada saat pelaksanaan proyek bermacam permasalahan dapat terjadi, seperti clash, metode, aspek, dll. Dengan adanya permsalahan maka diperlukan koordinasi untuk dapat mnegatasi dari permsalahan tersebut.

   Dengan penggunaan BIM ketika akan berkoordinasi masalah desain cukup buka gambar 3D tersebut, kemudian buat Issue. Tentukan titik lokasi issue tersebut, tulis deskripsi permasalahan dan pilih Assign ke siapa. Otomatis permasalahan/issue tersebut akan sampai ke personil yang dituju. Jika ada permasalahan di lapangan, *Create Issue*, kemudian ambil foto lapangan sebagai lampiran issue

8. *Schedule*

   Schedule pelaksanaan merupakan bagian terpenting dari suatu proyek. *Schedule* merupakan acuan pelaksanaan pekerjaan kapan harus mulai dan kapan harus selesai. Biasanya *schedule* di proyek disajikan dalam bentuk bar chart atau kurva S yang dibuat dengan *software* Microsoft Project. Namun dengan BIM, *schedule* dapat disajikan secara 4D. Tujuannya adalah dapat dipahami dengan mudah oleh setiap orang.

3.1.5. *Common Data Environtment* (CDE)

Common Data Environtment (CDE) merupakan platform digital yang dijadikan sebagai pusat sumber dan media dalam pertukaran informasi yang berguna untuk mengumpulkan, menmgolah, dan menyebarkan informasi digital kepada seluruh pihak yang berkepentingan (yaitu semua informasi proyek baik yang dibuat dalam lingkingan BIM maupun dalam format data konvensional). Selain itu CDE juga dapat memfasilitasi kolaborasi antar pemangku kepentingan dalam proyek sehingga dapat meminimalkan duplikasi dan mencegah kesalahan. Dalam CDE memungkinkan untuk mengumpulkan, mengelola, dan menyebarkan

informasi serta data antar tim yang berbeda dengan cara yang aman, jelas, dan terkendali (Peraturan Menteri PUPR No 9, 2021).

Menurut (Preidel, Konig and Bormann, 2018) dalam skripsi (Ramadhani, 2023) menjelaskan bahwa Tujuan *Common Data Environment* (CDE) adalah meningkatkan kolaborasi dan koordinasi dalam proyek yang menggunakan BIM. Implementasinya melibatkan pengunggahan model 3D ke penyimpanan terpadu, yang dapat diakses oleh berbagai pihak seperti manajer proyek, manajer teknik lapangan, dan manajer operasional lapangan. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi koordinasi antar personel proyek, mengurangi keterlambatan, dan mencegah hilangnya informasi penting di lapangan. CDE menyimpan seluruh data proyek, termasuk model 3D dan catatan masalah, dari awal hingga akhir proyek. Setelah proyek selesai, database ini diserahkan kepada pemilik proyek untuk keperluan operasional dan pemeliharaan di masa mendatang.

Dalam pelaksanaan proyek, penggunaan CDE sebagai pusat penyimpanan data terpusat akan sangat memberikan banyak manfaat. Berikut merupakan manfaat dari penggunaan CDE menurut (Kirby, 2022).

1. Semua informasi berada pada satu tempat

   Penggunaan *Common Data Environment* (CDE) memungkinkan penyimpanan terpusat untuk seluruh informasi proyek konstruksi. Sistem ini memberikan akses dan pengelolaan data kepada seluruh anggota tim. CDE juga menawarkan fitur pengaturan akses untuk pihak eksternal, memungkinkan pemberian hak baca atau edit sesuai kebutuhan. Dalam satu platform yang sama, berbagai elemen proyek seperti model BIM, gambar, serta dokumen pendukung (misalnya tagihan bahan, penawaran harga, dan faktur) dapat dikelola dan divalidasi. Pendekatan ini menjamin bahwa seluruh informasi proyek tersimpan dalam satu lokasi, memudahkan pencarian dan penggunaan data ketika diperlukan. Hal ini meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam pengelolaan informasi proyek.

2. Meminimalisir kemungkinan kesalahan dan kesalahpahaman

   Pada penggunaan CDE anggota proyek hanya perlu menyampaikan data satu kali, karena CDE memiliki akses ke tempat umum yang dapat diakses semua

anggota proyek untuk mendpatkan informasi. Otomatisasi cerdas dan integrasi system mengurangi jumlah tugas manual. Hal ini memiliki efek positif pada proses rawan kesalahan, seperti memasukan data.

3. Data dapat diakses kapan saja dan dimana saja

   Dalam sebuah proyek jumlah data yang dihasilkan proyek konstruksi sangat banyak, mulai dari pengajuan, *request for information* (RFI) hingga elemen pada model BIM yang hampir tidak terhitung jumlahnya. Bersamaan dengan itu jutaan titik data harus dilacak dan dikelola. CDE adalah titik koneksi pusat untuk semua data proyek, berfungsi sebagai satu sumber yang dapat diandalkan oleh semua anggota tim proyek. Data diperbarui secara real-time, yang mengarah pada pengambilan keputusan yang lebih tepat dan hasil proyek yang lebih baik.

4. Mencegah data hilang atau tidak lengkap

   Saat informasi proyek berpindah tangan dari satu anggota tim ke anggota tim berikutnya, ada kemungkinan detail hilang atau dimanipulasi. Demikian pula, saat bertukar file desain antar jenis perangkat lunak, titik data penting sering kali hilang. Format file *International Foundation Class* (IFC) yang digunakan untuk membuat model dapat dibaca di seluruh versi perangkat lunak sering kali harus mengorbankan kelengkapannya.

   CDE secara signifikan mengurangi risiko kehilangan data proyek yang penting. Semua pengguna dapat bekerja dari model BIM terpusat yang secara akurat menyimpan semua data proyek dan metadata. Selain itu, informasi proyek dapat diakses oleh seluruh tim dan diperbarui secara real-time, sehingga tidak ada yang tersapu.

5. Kompilasi data untuk analisis lebih lanjut

   Produk sampingan dari akses dan penyimpanan data yang unggul adalah kemampuan analitik data. Tidak semua data adalah data yang baik, tetapi data yang terorganisir dan terkelola menceritakan kisah yang dapat dipelajari. Tim proyek harus berusaha mengumpulkan sebanyak mungkin data berharga dari proyek konstruksi mereka.

Perusahaan AEC yang memanfaatkan data tambahan ini untuk menarik kesimpulan dan melakukan perbaikan proses akan memisahkan diri dari kompetisi. Menurut laporan Dodge Data and Analytics, kontraktor telah menyatakan bahwa kemampuan pengumpulan, analisis, dan pelaporan data yang lebih baik memiliki dampak signifikan pada kemampuan mereka untuk memenangkan pekerjaan baru

6. Meningkatkan kualitas dan efisiensi proyek

   Pelaksanaan tepat waktu dan di bawah anggaran masih merupakan tujuan nomor satu dari proyek konstruksi yang sukses. Namun sayangnya, hasil akhirnya tidak selalu seperti itu. Dengan sistem manual, pengecekan dokumen, pertemuan langsung yang harus dilakukan menjadi salah satu hambatan dalam pelaksanaan proyek.

Common data environment (CDE) yang digunakan dengan baik dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi proyek secara keseluruhan. Data yang dapat diakses untuk semua anggota proyek memaksimalkan transparansi, mengurangi pengerjaan ulang, dan meningkatkan pengambilan keputusan. Memanfaatkan data secara efektif memungkinkan peningkatan berkelanjutan, dengan proyek yang disampaikan lebih baik dan lebih cepat, mendorong perusahaan maju.

3.1.6. Peran dan Tanggung Jawab Pelaku Konstruksi pada Proyek Berbasis BIM

(Latiffi, Brahim and Fathi, 2016) menjelaskan bahwa pelaku konstruksi menggunakan BIM untuk mencapai integrasi informasi proyek yang lebih baik, peningkatan proses konstruksi, dan untuk meningkatkan kolaborasi di antara mereka sejak tahap awal proyek (Reddy, 2011). Oleh karena itu, penggunaan BIM jelas mengubah peran dan tanggung jawab pelaku konstruksi (Gu and London, 2010; Porwal and Hewage, 2013). Tinjauan literatur mengenai peran dan tanggung jawab pelaku konstruksi dalam proyek yang menggunakan BIM mengidentifikasi aktivitas yang perlu dilakukan oleh mereka. Tabel 3.1 dibawah menunjukkan peran dan tanggung jawab pelaku konstruksi dalam proyek yang menggunakan BIM.

Tabel 3.1 *Roles and Responsibilities of Construction Players*

No.	**Construction Players**	**Role and Responsibilities of Construction Players in Project using BIM**
1	Client/Owner	• Defining a suitable method of using BIM.
2	Architect	• To develop conceptual design. • To develop detail design and analysis. • To develop construction level information. • To develop construction document.
3	C&S and MEP Engineer	• To develop detail design. • To develop shop drawings with detail elements.
4	Contractor	• Perform constructability analysis. • Scheduling and planning using 4D model. • Produce cost reliability.
5	Quantity Surveyor (QS)	• To extract quantities and produce cost estimation from the 3D model.
6	Facility Manager	• To put the information of building into the 3D model for the purpose of FM.

(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

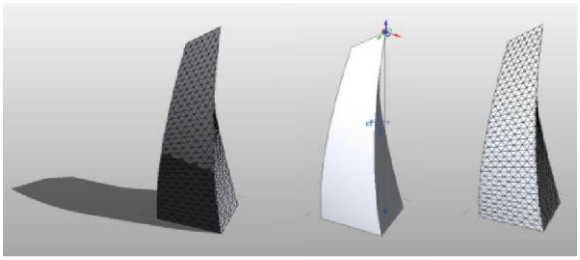
1. Client

   Klien atau dikenal sebagai pemilik adalah orang atau organisasi yang bertanggung jawab atas biaya proyek dan mendapatkan manfaat dari proyek yang telah diselesaikan. Dalam proyek yang menggunakan BIM, klien dapat menggunakan BIM untuk meningkatkan kinerja bangunan yang lebih baik dengan kualitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, BIM membantu klien untuk meningkatkan kinerja bangunan melalui penggunaan desain energi dan pencahayaan berbasis BIM, mengurangi risiko keuangan dengan mendapatkan dan estimasi biaya proyek lebih awal serta meningkatkan kolaborasi tim proyek. Untuk mendapatkan manfaat dari penggunaan BIM, klien harus berkonsentrasi pada upaya untuk mendefinisikan proses penggunaan BIM dalam proyek. Hal ini penting untuk menentukan keberhasilan penggunaan

BIM dalam proyek. Klien harus menentukan metode penggunaan BIM dan tingkat detail model untuk mengembangkan kebutuhan BIM. Hal ini dikarena, jika kebutuhan BIM terlalu luas, hasil dari penggunaan BIM akan luas dan tidak akan memenuhi harapan klien. Oleh karena itu, sangat penting bagi klien untuk menentukan batas penggunaan berdasarkan kebutuhan, sehingga klien dapat memimpin proses dan mendapatkan manfaat dari penggunaan BIM.

2. Architect

Arsitek adalah perancang utama dalam sebagian besar proyek konstruksi. Arsitek bertanggung jawab untuk menerjemahkan dan mengembangkan konsep desain berdasarkan kebutuhan klien. Peran arsitek dalam proyek yang menggunakan BIM adalah mengembangkan desain konseptual, desain detail dan analisis desain serta untuk mengembangkan informasi tingkat konstruksi. Desain konseptual adalah kerangka dasar desain yang membawa semua aspek proyek dalam hal fungsi, biaya, metode konstruksi, material, lingkungan dampak lingkungan serta pertimbangan estetika. Arsitek menggunakan alat BIM seperti Revit *Architecture* untuk melakukan desain tingkat konseptual. Contoh gambar desain konseptual dari arsitek dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Desain Konseptual menggunakan Revit *Architecture*
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

Berdasarkan gambar tersebut, arsitek mengembangkan desain konseptual untuk mengeksplorasi konsep desain awal konsep awal sebelum membuat detail model proyek. Revit *Architecture* secara otomatis membantu arsitek untuk membangun kerangka kerja parametrik di sekitar bentuk yang paling kompleks dan memberikan tingkat kontrol kreatif, akurasi, dan fleksibilitas yang lebih besar. Selain itu, arsitek dapat mengubah setiap tampak masa

bangunan menjadi komponen bangunan seperti dinding, atap, lantai, dan lainnya. Revit *Architecture* juga dapat menjaga hubungan antara geometri model konseptual dengan komponen bangunan.

Setelah desain konseptual ditetapkan, arsitek akan mengembangkan desain analisis yang akan disesuaikan secara ukuran dan digunakan dalam pembangunan secara langsung. Hal ini mencakup aspek fungsional dari kinerja bangunan, suhu, pencahayaan, dan aliran udara ventilasi. Informasi mengenai komponen bangunan dalam model digunakan untuk melakukan analisis.

Gambar 3.4 dibawah menunjukkan contoh analisis desain untuk menentukan energi bangunan secara keseluruhan, baik itu pencahayaan siang hari, air dan analisis emisi karbon berdasarkan desain konseptual. Dengan menggunakan perangkat BIM, memungkinkan arsitek untuk menganalisis lokasi bangunan yang dapat yang dapat berkontribusi terhadap penggunaan listrik dan biaya penggunaan air. Kegiatan ini berkaitan dengan kolaborasi dan koordinasi pelaku konstruksi lainnya seperti insinyur sipil dan struktur sipil dan struktur (C&S *Engineers*) serta insinyur mekanikal, elektrikal, dan plumbing (MEP *Engineers*) karena analisis akan dilakukan dengan menggunakan informasi teknis dari masing-masing disiplin ilmu tersebut.



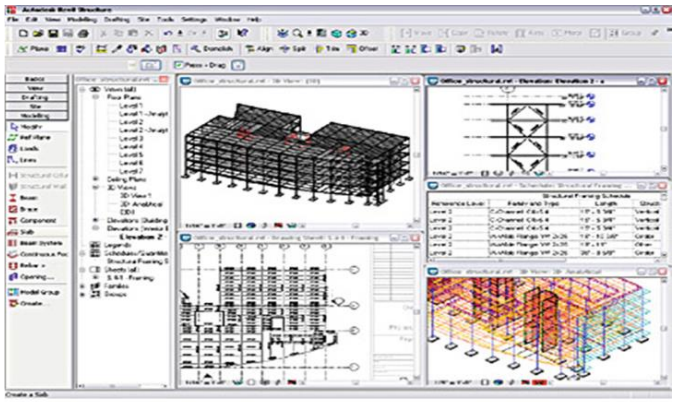
Gambar 3.4 Analisis Desain Berkelanjutan menggunakan Revit
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

Peran arsitek dalam proyek menggunakan BIM juga untuk menghasilkan dokumen konstruksi. Proses ini melibatkan integrasi desain dan proses konstruksi. Arsitek harus menentukan tingkat detail yang diperlukan dalam model sebelum melanjutkan untuk dokumen konstruksi. Arsitek menggunakan BIM untuk menentukan aturan penempatan dan komposisi sehingga dapat mempercepat pembuatan dokumentasi standar konstruksi. Oleh karena itu,

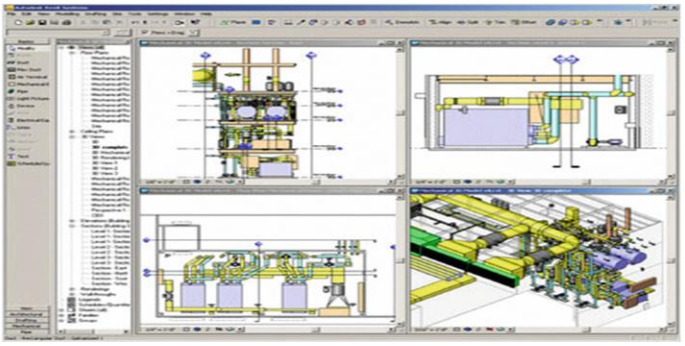
penggunaan BIM dapat membantu arsitek untuk mempercepat produksi dokumentasi secara lebih efisien.

3. *Engineers*

Engineer atau Insinyur juga dikenal sebagai perancang profesional yang mendesain proyek. Insinyur dapat dikategorikan ke dalam sipil dan struktural (*Civil & Structural*), mekanikal, elektrikal, dan *plumbing* (MEP). Insinyur C&S dan MEP menggunakan alat BIM seperti Revit Struktural dan Revit MEP untuk mengembangkan proses koordinasi dalam analisis desain. Gambar 3.5 dan 3.6 berikut menunjukkan contoh analisis desain untuk insinyur C&S dan MEP.



Gambar 3.5 Contoh Analisis Desain untuk Sipil & Struktur (C&S)
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)



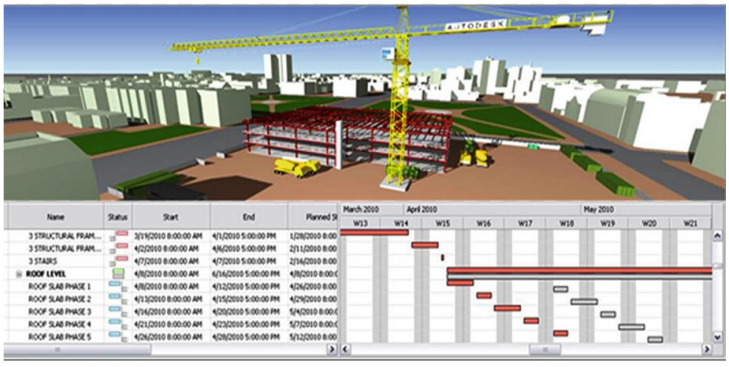
Gambar 3.6 Contoh Analisis Desain untuk MEP *Engineers*
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

Berdasarkan gambar tersebut, insinyur C&S dan MEP dapat menggunakan BIM untuk melihat berbagai sistem struktural dan opsi desain alternatif dalam model digital yang sama. Setiap perubahan yang dilakukan pada desain akan

secara otomatis mengoordinasikan perubahan di seluruh representasi proyek. Selain itu, dengan menggunakan BIM, mereka dapat membuat gambar kerja, fabrikasi dan pemasangan sistem C&S dan MEP dengan lebih akurat. Gambar-gambar tersebut juga berisi rincian barang yang akan diproduksi, dibeli dan dipasang.

4. *Contractor*

Kontraktor merupakan seseorang yang memiliki tanggung jawab kontrak dengan klien atas pembangunan sebuah proyek. Dalam proyek yang menggunakan BIM, kontraktor mengembangkan model digital menggunakan *software* berbasis BIM seperti Naviswork untuk mengidentifikasi masalah desain sebelum konstruksi konstruksi berlangsung. Dengan model digital, kontraktor dapat mensimulasikan unutk mengidentifikasi hasil konstruksi, masalah apa saja yang mempengaruhi biaya, jadwal, dan kualitas proyek. Gambar 3.7 dibawah menunjukkan perencanaan dan penjadwalan konstruksi menggunakan model 4D BIM.



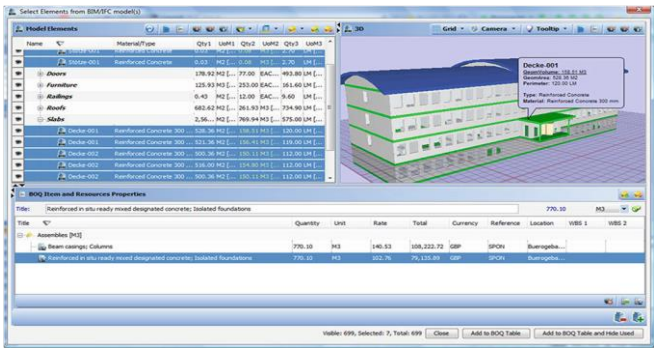
Gambar 3.7 Perencanaan Konstruksi dengan model 4D BIM
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

Berdasarkan gambar tersebut, kontraktor dapat menggunakan BIM untuk melakukan analisis berbagai hal seperti tingkat kinerja, penggunaan material, dan pembiayaan yang sesuai. Analisis ini sangat penting untuk memastikan proyek konstruksi sesuai dengan yang telah direncanakan. Dengan menggunakan BIM, kontraktor juga dapat mempersiapkan jadwal pekerjaan serta melacak kemajuan pekerjaan pada masing-masing item pekerjaan. Status masing-masing komponen ditambahkan ke dalam model digital untuk

memudahkan koordinasi. Kemudian, model tersebut dapat digunakan membuat urutan pekerjaan dengan dan tanpa kehadiran fasilitas seperti crane dan lainnya sehingga simulasi dari keseluruhan pekerjaan dapat dilakukan sebelum proyek dimulai. Dari model digital tersebut, pihak kontraktor juga dapat mengetahui jumlah komponen, luas, volume ruang material dan kuantitas untuk menghasilkan estimasi biaya proyek dengan cara *take off* atau mengeluarkan volume dari masing-masing pekerjaan.

5. *Quantity Surveyor* (QS)

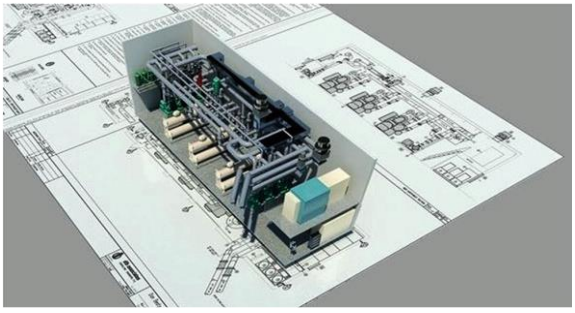
   Quantity Surveyor (QS) merupakan orang yang bertanggung jawab untuk melakukan kontrol keuangan, biaya dan administrasi kontrak proyek. *Engineer* QS menggunakan BIM untuk mengetahui volume dari suatu *item* pekerjaan baik volume material, biaya, dan jadwal. Pengambilan kuantitas volume berbasis BIM digunakan untuk menghilangkan kesalahan dalam penghitungan secara konvensional. Gambar 5 menunjukkan lepas landas dari model digital. Dengan menggunakan *software* berbasis BIM seperti Vico office, QS dapat melakukan quantity taking atau pengambilan kuantitas dari volume secara otomatis berdasarkan informasi visual seperti denah, elevasi, 2D dan 3D bagian termasuk kuantitas, analisis model dan hasil simulasi. Gambar 3.8 merupakan contoh simulasi pengambilan informasi volume atau *taking off* yang dilakukan menggunakan software vico office.



Gambar 3.8 *Take off* Volume Pekerjaan menggunakan Vico Office
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

6. *Facility Manager*

Peran *Facility Manager* (FM) berkaitan dengan konsepsi dan perencanaan proyek untuk kebutuhan fasilitas pada masa yang akan datang atau pada saat bangunan sudah digunakan. *Facility Manager* (FM) menggunakan BIM untuk analisis dan simulasi kebutuhan fasilitas yang berguna untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, efektif, dan efisien. Informasi dalam model bangunan yang terdapat dalam data *Facility Management* berkaitan dengan ruang, massa, detail tingkat konstruksi, ruang lingkup model (seperti detail arsitektur dan detail elemen MEP), serta aset fasilitas. Informasi ini sangat penting untuk analisis di masa depan, pelacakan aset serta jadwal pemeliharaan di masa mendatang. Informasi data *Facility Management* dalam model digital dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Informasi *Facility Management* dalam digital model
(Sumber: Latiffi dkk., 2016)

3.1.7. *Lean Construction*

Menurut (Koskela *et al.*, 2002), *lean construction* merupakan bentuk adaptasi dari konsep lean manufacturing yang berasal dari sistem produksi Toyota yang dikembangkan oleh Ohno. Lean construction menitikberatkan pada pengelolaan proses produksi dalam proyek konstruksi dengan tujuan utama untuk meminimalisasi pemborosan (waste) terkait penggunaan material, waktu, dan tenaga, guna menghasilkan nilai maksimum dengan biaya seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Pendekatan ini tidak hanya diterapkan pada tahap pelaksanaan konstruksi, tetapi juga mencakup seluruh siklus proyek seperti perancangan, pemeliharaan, keselamatan kerja, dan daur ulang, sehingga lean construction menjadi strategi holistik dalam pengelolaan proyek konstruksi.

Menurut (Likita *et al.*, 2022) sektor konstruksi dinilai mengalami keterlambatan dalam hal efisiensi dan pencapaian nilai dibandingkan industri lain. Untuk menjawab tantangan tersebut, telah dikembangkan berbagai inovasi, seperti penerapan prinsip lean dan penggunaan teknologi Building Information Modeling (BIM) yang secara bersama-sama bertujuan meningkatkan produktivitas, efektivitas, serta mengurangi pemborosan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Namun demikian, implementasi terpadu antara lean dan BIM (Lean-BIM) masih menghadapi sejumlah hambatan. Beberapa di antaranya meliputi resistensi budaya terhadap perubahan, kurangnya pemahaman dan pengetahuan terkait konsep Lean-BIM, serta minimnya dukungan dari pimpinan proyek atau manajemen tingkat atas. Dengan demikian, meskipun Lean-BIM berpotensi besar dalam mendorong efisiensi industri konstruksi, keberhasilannya sangat bergantung pada kesiapan organisasi dalam mengatasi hambatan internal serta membangun budaya kerja yang adaptif terhadap perubahan.

3.2 Pengendalian Proyek

3.2.1 Penjadwalan

Penjadwalan merupakan proses dalam setiap pelaksanaan proyek yang menjadi acuan dalam pengendalian proyek yang mana proses penjadwalan akan memungkinkan untuk mengatur durasi pelaksanaan dari setiap pekerjaan yang ada di proyek untuk mengetahui waktu yang di butuhkan dalam pelaksanaan proyek dengan mempertimbangkan batasan waktu yang ada. (Husen, 2011) mendefinisikan bahwa penjadwalan atau *scheduling* adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapai hasil optimum dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada.

Beberapa manfaat dari penjdawalan proyek antara lain:

1. Memberikan pedoman terhadap unit pekerjaan/kegiatan mengenai batas-batas waktu untuk mulai dan akhir dari masing-masing tugas.
2. Memberikan sarana bagi manajemen untuk koordinasi secara sistematis dan realistis dalam penentuan alokasi prioritas terhadap sumber daya waktu.

3. Menberikan sarana untuk menilai kemajuan pekerjaan.
4. Menghindari pemakaian sumberdaya yang berlebihan, dengan harapan proyek dapat selesai sebelum waktu yang ditetapkan.
5. Memberikan kepastian waktu pelaksanaan pekerjaan.
6. Merupakan sarana penting dalam pengendalian proyek.

Dalam perencanaan penjadwalan atau *time schedule* terdapat beberapa metode penjadwalan yang biasa untuk digunakan. Pertimbangan penggunaan metode-metode tersebut didasarkan atas kebutuhan dan hasil yang ingin dicapai terhadap kinerja penjadwalan. Kinerja waktu akan berimplikasi pada kinerja biaya, sekaligus kinerja proyek secarta keseluruhan. Oleh karena itu, variabel yang menjadi unsur-unsur yang akan mempengaruhinya harua juga ikut dimonitoring. Beberapa metode penjadwalan antara lain sebagai berikut.

1. Waktu dan Durasi Kegiatan

   Dalam penjadwalan, terdapat dua perbedaan antara waktu (*time*) dan kurun waktu (*duration*). Waktu menyatakan siang atau malam maupun jam berapa sedangkan kurun waktu menyatakan lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Dalam menentukan durasi suatu pekerjaan, biasanya didasarkan dari hasil perhitungan volume pekerjaan dan juga produktivitas suatu tim kerja dalam menyelesaikan pekerjaan tersebut. Produktivitas didapatkan dari pengelaman tim kerja atau terdapat acuan dalam dokumen analisis harga satuan pokok kegiatan di wilayah tersebut.

2. Bagan Balok atau *Barchart*

   Barchar ditemukan oleh Gantt dan Fredrik W. Taylor dalam bentuk bagan balok, dengan panjang balok yang merepresentasikan sebagai durasi dari setiap kegiatn. Format dalam bagan balok sangat informatif, mudah dibaca, dan efektif untuk komunikasi serta dapat dibuat dengan mudah dan sederhana. Bagan balok terdiri dari sumbu xy yang menyatakan sebagai kegiatan atau paket kerja dari lingkup proyek, sedangkan sumbu x menyatakan satuan waktu dalam hari, minggu, atau bulan sebagai durasinya.

   Pada bagan ini juga dapat ditentukan *milestone*/*baseline* sebagai bagian target yang harus diperhatikan guna kelancaran produktivitas proyek secara

keseluruhan. Untuk proses *updating*, bagan balok dapat diperpendek atau diperpanjang dengan memperhatikan total *float*-nya, yang menunjukkan bahwa durasi kegiatan akan bertambah atau berkurang sesuai kebutuhan dalam proses perbaikan jadwal.

3. Metode Penjadwalan *Network Planning*

   Network Planning diperkenalkan pada tahun 50-an oleh tim perusahaan Du-Pont dan Rand Corporation untuk mengembangkan sistem kontrol manajemen. Metode ini dikembangkan untuk mengendalikan sejumlah besar kegiatan yang memiliki ketergantungan yang kompleks. Metode ini relatif lebih sulit, hubungan antar pekerjaan jelas, dan dapat memperlihatkan kegiatan kritis. Dari informasi *network planning* tersebut, monitoring serta tindakan koreksi kemudian dapat dilakukan, yakni dengan memperbarui jadwal. Akan tetapi, metode ini perlu dikombinasikan dengan metode lainnya agar lebih informatif. Diagram *network* juga dianggap merupakan penyempurnaan dari metode *Bar Chart* karena metode ini memberi teknik dasar untuk menentukan urutan dan estimasi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

   Adapun tahapan dalam penyusunan penjadwalan menggunakan metode *network* diagram adalah sebagai berikut:

   a. Menginventarisasi kegiatan-kegiatan dari paket WBS berdasarkan item pekerjaan, lalu diberi kode kegiatan untuk memudahkan identifikasi.
   b. Memperkirakan durasi setiap kegiatan dengan memeprtimbangkan jenis pekerjaan, volume pekerjaan, jumlah sumber daya, lingkungan kerja, serta produktivitas pekerja.
   c. Penentuan logika ketergantungan antar kegiatan dilakukan dengan tiga kemungkinan hubungan, yaitu kegiatan yang mendahului (*predesesor*), kegiatan yang didahului (*sucsessor*), serat bebas.
   d. Perhitungan analisis waktu serta alokasi sumber daya, dilakukan setelah langkah-langkah di atas dilakukan dengan akurat teliti.

   Beberapa metode analisis yang umum digunakan dalam network diagram adalah sebagai berikut:

   a. *Critical Path Method* (CPM)

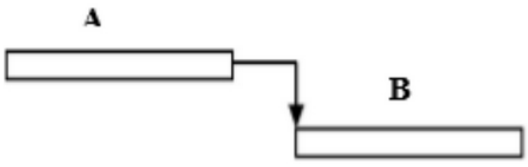
CPM (*Critical Path Method*) atau sering disebut dengan *Activity on Arrow* (AOA), merupakan metode penjadwalan yang menggunakan simbol anak panah dalam bentuk lingkaran atau segiempat. Anak panah digunakan untuk menggambarkan aktivitas atau kegiatan dari pelaksanaan pekerjaan, sementara lingkaran atau segiempat digunakan untuk menggambarkan peristiwa atau kejadian. Peristiwa atau kejadian di awal anak panah disebut "I", sedangkan peristiwa atau kejadian di akhir anak panah disebut dengan "J".

b. *Precedence Diagram Methode* (PDM)

Precedence Diagram Methode (PDM) atau dapat direpresentasikan *activity on node* merupakan salah satu dari metode penjadwalan dalam manajemen proyek yang digunakan untuk menggambarkan dan mengatur hubungan keterkaitan antar pekerjaan atau aktivitas pelaksanaan salam penjadwalan prouek. Metode penjadwalan PDM, merepresentasikan pekerjaan atau aktivitas dalam proyek sebagai simpul (*node*), dan hubungan ketergantungan antar pekerjaan dijelaskan dengan menggunakan panah atau garis yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Teknik ini membantu dalam menentukan urutan tugas dan mengidentifikasi jalur kritis dalam proyek. Dalam metode PDM terdapat empat jenis hubungan keterkaitan antar pekerjaan, yaitu:

1) *Finish-to-Start* (FS)

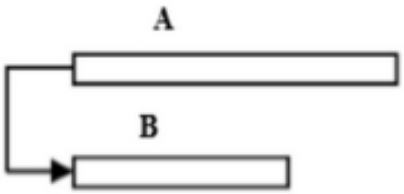
Suatu pekerjaan baru boleh dilakukan (B) jika pekerjaan yang lain (A) sudah selesai, dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.10 FS (Finish to Start)

2) *Start-to-Start* (SS)

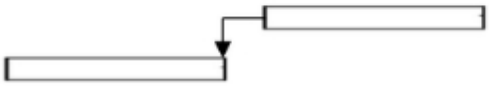
Suatu pekerjaan (A) harus dimulai bersamaan dengan pekerjaan lain (B), dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.11 SS (Start to Start)

3) *Start-to-Finish* (SF)

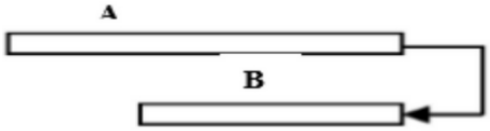
Suatu pekerjaan (B) baru boleh diakhiri jika pekerjaan lain (A) dimulai, dapat dilihat pada Gambar 3.13



Gambar 3.12 SF (Start to Finish)

4) *Finish-to-Finish* (FF)

Suatu pekerjaan (A) harus selesai bersamaan dengan pekerjaan lain (B), dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.13 FF (Finish to Finish)

3.2.2 Monitoring

Monitoring merupakan suatu alat yang digunakan dalam pengendalian dan pengawasan suatu proyek. Monitoring bertujuan untuk mengamati kegiatan-kegiatan pokok dari suatu hasil pekerjaan. Monitoring terhadap biaya dan jadwal pada suatu proyek yang sedang berlangsung dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang terjadi antara rencana dan pelaksanaan proyek. Kegiatan monitoring harus dilakukan dalam pelaksanaan proyek agar kegiatan dalam proyek sesuai dengan rencana yang diharapkan. Keterlambatan suatu kegiatan dalam proyek akan mempengaruhi kegiatan lain yang menyertainya, sehingga perlu diadakan monitoring agar dapat diketahui sejauh manakah pengaruh keterlambatan tersebut terhadap kegiatan-kegiatan lain dalam proyek (Unas *et al.*, 2016).

Proses monitoring tidak semudah yang dibayangkan, sebab pada setiap kegiatan monitoring yang disertai dengan evaluasi secara kuantitatif dan kualitatif dari bagian proyek selalu berhubungan dengan adanya perubahan-perubahan. Monitoring biaya dan waktu kemajuan proyek secara terintegrasi telah menjadi sasaran proyek terhadap sistem monitoring proyek. Dokumen pelaksanaan sebagai alat monitoring proyek diperlukan untuk mengantisipasi penyimpangan-penyimpangan yang dapat terjadi dengan memberikan suatu peringatan dini (*early warning*) bahwa beberapa prestasi pekerjaan yang harus dicapai pada suatu waktu tertentu melalui standar acuan yang dipakai sebagai dasar pengukuran, sehingga apabila terjadi penyimpangan, tindakan perbaikan (*corrective action*) dapat dilakukan sebelum terjadi masalah yang lebih serius (Simanjuntak *et al.*, 2018).

Monitoring menjadi suatu hal yang apabila diterapkan sebagaimana mestinya akan berdampak positif terhadap kemajuan proyek. Pemantauan progres konstruksi dan mengevaluasinya merupakan komponen penting dalam proyek konstruksi karena akan memungkinkan pemilik proyek mendapatkan informasi terkait pelaksanaan proyek, memegang kendali proyek, dan memungkinkan pemilik membuat keputusan yang tepat agar pekerjaan dapat berjalan sebagaimana mestinya. Beberapa peran penting monitoring pada sebuah proyek konstruksi adalah sebagai berikut.

1. Menghindari Penundaan

   Pemantauan pekerjaan yang diterapkan secara sistematis dan mendetail dapat meenjadi sebuah hal sangat penting dikarenakan hal tersebut dapat digunakan untuk identifikasi awal jika terjadi indikasi masalah yang berdampak terhadap kemajuan pekerjaan. Dengan begitu, sebelum masalah akan menjadi sebuah hambatan untuk kemajuan pekerjaan, manajer proyek dapat menentukan langkah stategi untuk menanggulangi hal tersebut. Hal itu akan menghindarkan proyek dari kerugian akibat material maupun kemunduran jadwal, bahkan dapat menghindarkan dari pengerjaan ulang pada pekerjaan yang sama sehingga progres dari pekerjaan akan sesuai apa yang direncanakan.
2. Meningkatkan Komunikasi dan Kolaborasi

Salah satu peran utama dari monitoring adalah mengetahui bahwa tim proyek yang terdiri dari berbagai disiplin ilmu mengetahui apa yang harus meraka kerjakan. Hal tersebut akan membantu untuk memperlancar komunikasi antar semua pihak seperti kontraktor, konsultan perencana, owner, subkontraktor, manajer proyek, pelaksana, dan lain-lain. Kolaborasi antar pihak tersebut yang harus ditekankan agar kesesuaian pekerjaan dapat tercapai.

3. Akuntabilitas dan Transparansi

   Pemantauan progres pekerjaan dengan jelas dan obyektif serta didukung dengan pelaporan yang baik akan menunjukkan akuntabilitas dan transparansi proses pekerjaan. Hal tersebut menjadi penting terutama proyek dengan subkontraktor maupun *suplier* yang banyak dan juga proyek dengan cara pembayaran menggunakan *progress payment.* Transparansi akan dapat membantu membangun kepercayaan dalam tim proyek yang akan berdapak terhadap kelancaran pekerjaan.

4. Manajemen Keuangan yang Lebih Baik

   Pemantauan terhadap keuangan adalah satu hal yang wajib dan mutlak dari setiap proyek konstruksi. Hal tersebut menjadi sangat penting karena dengan pemantauan akan dapat menjaga efektifitas pengeluaran karena dapat dilakukan pemantauan pengeluaran dari setiap item pekerjaan sehingga akan terlihat area mana yang pembiayaannya melebihi estimasi. Pemantauan secara terus menerus akan menghindarkan proyek dari kerugian dengan jumlah yang besar karena dapat dilihat jika terdapat indikasi pengeluaran yang berlebih, manajer proyek beserta tim proyek dapat segera mencarikan solusi agar pengeluaran tidak semakin besar.

5. Peningkatan QC

   Pemantauan merupakan salah satu tugas utama dari *Quality Control* (QC). Pemantauan secara terus menerus akan menjadikan sebuah pekerjaan berjalan sesuai dengan perencanaan. Pemenuhan standar proses pekerjaan sesuai dengan perencanaan akah menghasilkan kualitas pekerjaan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Menurut (Cleland and Irenald, 2007), standar kinerja pada suau pekerjaan diperlukan untuk melakukan tindakan pengendalian terhadap penggunaan sumber daya yang ada dalam suatu proyek. Hal ini tersebut perlu dilakukan supaya sumber daya yang ada dalam proyek dapat dimanfaatkan secara efektif dan efisien dalam menunjang penyelenggaraan pekerjaan.

Menurut (Barrie, 1995), pelaporan mengenai kinerja suatu pekerjaan harus memenuhi lima komponen sebagai berikut:

1. Perkiraan, yang akan memberikan suatu standar yang membandingkan hasil sebenarnya dengan hasil estimasi.
2. Hal yang sebenarnya terjadi.
3. Estimasi, yang didasarkan untuk melihat apa yang akan terjadi di masa yang akan datang.
4. Varian, menyatakan sampai sejauh mana hasil estimasi berbeda dari apa yang diperkirakan.
5. Pemikiran, untuk menerangkan mengenai kejadian proyek.

Apabila dalam suatu pelaporan terdapat penyimpangan, pihak manajemen akan meneliti dan memahami apa yang menjadi latar belakang penyimpangan tersebut bisa terjadi. Untuk itu, diperlukan pengendalian agar pekerjaan sesuai dengan anggaran dan jadwal yang telah direncanakan.

Menurut (Gaspersz, 2001) dalam Skripsi (Herlintang, 2019) menjelaskan bahwa tujuan dari pengendalian mutu meliputi dua tahap, yaitu tujuan sementara dan tujuan akhir. Tujuan sementara dari pengendalian mutu adalah untuk mengetahui mutu, barang, dan jasa maupun pelayanan yang akan dihasilkan. Sedangkan tujuan akhirnya adalah agar dapat meningkatkan mutu, barang, dan jasa maupun pelayanan yang akan dihasilkan.

Menurut (Gaspersz, 2001), faktor yang mempengaruhi mutu dari suatu pekerjaan konstruksi adalah sebagai berikut.

1. Yang bersifat software, yaitu kualitas dari perencanaan dan sistem dari proses yang digunakan.
2. Yang bersifat hardware, yaitu kualitas tenaga kerja, alat konstruksi, dan material yang digunakan selama proses produksi.

3. Dalam proses pengendalian mutu pekerjaan, maka faktor-faktor tersebut harus diperhatikan.

3.2.3 Progress Pekerjaan

Menurut (Farrel Ghiffary *et al.*, 2023) bahwa progres realisasi dalam proyek merujuk pada tingkat pencapaian atau kemajuan proyek pada suatu titik tertentu dalam waktu. Hal ini melibatkan pemantauan dan evaluasi terhadap sejauh mana proyek telah mencapai tujuan dan target yang telah ditetapkanm baik dalam hal waktu, biaya, kualitas maupun lingkup pekerjaan. Progres realisasi sering kali diukur dengan menggunakan indikator-indikator kunci yang terkait dengan proyek, seperti presentasi penyelesaian fisik, kepatuhan terhadap jadwal, pengeluaran biaya yang sebenarnya, atau pemenuhan estimasi waktu penyelesaian dari suatu pekerjaan. Informasi tentang progres realisasi digunakan untuk mengidentifikasi keterlambatan, penggunaan anggaran secara tepat, atau masalah lain yang mungkin mempengaruhi kelancaran pelaksanaan proyek.

3.2.4 Inspeksi

Inspeksi merupakan salah satu elemen penting dalam kontrak dan konstruksi. Tujuan inspeksi adalah untuk memastikan bahwa pekerjaan yang dikerjakan oleh kontraktor telah sesuai dengan perencanaan (O'Brien, 2012). Manajemen mutu sangat penting dalam proyek konstruksi untuk memastikan kepatuhan terhadap standar dan penyelesaian tepat waktu (Ferdiana dkk, 2023). Berbagai tingkat manajemen mutu, termasuk Inspeksi Mutu, Kontrol Mutu, Jaminan Mutu, dan Manajemen Mutu Total, diimplementasikan dalam proyek konstruksi (Ferdiana dkk, 2023). *Statistical Process Control* (SPC) adalah metode yang efektif untuk pengendalian kualitas, seperti yang ditunjukkan pada proyek One Tower BSD City (Lucas, Hutabarat and Agnes Sri Mulyani, 2022). *Earned Value Analysis* digunakan untuk memantau biaya dan kemajuan proyek (Rahman, 2010). Penerapan sistem manajemen mutu, seperti ISO 9001:2000, sangat penting untuk memastikan kualitas proyek (Marpaung, Dwiretnani and Ropiah, 2020). Kontrol kualitas biasanya melibatkan pengukuran statistik dan daftar periksa untuk mengevaluasi proses dan memenuhi spesifikasi desain (Marpaung, Dwiretnani and Ropiah, 2020). Manajemen kualitas yang tepat mempertimbangkan faktor-faktor

seperti lokasi geografis, kondisi cuaca, dan karakteristik tanah yang berkontribusi pada keunikan setiap proyek (Rahman, 2010).

3.3 Simulasi BIM – AR

3.3.1 Definisi *Augmented Reality*

Augmented Reality (AR) dapat didefinisikan sebagai sebuah teknologi yang mampu menggabungkan benda maya dua dimensi atau tiga dimensi ke dalam sebuah lingkungan yang nyata kemudian memunculkannya atau memproyeksikannya secara real time (Mustaqim, 2016). AR dapat digunakan untuk membantu memvisualisasikan konsep abstrak untuk pemahaman dan struktur suatu model objek. Beberapa aplikasi AR dirancang untuk memberikan informasi yang lebih detail pada pengguna dari objek nyata. Media merupakan sebuah alat atau objek yang berfungsi sebagai penghubung antara penerima dan pengirim pesan.

Industri konstruksi telah semakin mengadopsi teknologi inovasi untuk meningkatkan kinerjanya (Adebowale and Agumba, 2022). Beberapa literatur dapat menjadi bukti bahwa implementasi AR dapat meningkatkan produktivitas. Berbagai studi penelitian telah melaporkan beberapa aplikasi AR yang membantu berbagai aspek industri konstruksi. Namun, penelitian tersebut berfokus pada aplikasi yang penting untuk meningkatkan kinerja produktivitas dalam industri konstruksi. Berdasarkan tinjauan sistematis dari penelitian yang ada, AR dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas konstruksi dengan menerapkan teknologi dalam perakitan komponen konstruksi, pelatihan dan pendidikan, pemantauan dan pengendalian, fungsi interdiisipliner, kesehatan dan keselamatan, serta informasi desain.

Efektivitas interaksi antar pemangku kepentingan dalam konstruksi dapat mempengaruhi ketepatan waktu pelaksanaan proyek konstruksi. AR memungkinkan kolaborasi real-time dan komunikasi di lapangan untuk keseluruhan tahap konstruksi. Komunikasi secara langsung di tempat memanfaatkan AR memberikan kesempatan untuk menghemat waktu dalam menyelesaikan masalah sebelum penundaan dalam operasi konstruksi. *Site*

Manager dapat berbagi kemajuan progres pekerjaan secara real-time dengan tim proyek, yang dapat berkontribusi untuk mempercepat pengambilan keputuasn tentang hal-hal yang menghambat kemajuan di lokasi. AR menungkinkan tim *quality control* untuk membagikan jika ditemukan kesalahan pekerjaan kepada semua tim secara visual sehingga akan membuat masalah tersebut mudah dikenali dan diperbaiki. AR juga dapat digunakan pekerja untuk membagikan video dari lapangan sehingga dapat menerima saran atau instruksi secara real-time dari engineer bila tidak berada di tempat. Hal ini akan memungkinkan antisipasi sebelum terjadi cacat pekerjaan, risiko berlebih dan kecelakaan kerja.

3.3.2 Jenis *Augmented Reality*

Menurut buku (Santoso, 2021) yang berjudul *Augmented Reality* pada halaman 21 membahas tentang perbedaan antara *Mixed Reality versus Augmented Reality*, dan realitas kognitif, yang mana sebagian merupakan masalah semantik, tetapi ini sangat penting bagi sebagian orang yang bekerja di bidang ini. Dalam definisi yang lebih luas, AR menempatkan data di dunia nyata dari sumber video, game, model 3D dari informasi yang diambil secara lokal. *Mixed reality* (XR) mempunyai pengetahuan khusus tentang anda dan dimana segala sesuatunya berada. Realitas kognitif dapat menggunakan kecerdasan buatan, analisis dari proses pembelajaran mendalam dan jaringan syaraf.

3.3.3 Manfaat *Augmented Reality*

Augmented Reality (AR) menawarkan banyak manfaat dalam konteks pendidikan, terutama di pendidikan tinggi dan *e-learning*. Penelitian menunjukkan bahwa AR meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman siswa (Alqahtani, 2020; Alzahrani, 2020; Mohammadhossein, Richter and Lukosch, 2024). Teknologi ini mendukung berbagai gaya belajar, termasuk belajar kinestetik, kolaboratif, dan kreatif (Alzahrani, 2020). AR meningkatkan kualitas aktivitas pengajaran dan proses pedagogis (Alqahtani, 2020), serta meningkatkan kemampuan spasial dan retensi pengetahuan siswa (Alzahrani, 2020). Teknologi ini memfasilitasi pendekatan yang berpusat pada pembelajar dan mendorong pembelajaran mandiri (Alzahrani, 2020; Mohammadhossein, Richter and Lukosch, 2024). Namun, tantangan seperti beban kognitif yang berlebihan, masalah teknis, dan biaya tinggi

perlu diatasi (Alzahrani, 2020). Meskipun ada tantangan ini, potensi AR dalam pendidikan sangat signifikan, dengan manfaat yang dikelompokkan ke dalam kategori seperti motivasi, presentasi, dan konsep pengajaran (Diegmann *et al.*, 2015). Penelitian di masa depan harus fokus pada studi jangka panjang dan integrasi dengan teknologi lainnya (Mohammadhossein, Richter and Lukosch, 2024).

AR menawarkan banyak manfaat di berbagai industri, meningkatkan pengalaman pengguna dengan memadukan dunia fisik dengan elemen virtual. Berikut adalah beberapa manfaat utamanya:

1. Pembelajaran dan Pelatihan yang Ditingkatkan
    a. Pembelajaran Imersif

        AR menyediakan lingkungan pembelajaran interaktif dan imersif yang dapat membantu siswa dan peserta pelatihan untuk lebih memahami konsep-konsep yang kompleks (misalnya, pelatihan medis, teknik, simulasi militer).
    b. Pembelajaran Visual

        AR membantu memvisualisasikan konsep abstrak, membuatnya lebih mudah untuk memahami topik yang sulit melalui model 3D, animasi, dan diagram interaktif.
2. Peningkatan Pengalaman Pelanggan
    a. Belanja Interaktif

        Dalam ritel, pelanggan dapat mencoba pakaian, aksesori, atau bahkan memvisualisasikan furnitur di rumah mereka secara virtual, sehingga meningkatkan pengalaman berbelanja.
    b. Demo Produk

        AR memungkinkan pengguna untuk melihat bagaimana suatu produk berfungsi atau muncul dalam pengaturan dunia nyata sebelum melakukan pembelian.
3. Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi
    a. Panduan Bebas Genggam

Pekerja di industri seperti manufaktur, konstruksi, dan perbaikan dapat menggunakan headset AR untuk petunjuk langkah demi langkah, meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan.

b. Bantuan Jarak Jauh

Teknisi dapat menerima panduan visual secara real-time dari para ahli tanpa harus berada di lokasi, sehingga meningkatkan efisiensi.

4. Visualisasi Data yang Lebih Baik

a. Visualisasi Data 3D

AR dapat menyajikan data yang kompleks dalam bentuk 3D, sehingga memudahkan para profesional untuk menganalisis informasi di berbagai bidang seperti arsitektur, teknik, atau diagnostik medis.

b. Hamparan Informasi Waktu Nyata

Pengguna dapat melihat informasi langsung (misalnya, suhu, kecepatan, metrik kinerja) yang dilapiskan pada objek dunia nyata, yang berguna di berbagai bidang seperti olahraga, otomotif, dan perawatan kesehatan.

5. Peningkatan Pemasaran dan Pencitraan Merek

a. Periklanan Interaktif

AR dapat mengubah iklan tradisional menjadi pengalaman interaktif, melibatkan pelanggan dengan cara-cara baru (misalnya, memindai produk untuk membuka konten virtual).

b. Pengalaman Merek yang Unik

AR memungkinkan merek untuk menciptakan pengalaman yang unik dan berkesan, seperti tur virtual, permainan, atau filter bermerek untuk media sosial.

6. Navigasi yang Ditambah

a. Petunjuk Arah yang Lebih Baik

Sistem navigasi berbasis AR menghamparkan petunjuk arah secara langsung ke pandangan pengguna di dunia nyata, sehingga lebih mudah untuk menavigasi dan menghindari rintangan.

b. Navigasi Dalam Ruangan

Di tempat-tempat besar seperti bandara atau pusat perbelanjaan, AR membantu pengguna menemukan jalan mereka dengan petunjuk langkah demi langkah.

7. Hiburan dan Permainan
    a. Permainan Interaktif

       AR memungkinkan gamer untuk berinteraksi dengan lingkungan fisik mereka, membuat pengalaman yang lebih imersif, seperti yang terlihat pada game seperti Pokemon GO.

    b. Acara Langsung dan Konser

       AR meningkatkan acara langsung dengan menambahkan elemen virtual ke pertunjukan atau memberikan informasi tambahan dan peluang interaksi.
8. Kolaborasi yang Ditingkatkan
    a. Kolaborasi Virtual

       AR memungkinkan tim untuk berkolaborasi dalam proyek dari jarak jauh, karena mereka dapat memanipulasi objek virtual secara bersamaan dalam waktu nyata, berguna dalam industri seperti desain, arsitektur, dan R&D.

    b. Pendidikan dan Rapat Jarak Jauh

       AR dapat digunakan untuk meningkatkan panggilan video atau kelas online, membuat interaksi virtual terasa lebih menarik dan produktif.
9. Aksesibilitas
    a. Bantuan untuk Penyandang Disabilitas

       AR dapat menawarkan panduan kepada individu tunanetra dengan melapisi isyarat audio atau teks di sekitar mereka, membantu mereka menavigasi dengan lebih baik.

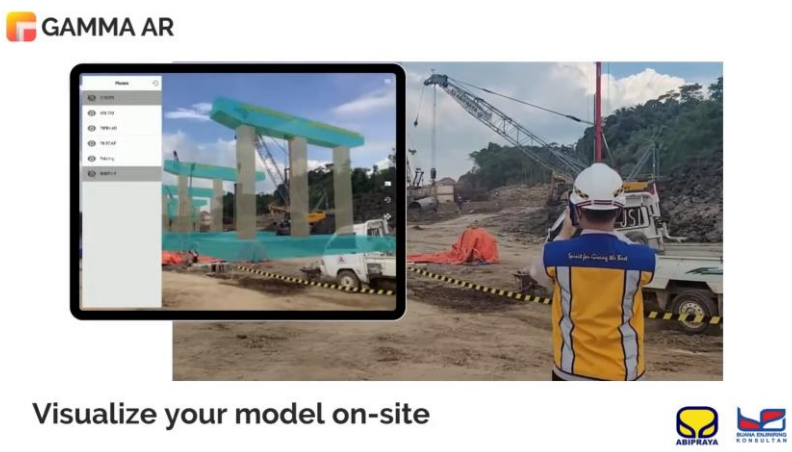
    b. Alat Pembelajaran

       Aplikasi AR dapat dirancang untuk membantu orang-orang dengan ketidakmampuan belajar dengan membuat pendidikan lebih interaktif dan menarik.

Secara keseluruhan, AR meningkatkan keterlibatan pengguna, meningkatkan pembelajaran, meningkatkan efisiensi, dan membuka kemungkinan baru untuk berbagai industri.

3.3.4 *Augmented Reality* dalam Proyek Konstruksi

Augmented Reality (AR) telah mendapatkan perhatian yang signifikan di industri konstruksi sebagai teknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja proyek, keamanan, dan efisiensi (Kivrak, Arslan and Tuncan, 2015; Kolaei *et al.*, 2022a). Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi AR paling bermanfaat selama fase desain, perencanaan pra-konstruksi, dan fase konstruksi, dengan arsitek, insinyur, dan insinyur proyek dianggap sebagai penerima manfaat utama (Nassereddine, Hanna and Veeramani, 2020). AR dapat meningkatkan visualisasi, simulasi, dan perbandingan antara status proyek yang direncanakan dan yang dibangun, serta memudahkan pemantauan kemajuan dan penyelesaian masalah (Rankohi and Waugh, 2013). Meskipun ada potensi keuntungan, penerapan AR dalam konstruksi menghadapi tantangan terkait dengan kedewasaan teknologi dan penerimaan pengguna (Kolaei *et al.*, 2022a). Tren di masa depan menunjukkan pergeseran menuju sistem AR mobile berbasis web untuk pemantauan konstruksi di lapangan (Rankohi and Waugh, 2013). Seiring dengan industri konstruksi yang terus mengadopsi teknologi Industri 4.0, penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk sepenuhnya mewujudkan potensi AR dalam meningkatkan parameter waktu, biaya, kualitas, dan keamanan (Kivrak, Arslan and Tuncan, 2015). Penggunaan *Augmented Reality* dalam industri konstruksi dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.14 *Augmented Reality* dalam Konstruksi
(Sumber: Gamma AR- Buana Enjineering Conggeang Bridge Project, West Java)

Augmented Reality (AR) mengubah industri konstruksi dengan meningkatkan berbagai fase proses konstruksi, mulai dari perencanaan dan desain hingga eksekusi dan pemeliharaan. Berikut ini adalah bagaimana AR memberikan manfaat bagi fase konstruksi:

1. Peningkatan Visualisasi Proyek
    a. Visualisasi 3D Waktu Nyata

        AR memungkinkan tim konstruksi untuk melapisi model 3D bangunan atau infrastruktur di lokasi konstruksi yang sebenarnya, memberikan visual yang jelas dan real-time tentang bagaimana proyek akhir akan terlihat.

    b. Komunikasi Klien yang Ditingkatkan

        Klien dapat melihat model bangunan mereka yang dihasilkan AR di lokasi, memberikan gambaran yang lebih jelas tentang seperti apa produk akhir nantinya, meningkatkan pengambilan keputusan dan kepuasan.
2. Perencanaan dan Tata Letak yang Akurat
    a. Pengukuran di Lokasi yang Tepat

        AR dapat melapisi rencana konstruksi secara langsung di lokasi, membantu pekerja untuk memahami di mana elemen-elemen seperti dinding, jendela, atau jalur listrik harus ditempatkan dengan lebih akurat.

    b. Perencanaan Tata Letak yang Disempurnakan

        Tim konstruksi dapat menggunakan AR untuk membandingkan situs dunia nyata dengan rencana digital, memastikan keselarasan dan mengurangi kesalahan dalam pengukuran, sehingga mengurangi kebutuhan untuk pengerjaan ulang.
7. Peningkatan Kolaborasi dan Komunikasi
    a. Bantuan Pakar Jarak Jauh

        AR memungkinkan manajer proyek, arsitek, dan insinyur untuk memantau fase konstruksi dari jarak jauh, menawarkan saran waktu nyata atau membuat penyesuaian desain tanpa perlu hadir secara fisik.

    b. Bangunan Kolaboratif

AR dapat digunakan untuk memfasilitasi komunikasi antar tim dengan memberikan pandangan virtual bersama tentang proyek, meningkatkan kolaborasi antara pekerja di lokasi dan tim di luar lokasi (mis., desainer, insinyur).

8. Pengurangan Kesalahan dan Kontrol Kualitas
    a. Deteksi Dini Masalah

       AR membantu mengidentifikasi potensi masalah sejak dini, seperti ketidaksejajaran struktural atau ketidakkonsistenan desain, dengan melapisi rencana digital ke lokasi konstruksi fisik.

    b. Jaminan Kualitas

       Pengawas dapat membandingkan pekerjaan yang sedang berlangsung dengan model digital 3D untuk memastikan bahwa konstruksi berjalan sesuai spesifikasi, meningkatkan kontrol kualitas, dan mengurangi risiko kesalahan yang merugikan.

9. Peningkatan Keselamatan
    a. Identifikasi Bahaya

       AR dapat menyoroti potensi bahaya keselamatan di lokasi kerja, seperti mesin yang berbahaya, struktur yang tidak lengkap, atau area yang membutuhkan peralatan pelindung, sehingga mengurangi kecelakaan.

    b. Pelatihan dan Simulasi

       Pekerja dapat menggunakan AR untuk pelatihan di tempat kerja, mensimulasikan skenario berbahaya di lingkungan yang aman, dan membantu mereka memahami cara mengoperasikan peralatan atau bekerja di area berbahaya tanpa risiko.

10. Instruksi di Tempat yang Efisien
    a. Perakitan Terpandu

       Pekerja dapat mengikuti instruksi yang dipandu AR tentang cara merakit atau memasang berbagai elemen, seperti kerangka baja, pipa ledeng, atau sistem kelistrikan, yang mengurangi kesalahan dan meningkatkan efisiensi.

    b. Panduan Tugas Langkah-demi-Langkah

Headset AR atau perangkat seluler dapat menampilkan petunjuk langkah demi langkah kepada pekerja secara langsung di bidang pandang mereka, merampingkan pelaksanaan tugas.

11. Pemantauan Kemajuan
    a. Pelacakan Kemajuan Waktu Nyata

       Manajer proyek dapat menggunakan AR untuk memvisualisasikan kemajuan konstruksi terhadap jadwal yang direncanakan. Dengan membandingkan lokasi yang dibangun dengan model yang dirancang, perbedaan dapat diidentifikasi lebih awal, memastikan proyek tetap berada di jalurnya.

    b. Penjadwalan yang lebih baik

       AR juga dapat membantu penjadwalan dengan menawarkan visualisasi waktu nyata dari tugas yang sudah selesai dan yang tertunda, memastikan manajemen alur kerja dan alokasi sumber daya yang lebih baik.

12. Mengurangi Pengerjaan Ulang
    a. Validasi Desain

       AR membantu memvalidasi desain dengan memvisualisasikannya dalam konteks situs yang sebenarnya, yang meminimalkan ketidaksesuaian antara desain dan konstruksi, sehingga mengurangi kebutuhan untuk pengerjaan ulang yang mahal.

    b. Umpan Balik Segera

       Kesalahan dalam desain atau konstruksi dapat diketahui lebih awal dalam proses menggunakan AR, mencegah masalah di masa depan dan menghilangkan kebutuhan untuk mengulang pekerjaan yang tidak memenuhi spesifikasi asli.

13. Manajemen Peralatan dan Material yang Lebih Baik
    a. Pelacakan Inventaris yang Efisien

       AR dapat membantu melacak material, mesin, dan peralatan, memastikan bahwa peralatan yang tepat tersedia pada waktu dan tempat yang tepat di lokasi konstruksi.

    b. Alur Kerja yang Dioptimalkan

Dengan melapisi informasi digital ke objek dunia nyata, pekerja dapat lebih mudah mengidentifikasi bahan atau peralatan apa yang dibutuhkan untuk tugas tertentu, meningkatkan alur kerja dan mengurangi waktu henti.

14. Dukungan Pasca-Konstruksi
    a. Pemeliharaan dan Manajemen Fasilitas

       Setelah konstruksi, AR dapat memberikan informasi penting kepada manajer bangunan tentang struktur, seperti lokasi utilitas, kabel, atau pipa ledeng, yang membantu pemeliharaan dan renovasi di masa mendatang.

    b. Inspeksi Akhir dan Serah Terima

       AR dapat membantu selama inspeksi akhir dengan memungkinkan pengawas membandingkan pekerjaan yang telah selesai dengan model desain, memastikan kepatuhan terhadap kode dan standar bangunan.

Pada fase konstruksi, AR secara signifikan meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keamanan. AR membantu tim memvisualisasikan desain yang kompleks, meningkatkan kolaborasi, mengurangi kesalahan, dan mendukung manajemen proyek yang lebih baik-semuanya berkontribusi pada proses pembangunan yang lebih cepat.

3.3.5 *Software Augmented Reality* Berbasis BIM

Augmented reality dalam industri konstruksi berasal dari permodelan 3D yang kemudian dibawa ke dalam *software* pengembang AR berbasis BIM. Berikut merupakan contoh dari beberapa *software* pengembang AR yang berbasis BIM.

1. Gamma AR



Gambar 3.15 Logo Gamma AR
(Sumber: gamma-ar.com)

Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk:

- Memvisualisasikan model dan desain sebelum dibuat
- Mendeteksi masalah dan hambatan secara real-time
- Melacak kemajuan pekerjaan secara real-time
- Mengakses RFI's, foto, dan laporan dari situs web yang mudah digunakan

Beberapa hal tersebut memungkinkan pengguna untuk meningkatkan komunikasi dan menambah kejelasan di seluruh alur kerja proyek.

2. The Wild



Gambar 3.16 Logo the Wild
(Sumber: thewild.com)

The Wild adalah platform kolaborasi yang memungkinkan tim bekerja bersama dari mana saja, menggunakan VR dan AR. Platform ini mendukung Revit, memungkinkan tim untuk berkolaborasi dalam ruang kerja virtual.

3. Akular



Gambar 3.17 Logo Akular
(Sumber: akular.com)

Akular mengembangkan produk yang meningkatkan penggunaan model BIM 3D selama konstruksi. Software berbasis selular ini memungkinkan pengguna untuk dengan mudah mengunggah model 3D dan melihatnya menjadi nyata melalui ponsel atau tablet. Teknologi mereka memungkinkan untuk menampilkan model 3D seukuran aslinya dari sebuah bangunan atau mengecilkan model tersebut menjadi ruang yang lebih kecil seukuran kamar.

Dengan menggunakan model BIM sebagai sumber kebenaran tunggal, teknologi Akular membantu klien untuk:

- Menciptakan transparansi bagi para pemangku kepentingan
- Melacak perubahan dan dokumen pemasok secara real-time
- Meminimalkan pengerjaan ulang dan ambiguitas

4. Hsbcad

Gambar 3.18 Logo hsbcad
(Sumber: hsbcad.com)

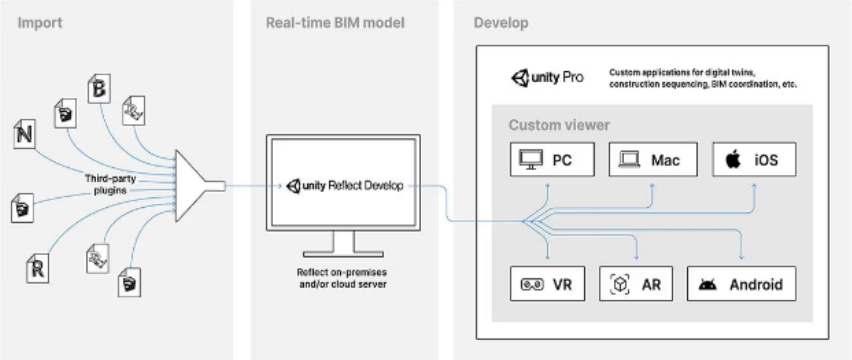
Hsbcad menciptakan bukti konsep perangkat lunak konstruksi di luar kantor yang fleksibel, hsbShare, dengan Microsoft HoloLens, sebuah headset *virtual reality* (VR) dengan lensa transparan yang memungkinkan pengguna untuk merasakan pengalaman *augmented reality*. hsbShare memungkinkan pengguna untuk menyatukan semua data proyek ke dalam sebuah *platform cloud*, sehingga dapat diakses dari mana saja oleh pemangku kepentingan mana pun. Hal ini memperkaya dokumen proyek apa pun dengan pengalaman di luar kantor tanpa kertas.

5. Unity Reflect

Gambar 3.19 Logo Unity Reflact
(Sumber: unity.com)

Unity Reflect merupakan suatu *software* yang memungkinkan para desainer, arsitek, dan insinyur di industri arsitektur, teknik, dan konstruksi (AEC) untuk menciptakan pengalaman 3D real-time yang imersif dengan menghubungkan desain berbantuan komputer (CAD) dan *Building Information Modeling* (BIM) dengan mesin real-time Unity. Hal Ini dapat memfasilitasi dalam kolaborasi

dan mempercepat pengembangan melalui SDK untuk pembuatan aplikasi khusus. Secara sederhana, cara kerja Unity Reflect dapat dilihap pada Gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.20 Alur Kerja Unity Reflect
(Sumber: unity.com)

6. Augin

Gambar 3.21 Logo augin
(Sumber: augin.app)

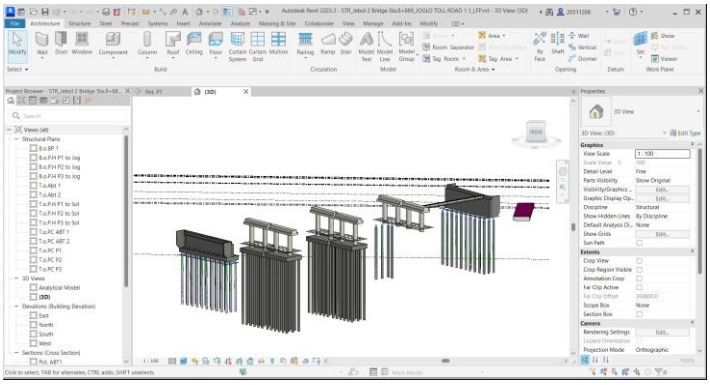
Augin adalah platform *Augmented Reality* yang memungkinkan para profesional dan bisnis untuk mempublikasikan konten dan melihatnya dalam lingkungan kolaboratif yang imersif. Platform ini bertujuan untuk meningkatkan komunikasi dengan klien dan anggota tim.

3.3.6 Integrasi antara BIM dan AR

Integrasi Building Information modeling dengan Augmented Reality (AR) merupakan salah satu bentuk dari perkembangan teknologi konstruksi menuju era digital konstruksi untuk menciptakan sinergi guna meningkatkan efisiensi, kolaborasi, dan visualisasi. Langkah dan mekanisme cara kerja dari pengintegrasian BIM dengan AR adalah sebagai berikut.

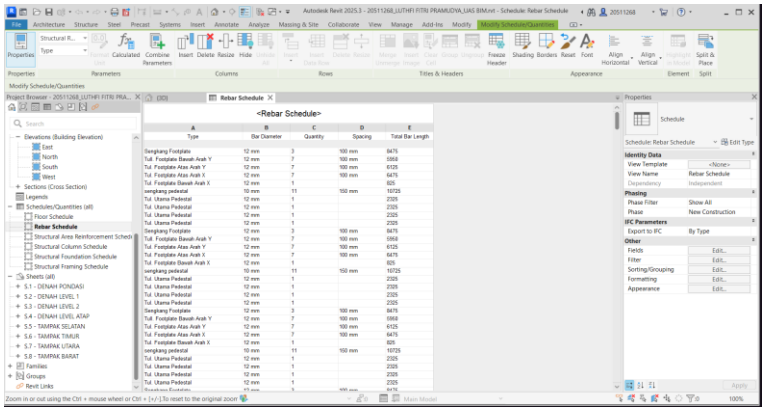
1. Pembuatan Model BIM
   a. Proses dimulai dengan pembuatan model 3D bangunan menggunakan *authoring software* berbasis BIM seperti Autodesk Revit. Permodelan ini

mencakup semua elemen struktural, material, MEP, Arsitektur, dan informasi lainnya seperti penjadwalan pekerjaan serta estimasi biaya.



Gambar 3.22 Permodelan 3D Bangunan menggunakan Autodesk Revit

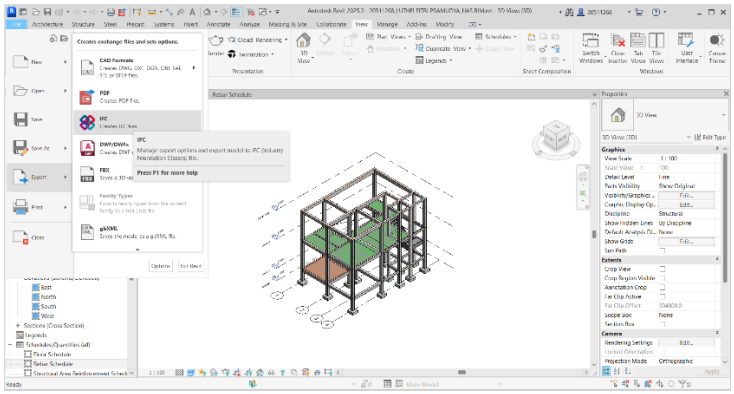
b. Model BIM tidak hanya berfungsi untuk representasi visual saja, tetapi juga menyimpan data penting untuk manajemen proyek sepertu spesifikasi teknis dan rencana pemeliharaan.



Gambar 3.23 Contoh Data Teknis *Quantity Take Off Volume* Pembesian

2. Ekspor Model ke Format AR

a. Setelah model BIM selesai, file kemudian diekspor dalam format yang dapat digunakan oleh software pengembang AR. Proses tersebut sering melibatkan konversi ke format seperti IFC (*Industry Foundation Classes*) yang kompatibel dengan berbagai software AR.

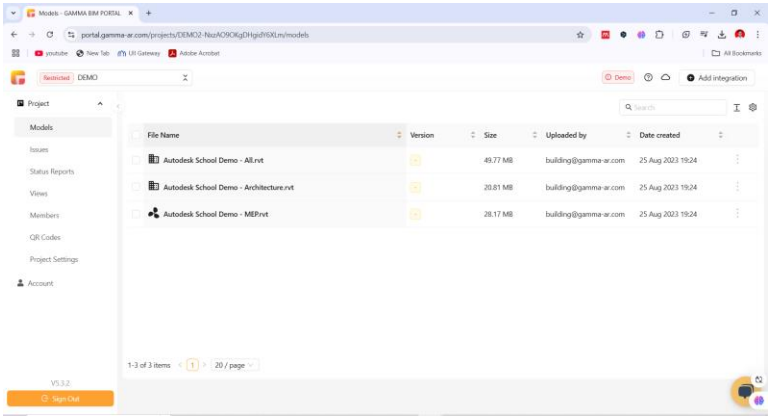


Gambar 3.24 Ekspor Model BIM dalam Ekstensi IFC

b. Model yang diekspor kemudian dipersiapkan untuk ditampilkan dalam lingkungan AR. Hal tersebut akan memungkinkan pengguna untuk melihat model digital di atas lokasi fisik sebenarnya.

3. Penggunaan *Software* AR

a. *Software* pengembang seperti Gamma AR atau perangkat lunak lainnya berbasis Unity digunakan untuk menampilkan model BIM dalam bentuk AR. Pengguna dapat menggunakan perangkat *mobile* atau *headset* AR untuk dapat melihat model yang terintegrasi dengan dunia nyata.



Gambar 3.25 *Common Data Environtment* (CDE) pada *Software* Pengembang Gamma AR

b. AR dapat memungkinkan pemangku kepentingan untuk dapat melihat bagaimana elemen-elemen bangunan akan muncul di lokasi secara real-time, sehingga dapat membantu proses pengawasan proyek serta mempercepat dalam pengambilan suatu keputusan jika terjadi sesuatu.

4. Interaksi dan Pengawasan Proyek
    a. Teknologi AR memungkinkan pengguna untuk memeriksa kemajuan pekerjaan dengan membandingkan model digital dengan kondisi fisik di lapangan. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi masalah lebih awal dan melakukan penyesuaian jika diperlukan.
    b. Penggunaan AR memungkinkan semua pemangku kepentingan, termasuk arsitek, insinyur, dan kontraktor untuk dapat berkolaborasi secara lebih efektif dengan mengakses informasi yang sama secara bersamaan memalui *platform Common Data Environment* (CDE) pada *software* pengembang AR berbasis BIM, yang mana hal tersebut akan dapat mengurangi risiko kesalahan komunikasi.
5. Analisis dan Penyusunan
    a. Data yang diambil dari *site* dapat diintegrasikan ke dalam model BIM untuk dapat memberikan analisis *real-time* tentang kondisi bangunan. Informasi tersebut dapat ditampilkan pada *software* AR untuk membantu proses pengambilan keputuysan secara lebih baik.
    b. Jika terdapat perbedaan antara model BIM dan kondisi nyata di lapangan, tim proyek dapat segera melakukan penyesuaian pada rencana kerja berdasarkan informasi yang diperoleh melalui visualisasi AR.

Pengintegrasian BIM dengan AR pada proyek konstruksi menawarkan pendekatan inovatif yang akan meningkatkan efisiensi operasional dan kolaborasi antar tim. Dengan kemampuan untuk memvisualisasikan data digital dalam konteks fisik secara *real-time*, teknologi ini memungkinkan pengawasan yang lebih baik serta pengambilan keputusan yang lebih baik, cepat, dan akurat pada keseluruhan siklus proyek konstruksi.

3.4 Uji Keabsahan

Uji keabsahan data pada penelitian sering kali disebut dengan uji validitas dan uji reabilitas. Menurut (Ramadhan, Siroj and Afgani, 2024) validitas berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu instrumen pengukur (tes) dalam melakukan fungsi ukurnya. Suatu tes dapat

dikatakan memiliki validitas tinggi apabila alat tersebut menjalankan fungsi ukur secara tepat atau memberikan hasil ukur yang sesuai dengan maksud dilakukannya pengukuran tersbut. Artinya hasil ukur dari pengukuran tersebut merupakan besaran yang mencerminkan secara tepat fakta atau keadaan yang sebenarnya dari apa yang diukur.

Sedangkan uji reabilitas menurut (Ramadhan, Siroj and Afgani, 2024) Suatu tes dikatakan reliabel jika selalu memberikan hasil yang sama bila diteskan pada kelompok yang sama pada waktu atau kesempatan yang berbeda. Konsep reliabilitas dalam arti reliabilitas alat ukur berkaitan erat dengan masalah kekeliruan pengukuran. Kekeliruan pengukuran sendiri menunjukkan sejauh mana inkonsistensi hasil pengukuran terjadi apabila dilakukan pengukuran ulang terhadap kelompok subyek yang sama. Sedangkan konsep reliabilitas dalam arti reliabilitas hasil ukur berkaitan erat dengan kekeliruan dalam pengambilan sampel yang mengacu pada inkonsistensi hasil ukur apabila pengukuran dilakukan ulang pada kelompok yang berbeda.

Menurut (Murdiyanto, 2020) dalam buku Metode Penelitian Kualitatif meliputi uji *credibility*, *transforability*, *dependability*, dan *confirmability*.

3.4.1 Uji Kredibilitas

Uji kredibilitas data atau kepercayaan terhadap data hasil penelitian antara lain dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Perpanjangan Pengamatan

   Dengan melakukan perpanjangan pengamatan, berarti peneliti kembali ke lapangan, melakukan pengamatan, melakukan wawancara lagi dengan sumber data yang pernah ditemui maupun sumber data baru. Hal ini berarti hubungan peneliti dengan narasumber akan semakin terbentuk *rapport*, semakin akrab (tidak ada jarak), semakin terbuka, saling mempercayai sehingga tidak ada informasi yang disembunyikan lagi. Untuk membuktikan bahwa peneliti melakukan uji kredibilitas melalui perpanjangan pengamatan atau tidak, maka sebaiknya dibuktikan dengan melampirkan surat keterangan perpanjangan atau bukti foto pada laporan penelitian.
2. Meningkatkan Ketekunan

Meningkatkan ketekunan berarti melakukan pengamatan secara lebih cermat dan berkesinambungan. Dengan cara tersebut maka kepastian data dan urutan peristiwa akan dapat direkam secara pasti dan sistematis. Sebagai bekal peneliti untuk meningkatkan ketekunan adalah dengan cara membaca berbagai refrensi buku maupun hasil penelitian atau dokumentasi-dokumentasi terkait dengan temuan yang diteliti. Dengan membaca ini, maka wawasan peneliti akan semakin tajam, sehingga dapat digunakan untuk memeriksa data yang ditemukan itu benar/dipercaya atau tidak.

3. Menggunakan Bahan Refrensi

   Bahan refrensi adalah adanya pendukung untuk membuktikan keabsahan data yang telah ditemukan oleh peneliti. Sebagai contoh, data hasil wawancara perlu didukung dengan adanya rekaman wawancara. Data tentang interaksi manusia, atau gambaran keadaan perlu didukung oleh sejumlah foto. Alat bantu perekam data dalam penelitian kualitatif, seperti kamera, handycam, alat perekam suara, sangat diperlukan untuk mendukung kredibilitas data yangtelah ditemukan oleh peneliti. Dalam laporan penelitian, sebaiknya data-data yang dikemukakan perlu dilengkapi dengan foto atau dokumen autentik, sehingga menjadi lebih dapat dipercaya.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah jenis penilitian kualitatif dan dengan pendekatan deskriptif. Metode kualitatif sebagaimana menurut (Moleong and Lexy, 2013) mendefinisikan penelitian kualitatif sebagai penelitian yang dimaksudkan untuk memahami fenomena yang dialami oleh sumjek penelitian misalnya pelaku, presepsi, motovasi, tindakan, dan lain-lain secara holistik dan dengan cara deskriptif dalam bentuk kata-kata dan bahasa pada suatu konteks khusus yang alamiahdan dengan memanfaatkan berbagai metode ilmiah. Penelitian kualitatif dilakukan pada kondisi alamiah dan bersifat penemuan. Dalam peneliti kualitatif, peneliti adalah instrumen kunci. Oleh karena itu, peneliti harus memiliki bekal teori dan wawasan yang luas sehingga memungkinkan untuk bertanya, menganalisis, dan mengkonstruksi objek yang diteliti menjadi lebih jelas. Penelitian ini menekankan pada makna dan terkait nilai. Menurut (Nawawi, 2005) pendekatan deskriptif dapat diartikan sebagai prosedur pemecahan masalah yang diselidiki, dengan menggambarkan/melukiskan keadaan obyek penelitian berdasarkan fakta-fakta yang tampak atau sebagaimana adanya. Berdasarkan tujuannya, penelitian deskriptif kualitatif merupakan penelitian dengan mendeskripsikan kualitas suatu gejala yang menggunakan ukuran perasaan sebagai dasar penelilaian.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan suatu elemen yang dijadikan sebagai subyek yang mana tempat penelitian tersebut dijadikan oleh peneliti sebagai tempat untuk memperoleh informasi atau data yang diperlukan untuk proses penelitian. Pemilihan lokasi penelitian harus berdasarkan pertimbangan yang tepat agar sesuai dengan topik penelitian untuk dapat menemukan hal-hal yang baru dan bermakna.

Pada penelitian ini, lokasi yang dijadikan sebagai studi kasus penelitian dilakukan di Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya.

Denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini



Gambar 4.1 Lokasi Proyek Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya.

Koordinat: 7°16'4.23"S, 112°44'33.18"E
(Sumber: *Google Earth*, 2025)

4.3 Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan permasaahan yang akan diteliti. Menurut (Sugiyono, 2009) objek penelitian adalah suatu atribut dari orang, objek, atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Objek penelitian ini adalah analisis efektivitas penggunaan *Augmented Reality* sebagai media atau alat dalam kontrol atau monitoring dan inspeksi progres pekerjaan konstruksi yang diteliti dengan berbagai kondisi sebagai variabel penelitian.

4.4 Data Penelitian

Data penelitian merupakan kumpulan informasi yang diperoleh untuk tujuan penelitian. Informasi tersebut dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti responden, dokumen, statistik, dan lain sebagainya. Semua informasi tersebut dikumpulkan untuk dianalisis guna memenuhi kebutuhan spesifik dari suatu

penelitian. Tujuannya adalah untuk memberikan dasar yang kuat bagi kesimpulan dan temuan penelitian.

4.4.1 Data Primer

Menurut (Sekaran, 2011), data primer adalah data yang mengacu pada informasi yang diperoleh dari tangan pertama oleh peneliti yang berkaitan dengan variabel minat untuk tujuan spesifik studi. Sumber data primer adalah responden individu, kelompok fokus, internet juga dapat menjadi sumber data primer jika kuisioner disebarkan melalui internet. Dalam penelitian ini jenis data primer merupakan hasil wawancara kepada informan yaitu BIM *Enginer* dari Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey* Grand Shamaya Surabaya.

4.4.2 Data Sekunder

Menurut (Sekaran, 2011), data sekunder adalah data yang mengacu pada informasi yang dikumpulkan dari sumber yang telah ada. Sumber data sekunder adalah catatan atau dokumentasi perusahaan, publikasi pemerintah, analisis industri oleh media, situs web, internet dan seterusnya. Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder berupa *Shopdrawing for Construction* dan *progress report* dari Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey* Grand Shamaya Surabaya. Data tersebut diperoleh dengan cara melaksanakan praktek kerja magang pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase 1 dan Tower Aubrey* Grand Shamaya Surabaya.

4.5 *Software* Pendukung Penelitian

Dalam pengimplementasian model berbasis BIM diperlukan beberapa *Software* atau aplikasi pendukung yang digunakan. *Software* tersebut meliputi *software* untuk permodelan 3D, schduling, dan pengembang AR sebagai alat untuk inspekasi/monitoring. Beberapa *software* tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Autodesk Revit 2025

   Autodesk Revit digunakan untuk mengolah dan mejadikan model *shopdrawing* menjadi model 3D.

2. Autodesk Naviswork

   Autodesk Naviswork merupakan salah satu *software* dalam industri konstruksi yang berfokus pada alur proses perencanaan yang berkaitan dengan penjadwalan dan pembiayaan pekerjaan. Selain itu, Autodesk Naviswork juga dapat digunakan untuk peninjauan dan analisis data model bangunan yang telah direncanakan seperti *clash detection*, 4D *schedule management*, 5D *cost estimation*, dan lain-lain. Faktor pemilihan software tersebut dikarenakan *software* ini telah banyak digunakan pada perencanaan maupun pelaksanaan di proyek.

3. Microsoft Project

   Microsoft Project merupakan salah satu software yang dapat mendukung pengelolaan dalam merencanakan penjadwalan proyek setelah melakukan estimasi durasi pekerjaan dari setiap *item* pekerjaan. Dengan menggunakan bantuan *software* microsoft project, urutan pekerjaan, durasi pekerjaan, dan juga hubungan antar pekerjaan akan semakin jelas dan mudah dipahami.

4. Gamma AR

   Gamma AR merupakan salah satu *software* yang berfokue terhadap pengembangan AR untuk dunia konstruksi. Pemilihan Gamma AR untuk *visual reality* dikarenakan *software* tersebut berfokus pada industri konstruksi. Dapat dibuktikan dengan adanya *Common Data Environment* dari Gamma AR yang dapat digunakan untuk upload model, visualisasi model, *status reports*, *reporting issues*, dan lain sebagainya. Faktor lain penggunaan kedua *software* tersebut adalah bahwa Gamma AR tersingkronisasi dengan Autodesk 360 sehingga memungkinkan integrasi langsung dengan ekstensi dari Autodesk Revit tanpa harus merubah ke ekstensi IFC.

4.6 Metode Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian, pengumpulan data yang akan digunakan sebagai bahan penelitian tidak boleh dilakukan secara sembarangan. Terdapat beberapa langkah atau teknik yang dapat digunakan dalam pengumpulan data sesuai dengan fokus masing-masing penelitian. Tujuan dari teknik ataupun langkah pengumpulan

data ini adalah untuk mendapatkan data yang valid, sehingga hasil dan kesimpulan tidak diragunakn kebenarannya. Menurut (Sugiyono, 2013) mengungkapkan bahwa teknik pengumpulan data sebagai langkah paling strategis dalam penelitian karena tujuan utama dari penelitian tersebut untuk mendapatkan data.

Untuk dapat memperoleh data yang akan ditindak lanjuti pada penelitian ini, peneliti melakukan pengumpulan data dengan beberapa teknik sebagai berikut.

4.6.1. Wawancara Terstruktur

Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan metode tanya jawab secara lisan dimana pewawancara mengajukan pertanyaan yang kemudian akan dijawab oleh narasumber. Dalam teknik pengumpulan data, wawancara terbagi menjadi dua jenis yaitu wawancara terstruktur dan wawancara tidak terstruktur. Wawancara terstruktur merupakan wawancara yang mana peneliti telah mengetahui dengan pasti informasi apa yang hendak digali dari narasumber. Dalam teknik ini, biasanya peneliti sudah membuat daftar pertanyaan yang sistematis dan juga menggunakan bantuan alat lain seperti *recorder*, kamera, dan instrumen lain. Sedangkan wawancara tidak terstruktur merupakan wawancara yang tidak menggunakan pedoman wawancara yang berisi pertanyaan spesifik, tetapi hanya memuat poin-poin penting dari masalah yang akan digali.

Pada penelitian ini, wawancara dilakukan menggunakan metode wawancara terstruktur secara langsung dengan narasumber yaitu dari pihak kontraktor Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Wawancara dilakukan menggunakan format tetap dengan pertanyaan yang telah disiapkan mengenai penggunaan teknologi *Augmented Reality* berbasis *Common Data Environtment* (CDE) sebagai alat inspeksi dan monitoring progres pekerjaan dibanding dengan metode konvensional.

4.6.2. Observasi

Menurut (Zuriah, 2009) pada buku yang ditulis oleh (Sugiyono, 2012) menjelaskan bahwa observasi adalah pengamatan dan pencatatan yang dilakukan secara sistematis terhadap gejala yang tampak pada objek penelitian. Pengamatan dan pencatatan dilakukan terhadap objek penelitian, tentang perilaku alamiah, dinamika yang tampak, gambaran perilaku sesuai dengan situasi yang ada, dan

sebagainya. Pada penelitian ini dilakukan observasi partisipasi terhadap variabel penelitian dengan cara melakukan uji coba praktik langsung atau *pilot study* dalam penggunaan teknologi *Augmented Reality* sebagai media atau alat untuk melakukan *controling* dan juga *progres monitoring*. Alat yang digunakan dalam melakukan observasi terbagi menjadi beberapa jenis yaitu seperti *anecdotal record* yang akan digunakan dalam pencatatan terhadap hal-hal atau kejadian yang berlangsung selama proses observasi. Selain itu, juga menggunakan lembar *checklist* yang berisi daftar pengamatan yang akan diamati untuk diberikan tanda cek sesuai dengan langkah ataupun hal-hal yang akan diamati. *Menchanical device* merupakan alat yang mengandung unsur teknologi seperti smartphone, kamera, video recorder, dll. alat-alat tersebut akan digunakan sebagai media untuk memperoleh data dalam uji coba penerapan teknologi *Augmented Reality* di lapangan.

4.6.3. Studi Literatur

Metode studi literatur menurut (Zed, 2014) merupakan serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelola bahan penelitian. Studi literatur yang akan dilakukan adalah dengan cara membaca jurnal maupun penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penulisan penelitian yaitu implementasi dan juga analisis efektivitas penggunaan teknologi *Augmented Reality* dalam proses *Quality Control* yaitu sebagai alat inspeksi pada progres monitoring sehingga akan berguna dalam mendapatkan data sebagai pembanding terhadap hasil penelitian.

4.6.4. Studi Dokumen

Menurut (Bailey, 1994) dokumentasi mengacu pada analisis dokumen yang didalamnya terdapat fenomena yang sedang diteliti. Sehingga dapat disimpulkan bstudi dokumen dilakukan untuk mendapatkan data secara relevan serta hasil analisis data yang berhubungan dengan masalah yang diteliti. Dalam penelitian ini, studi dokumen dilakukan sebagi salah satu metode pengumpulan data. Dokumen yang digunakan dalam penelitian ini seperti artikel surat kabar, buku, foto lapangan, maupun karya ilmiah yang tujuannya untuk menganalisis, mencari fakta, serta memahami konsep yang digunakan. Studi dokumen sangat dibutuhkan dalam penelitian ini karena pengimplementasian konsep yang akan diteliti masih banyak

dilakukan di luar negeri, sedangkan di dalam negeri belum banyak yang mengadopsi teknologi ini.

4.7 Penentuan Informan

Pada penelitian dengan jenis kualitatif terdapat subyek penelitian yang disebut dengan partisipan atau informan. Subyek penelitian tersebut yang nantinya akan menjadi sumber dalam mendapatkan informasi maupun data yang diperlukan untuk menunjang penelitian. Dalam penelitian kualitatif, informan terbagi menjadi tiga jenis yaitu informan kunci, informan utama, dan informan pendukung. Informan kunci merupakan seseorang yang memiliki informasi atau pengetahuan secara menyeluruh terhadap permasalahan yang sedang diteliti. Menurut (Martha and Kresno, 2016) menyebutkan bahwa informan kunci memiliki empat kriteria yang harus dipenuhi.

1. Harus menjadi peserta aktif dalam kelompok, organisasi, atau budaya yang diteliti, atau telah memalui tahap enkulturasi.
2. Harus terlibat dalam budaya yang diteliti "saat ini". Penekanan "saat ini" sangat penting, karena jangan sampai informan kunci lupa dengan masalah yang akan diteliti.
3. Harus memiliki waktu yang memadai. Informan kunci tidak cukup hanya memiliki kemauan, namun dapat memberikan informasi kapan pun saat dibutuhkan.
4. Harus menyampaikan informasi dengan bahasa sendiri (natural). Sebaliknya, informan yang menyampaikan dengan bahas analitih harus dihindari karena informasi yang dihasilkan sudah tidak natural.

Informan utama merupakan seseorang yang mengetahui secara teknis dan mendetail terkait masalah penelitian yang akan dipelajari. Pada konteks ini, seseorang yang dijadikan sebagai informan kunci adalah BIM *Engineer*.

Pemilihan informan dapat didasarkan pada dua aspek, yaitu teori dan spekulasi. Kedua aspek tersebut didasarkan pada kedalaman pemahaman dan pengalaman responden/informan. Menurut (Patton, 2002) menyebutkan bahwa teknik pemilihan partisipan pada penelitian kualitatif terdapat dua teknik. *Random Probability*

Sampling, yaitu pengambilan sample dari populasi secara random dengan memperhatikan jumlah sample dengan tujuan agar sample dapat digeneralisasikan pada populasi. *Purposive Sampling*, yaitu pemilihan sample atau informan yang dipilih berdasarkan tujuan penelitian tanpa memperhatikan kemampuan generalisasinya. Menurut (Sugiyono, 2013), *purposive sampling* adalah teknik pengambilan sample sumber data yang didasarkan dengan pertimbangan tertentu yang berkaitan dengan studi kasus yang diteliti dan tujuan peneliti.

4.8 Analisis Data

Menurut (Bogdan and Biklen, 1982) dalam buku (Murdiyanto, 2020) menjelaskan bahwa analisis data pada penelitian kualitatif lebih tertuju pada proses pelacakan dan pengaturan secara sistematik transkrip wawancara, catatan lapangan, dan bahan-bahan lain yang dikumpulkan untuk meningkatkan pemahaman terhadap bahan-bahan tersebut agar temuannya dapat dipresentasikan kepada orang lain. Dalam proses analisis data kualitatif dikenal analisis data sebelum di lapangan, selama di lapangan, dan analisis setelah pengumpulan data.

1. Analisa Data Sebelum di Lapangan

   Analisis dalam tahap ini dilakukan terhadap data hasil studi pendahuluan atau data sekunder yang akan digunakan peneliti untuk menentukan fokus penelitian. Akan tetapi, fokus penelitian pada tahap ini masih bersifat sementara dan tentunya akan berkembang setelah peneliti melakukan peneliitian di lapangan. Dalam penyusunan proposal, peneliti menentukan fokus penelitian untuk mencari data dari sumber data termasuk karakteristiknya.

2. Analisa Data Selama di Lapangan

   Pada tahap ini, analisis data dilakukan dengen mengumpulkan data secara langsung melalui wawancara atau observasi. Misalnya pada saat wawancara berlangsung, peneliti sudah melakukan analisis terhadap jawaban dari responden. Jika peneliti belum puas dari responden, maka peneliti bisa melanjutkan pertanyaannya lagi sampai batas tertentu diperoleh data yang valid. Menurut (Miles and Huberman, 1984) menyebutkan bahwa analisis data

selama pengumpulan data di lapangan membawa peneliti mondar-mandir antara berpikir tantang data yang ada dan mengembangkan strategi untuk mengumpulkan data baru. Melakukan koreksi terhadap informasi yang kurang jelas dan mengarahkan analisis yang sedang berjalan berkaitan dengan dampak pembangkitan kerja lapangan. Langkah yang ditempuh dalam pengumpulan data yaitu penyusunan lembar rangkuman kontak (*contact summary sheet*), pembuatan kode-kode, pengkodean pola (*pattren coding*) dan pemberian memo.

3. Analisa Data Setelah Selesai Pengumpulan Data

   Pada tahap ini peneliti banyak terlibat dalam kegiatan penyajian atau penampilan (*display*) dari data yang dikumpulkan dan dianalisis sebelumnya. Peneliti kualitatif banyak menyusun teks naratif. Display adalah format yang menyajikan informasi secara sistematik kepada pembaca. Penelitian kualitatif memfokuskan pada kata-kata, tindakan-tindakan orang yang terjadi pada konteks tertentu, konteks mana yang dapat dilihat sebagai aspek relevan segera dari situasi yang bersangkutan, maupun aspek relevan dari sistem sosial dimana seseorang berfungsi seperti contohnya: ruang kelas, sekolahan, departemen, perusahaan, keluarga, agen, masyarakat lokal, dan lain sebagainya.

4.8.1 Langkah-Langkah Analisis Data

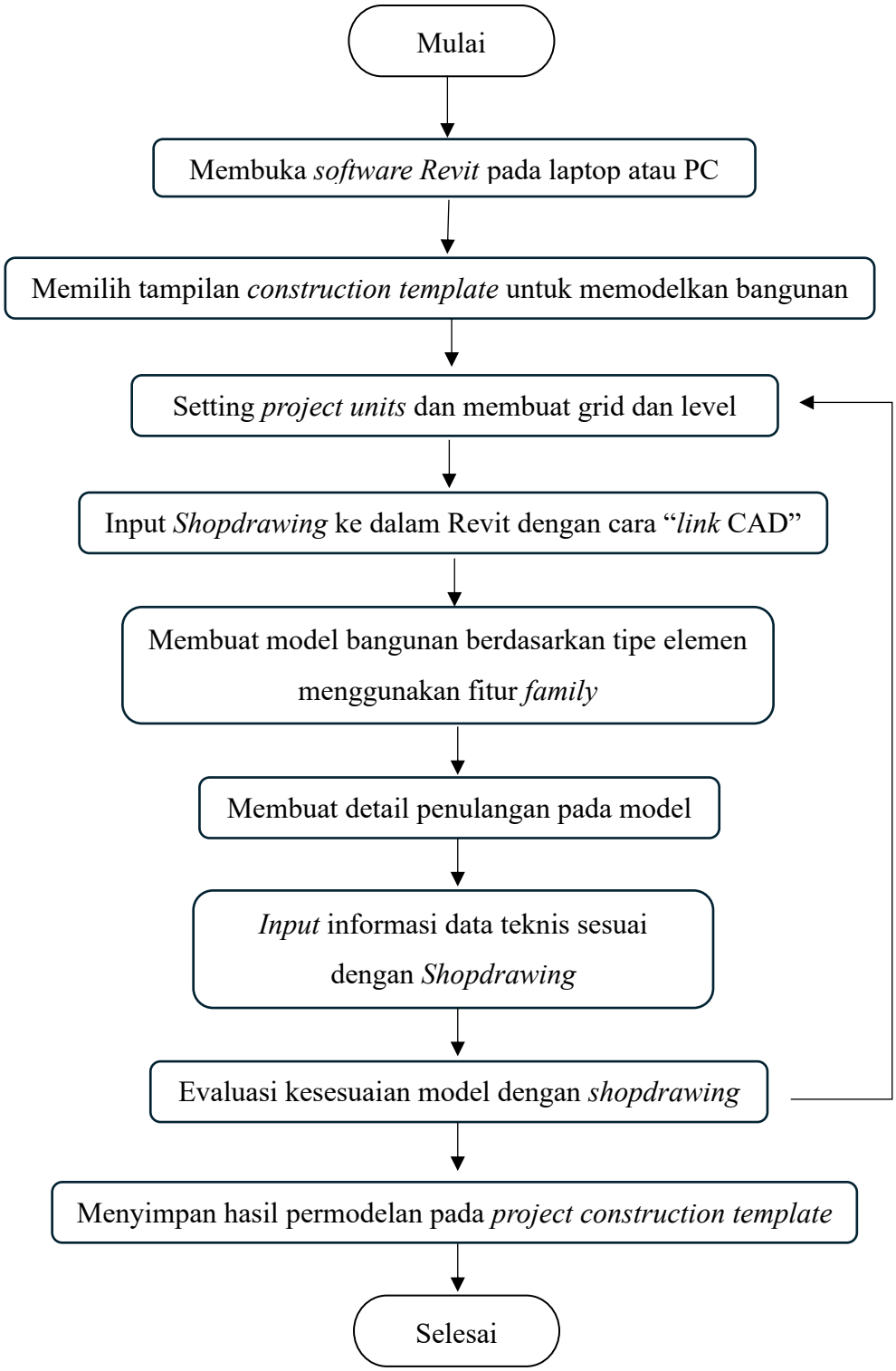
Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan mengacu pada model interaktif yang dikemukakan oleh (Miles and Huberman, 1984), yang terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Menurut (Murdiyanto, 2020), analisis data kualitatif merupakan proses sistematis dalam melacak, mengatur, dan mengolah data berupa transkrip wawancara, catatan lapangan, maupun dokumen lain, agar peneliti dapat menyusun temuan secara logis dan bermakna. Pada tahap pertama, yaitu reduksi data, peneliti menyederhanakan data mentah melalui proses seleksi, pengkodean, klasifikasi, dan abstraksi informasi yang relevan. Reduksi ini bertujuan untuk mempertajam fokus penelitian serta membuang data yang tidak diperlukan. Proses reduksi mencakup meringkas hasil kontak langsung di lapangan, melakukan pengkodean secara sistematis, mencatat

informasi objektif dan reflektif, menyusun catatan marginal serta memo analitis, dan jika dilakukan pada beberapa lokasi, dilakukan pula analisis antar lokasi. Tahap kedua adalah penyajian data, yaitu menata informasi yang telah direduksi ke dalam bentuk yang sistematis seperti narasi, matriks, grafik, maupun bagan. Penyajian ini memudahkan peneliti dalam mengidentifikasi pola, hubungan antar variabel, serta pengambilan keputusan berdasarkan pengelompokan data sesuai dengan tema atau kategori tertentu. Tahap ketiga adalah penarikan kesimpulan dan verifikasi, di mana peneliti menyimpulkan makna dari data yang telah dianalisis, serta memverifikasi validitasnya melalui berbagai teknik seperti triangulasi, pembandingan antar data, analisis kasus ekstrem, hingga pembobotan bukti dari sumber yang terpercaya. Proses verifikasi ini dilakukan secara berkelanjutan selama penelitian berlangsung, untuk memastikan bahwa temuan yang dihasilkan benar-benar mewakili realitas empiris dan relevan terhadap fokus penelitian.

4.9 Permodelan 3D, *Schedule*, dan *Augmented Reality*

4.9.1. Permodelan 3D Struktur

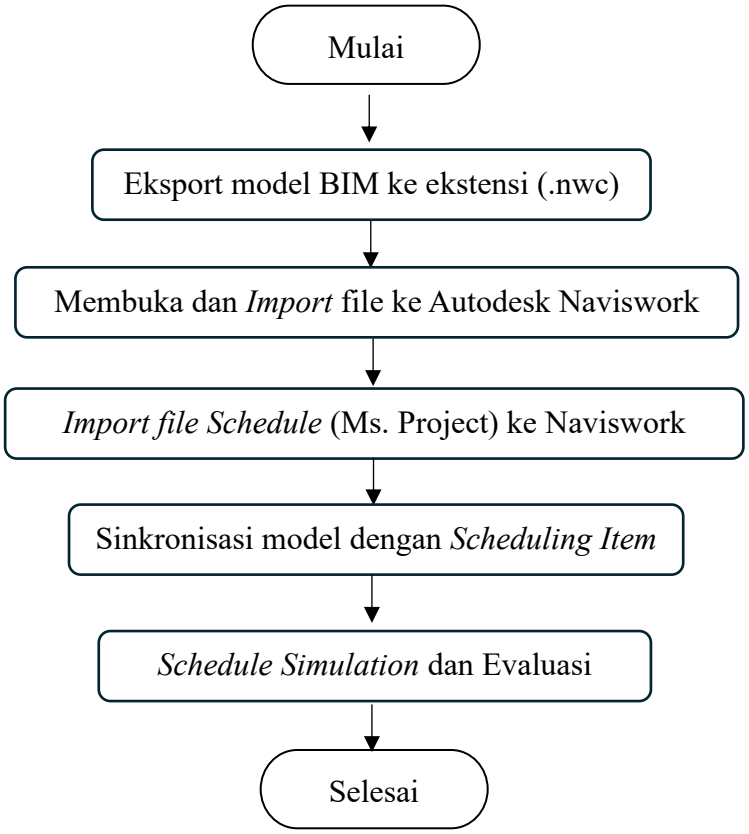
Permodelan 3D dilakukan dengan input data yang diperoleh dari proyek yaitu *Shopdrawing for Construction* 2D. permodelan dilakukan dengan *construction template* pada software Autodesk Revit 2025. Bagan alir atau *flowchart* permodelan menggunakan Autodesk Revit dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Flowchart Permodelan 3D Bangunan menggunakan Construction Template

4.9.2. *Schedule* Pekerjaan

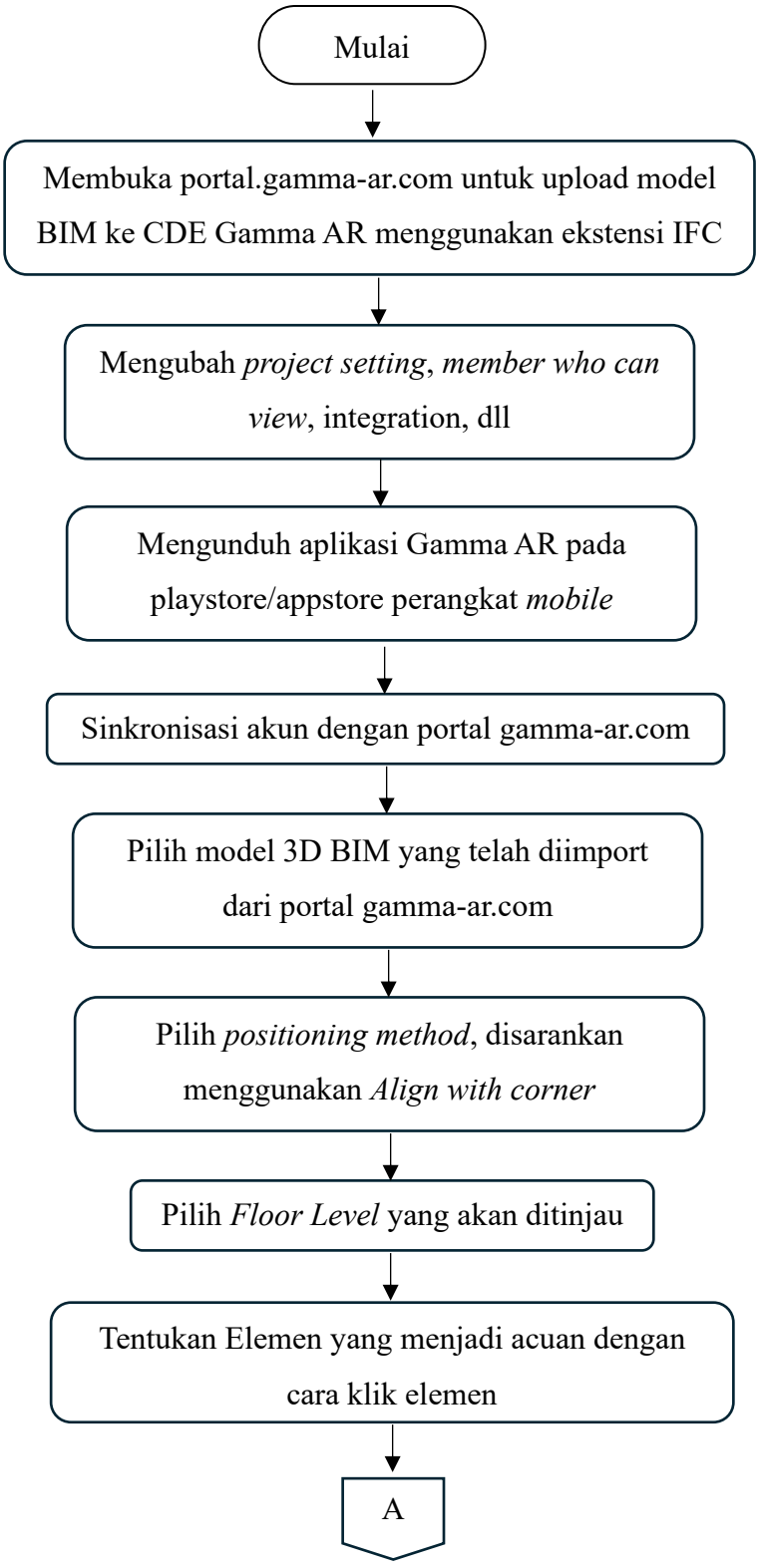
Schedule pekerjaan diintegrasikan ke dalam BIM model menggunakan bantuan *software* Autodesk Naviswork dengan cara input *schedule existing* dari proyek dengan ekstensi file Ms. Project. Gambar 4.3 dibawah menjelasakan alur tahapan integrasi Scheduling dengan model BIM.

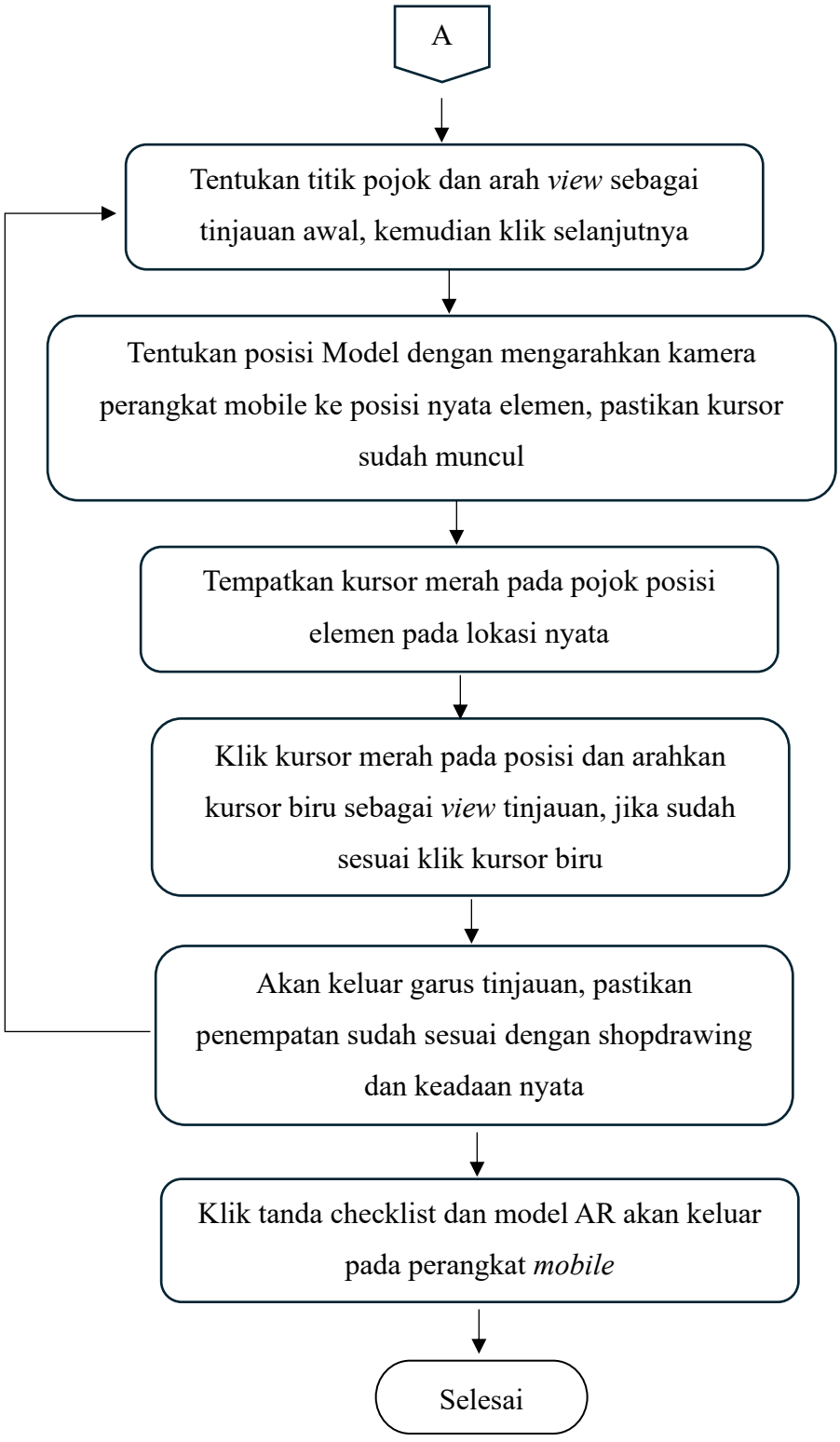


Gambar 4.3 *Flowchart* Integrasi *Schedule* Pekerjaan dengan BIM Model

4.9.3. Simulasi AR

Model BIM diintegrasikan dengan AR menggunakan *software* pengembang AR berbasis BIM yaitu Gamma AR. Singkronisasi model dapat diintegrasikan secara langsung menggunakan file model 3D dengan ekstensi (.ifc). Gambar 4.4 dibawah menjelasakan alur tahapan integrasi BIM model dengan AR.


Mulai
Membuka portal.gamma-ar.com untuk upload model BIM ke CDE Gamma AR menggunakan ekstensi IFC
Mengubah *project setting*, *member who can view*, integration, dll
Mengunduh aplikasi Gamma AR pada playstore/appstore perangkat *mobile*
Sinkronisasi akun dengan portal gamma-ar.com
Pilih model 3D BIM yang telah diimport dari portal gamma-ar.com
Pilih *positioning method*, disarankan menggunakan *Align with corner*
Pilih *Floor Level* yang akan ditinjau
Tentukan Elemen yang menjadi acuan dengan cara klik elemen
A



Gambar 4.4 *Flowchart* Integrasi Model 3D BIM ke AR

4.10 Langkah Penelitian

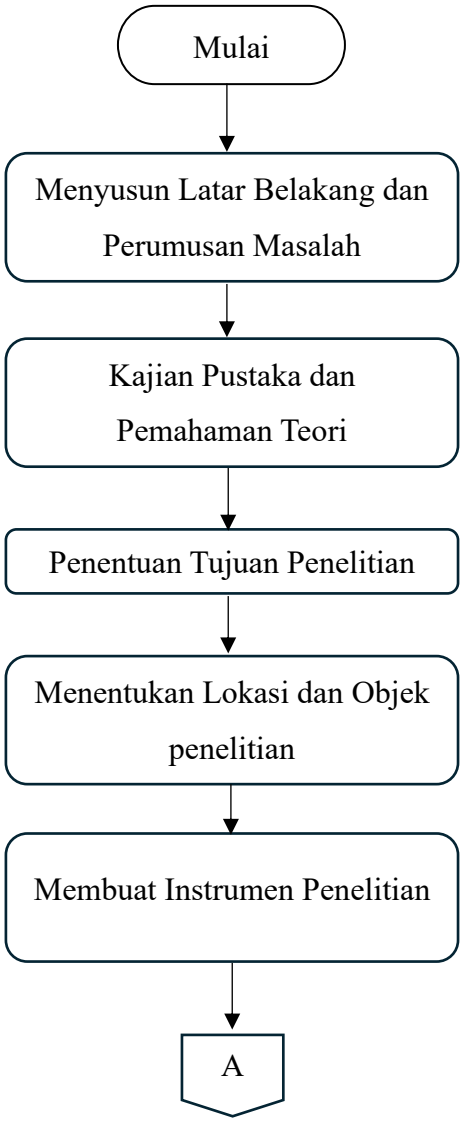
Tahapan dalam sebuah penelitian harus dilaksanakan secara sistematis dan logis sesuai dengan dasar teori permasalahan yang digunakan sehingga akan didapatkan sebuah analisis atau kesimpulan yang akurat untuk mencapai tujuan dari penelitian. Tahapan dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut.

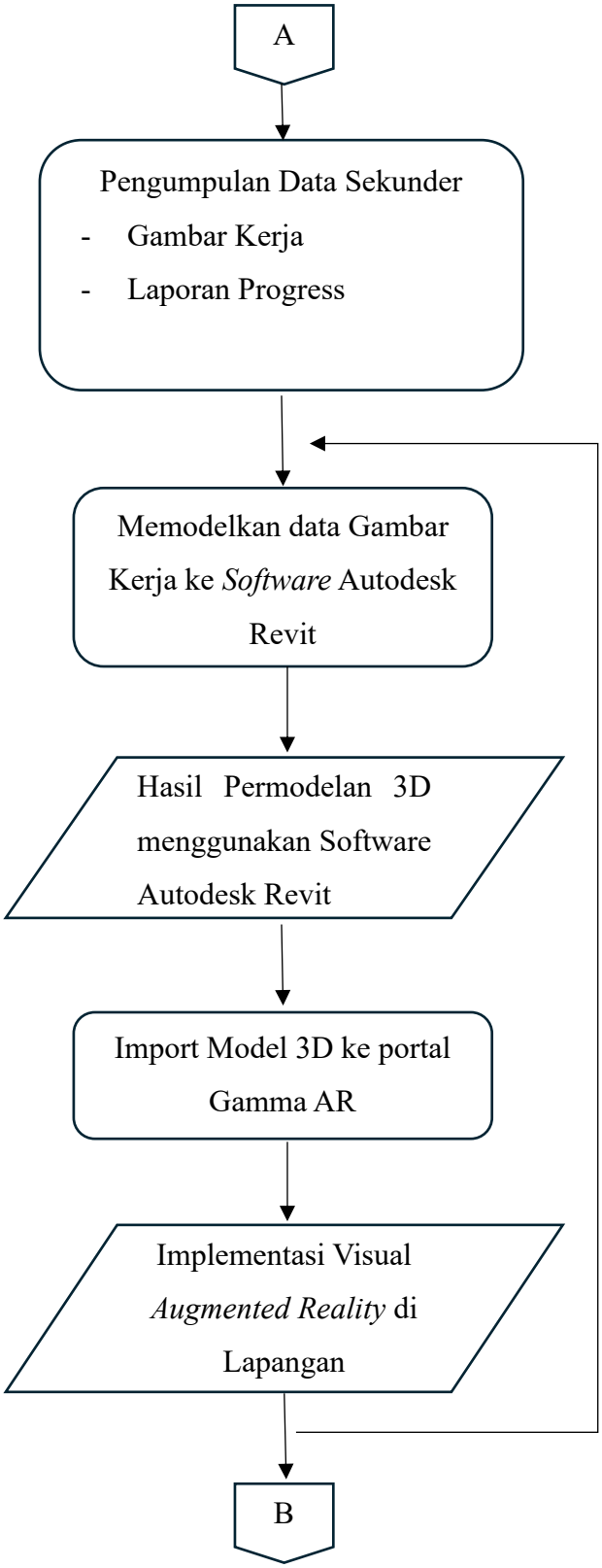
1. Identifikasi serta perumusan masalah yang dilakukan dengan cara melakukan studi lapangan beserta mencari teori yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Mengkaji teori-teori untuk memahami lebih mendalam terkait bagaimana cara penyelesaian dari masalah yang telah dirumuskan.
3. Menentukan tujuan dari dilakukannya penelitian ini guna memberikan gambaran dari hasil penelitian yang akan dilakukan.
4. Penentuan lokasi penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi proyek yang menggunakan BIM dalam pelaksanaan konstruksi dan objek penelitian ini adalah implementasi penggunaan AR sebagai alat inspeksi dan monitoring yang diteliti dengan berbagai kondisi sebagai variabel penelitian pada proyek pembangunan Apartemen Grand Shamaya Surabaya.
5. Pengumpulan data sekunder yang merupakan *Shopdrawing for Construction* dan laporan progress sebagai bahan untuk 3D *modeling* dan juga visual AR.
6. Bersamaan dengan implementasi model AR di lapangan dilakukan pula pengumpulan data-data yang akan menjadi variabel penelitian dan data sebagai bahan wawancara.
7. Penyusunan pertanyaan wawancara untuk diajukan kepada responden melalui wawancara terstruktur untuk mendapatkan data primer penelitian.
8. Membuat kesimpulan dan saran terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

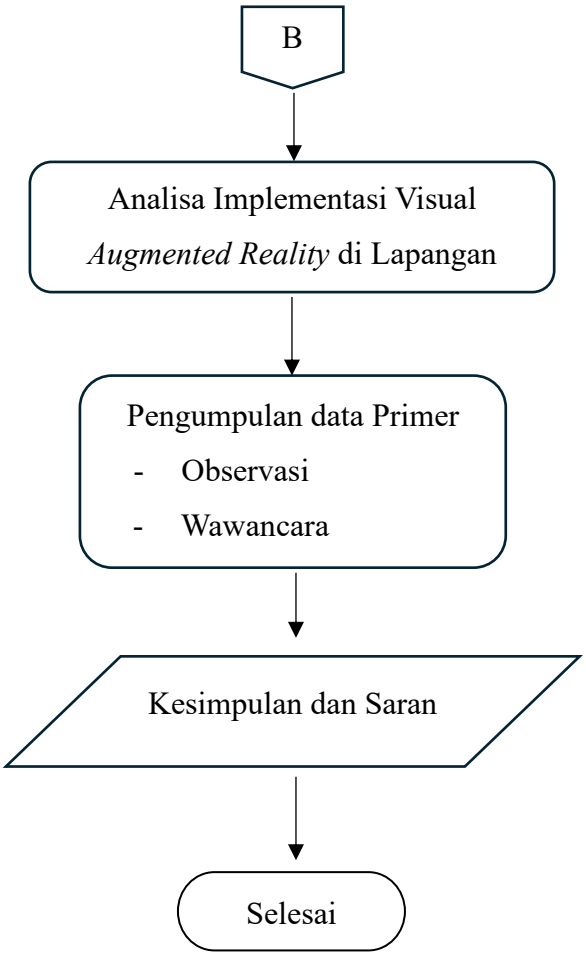
4.11 Bagan Alir Penelitian

Flowchart atau diagram alir merupakan diagram tertentu yang merinci urutan proses dan menggambarkan hubungan antar proses (instruksi) dengan proses lain dalam suatu program. *Flowchart* menunjukkan bagaimana suatu proses itu bekerja

sesuai urutan kegiatan yang dilakukan secara logis dan sistematis. Berikut merupakan *flowchart* yang akan dilakukan dalam penelitian ini.




A
Pengumpulan Data Sekunder
- Gambar Kerja
- Laporan Progress
Memodelkan data Gambar Kerja ke *Software* Autodesk Revit
Hasil Permodelan 3D menggunakan Software Autodesk Revit
Import Model 3D ke portal Gamma AR
Implementasi Visual *Augmented Reality* di Lapangan
B



Gambar 4.5 Flowchart Keseluruhan Tahap Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Dalam bab ini akan dipaparkan hasil penelitian dari studi kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement* Podium Fase 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya yang mencakup proses pemeriksaan data, pengolahan data, serta hasil dan pembahasannya. Data yang didapat kemudian dianalisis untuk dijadikan model 3D kemudian di keluarkan atau di "*teke off*" informasi non-*graphical* data berupa *Quantity Take Off Volume* dari masing-masing elemen pekerjaan yang dijadikan sebagai dasar perhitungan durasi pekerjaan. Setelah durasi pekerjaan diketahui kemudian penyusunan penjadwalan proyek dan keterkaitan antar pekerjaan. Selanjutnya, dokumen penjadwalan akan digunakan untuk membuat 4D *schedule simulation*. Hasil dari 4D *Schedule Simulation* akan dikomparasikan dengan data *master schedule* pekerjaan sehingga dapat diketahui besar penyimpangan yang terjadi pada setiap minggunya yang akan dianalisis menggunakan metode *Earned Value Analysis*. Setelah itu, 3D ModelBase yang telah dibuat pada awal proses penelitian akan dikembangkan menjadi *Visual Reality* berbasis *Augmented Reality* (AR). Model *Augmented Reality* tersebut kemudian dicoba untuk diterapkan pada proyek apakah dengan model AR tersebut akan memudahkan dalam proses inspeksi dan monitoring progres pekerjaan atau tidak. Selanjutnya, akan dilakukan wawancara terhadap BIM *Engineer* untuk mengetahui hasil dari pengaplikasian *Augmented Reality* dalam proyek.

5.2 Data Penelitian

Data penelitian merupakan sekumpulan data yang dapat menunjang pengimplementasian konsep *Virtual Reality* dalam bentuk *Augmented Reality* untuk mendukung proses inspeksi dan monitoring. Data-data tersebut adalah sebagai berikut.

5.2.1 Informasi Data Proyek

1. Nama Proyek : Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya.
2. Pemilik Proyek : PT PP Properti Tbk.
3. Kontraktor : PT PP (Persero) Tbk.
4. *Civil & Structure. MEP and BMU Consultant* : PT. Meinhardt Indonesia
5. *Architect* : PT. Quadratura Indonesia
6. *Design & Lanscape Architect* : Aedas Pte Ltd.
7. *Geothecnical Engineering Consultant* : PT. IEFPE (IFP) Pratama Desain
8. *Structure Enabling Consultant for Basement Construction* : PT. Seismotec Prima Konsultan
9. *Construction Management* : PT. Ciriajasa Cipta Mandiri Gedung
10. Periode Konstruksi
    - Total : 922 Hari (29 Agt ’22 s.d. 7 Maret ‘25)
    - Masa Pemeliharaan : 180 Hari (8 Maret ’25 s.d. 3 Sept ‘25)
11. Luas Bangunan
    - Luas Basement : 7.010,7 m²
    - Luas Podium : 5.166,8 m²
    - Luas Tower : 804.14 m²
12. Jumlah Lantai
    - STP GWT : 1 lantai
    - Basement : 2 lantai
    - Podium : 8 Lantai
    - Lantai Typical : 45 Lantai
13. Nilai Kontrak : NK + PPn : IDR 892.286.920.000,00

5.2.2 Dokumen Gambar Proyek

Dokumen gambar proyek pada saat pelaksanaan proyek terdiri dari beberapa jenis yaitu *Shopdrawing for Tender* dan *Shopdrawing for Construction* atau *Detail Engineering Design* (DED). Dari kedua jenis gambar proyek atau gambar kerja tersebut mempunyai beberapa perbedaan yaitu tingkat detail dari gambar dan juga penggunaannya. *Shopdrawing for Tender* adalah jenis gambar yang digunakan oleh owner atau kontraktor perencana untuk tender atau penawaran kepada kontraktor pelaksana. Sedangkan *Shopdrawing for Construction* atau *Detail Engineering Design* (DED) adalah jenis gambar kerja yang digunakan oleh kontraktor pelaksana dengan tingkat detail konstruksi aktual, artinya gambar tersebut yang akan menjadi acuan pada proses pelaksanaan konstruksi. Dalam penelitian ini gambar kerja yang digunakan adalah *Shopdrawing for Construction* atau *Detail Engineering Design* (DED) yang diperoleh selama melaksanakan Praktik Kerja Magang di PTPP (Persero) Tbk selaku kontraktor utama dari Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya.

5.2.3 Dokumen 3D Model pada *Software* Autodesk Revit

Dokumen 3D Model yang digunakan pada penelitian ini adalah *ModelBase* yang dibuat menggunakan *software* Autodesk Revit. *ModelBase* atau *template* sheet diperoleh dari Tim BIM *Engineer* PTPP Proyek Grand Shamaya, akan tetapi proses 3D *modeling* dilakukan seluruhnya oleh peneliti. Hasil dari 3D modeling inilah yang nantinya akan digunakan sebagai 4D *Schedule Simulation* dan juga pengembangan dalam *Augmented Reality*. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

1. 3D Model Pekerjaan Struktural
2. Informasi *Quantity Take Off*

5.2.4 Dokumen Harga Satuan Pokok Pekerjaan

Dokumen Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK) merupakan sebuah dokumen yang berisi tentang daftar harga untuk setiap satuan kegiatan konstruksi. Harga-harga tersebut berasal dari analisis perhitungan berdasarkan komponen kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan yang digunakan untuk dapat

menghasilkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu. Pada setuap daerah umumnya memiliki Harga Satuan Pokok Pekerjaan yang berbeda-beda yang ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) masing-masing daerah. Pada penelitian ini digunakan Harga Satuan Pokok Pekerjaan untuk Wilayah Surabaya yang dikeluarkan pada Surat Keputusan Walikota Surabaya karena lokasi proyek berada di wilayah surabaya. Peran HSPK pada penelitian ini adalah untuk mengetahui koefisien masing-masing pekerjaan yang digunakan untuk menetukan estimasi durasi pada setiap pekerjaan.

5.2.5 Dokumen Penjadwalan Proyek

Dokumen penjadwalan proyek merupakan salah satu dokumen paling penting dalam sebuah proyek konstruksi, karena dengan dokumen tersebut menjadi acuan setiap aktivitas pekerjaan di proyek. Selain itu, dokumen penjadwalan juga dapat digunakan untuk perbandingan realisasi pekerjaan dengan rencana pekerjaan apakah pekerjaan yang dilakukan telah sesuai dengan jadwal atau tidak sehingga dari pihak kontraktor dapat menentukan strategi pelaksanaan pekerjaan jika terjadi penyimpangan terhadap jadwal. Terdapat beberapa jenis dari dokumen penjadwalan proyek seperti Rencana Waktu (*Time Schedule*) yang merupakan dokumen berisi gambaran umum proyek termasuk dengan garis waktu, tugas dalam proyek, ketergantungan antar pekerjaan, dan anggota tim yang ditugaskan. *Gantt Chart* merupakan jenis dokumen penjadwalan yang digambarkan dalam batang-batang yang menggambarkan dari setiap pekerjaan sehingga dapat dilihat secara visual dalam hal durasi, dan juga hubungan antar pekerjaan. Kurva S merupakan dokumen penjadwalan yang berbentuk grafik huruf S dimana grafik tersebut berasal dari bobot pekerjaan perbandingan antara nilai presentase dengan total nilai proyek yang digunakan untuk mengukur kemajuan atau kinerja proyek. *Network Diagram* merupakan dokumen yang dibuat berdasarkan metode *Precedence Diagram Method* (PDM) dan juga *Critical Path Method* (CPM) yang mana hal tersbut merupakan visualisasi hubungan antar pekerjaan untuk mengidentifikasi jalur kritis dan menentukan estimasi durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan. Pada penelitian ini, dokumen penjadwalan yang digunakan adalah kombinasi *Gantt Chart Master Schedule* sebagai pedoman untuk menentukan urutan atau tingkatan

pekerjaan dan untuk membuat 4D *Schedule Simulation*. Kurva S diperoleh dari proses menjalankan Praktik Kerja Magang. Akan tetapi, untuk dokumen penjadwalan atas kebijakan dari owner proyek yaitu Grand Shamaya by PTPP Properti Tbk tidak mengijinkan untuk menyebarluaskan dokumen tersebut. Sehingga dokumen penjadwalan disusun berdasarkan kombinasi hasil perhitungan *volume* dari *Quantity Take Off* 3D Model, Dokumen Harga Satuan Pokok Pekerjaan (HSPK), Dokumen *Work Method Statement*, dan juga Dokumen *Report Mapping* Progres Pekerjaan selama melaksanakan Praktik Kerja Magang. Dokumen penjadwalan dibuat menggunakan bantuan software Microsoft Excel untuk mengolah volume pekerjaan menjadi durasi pekerjaan dan juga Microsoft Project untuk menjadikan durasi pekerjaan berbentuk *Gantt Chart* dan menentukan hubungan antar pekerjaan.

5.3 Analisis Data

5.3.1 Analisis Data untuk Permodelan bentuk 3 Dimensi (3D)

Penelitian ini memodelkan perencanaan bangunan dengan studi kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya dari bentuk *Shopdrawing* (2D) kedalam model 3 dimensi (3D). permodelan 3 dimensi menggunakan bantuan *software* Autodesk Revit sebagai *Authorized Software*. Hasil dari model ini nantinya akan didapatkan informasi berbentuk *non-graphical* data berupa *Quantity Take Off Volume* dari masing-masing elemen yang dimodelkan. Permodelan meliputi struktural basement seperti kolom, balok, plat lantai, *shearwall*, dan pembesian dari keseluruhan elemen.

Untuk memperoleh output yang telah disebutkan sebelumnya, berikut merupakan urutan langkah-langkah dalam pembuatan permodelan 3 dimensi.

1. Membuka *Software* Autodesk Revit 2025

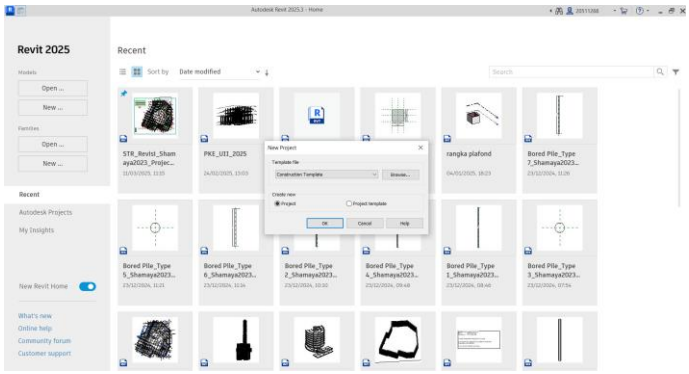
   Buka software Autodesk Revit. Dalam penelitian ini, menggunakan Revit versi 2025 dengan lisensi akun *student version*.



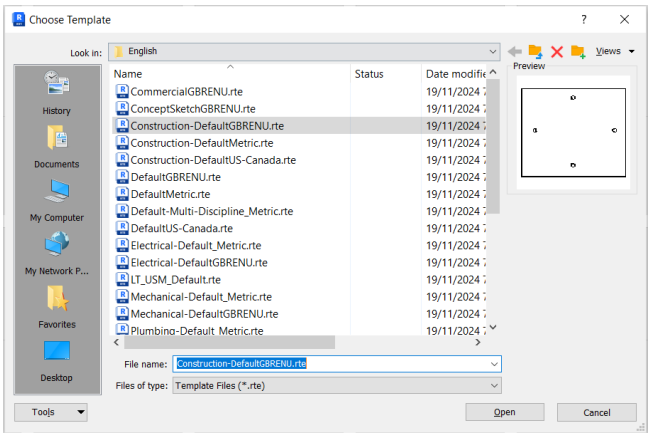
Gambar 5.1 *Software* Autodesk Revit 2025

2. Memilih *Template*

Pada halaman awal Autodesk Revit akan diminta untk memilih template project yang akan digunakan. Pemilihan ini didasarkan pada jenis model yang akan dibuat seperti *structural template*, *architectural template*, *construction template*, dll. pembuatan 3D model pada pemelitian ini menggunakan *template default metric* yang diunduh dari website *Autodesk.com.*



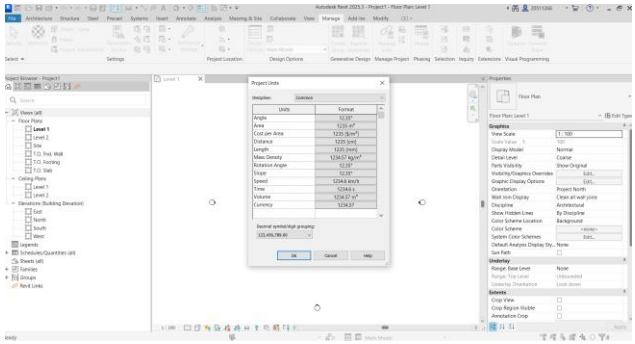
Gambar 5.2 Tampilan Awal Autodesk Revit 2025



Gambar 5.3 Tampilan untuk Memilih *Template File*

3. Mengatur Satuan yang digunakan

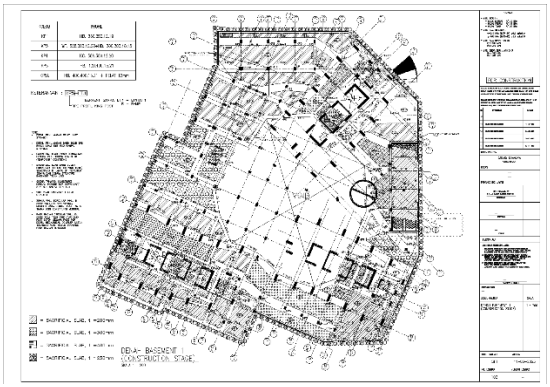
   Pada tampilan *project* yang telah dipilih, hal pertama yang dilakukan adalah menyesuaikan satuan dengan acuan gambar yang digunakan. Pada *toolbar* klik pada bagian *manage* dan kemudian klik pada menu *project unit.* Sesuaikan semua satuan dari masing-masing parameter sesuai yang digunakan berikut dengan besar pembulatan. Jika semua satuan pada *units list* dan format sudah sesuai dengan acuan data maka klik Ok.



Gambar 5.4 Mengatur Satuan (*Project Unit*)

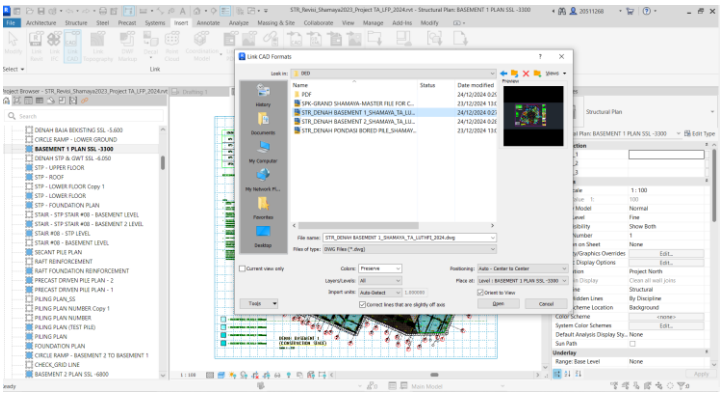
4. Import Gambar CAD

   Untuk memudahkan penggambaran pada proses modeling, Autodesk Revit menyediakan fitur yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau meng-*overlay* gambar yang akan dijadikan acuan. Fitur ini bernama *Revit Link*. Terdapat beberapa macam file yang dapat digunakan pada Revit Link seperti CAD, JPG, PNG, PDF, dll. Pada penelitian ini menggunakan ekstensi CAD sehingga Shopdrawing dapat diimport secara langsung ke dalam Revit untuk membantu peletakan posisi dari masing-masing elemen.

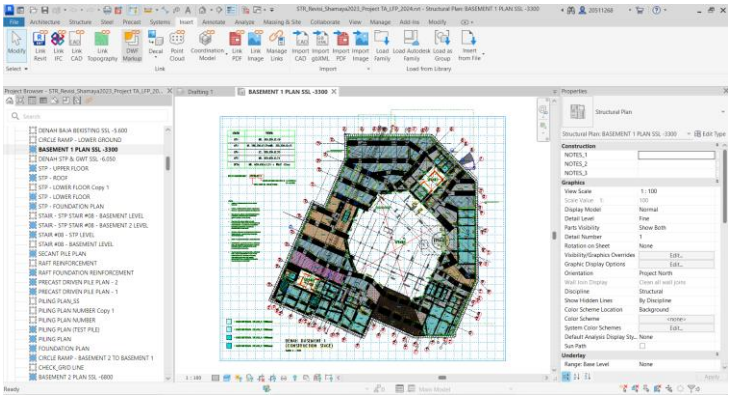


Gambar 5.5 Shopdrawing Strktural Basement 1

Untuk memasukkan gambar tersebut ke dalam Revit yaitu pada menu *toolbar* pilih *insert*. Kemudian terdapat pilihan *Link CAD*. Pilih dokumen CAD yang akan dimasukkan, lalu pada jendela *Link CAD Format* sesuaikan beberapa parameter sesuai dengan gambar dibawah ini.



Gambar 5.6 Pengaturan Revit Link CAD



Gambar 5.7 Revit Link CAD

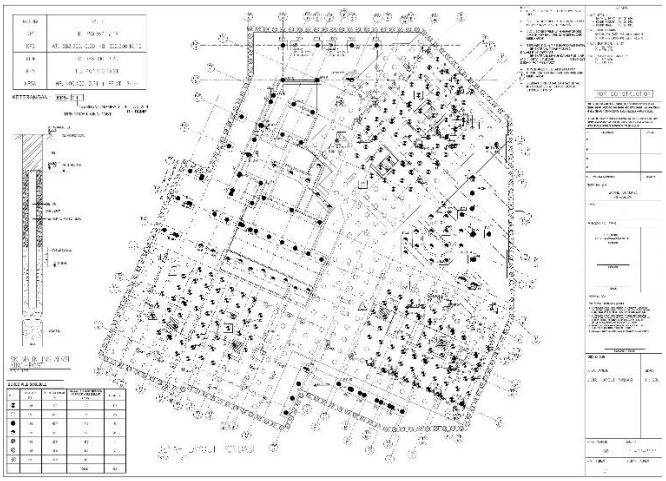
5. Membuat *family* untuk setiap komponen pekerjaan

   Komponen *family* pada Autodesk Revit merupakan komponen bentuk yang dapat digunakan secara repetisi atau berulang dalam proses permodelan. Dalam sistem secara *default*, terdapat beberapa komponen yang sudah terintegrasi dalam setiap permodelan yaitu untuk komponen basic seperti, kolom, balok, dinding, plat lantai, *footing*, dll. akan tetapi untuk komponen yang memiliki bentuk khusus dan belum terdapat pada sistem dapat di-custom sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Revit telah menyediakan fitur pembuatan *in-place family* sehingga memungkinkan permodelan *family* khusus yang belum ada dapat dibuat secara langsung dalam permodelan.

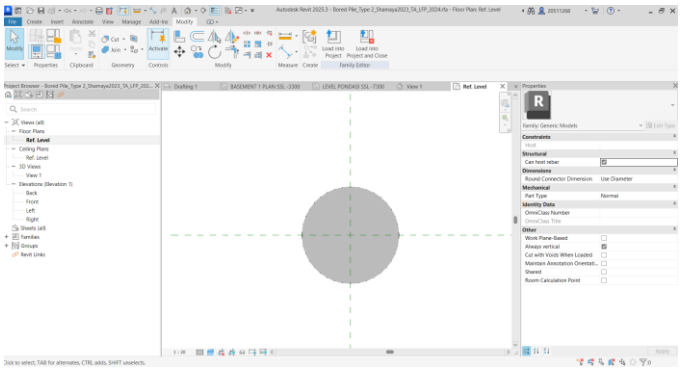
Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komponen *family* untuk setiap pekerjaan khusus yang tidak terdapat pada *system default family revit*.

a. Pondasi Tiang Pancang

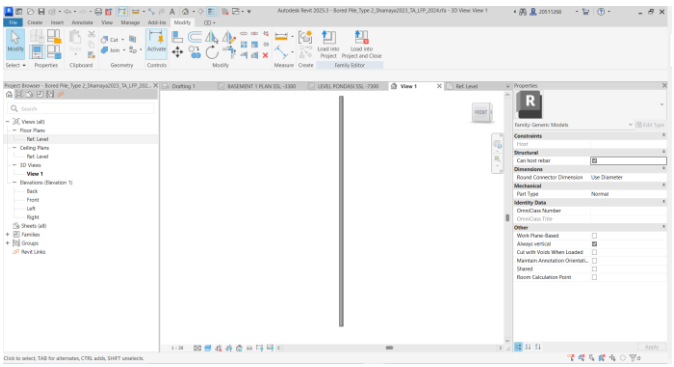
Pondasi Tiang Pancang yang digunakan dalam proyek ini berjenis Bored Pile. Terdapat beberapa perbedaan dimensi panjang dari masing masing jenis tiang pancang. Keseluruhan tiang pancang memiliki diameter yang sama yaitu 1080 cm atau 1.08 m. panjang tiang bervariasi yaitu 73.7 m, 58.7 m, 53.7 m, 25 m, dan 29 m. untuk membuat *family* tiang pancang klik *toolbar file* kemudian *new family* dan pilih *family template metcir structural fondation.* Hal pertama adalah membuat refrence line sebagai garis acuan yaitu dengan klik pada *toolbar* terdapat *create refrence line*, kemudian membuat *refrence line* sesuai dengan masing-masing dimensi.



Gambar 5.8 Denah Pondasi Tiang dan Dimensi Tiang



Gambar 5.9 Referance Line Dimensi Pondasi Tiang



Gambar 5.10 Bentuk hasil family Pondasi Tiang 68.7 m

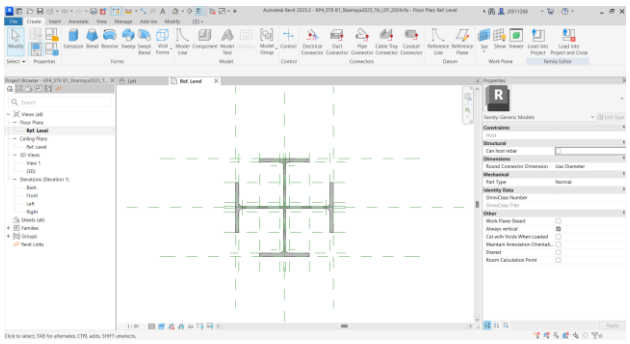
b. KingPost

KingPost adalah salah satu elemen dalam pelaksanaan metode pekerjaan Top Down. KingPost merupakan Baja yang digunakan sebagai kolom *temporary* yang menghubungkan antara pondasi tiang dengan sub struktur diatasnya. Sehingga memungkinkan untuk melakukan pekerjaan dibawah struktur atas tersebut untuk mengerjakan struktur di bawahnya. Dalam penelitian ini kingpost dimodelkan kurang lebih sama dengan pondasi tiang yaitu dengan *structural fondation template*. *Refrence line* disesuaikan dengan berbagai variasi bentuk kingpost sesuai dengan *shopdrawing*. Dimensi, Profil, dan juga denah dari Kingpost bisa dilihat pada gambar berikut.

KOLOM	PROFIL
KP1	HB. 350.350.12.19
KP3	WF. 588.300.12.20+HB. 300.300.10.15
KP4	KC. 588.300.12.20
KP5	HB. 400.400.13.21
KP5A	HB. 400.400.13.21 + PELAT 12mm

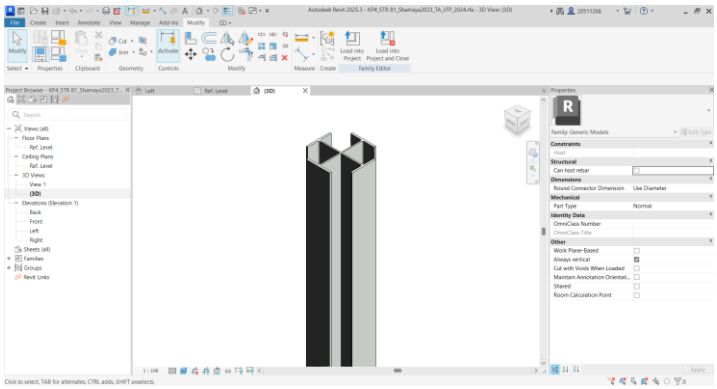
KETERANGAN : KP5–LT.1
- LT.1 — BERHENTI SAMPAI LT.1 — LANTAI 1, R = RAMP
- KP5 — TIPE PROFIL KING POST

Gambar 5.11 Detail Profil Kolom KingPost



Gambar 5.12 *Refrence Line* Kolom KingPost KP4

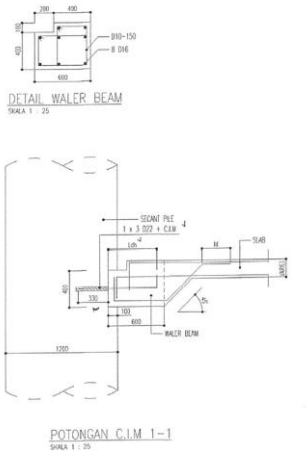
Setelah *refrence line* jadi sesuai dengan shopdrawing, kemudian mulai melakukan penggambaran menggunakan *tools solid extrusion* sesuai dengan *refrence line*. Setelah itu atur ketinggian sesuai dengan masing-masing jenis KingPost. Pastikan untuk menganti material dengan baja sesuai dengan spesifikasi.



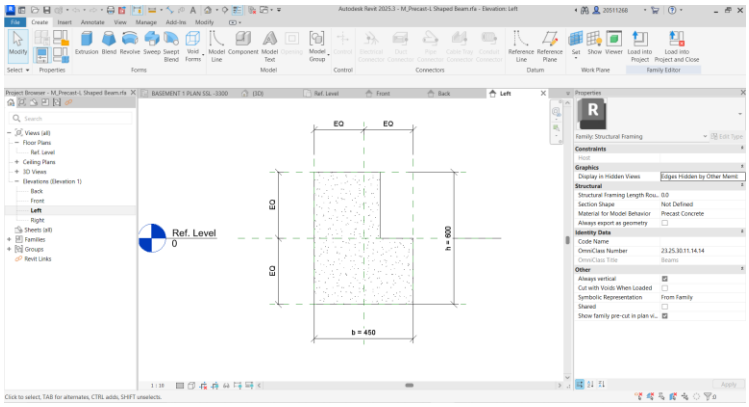
Gambar 5.13 Hasil Permoldelan *Family* KingPost KP4

c. Waller Beam

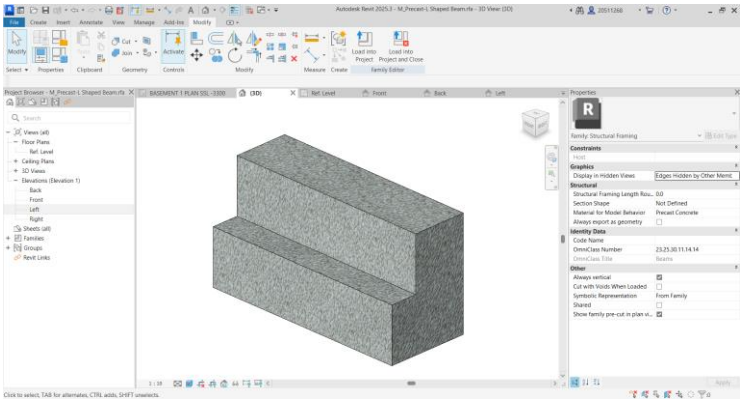
Waller Beam adalah salah satu struktur berbentuk balok yang fungsinya adalah untuk mengikat *secant pile* satu sama lain sehingga *contiguous pile* bekerja menjadi satu sistem penahan tanah. Selain itu, *waller beam* juga difungsikan sebagai dudukan *slab* yang akan menghubungkan dengan *pile*. Sistem angkur (*chemset*) dilakukan pada *waller beam* ke *pile* sehingga kuat untuk menopang *slab*. Berikut merupakan contoh detail dimensi dan permodelan dari *waller beam*.



Gambar 5.14 Detail Dimensi *Waller Beam* CIM 1-1

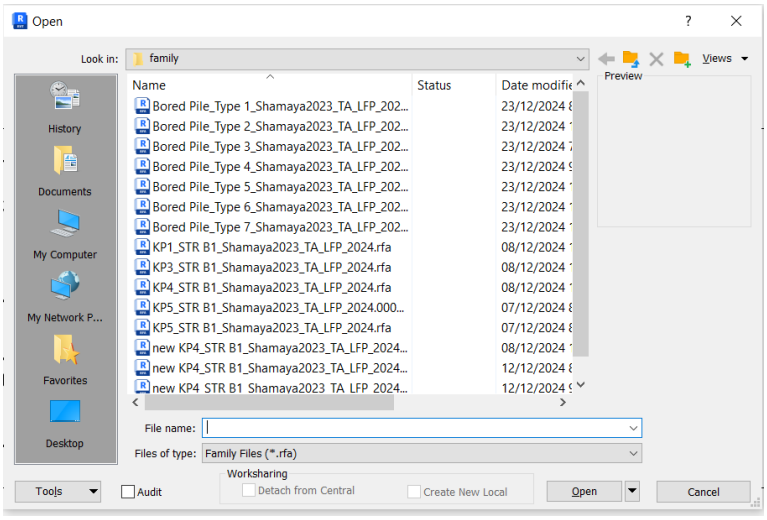


Gambar 5.15 *Refrence Line Waller Beam* CIM 1-1



Gambar 5.16 Hasil Permodelan *Waller Beam* CIM 1-1

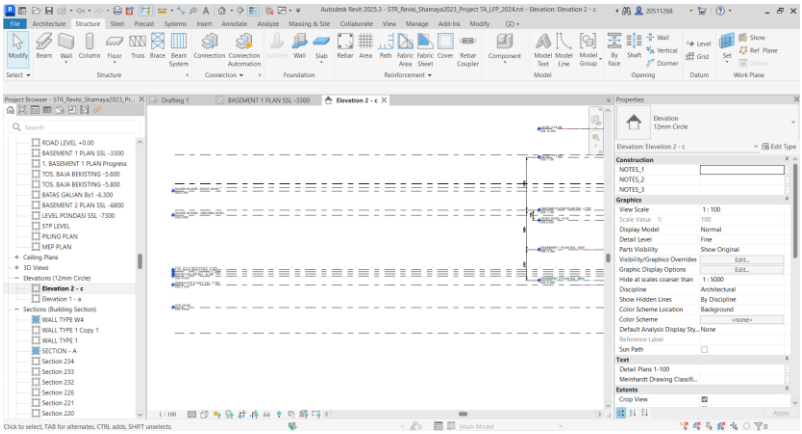
Setelah semua *model custom family* untuk setiap komponen pekerjaan khusus telah selesai dimodelkan, simpan *model family* tersebut kedalam satu folder Autodesk Revit RVT *family template* dengan format *Family Files* (.rfa).



Gambar 5.17 Menyimpan Hasil *Custom Family*

6. Membuat *Grid Line* dan Garis Elevasi

   Grid Line dan Garis Elevasi merupakan hal yang sangat penting dan harus dibuat sebelum melakukan permodelan. Selain itu, tingkat detail dalam pembuatan *grid line* dan garis elevasi juga harus sesuai dengan *Shopdrawing*, karena *grid line* dan garis elevasi akan menjadi acuan penempatan komponen model dan ketinggian antar level. Garis Elevasi dibuat pada tab *project browser – elevation*. Pada tampilan awal telah tersedia *default* elevasi kemudian *copy* garis tersebut sesuai dengan kebutuhan. Penamaan disesuaikan dengan acuan pada *shopdrawing*. Berikut merupakan gambar garis elevasi yang dapat dilihat pada Gambar 5.18.



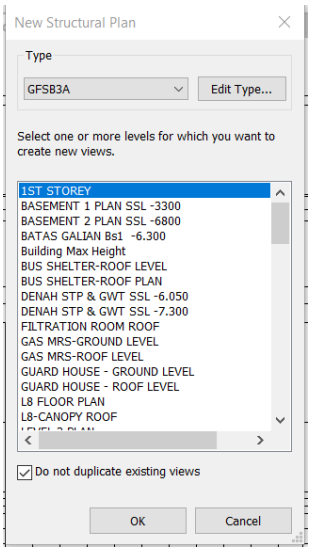
Gambar 5.18 Garis Elevasi

Garis Elevasi disesuaikan dengan posisi masing-masing komponen sesuai dengan refrence line penggambaran *Family*. Oleh karena itu, pembuatan garis elevasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan pada proses penggambaran. Detail level elevasi penggambaran dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 5.1 Level Elevasi

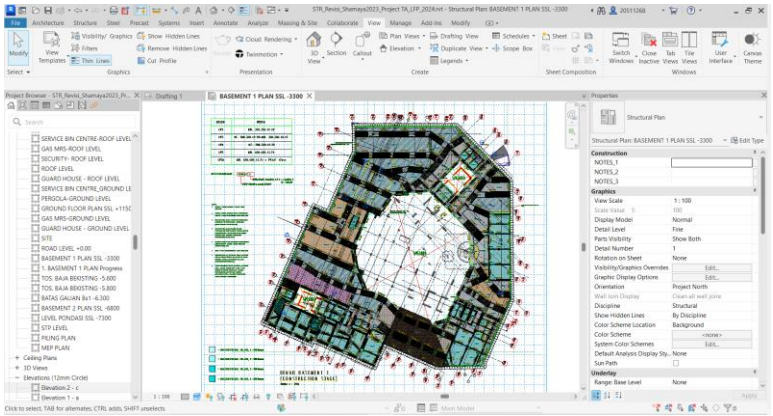
No	Garis Elevasi	Elevasi (SSL)
1.	*Ground Floor Plan*	+1.150
2.	*Road Level*	+0.00
3.	*Basement 1 Plan*	-3.300
4.	T.O.S Baja Bekisting -5600	-5.600
5.	T.O.S Baja Bekisting -5800	-5.800
6.	Batas Galian Basement 1	-6.300
7.	*Basement 2 Plan*	-6.800
8.	Denah STP & GWT	-7.300
9.	*Top of Bored Pile*	-7.300

Untuk memunculkan *Structural plan* atau *floor plan*, klik *tab view*, kemudian *plan views*. Setelah muncul *tab new structural plan*, pilih semua level yang baru saja dibuat agar muncul pada *tab project browser*.



Gambar 5.19 *Tab New Structural Plan*

Dalam membuat *grid line*, klik *icon grid* pada *tab structure* atau dengan ketik *shortcut* (GR) pada *keyboard*. Setelah itu, pastikan penamaan *grid* sesuai dengan nama pada *shopdrawing*. Untuk mempermudah penggambaran, hubungkan gambar *shopdrawing* ke dalam revit menggunakan CAD *Link* sesuai dengan level elevasi yang akan digambar.



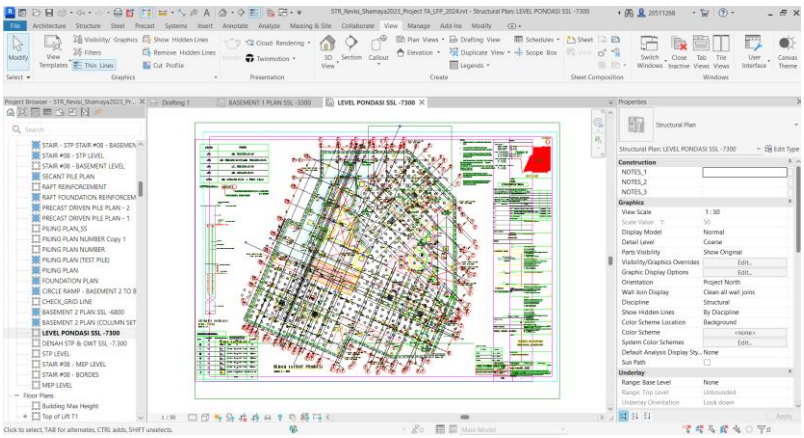
Gambar 5.20 *Link* CAD dan *Grid Line* yang Sudah Digambar

7. Permodelan 3D Bangunan

Permodelan 3D Bangunan pada intinya dilakukan dengan menggabungkan komponen *family* yang telah dibuat pada langkah sebelumnya. Komponen *family* tersebut di panggil menggunakan *toolbar structure componen*t dan memilih *place a component* sesuai dengan masing-masing penempatannya. Cara untuk memanggil *family* yang telah dibuat adalah dengan klik *load a family*, kemudian akan muncul *tab load family* pada folder penyimpanan. Pilih *family* yang akan ditempatkan pada permodelan dan atur *level placement* pada menu *properties family.* Tahapan permodelan adalah sebagai berikut.

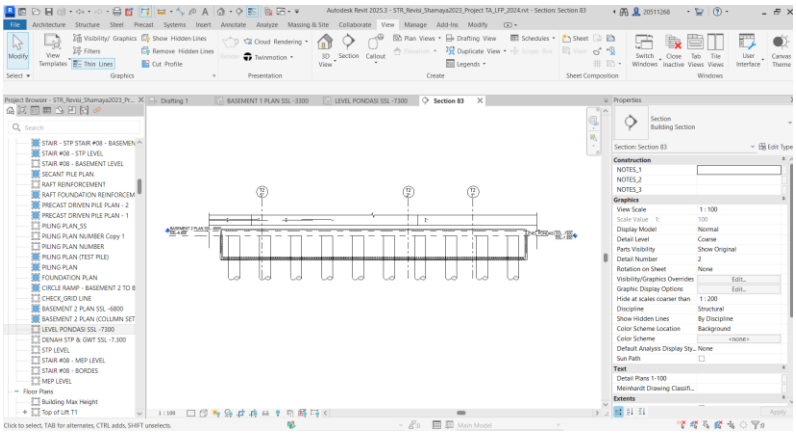
a. Pondasi *Bored Pile*

Pondasi *bored pile* yang telah dimodelkan pada langkah sebelumnya di panggil kembali atau *load a family* sesuai dengan penempatan masing-masing jenis. Pada elevasi -7.300 pastikan gambar CAD denah pondasi telah di-*import* dengan cara *Link* CAD. Sesuaikan *grid* gambar dengan *grid project* dengan mengatur *alingment*. Denah pondasi *bored pile* dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.

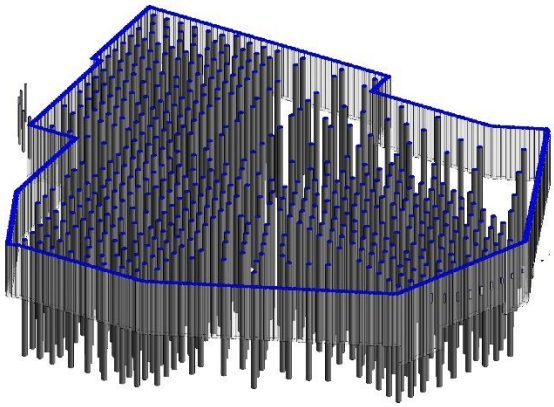


Gambar 5.21 Denah Pondasi *Bored Pile*

Setelah diletakkan sesuai dengan titik masing-masing, maka hasil permodelan bored pile dapat dilihat dari tampak samping pada Gambar 5.22 dan tampak 3D pada Gambar 5.23 sebagai berikut.



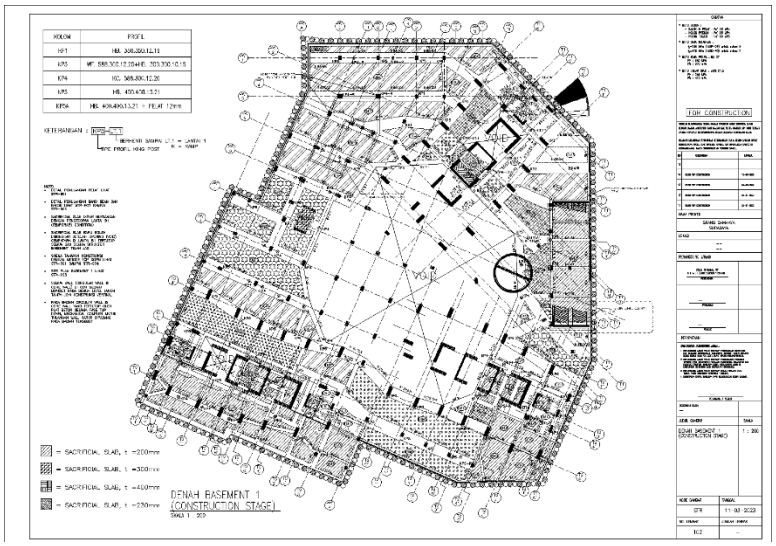
Gambar 5.22 Potongan Tampak Samping *Bored Pile*



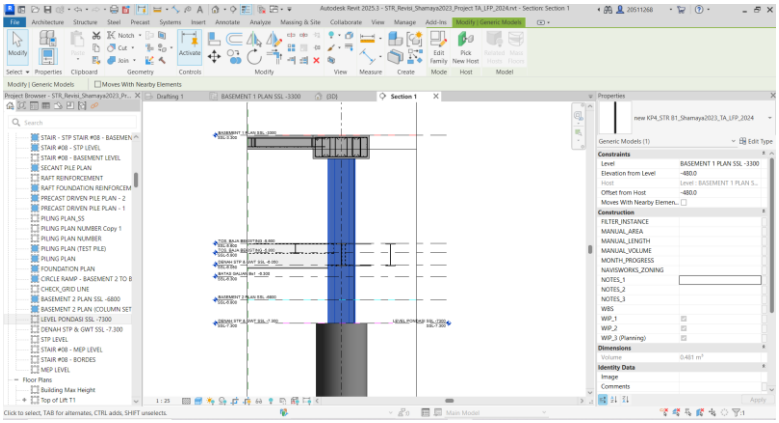
Gambar 5.23 Tampak 3D Pondasi *Bored Pile*

b. Kolom *KingPost*

Kolom Kingpost dipasang sesuai dengan denah pada shopdrawing dengan kode KP (*KingPost*). *Top of KingPost constrain* pada *slab level* Basement 1, akan tetapi ada sedikit *offset* sebesar -480 dari *level* basement 1. Denah dan detail potongan samping *KingPost* dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan 5.25 sebagai berikut.



Gambar 5.24 Denah *KingPost View Level* Basement 1

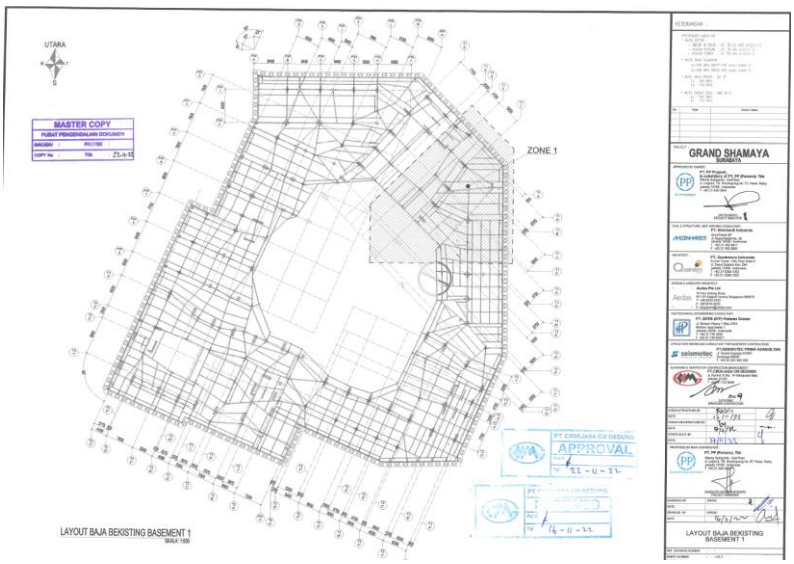


Gambar 5.25 Potongan Tampak Samping Kingpost KP4

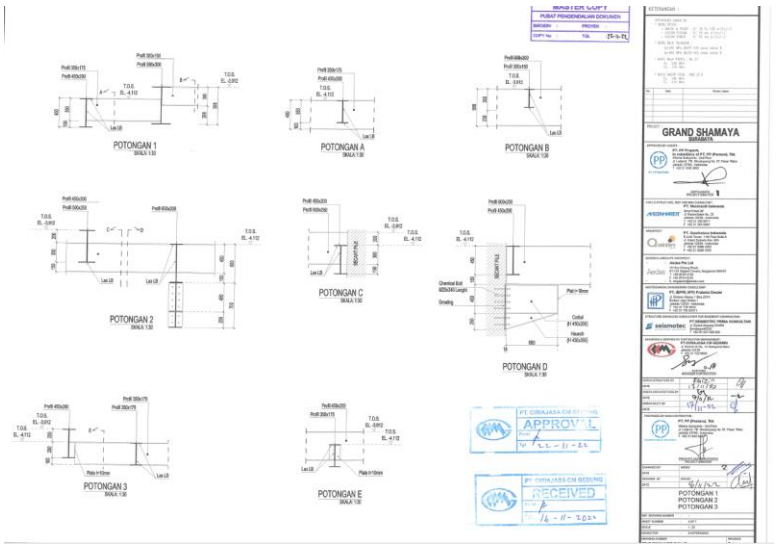
c. Balok Baja Bekisting

Baja Bekisting digunakan sebagai temporary sub structure untuk menopang perancah dan bekisting komponen struktur basement 1. Baja bekisting dimodelkan menggunakan profil WF dengan berbagai variasi sesuai dengan

spesifikasi. Denah baja bekisting untuk basement 1 dan contoh detail potongan beserta dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan 5.27 berikut.



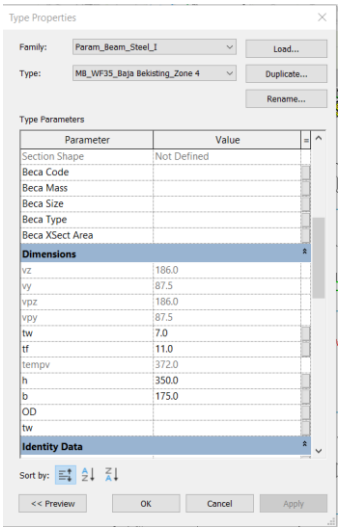
Gambar 5.26 Denah Baja Bekisting Basement 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)



Gambar 5.27 Contoh Detail Profil dan Dimensi Baja Bekisting Basement 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

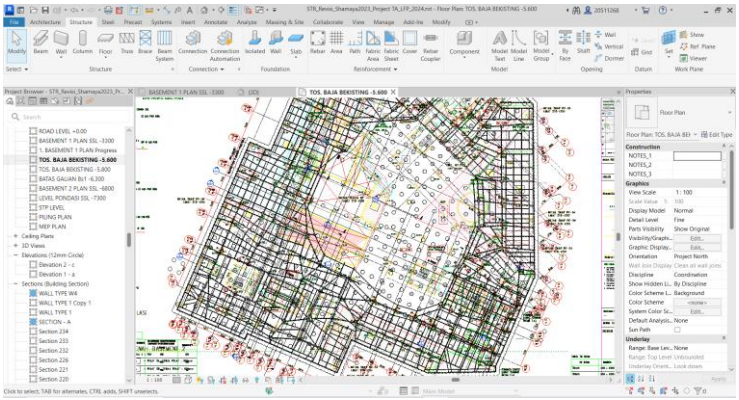
Baja Bekisting dimodelkan dengan *Structural Beam* Pada elevasi T.O.S Baja Bekisting -5.600. Kemudian pada *tab properties*, klik *Edit Type*. Setelah muncul *tab Type Properties*, anda dapat menggunakan dua *family default* dari Autodesk Revit yaitu Param_Steel_Beam atau DB_Beam. Hal

tersebut dapat disesuaikan dari *preferensi* masing-masing namun kali ini saya menggunakan Param_Steel_Beam dan pastikan menggunakan Profil IWF. Setelah itu, *duplicate type* dan beri penamaan sesuai dengan *shopdrawing.* Untuk menyesuaikan dimensi, ubah pada bagian *dimension* dan sesuaikan dengan dimensi baja yang akan digunakan. *Tab Type Properties* dapat dilihat pada Gambar 5.28 sebagai berikut.

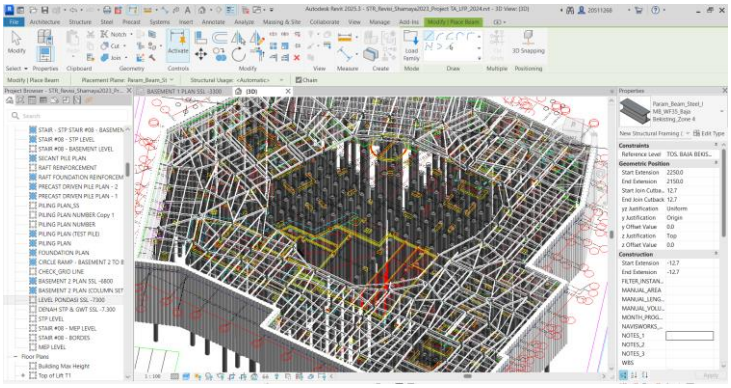


Gambar 5.28 *Type Properties* Baja Bekisting

Setelah itu klik Ok dan tempatkan baja pada permodelan sesuai dengan *shopdrawing*. Hasil permodelan Baja Bekisting tampak atas dan tampak 3D dapat dilihat pada Gambar 5.29 dan 5.30 sebagai berikut.



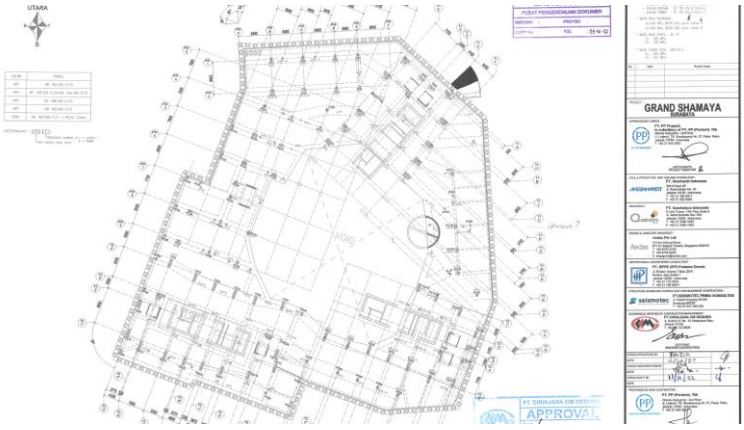
Gambar 5.29 Baja Bekisting Tampak Atas



Gambar 5.30 Baja Bekisting Tampak 3D

d. Kepala Kolom *Basement* 2 dan Kolom *Basement* 1

Kepala Kolom pada *Basement* 2 dibuat sebagai elemen penyambung jika nanti akan disambung dengan kolom Basement 2. Kepala Kolom *Basement* 2 dibuat dari Elevasi *Basement* 1 kemudian di-*offset* ke bawah sejauh -1.000. Kolom Basement 1 dibuat dengan *constrain top level* pada *Ground Floor*, akan tetapi dilakukan *offset* ke bawah sejauh -1.450 sehingga tinggi kolom hanya 3 m dari elevasi *Basement* 1. Kepala Kolom *Basement* 2 dan Kolom *Basement* 1 dibuat menggunakan *Structural Column* dengan *Family* RC_Rect_Col. Denah Kolom *Basement* 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan 5.32 sebagai berikut.

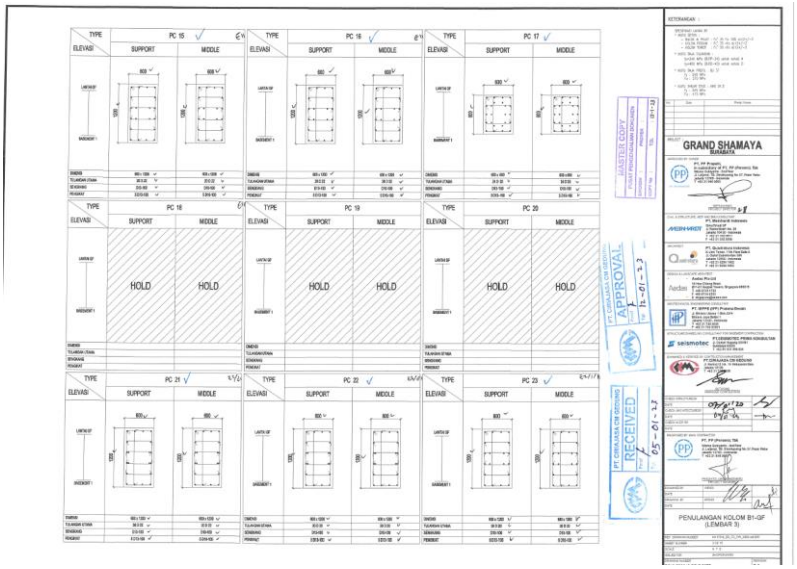


Gambar 5.31 Denah Kolom Basement 1

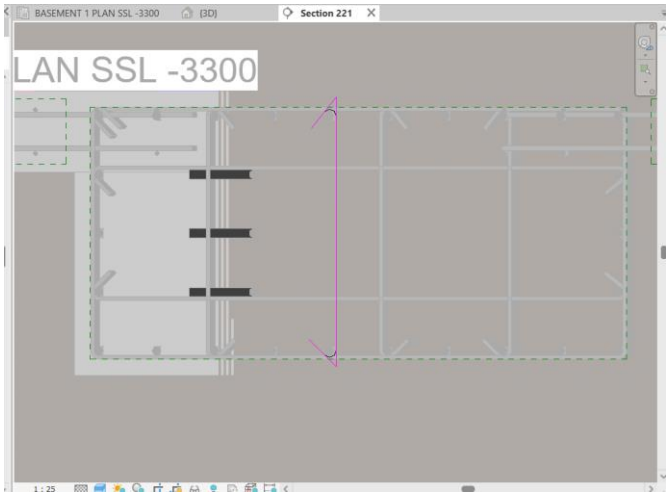


Gambar 5.32 Denah Kolom Basement 2

Setelah dilakukan permodelan *structural column concrete*, dapat dilanjutkan dengan permodelan penulangan kolom. Penulangan disesuaikan dengan *shopdrawing* sesuai dengan masing-masing jenis elemen. Penulangan dilakukan dengan *select element* yang akan di *rebaring*, kemudian klik ikon *rebar*. Pada *tab properties* pilih *Edit Type*, kemudian pilih diameter besi yang akan digunakan pada *type*, setelah itu *duplicate* dan berikan nama sesuai dengan *shopdrawing*. Setelah itu pilih *rebar shape* pada *tab rebar shape browser* sesuai yang di perlukan. Jika bentuk tidak ada maka dapat menggambar secara manual dengan klik *placement method* kemudian pilih *skecth*. Gambar detail penulangan kolom dan contoh penggambaran rebar secara manual dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan 5.34 sebagai berikut.

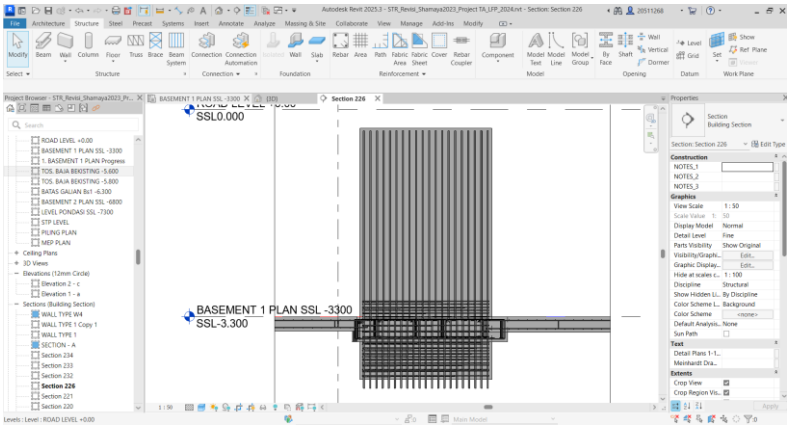


Gambar 5.33 Gambar Detail Penulangan Kolom Basement 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)



Gambar 5.34 Penggambaran *Rebar* secara *Skecth* Manual

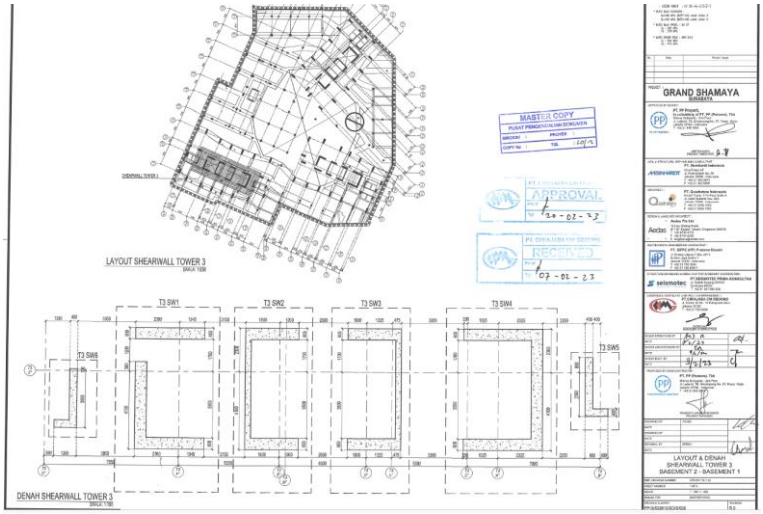
Hasil permodelan dari kepala kolom basement 2 dan kolom basement 1 dapat dilihat pada Gambar 3.35 sebagai berikut.



Gambar 5.35 Hasil Permodelan Penulangan Kepala Kolom Basement 2 dan Kolom Basmeent 1

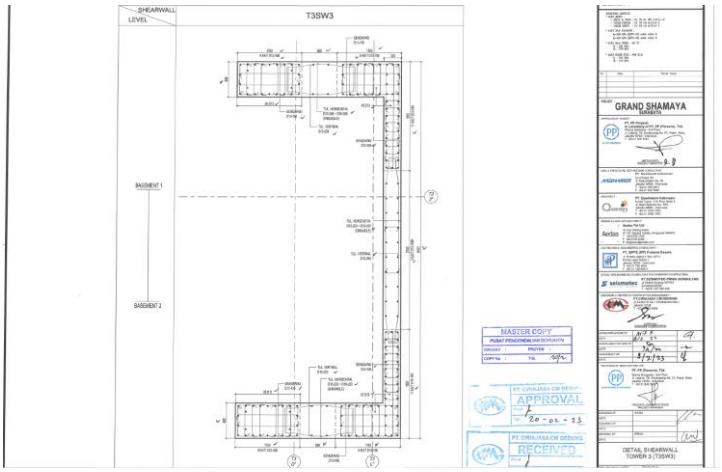
e. Kepala *Shearwall Basement* 2 dan *Shearwall Basement* 1

Permoodelan *Shearwall* hampir serupa dengan kolom yaitu terdapat komponen kepala *shearwall* pada elevasi *basement* 2 yang di-*offset* sejauh 1 m dari elevasi *basement* 1, dan untuk *shearwall basement* 1 memiliki tinggi 3 m dari elevasi *basement* 1. Perbedaan terdapat pada elemen yang digunakan dalam permodelan yaitu jika pada *shearwall* menggunakan *structural walls*. Contoh denah dan dimensi dari *Shearwall* pada area tower 3 dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



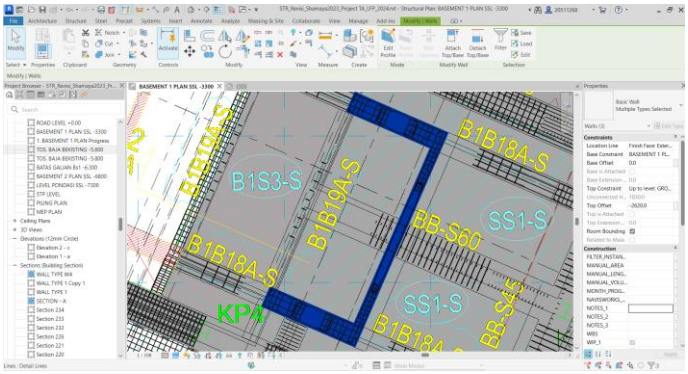
Gambar 5.36 Layout dan Dimensi *Shearwall* Tower 3
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

Setelah dimodelkan menggunakan structural concrete walls pada kepala shearwall basement 2 dan shearwall basement 1, langkah selanjutnya dapat memodelkan penulangan pada shearwall tersebut. Contoh gambar detail penulangan *shearwall* dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.

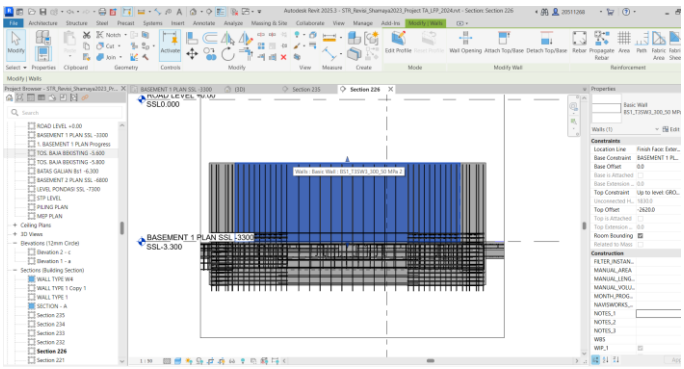


Gambar 5.37 Contoh Detail Penulangan Shearwall T3SW3
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

Hasil permodelan shearwall dapat dilihat pada Gambar 5.38 dari tampak atas dan Gambar 5.39 potongan tampak samping.



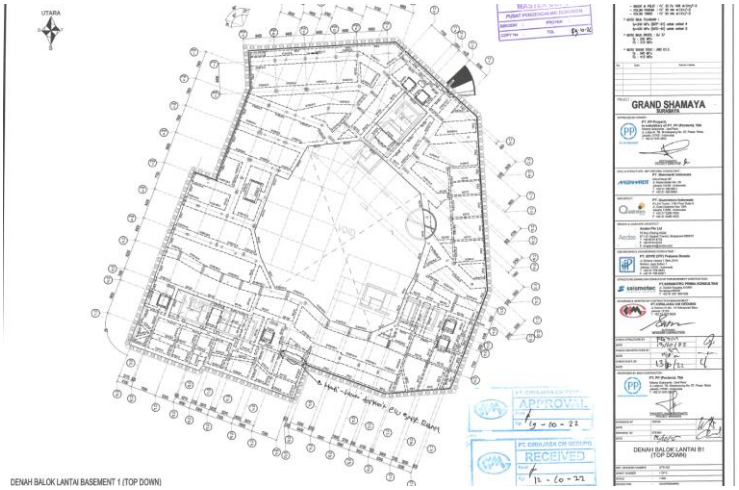
Gambar 5.38 Hasil Permodelan *Shearwall* T3SW3 Tampak Atas



Gambar 5.39 Hasil Permodelan *Shearwall* T3SW3 Tampak Potongan Samping

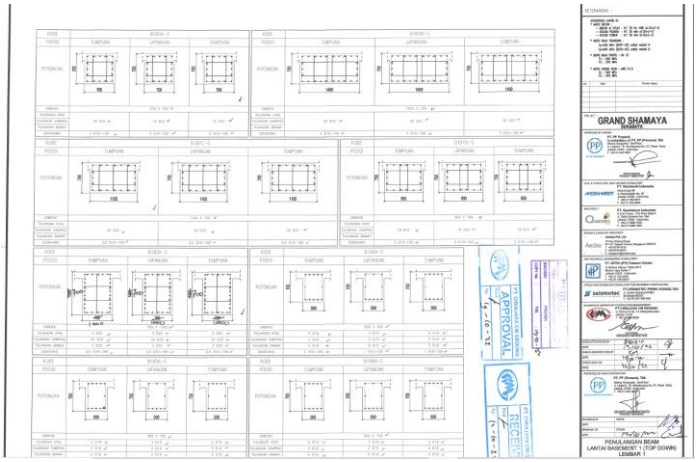
f. Balok *Basement* 1

Permodelan balok menggunakan elemen *structural beam concrete* dengan *family* M_Concrete_Rectangular Beam yang ditempatkan dengan *refrence level Basement* 1 -3.300. Denah balok pada *Basement* 1 dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut.



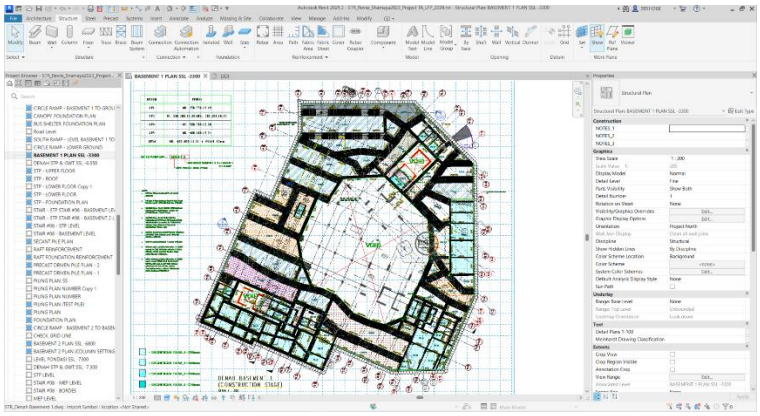
Gambar 5.40 Denah Balok Basmenet 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

Setelah dilakukan permodelan menggunakan elemen *structural beam concrete*, dapat dilanjutkan dengan permodelan penulangan sesuai dengan shopdrawing. Contoh detail penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut.

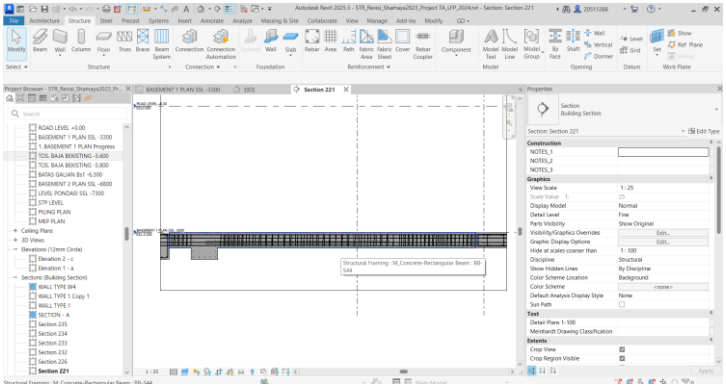


Gambar 5.41 Contoh Detail Penulangan Balok Basement 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

Hasil permodelan *structural beam concrete* dan penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan 5.43 berikut.



Gambar 5.42 Penulangan Balok Basement 1



Gambar 5.43 Hasil Permodelan Balok Tampak Potongan Samping

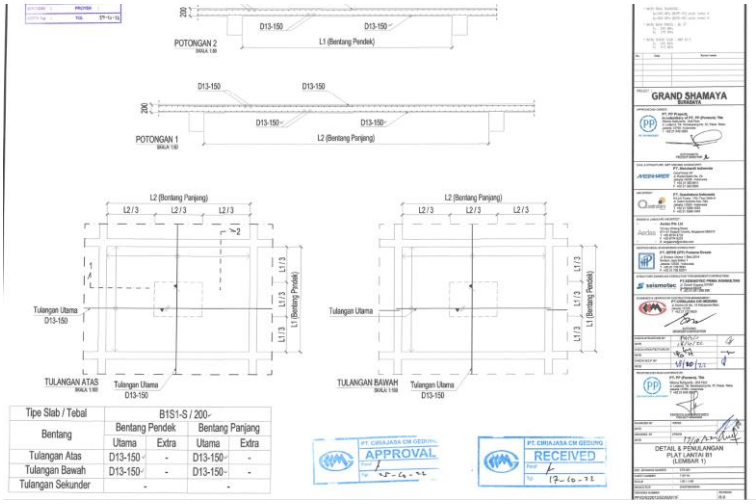
g. Plat Lantai *Basement* 1

Plat lantai dimodelkan menggunakan *structural floor concrete* dengan ketebalan dan jenis disesuaikan dengan *shopdrawing*. Denah plat lantai *basement* 1 dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.



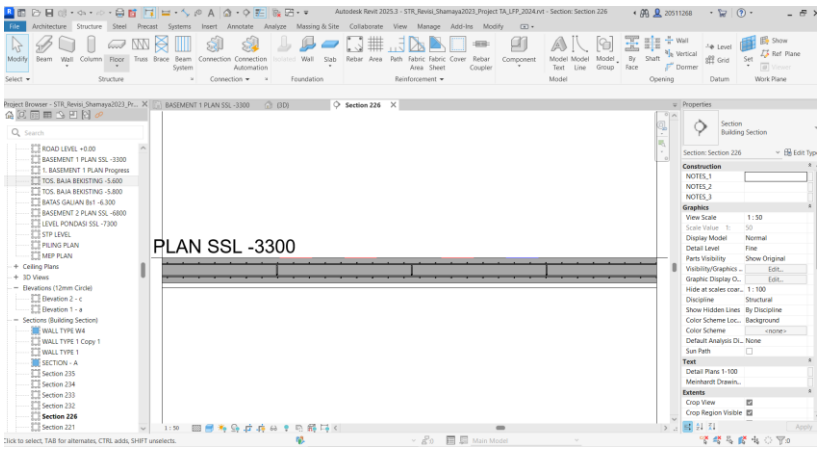
Gambar 5.44 Denah Plat Lantai *Basement* 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)

Setelah dimodelkan dengan *structural floor concrete*, kemudian dilanjutkan dengan permodelan penulangan plat lantai. Denah dan hasil penulangan plat lantai dapat dilihat pada Gambar 5.45 dan 5.46 sebagai berikut.



Tipe Slab / Tebal	B1S1-S / 200-			
Bentang	Bentang Pendek		Bentang Panjang	
	Utama	Extra	Utama	Extra
Tulangan Atas	D13-150	-	D13-150	-
Tulangan Bawah	D13-150	-	D13-150	-
Tulangan Sekunder	-		-	

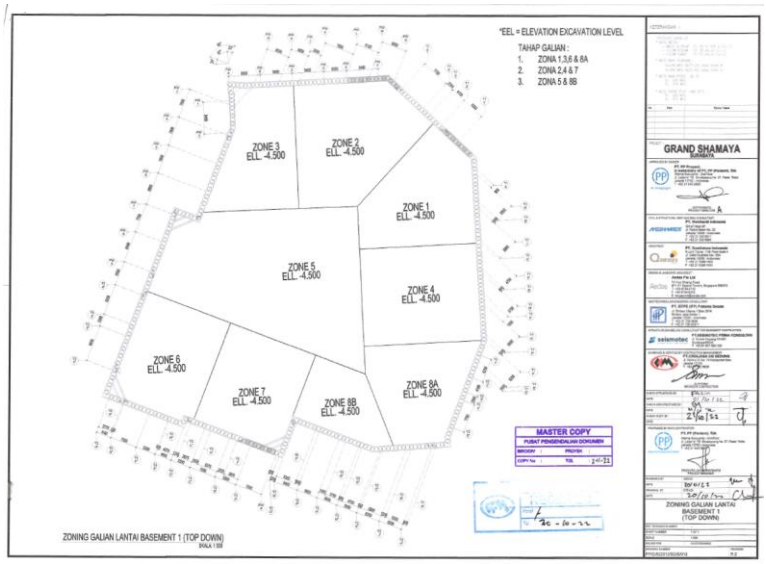
Gambar 5.45 Contoh Detail Penulangan Plat Lantai Basement 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)



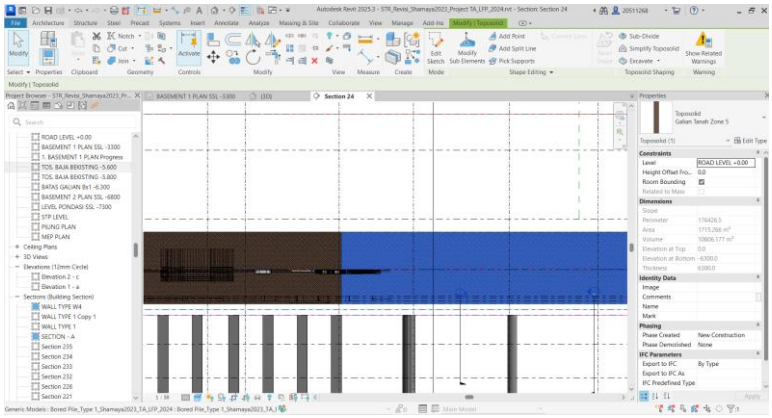
Gambar 5.46 Contoh Hasil Permodelan Penulangan Plat Lantai Tampak Samping

h. *TopoSolid*

TopoSolid digunakan untuk memodelkan tanah yang berada pada tengah area konstruksi. Tanah dimodelkan untuk membuat *sequencing* pekerjaan pada saat permodelan 4D. *TopoSolid* dimodelkan dengan kedalaman sesuai dengan batas galian yaitu dari elevasi +0.00 hingga -6.300. Area penggambaran disesuaikan dengan pembagian zoning pada *shopdrawing*. Pembagian *zoning* pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 5.47 dan hasil permodelan *TopoSolid* tampak samping dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut.



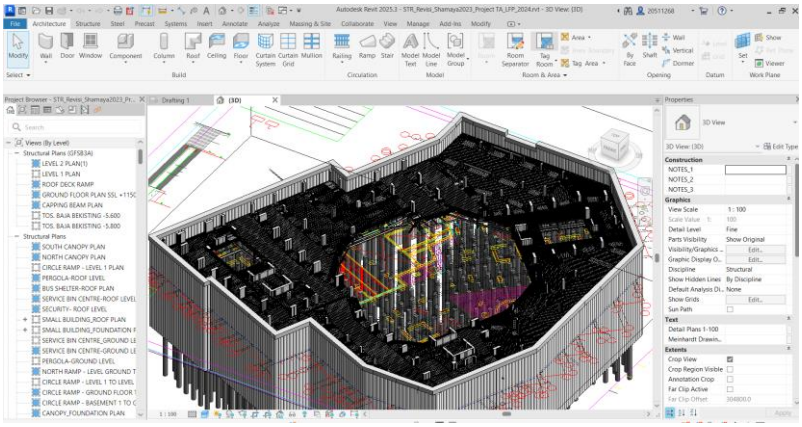
Gambar 5.47 Pembagian *Zoning* Galian *Basement* 1
(Sumber: Dokumen *Shopdrawing* Proyek)



Gambar 5.48 Hasil Permodelan *TopoSolid* Tampak Samping

i. Hasil Akhir Permodelan

Hasil akhir dari permodelan 3D merupakan gabungan dari semua komponen baik dari *structural concrete* maupun *rebar set*. Hasil dari permodelan tersebut akan dilakukan tahap akhir yaitu penyimpanan *file* dan pengambilan *non-graphical data*. *Non-Graphical data* yang dimaksud adalah *quantity volume* dari masing-masing komponen yang nantinya akan digunakan sebagai volume untuk pembuatan penjadwalan pekerjaan. Hasil akhir permodelan 3D dapat dilihat pada Gambar 5.49 sebagai berikut.

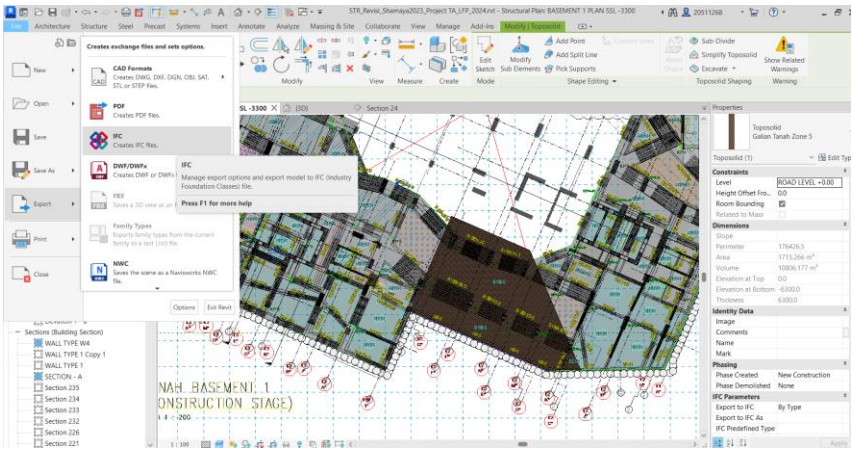


Gambar 5.49 Hasil Permodelan 3D *Basement* 1

8. Menyimpan Hasil Permodelan

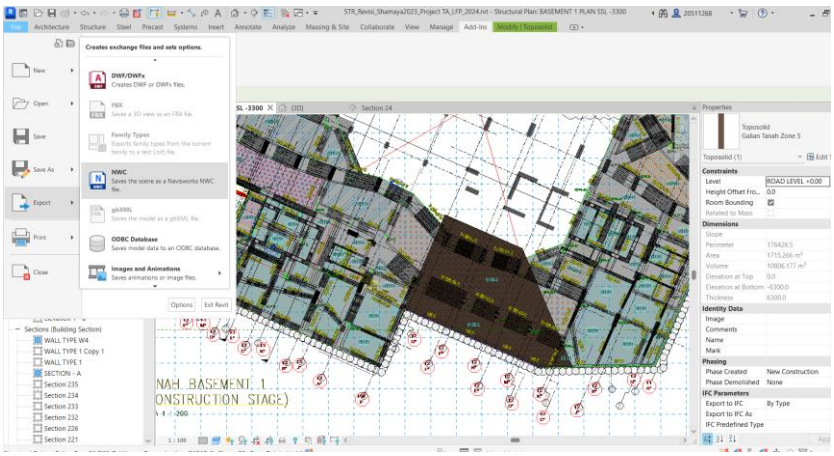
Setelah permodelan 3D pada Revit selesai dilakukan, simpan *file* dalam beberapa ekstensi untuk memudahkan penggunaan. *File* asli disimpan dalam ekstensi (.rvt) yang nantinya dapat dibuka kembali menggunakan Autodesk Revit. Ekstensi lain yang lebih umum digunakan dan dapat dibuka menggunakan

autorized software yang lain adalah IFC. Autodesk Revit telah menyediakan opsi *export* dengan ekstensi IFC sehingga tidak memerlukan tambahan instalasi *software* lainnya. Cara untuk melakukan *export file* dalam ekstensi IFC dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut.



Gambar 5.50 *Export File* ke ekstensi IFC

Penyimpanan yang lain adalah dalam format (.nwc) yang nantinya dapat digunakan untuk permodelan 4D menggunakan *software* Autodesk Naviswork. Akan tetapi pada ektensi ini memerlukan instalasi software tembahan yaitu *Autodesk Naviswork Exporters* terlebih dahulu. Jika sudah dilakukan, maka *file* dapat di-*export* kedalam (.nwc) sesuai dengan Gambar 5.51 berikut.



Gambar 5.51 *Export File* dalam Ekstensi Naviswork (.nwc)

Setelah keseluruhan tahap telah dilakukan, selanjutnya adalah pengembangan lebih lanjut terhadap model yang telah dibuat. Model tersebut dapat digunakan

untuk berbagai hal seperti dalam kegiatan proyek seperti visualisasi model pada saat presentasi, kontrool kemajuan proyek, alat inspeksi proyek, dan juga integrasi ke level BIM yang selanjutnya (4D dan 5D).

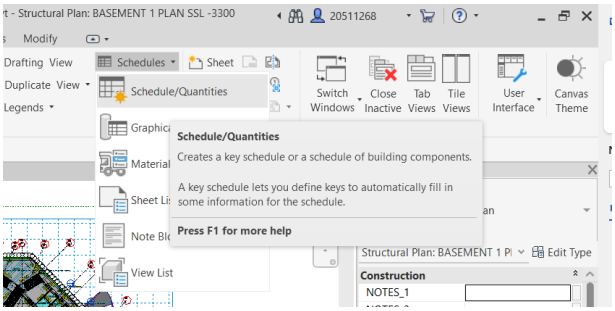
5.3.2 Analisis Data untuk Penjadwalan Pekerjaan

Data penjadwalan yang digunakan dalam proses konstruksi pada proyek pembangunan *Basement* 1 Apartemen Grand Shamaya tidak dapat diakses oleh pihak manapun selain kontraktor, konsultan pengawas, dan *owner*. Oleh karena itu, data penjadwalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah murni dibuat berdasarkan hasil *Quantity Take Off* permodelan 3D, *Schedule Pekerjaan Substructure Basement* 1 yang ada pada Dokumen *Work Methode Statement*, dan data hasil *Mapping* Lapangan pada saat melakukan Praktik Kerja Magang. Langkah-langkah untuk membuat dokumen penjadwalan adalah sebagai berikut.

1. *Quantity Take Off Volume*

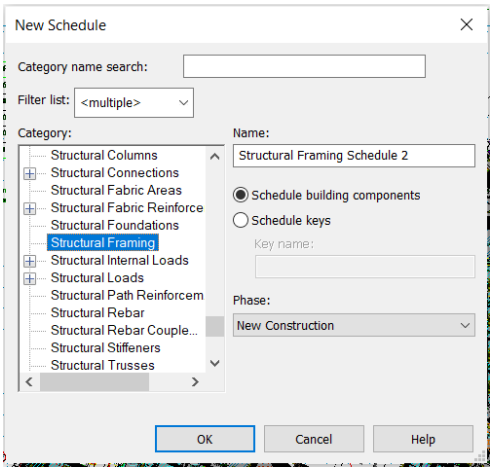
   Quantity Take Off (QTO) Volume adalah pekerjaan yang dilakukan untuk mengetahui volume suatu komponen yang telah dimodelkan secara detail. Umumnya, pekerjaan perhitungan volume ini dilakukan secara manual dengan cara menghitung luasan penampang dan juga volume perkalian aritmatik. Akan tetapi, perkembangan *Authorized Software* berbasis BIM membolehkan *modeler* untuk memperoleh informasi volume secara cepat serta akurat berdasarkan permodelan yang telah dibuat dan otomatis dapat ditarik atau di-*take off* informasi *non-graphical data* seperti volume, jenis material, dan sebagainya. Hal ini akan mengurangi kesalahan-kesalahan yang diakibatkan oleh *human error* seperti kesalahan aritmatika, pembulatan, dan sebagainya. Cara untuk memperoleh informasi volume dari masing-masing komponen adalah sebagai berikut.

   a. Pada *Tab View*, pilih *Schedules*



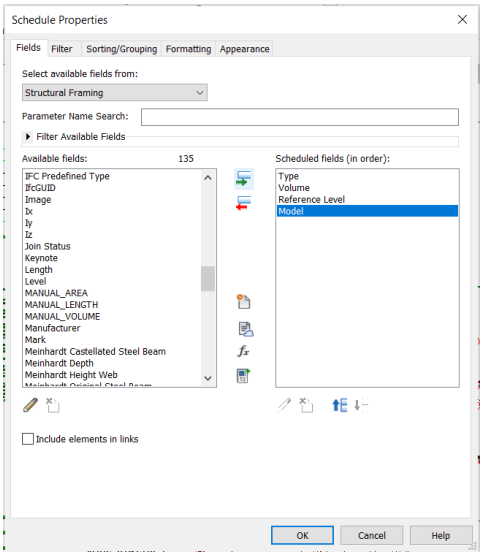
Gambar 5.52 *Tab Schedules*

b. Setelah muncul *tab New Schedule*, pilih salah satu elemen yang akan dikeluarkan volumenya. Pada tahap ini, elemen yang dapat dikeluarkan volumenya hanya satu jenis. Kemudian untuk mengeluarkan jenis lainnya ulangi keseluruhan tahapan setelah salah satu jenis sudah selesai.



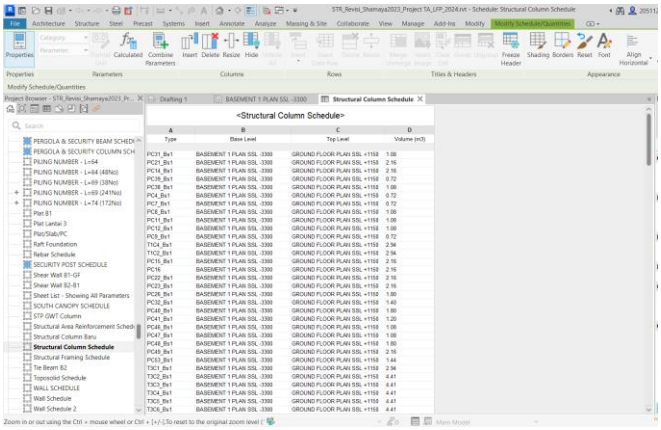
Gambar 5.53 Tab New Schedule

c. Setelah di klik Ok, akan muncul *tab Schedule Properties*. Pada tahap ini pilih beberapa parameter yang akan dimunculkan informasinya untuk memudahkan pengelompokkan volume dari masing-masing komponen seperti *Type, Name, Length, Volume, Refrence*, dll. Caranya adalah pilih parameter kemudian klik tanda panah hijau (*Add parameters*). Setelah sudah semua parameter yang di pilih, kemudian klik Ok.



Gambar 5.54 Tab Schedule Properties

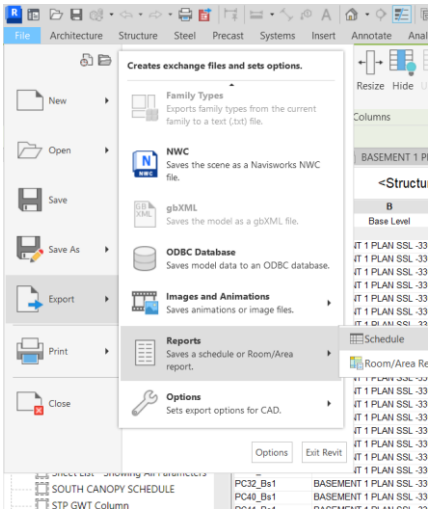
d. Setelah di klik Ok, maka akan muncul Tab Schedule baru yang siap untuk di export dalam file excel.



Gambar 5.55 Tab Hasil *Quantity Take Off Volume*

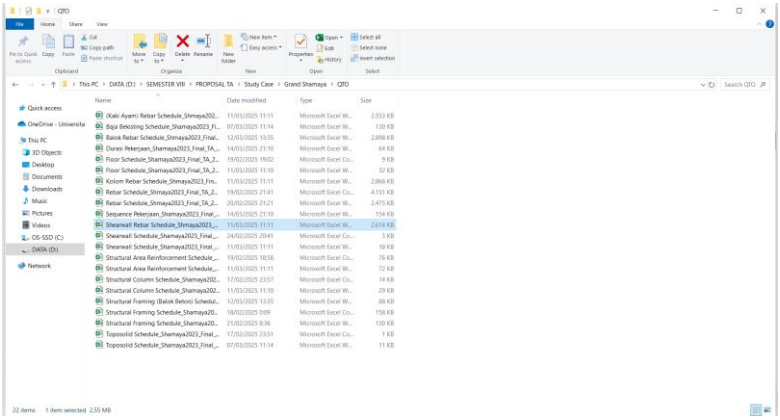
e. Lakukan keseluruhan langkah di atas untuk semua komponen yang telah dimodelkan sehingga mendapat beberapa tab *Quantity Take Off Volume*.

f. Setelah keseluruhan volume dari masing-masing elemen telah di keluarkan, export tab tersebut kedalam ekstensi microsoft excel untuk memudahkan penjumlahan volume pekerjaan. Caranya adalah klik *File>Export>Report>Schedule*. Setelah itu simpan dalam satu folder penyimpanan.



Gambar 5.56 *Export file Quantity Take Off*

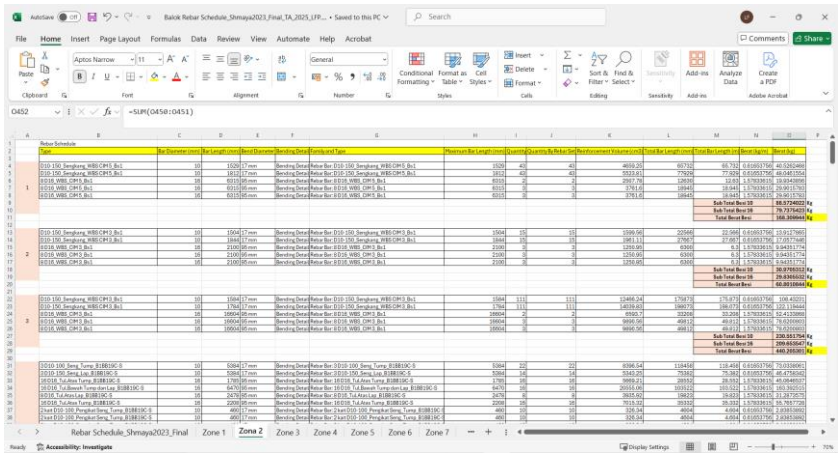
g. *File* yang ter-*export* akan mempunyai ekstensi csv sehingga harus di save as dalam ekstensi xlsx setalah dibuka menggunakan software Microsoft Excel. Hasil export disimpan dalam folder seperti Gambar 5.57 berikut.



Gambar 5.57 Folder Penyimpanan Hasil *Quantity Take Off Volume*

2. Pengelompokkan Volume Komponen

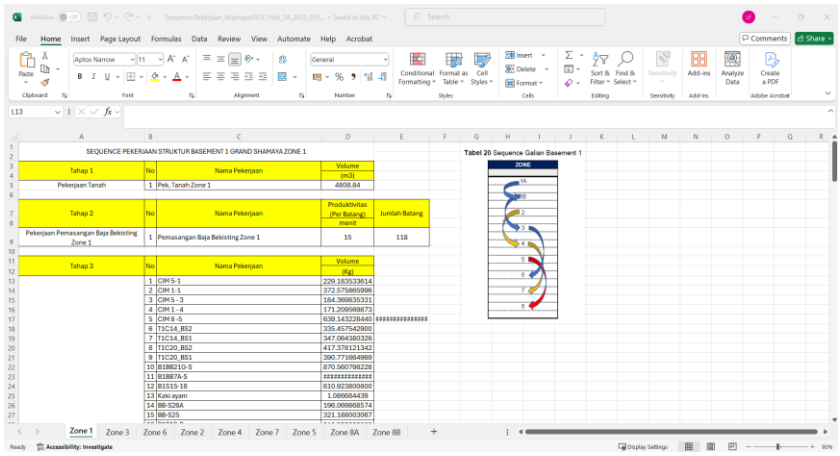
Setelah mendapatkan data volume pekerjaan, data tersebut harus di sortir berdasarkan jenis komponen dan masing-masing penamaan komponen sehingga akan didapatkan data volume untuk masing-masing komponen. Contoh hasil pengelompokkan dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut.



Gambar 5.58 Pengelompokkan Volume Komponen Pekerjaan

3. *Sequence* Pekerjaan

Setelah pengelompokkan volume dari masing-masing komponen selesai dilakukan, dilanjutkan dengan membuat urutan atau *Sequencing* pekerjaan dari masing-masing jenis pekerjaan dan masing-masing pembagian zona pekerjaan. Pembuatan *sequence* pekerjaan ini mengacu pada pembagian zona pekerjaan pada dokumen *Work Methode Statement* (WMS). Gambar 5.59 dibawah merupakan contoh dari *sequence* pekerjaan zona 1.



Gambar 5.59 *Sequence* Pekerjaan *Structure Zone* 1

4. Estimasi Durasi Pekerjaan

Proses estimasi durasi pekerjaan menggunakan beberapa dokuemen yang dijadikan sebagai acuan. Pertama dokumen Work Methode Statement (WMS) Pekerjaan Struktur Basement 1 yang terdapat *Schedule Pekerjaan Substructure Basement* 1. Selain itu terdapat beberapa tabel produktivitas sebagai acuan

dalam menjabarkan perhitungan durasi pekerjaan. Gambar *Schedule* pekerjaan dan tabel produktivitas dapat dilihat pada Gambar 5.60 dan 5.61 berikut.

7.3 Schedule Pekerjaan

Tabel 8 Schedule Pekerjaan Substructure Basement 1

SCHEDULE PEKERJAAN BASEMENT 1												
ZONE	GALIAN		BEKISTING BAJA		CHEMICAL		BEKISTING		BESI		COR	
	start	finish	start	finish	start	finish	start	finish	start	finish	start	finish
1	31-Oct-22	19-Nov-22	23-Nov-22	13-Dec-22	26-Nov-22	9-Jan-23	21-Dec-22	31-Dec-22	25-Dec-22	9-Jan-23	10-Jan-23	10-Jan-23
2	20-Nov-22	9-Dec-22	9-Mar-23	21-Mar-23	12-Mar-23	31-Mar-23	22-Mar-23	29-Mar-23	24-Mar-23	31-Mar-23	1-Apr-23	1-Apr-23
3	10-Dec-22	23-Dec-22	16-Jan-23	24-Jan-23	19-Jan-23	1-Feb-23	25-Jan-23	30-Jan-23	27-Jan-23	1-Feb-23	2-Feb-23	2-Feb-23
4	24-Dec-22	10-Jan-23	9-Mar-23	20-Mar-23	12-Mar-23	29-Mar-23	21-Mar-23	27-Mar-23	23-Mar-23	29-Mar-23	30-Mar-23	30-Mar-23
5	11-Jan-23	17-Feb-23	21-Mar-23	12-Apr-23	24-Mar-23	15-May-23	13-Apr-23	12-May-23	1-May-23	15-May-23	16-May-23	16-May-23
6	18-Feb-23	4-Mar-23	13-Apr-23	6-May-23	16-Apr-23	15-May-23	7-May-23	13-May-23	9-May-23	15-May-23	16-May-23	16-May-23
7	5-Mar-23	19-Mar-23	7-May-23	16-May-23	10-May-23	24-May-23	17-May-23	22-May-23	19-May-23	24-May-23	25-May-23	25-May-23
8	20-Mar-23	5-Apr-23	17-May-23	25-May-23	20-May-23	1-Jun-23	26-May-23	30-May-23	28-May-23	1-Jun-23	2-Jun-23	2-Jun-23
9A			11-Aug-23	15-Aug-23	14-Aug-23	21-Aug-23	16-Aug-23	19-Aug-23	18-Aug-23	21-Aug-23	22-Aug-23	22-Aug-23
9B			16-Aug-23	24-Aug-23	19-Aug-23	24-Sep-23	18-Sep-23	22-Sep-23	20-Sep-23	24-Sep-23	25-Sep-23	25-Sep-23
9C			25-Aug-23	31-Aug-23	28-Aug-23	30-Sep-23	25-Sep-23	28-Sep-23	27-Sep-23	30-Sep-23	1-Oct-23	1-Oct-23
9D			1-Sep-23	7-Sep-23	4-Sep-23	29-Jan-24	23-Jan-24	27-Jan-24	25-Jan-24	29-Jan-24	30-Jan-24	30-Jan-24

Gambar 5.60 Schedule Pekerjaan *Substructure Basement* 1 dari Dokumen *Work Methode Statement* (WMS)

7.2 Produktivitas Pekerjaan

Produktivitas untuk masing-masing pekerjaan adalah sebagai berikut:

a) Pekerjaan Galian

Tabel 2 Produktivitas Pekerjaan Galian

ZONE	VOLUME	
	GALIAN B1	
	vol (m2,m3)	durasi (han)
1A	721,24 3079,69	32
1B	194,78 831,71	4
2	895,35 3823,14	19
3	601,06 2566,53	13
4	813,71 3474,54	17
5	1709,99 7301,66	37
6	656,67 2803,98	14
7	654,93 2796,55	14
8	760,05 3245,41	16

b) Pemasangan Bekisting Baja

Tabel 3 Produktivitas Pemasangan Bekisting Baja

No.	Item Pekerjaan	Durasi	Keterangan
1	Pemotongan dengan blender	5 menit	per potongan
2	Lifting	3 menit	setiap bentang baja
3	Pengelasan	5 menit	per sambungan

Gambar 5.61 Contoh Tabel Produktivitas Pekerjaan
(Sumber: Dokumen *Work Methode Statement* PTPP Proyek Grand Shamaya, 2023)

Selain dari dokumen *Work Methode Statement*, peneliti juga menggunakan dokumen Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) dari Lampiran Keputusan

Walikota Surabaya sebagai acuan untuk membuat uraian pekerjaan dan koofisien pekerjaan. Contoh HSPK Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut.

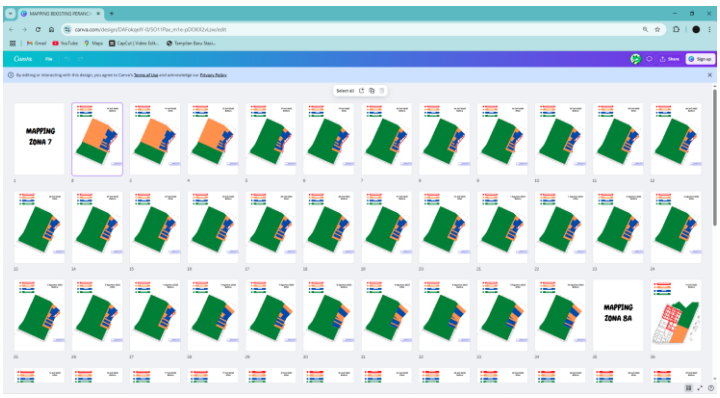
LAMPIRAN II KEPUTUSAN WALIKOTA SURABAYA
NOMOR :
TANGGAL :

HARGA SATUAN POKOK KEGIATAN (HSPK)

NOMOR	URAIAN KEGIATAN	Koef.	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
A	BANGUNAN GEDUNG				
24.01	Pekerjaan Persiapan & Tanah				
24.01.01.01	Pembuatan Bouwplank /Titik		Titik		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0045	Orang Hari	158,000.00	711.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.0100	Orang Hari	148,000.00	1,480.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.1000	Orang Hari	121,000.00	12,100.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	0.1000	Orang Hari	110,000.00	11,000.00
				Jumlah:	25,291.00
	Bahan/Material:				
20.01.01.28.04.05.F	Paku Biasa 2 - 5 inchi	0.0500	Doz	28,200.00	1,410.00
20.01.01.43.04.03.F	Kayu Meranti Usuk 4/6, 5/7	0.0120	M3	4,188,000.00	50,256.00
20.01.01.43.04.05.F	Kayu Meranti Bekisting	0.0080	M3	3,350,400.00	26,803.20
				Jumlah:	78,469.20
				Nilai HSPK :	103,760.20
24.01.01.02	Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank (UITZET)		m1		
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0.0050	Orang Hari	158,000.00	790.00
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0.0100	Orang Hari	148,000.00	1,480.00
23.02.04.01.03.F	Tukang	0.1000	Orang Hari	121,000.00	12,100.00
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	0.1000	Orang Hari	110,000.00	11,000.00
				Jumlah:	25,370.00

Gambar 5.62 Contoh HSPK Kota Surabaya

Estimasi durasi Pekerjaan juga disesuaikan dengan hasil laporan *Mapping* di Lapangan selama pelaksanaan Praktik Kerja Magang di Lokasi Konstruksi.



Gambar 5.63 Dokumen Laporan Hasil *Mapping Progress* Pekerjaan

Setelah mengacu pada beberapa dokumen proyek, estimasi durasi pekerjaan dilakukan pada software microsoft excel dengan uraian masing-masing pekerjaan. Contoh perhitungan durasi pekerjaan adalah sebagai berikut.

1. Pekerjaan Pembesian Zona 8B item Pembesian 1 - 9
   a. Volume Pekerjaan = 5784,597 kg

b. Produktivitas pemotongan dan pemasangan besi = 60 menit/100 kg/pekerja

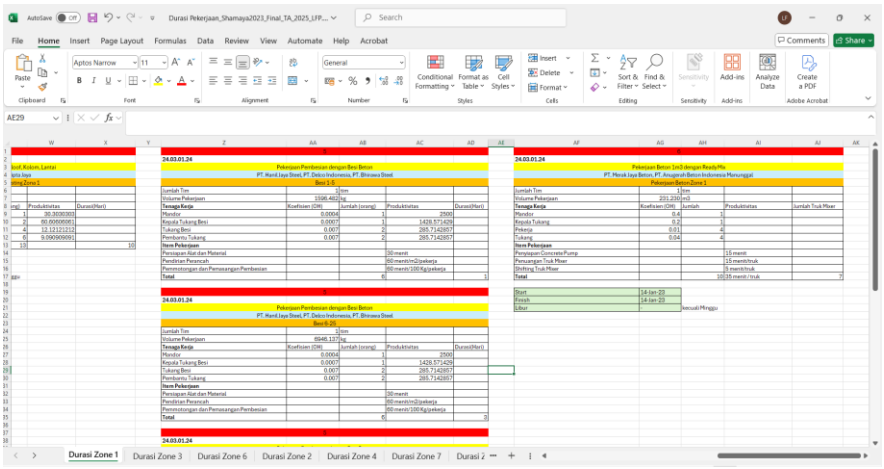
c. Jumlah pekerja = 8 orang

d. Durasi $= \left(\frac{\frac{volume}{100\ kg}\ x\ 60\ menit}{\frac{jumlah\ pekerja}{jam\ kerja\ x\ 60\ menit}} \right)$

$= \left(\frac{\frac{8915{,}160}{100\ kg}\ x\ 60\ menit}{\frac{4}{8\ x\ 60\ menit}} \right)$

= 3 hari

Rekapitulasi perhitungan keseluruhan durasi pekerjaan disusun menggunakan bantuan Microsoft Excel seperti pada Gambar 5.64 dibawah.



Gambar 5.64 Perhitungan Durasi Pekerjaan

Dalam rekap hasil perhitungan durasi pekerjaan tersebut kemudian di plot pada kalender pekerjaan sehingga untuk start pekerjaan, finish pekerjaan, dan libur pekerjaan dapat diketahui sehingga mempermudah nantinya pada permodelan pada Microsoft Project. Tahap tersebut dilakukan untuk keseluruhan pekerjaan mulai dari pekerjaan galian tanah, pekerjaan baja bekisting, pekerjaan chemical rebar, pekerjaan bekisting, pekerjaan pembesian, dan pekerjaan pengecoran serta untuk keseluruhan zona pekerjaan.

5.3.3 Analisis Penjadwalan Menggunakan *Software* Microsoft Project

Perencanaan jadwal menggunakan bantuan *Software* Microsoft Project merupakan hal yang sangat umum dilakukan pada proyek konstruksi, karena dengan akan sangat memudahkan peninjauan jadwal rencana pelaksanan pekerjaan. Selain itu, file yang dihasilkan oleh Microsoft Project dengan format (.mpp) dapat diintegrasikan dengan beberapa *software* pendukung lainnya sehingga penerapan BIM akan mencapai tahap lebih lanjut. Berikut merupakan urutan langkah-langkah dalam analisis penjadwalan menggunakan Microsoft Project.

1. Membuka Perangkat Lunak Microsoft Project

   Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuka *software* Microsoft Project. Pada penelitian ini menggunakan *software* dengan versi Microsoft Project 2019 *Profesional Edition*.

2. Mengatur Jam Kerja dan Hari Libur

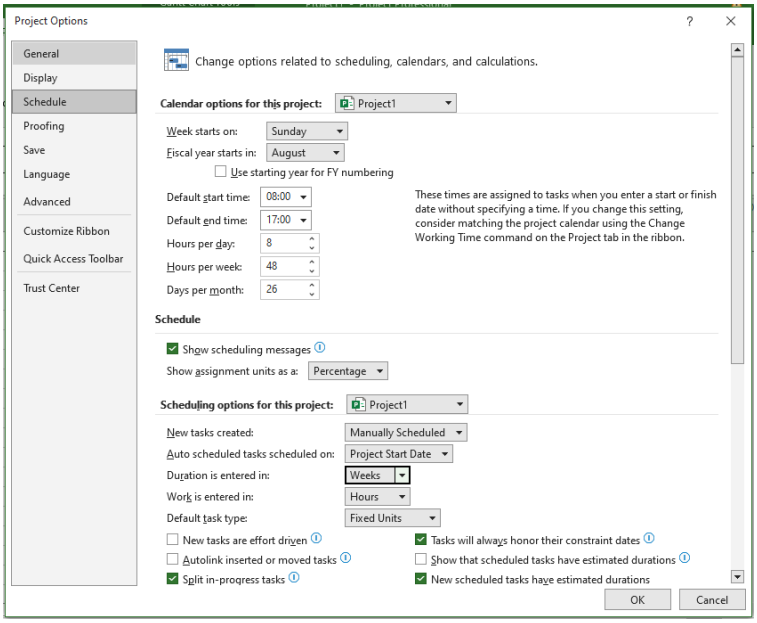
   Untuk mengatur jam kerja proyek dan menentukan hari libur adalah dengan klik menu "*project*" pada *toolbar,* kemudian klik "*change work time*" dan "*project option*". Pengaturan waktu kerja dan hari libur disesuaikan dengan kondisi proyek masing-masing. Pengaturan waktu kerja dan hari libur pada Proyek Grand Shamaya adalah sebagai berikut.

   Mengatur *calender option*:

   a. *Week start on* : *Sunday*
   b. *Fiscal year start in* : *October*
   c. *Default start time* : 8.00 AM atau 08.00
   d. *Default end time* : 5.00 PM atau 17.00
   e. *Hours per day* : 8 Jam
   f. *Hours per week* : 48 Jam (6 hari kerja)
   g. *Days per mounth* : 26 Hari

   Mengatur *scheduling option*:

   a. *Duration is entered in* : *Days*
   b. *Work is entered in* : *Hours*
   c. *Default task type* : *Fixed units*



Gambar 5.65 Mengatur *Project Option*

Selanjutnya, klik "*Ok*". Kembali pada *tab change work time*, langkah selanjutnya adalah mengatur hari libur nasional dan cuti bersama. Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya dijawalkan mulai pada tanggal 31 Oktober 2022. Sehingga pada penelitian ini, pengaturan hari libur nasional dan cuti bersama mengacu pada kalender tahun 2022 dan 2023. Data *input* hari libur nasional dan cuti bersama dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

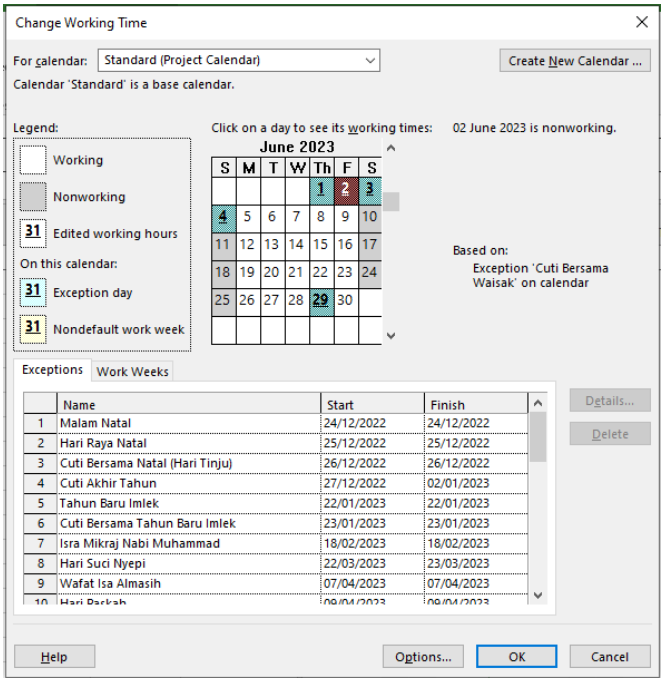
Tabel 5.2 Hari Libur Nasional dan Cuti Bersama 2022 – 2023

No	Hari Libur Nasional/Cuti Bersama	Mulai	Akhir
1	Malam Natal	24/12/2022	24/12/2022
2	Hari Raya Natal	25/12/2022	25/12/2022
3	Cuti Bersama Natal (Hari Tinju)	26/12/2022	26/12/2022
4	Cuti Akhir Tahun	27/12/2022	02/01/2023
5	Tahun Baru Imlek	22/01/2023	22/01/2023
6	Cuti Bersama Tahun Baru Imlek	23/01/2023	23/01/2023
7	Isra Mikraj Nabi Muhammad	18/02/2023	18/02/2023
8	Hari Suci Nyepi	22/03/2023	22/03/2023
9	Wafat Isa Al Masih	07/04/2023	07/04/2023

10	Hari Paskah	09/04/2023	09/04/2023
11	Cuti Bersama Idul Fitri 1444 H	19/04/2023	25/04/2023
12	Hari Buruh Internasional/Pekerja	01/05/2023	01/05/2023
13	Kenaikan Isa Al Masih	18/05/2023	18/05/2023
14	Hari Lahir Pancasila	01/06/2023	01/06/2023
15	Cuti Bersama Waisak	02/06/2023	02/06/2023
16	Idul Adha (Lebaran Haji)	29/06/2023	29/06/2023

(Sumber: Kalender Libur Nasional dan Cuti Bersama 2023)

Setelah mendapatkan data hari libur nasional dan cuti bersama, kemudian meng-input data tersebut pada tabel "*Name*" dan tanggal libut pada "*Start*" dan "*Finish*" untuk menu *exceptions* dapat dilihat pada Gambar 5.66 berikut.



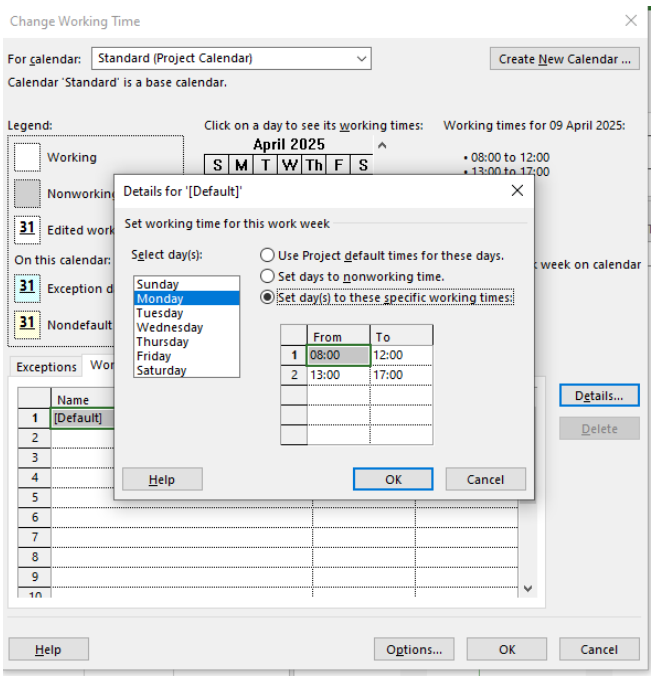
Gambar 5.66 Mengatur Hari Libur Nasional dan Cuti Bersama

Setelah melakukan pengaturan hari libur nasional dan cuti bersama, langkah selanjutnya adalah mengatur jam kerja per hari pada menu *work weeks*. Pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya, jam kerja lapangan dan waktu istirahat adalah sebagai berikut.

a. Senin – Kamis : 08.00 – 12.00 dan 13.00 – 17.00

b. Jum'at : 08.00 – 11.00 dan 13.00 – 17.00

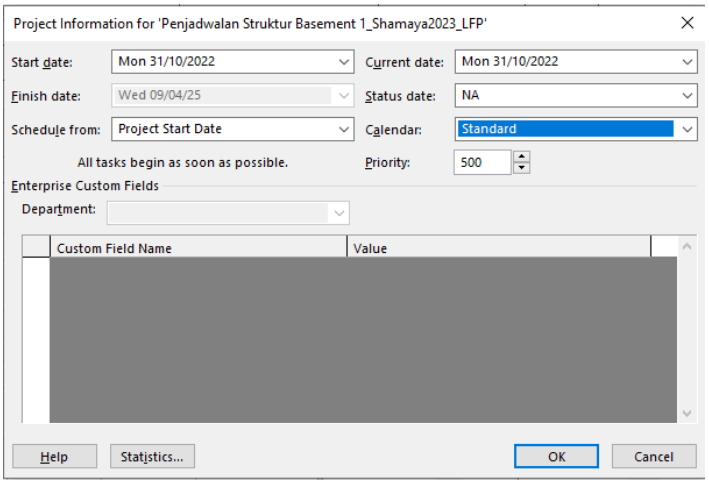
c. Sabtu : 08.00 – 12.00 dan 13.00 – 17.00



Gambar 5.67 Mengatur *Work Weeks* Proyek

3. Mengatur Tanggal Awal Pelaksanaan Proyek

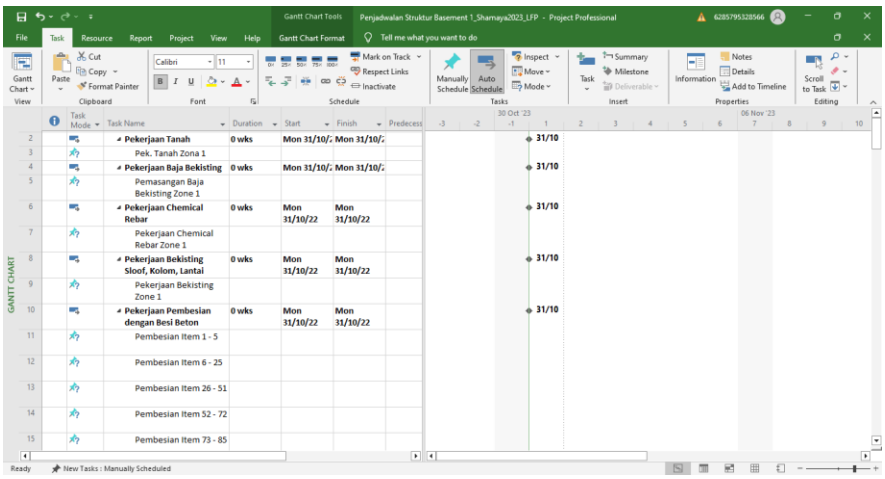
Pada *toolbar* "*project*" klik "*project information*", kemudian atur pada *start date working* dan *current date* sesuai dengan waktu pelaksanaan proyek dimulai. Pada penelitian ini, tanggal dimulainya pelaksanaan proyek adalah pada tanggal 31 Oktober 2022, kemudian klik "*Ok*".



Gambar 5.68 Mengatur Tanggal Awal Pelaksanaan

4. *Input* Uraian Pekerjaan

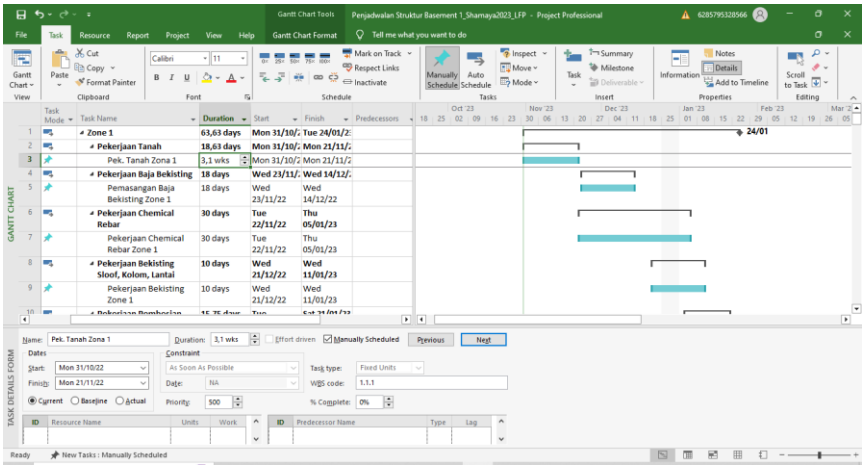
   Memasukkan daftar uraian pekerjaan dari data *time schedule* studi kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya kedalam Microsoft Project. Daftar uraian pekerjaan yang dimasukkan pada tabel *task name* sesuai dengan urutan pekerjaan pada dokumen *Work Method Statement*. *Input* Uraian Pekerjaan dilakukan pada tabel *task name* dengan urutan yang telah disesuaikan penomoran pada Microsoft Project.



Gambar 5.69 *Input* Uraian Pekerjaan

5. *Input* Durasi Pekerjaan

   Memasukkan durasi untuk setiap pekerjaan dari data *time schedule* Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Dalam penelitian ini, pihak owner dan kontraktor tidak mengizinkan untuk dapat menggunakan data *time schedule*. Sehingga durasi dari masing-masing pekerjaan didapatkan dari hasil perhitungan produktivitas pekerjaan yang diperoleh dari *modeling* 3D yang sudah dilakukan. Selain itu, penentuan durasi juga didasarkan pada *schedule* pekerjaan yang ada pada dokumen *Work Method Statement* (WMS) dan juga hasil *Mapping progress* pekerjaan selama menjalankan Praktik Kerja Magang. *Input* durasi pekerjaan pada software Microsoft Project dapat dilihap pada Gambar 5.70 sebagai berikut.



Gambar 5.70 *Input* Durasi Pekerjaan

6. *Input* Hubungan Keterkaitan Antar Pekerjaan (*Predecessor*)

Langkah yang terakhir adalah mendeskrepsikan hubungan keterkaitan antar pekerjaan (*Predecessor*) dalam Microsoft Project. Hubungan keterkaitan antar pekerjaan terdiri dari *Finish to Start* (FS), *Start to Start* (SS), *Finish to Finish* (FF), dan *Start to Finish* (SF), untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada BAB III, sub 3.2.1 mengenai Penjadwalan.

Dalam menentukan *predecessor,* harus dilakukan analisa mengenai keterkaitan antar pekerjaan. Analisa berupa pemahaman akan bagaimana suatu pekerjaan akan mempengaruhi pekerjaan lainnya dan begitu juga sebaliknya dengan mempertimbangkan urutan logis setiap pekerjaan sesuai dengan metode pelaksanaan yang telah ditetapkan. Hasil analisis penentuan uraian pekerjaan, durasi pekerjaan, dan keterkaitan antar pekerjaan pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Uraian, Durasi, dan Hubungan Keterkaitan Antar Pekerjaan

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (Days)	Predecessor
1	**Zona 1**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
3	Pek. Tanah Zona 1	18	-
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		

5	Pemasangan Baja Bekisting Zone 1	18	3FS + 1 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
7	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 1	30	5SS – 1 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
9	Pekerjaan Bekisting Zone 1	10	5FS + 4 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
11	Pembesian Item 1 – 5	1	7FS – 2 days
12	Pembesian Item 6 – 25	3	11FS – 0,5 days
13	Pembesian Item 26 – 51	4	12FS + 1 days
14	Pembesian Item 52 – 72	4	13FS – 0,5 days
15	Pembesian Item 73 – 85	2	14FS + 1 days
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
17	Pengecoran Zone 1	1	15FS + 1 days
2	**Zona 3**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
20	Pek. Tanah Zona 3	17	5FS – 4 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
22	Pemasangan Baja Bekisting Zone 3	8	14SS + 3 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
24	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 3	11	22SS + 3 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
26	Pekerjaan Bekisting Zone 3	5	22FS – 2 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
28	Pembesian Item 1 – 6	1	26FS – 1 days

29	Pembesian Item 7 – 29	4	28
30	Pembesian Item 30 – 51	4	29FS +1 days
31	Pembesian Item 52 – 63	2	30
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
33	Pengecoran Zone 3	1	31FS + 2 days
3	**Zona 6**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
36	Pek. Tanah Zona 6	13	33FS + 2 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
38	Pemasangan Baja Bekisting Zone 6	24	66FS + 2 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
40	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 6	11	38SS + 2 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
42	Pekerjaan Bekisting Zone 6	6	38FS – 1 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
44	Pembesian Item 1 – 7	3	42FS + 1 days
45	Pembesian Item 8 – 38	4	44
46	Pembesian Item 39 – 61	2	45
47	Pembesian Item 62 – 73	2	46FS + 1 days
48	Pembesian Item 74 – 92	5	47
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
50	Pengecoran Zone 6	1	48FS + 2 days
4	**Zona 2**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
53	Pek. Tanah Zona 2	20	3FS – 1 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
55	Pemasangan Baja Bekisting Zone 2	12	36FS + 1 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		

57	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 2	13	55SS + 4 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
59	Pekerjaan Bekisting Zone 2	8	55FS + 2 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
61	Pembesian Item 1 – 7	1	59SS + 5 days
62	Pembesian Item 8 – 38	4	61SS
63	Pembesian Item 39 – 61	4	62SS + 2 days
64	Pembesian Item 62 – 73	2	63
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
66	Pengecoran Zone 2	1	64FS + 2 days
5	**Zona 4**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
69	Pek. Tanah Zona 4	18	11SS
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
71	Pemasangan Baja Bekisting Zone 4	11	55SS
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
73	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 4	13	71SS + 4 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
75	Pekerjaan Bekisting Zone 4	6	73FS – 3 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
77	Pembesian Item 1 – 36	4	75FS + 1 days
78	Pembesian Item 37 – 54	3	77
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
80	Pengecoran Zone 4	1	78FS + 3 days
6	**Zona 7**		
a	**Pekerjaan Tanah**		

83	Pek. Tanah Zona 7	14	71SS – 2 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
85	Pemasangan Baja Bekisting Zone 7	9	80FS + 7 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
87	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 7	13	85FS – 2 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
89	Pekerjaan Bekisting Zone 7	6	8FS + 7 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
91	Pembesian Item 1 – 9	1	89FS – 1 days
92	Pembesian Item 10 – 39	5	91
93	Pembesian Item 40 – 58	1	92FS + 1 days
94	Pembesian Item 59 – 90	3	93
95	Pembesian Item 91 – 103	2	94FS + 1 days
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
97	Pengecoran Zone 7	1	95FS + 2 days
7	**Zona 5**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
100	Pek. Tanah Zona 5	39	20Fs + 3 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
102	Pemasangan Baja Bekisting Zone 5	22	71
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
104	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 5	19	102SS + 2 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
106	Pekerjaan Bekisting Zone 5	19	102FS – 50%
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		

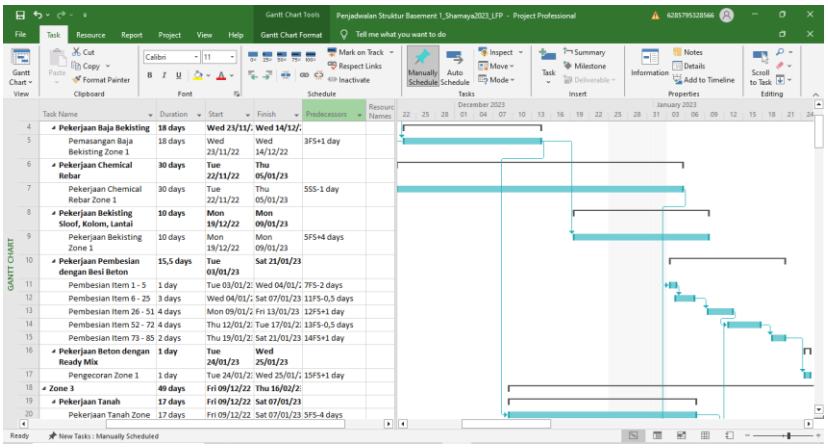
108	Pembesian Item 1 – 39	6	106FS – 6 days
109	Pembesian Item 40 – 60	5	108FS + 1 days
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
111	Pengecoran Zone 5	1	109FS + 3 days
8	**Zona 8A**		
a	**Pekerjaan Tanah**		
114	Pek. Tanah Zona 8A	17	83FS – 3 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
116	Pemasangan Baja Bekisting Zone 8A	9	85FS + 1 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
118	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 8A	13	116SS + 3 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
120	Pekerjaan Bekisting Zone 8A	5	118FS – 1 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
122	Pembesian Item 1 – 9	2	120
123	Pembesian Item 10 – 39	4	122FS + 1 days
124	Pembesian Item 40 – 58	3	123
125	Pembesian Item 59 – 90	3	124
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
127	Pengecoran Zone 8A	1	125FS + 3 days
9	**Zona 8B**		

a	**Pekerjaan Tanah**		
130	Pek. Tanah Zona 8B	10	83FS + 1 days
b	**Pekerjaan Baja Bekisting**		
132	Pemasangan Baja Bekisting Zone 8B	6	118SS + 1 days
c	**Pekerjaan Chemical Rebar**		
134	Pekerjaan Chemical Rebar Zone 8B	10	132FS + 2 days
d	**Pekerjaan Bekisting, Sloof, Kolom, Lantai**		
136	Pekerjaan Bekisting Zone 8B	3	134FS + 1 days
e	**Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton**		
138	Pembesian Item 1 – 9	2	125
139	Pembesian Item 10 – 39	3	138
f	**Pekerjaan Beton dengan Ready Mix**		
141	Pengecoran Zone 8B	1	139FS + 3 days

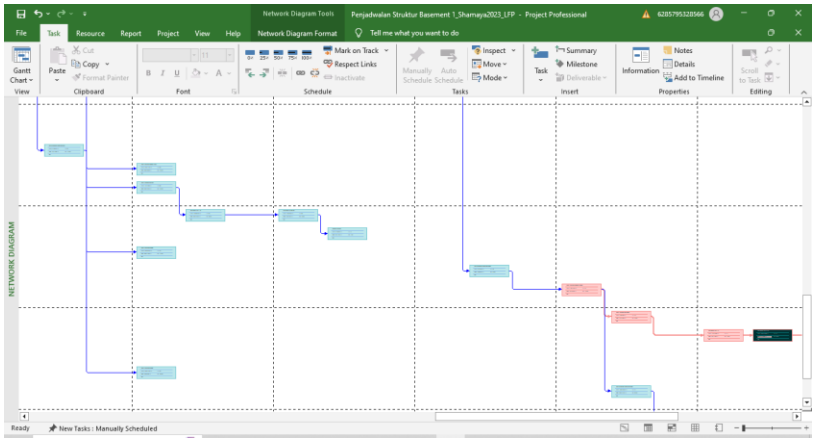
Input predecessor dalam Microsoft Project dilakukan pada tabel *predecessor* sesuai dengan pekerjaan yang telah disesuaikan penomorannya. Setelah *input predecessor* untuk setiap pekerjaan, Microsoft Project akan secara otomatis memberikan hasil waktu pelaksanaan, hari libur nasional, durasi pekerjaan, dan predecessor yang telah di-*input*-kan sebelumnya.

Setelah dilakukan analisis penjadwalan menggunakan bantuan software Microsoft Project dengan file format (.mpp) didapatkan total durasi 255 hari kalender atau 99 minggu dengan waktu pelaksanaan dimulai pada tanggal 31 Oktober 2022 hingga 13 Juli 2023 dimana waktu yang diperoleh tersebut terdapat perbedaan dengan rencana penjadwalan proyek bahwa rencana pelaksanaan konstruksi Basement 1 dijadwalkan dari tanggal 31 Oktober 2022 hingga 2 Juni

2023 atau selama 214 hari. Perbedaan rencana penjadwalan sebesar 41 hari. Perbedaan dimungkinkan dari hasil analisis yang tidak menggunakan data penjadwalan asli proyek, melainkan hasil analisis dari *modeling*, penjadwalan, dan penyesuaian dengan *schedule* pada dokumen WMS. Selain itu, penjadwalan yang dilakukan pada penelitian ini memiliki batasan yaitu hanya pada pekerjaan struktural basement 1 *ring* (minus *void*). Hasil input hubungan hasil pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 5.71 dan 72 sebagai berikut.



Gambar 5.71 Input Hubungan Antar Pekerjaan



Gambar 5.72 Tampilan *Network Diagram*

Data atau diagram penjadwalan dalam *software* Microsoft Project tersebut selanjutnya sudah dapat digunakan sebagai salah satu alat kontrol proyek karena setiap pekerjaan yang ada telah didefinisikan dalam suatu diagram jadwal interaktif, sehingga waktu pelaksanaan baik perencanaan maupun pelaksanaan dapat terkontrol lebih mudah. Selain itu data penjadwalan tersebut juga dapat digunakan

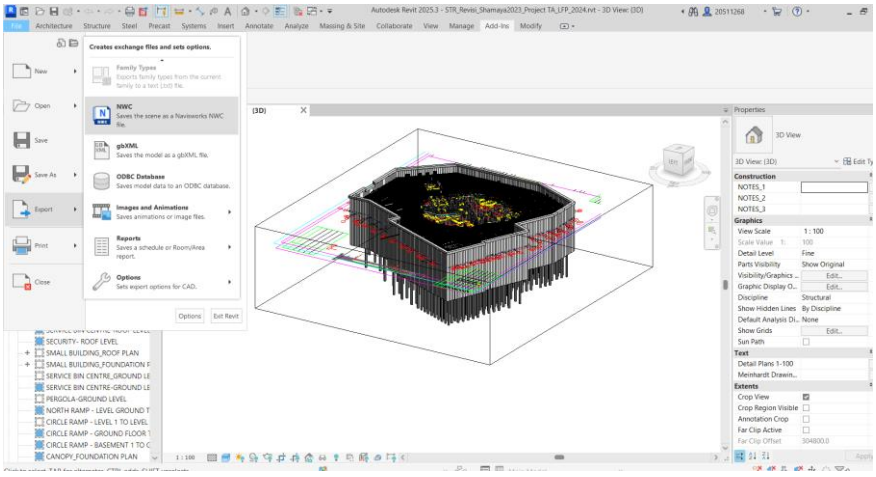
sebagai salah satu sumber data dalam pengolahan BIM 4D yang akan dilakukan pada poin selanjutnya.

5.3.4 Integrasi Data untuk Permodelan 4D *Schedule Simulation*

Integrasi data pada permodelan 4D *Schedule Simulation* adalah penggabungan antara data hasil dari 3D modeling yang di koneksikan dengan analisis hasil penjadwalan. Penggabungan data dilakukan dengan menggunakan *Schedule Simulation* untuk menghasilkan visualisasi proyek sesuai dengan rencana jadwal yang telah ditentukan. Hasil dari visualisasi jadwal pekerjaan tersebut akan memudahkan pemantauan kemajuan proyek secara *real-time,* serta dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi masalah baik dari segi jadwal pekerjaan maupun tumbukan antar elemen/*clash detection*. Langkah untuk melakukan integrasi data dalam pembuatan 4D *schedule simulation* adalah sebagai berikut.

1. *Export* file model 3D

   Langkah pertama yang dilakukan adalah meng-*export* file hasil permodelan kedalam ekxtensi yang *support* terhadap aplikasi yang akan digunakn dalam 4D *schedule modeling*. Untuk ekstensi yang umum digunakan adalah dengan format (.ifc). sedangkan jika menggunakan Autodesk Naviswork, maka file harus disimpan dengan ekstensi *Naviswork Cache* (.nwc).



Gambar 5.73 Export file Model 3D ke ekstensi Naciswork (.nwc)

2. Membuka *Software* Autodesk Naviswork

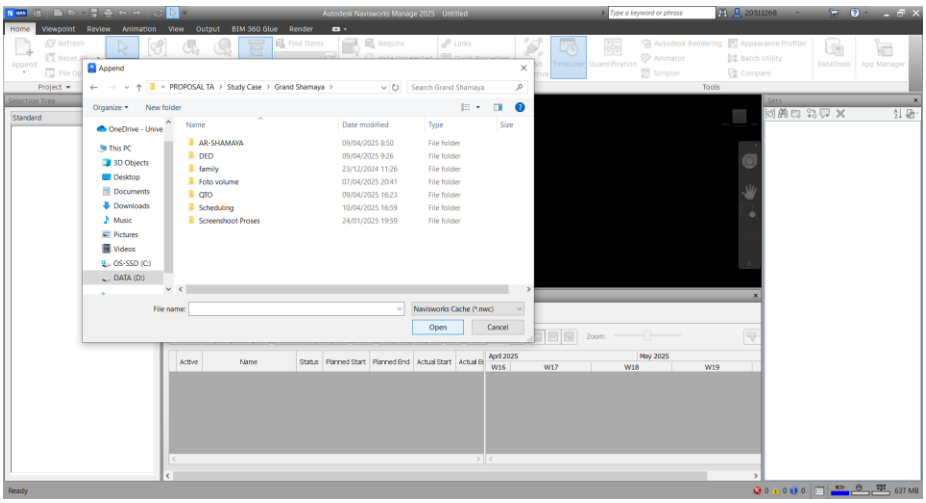
Membuka *software* Autodesk Naviswork, pada penelitian ini menggunakan *software* dengan versi Autodesk Naviswork 2025 dengan menggunakan lisensi *student version*.



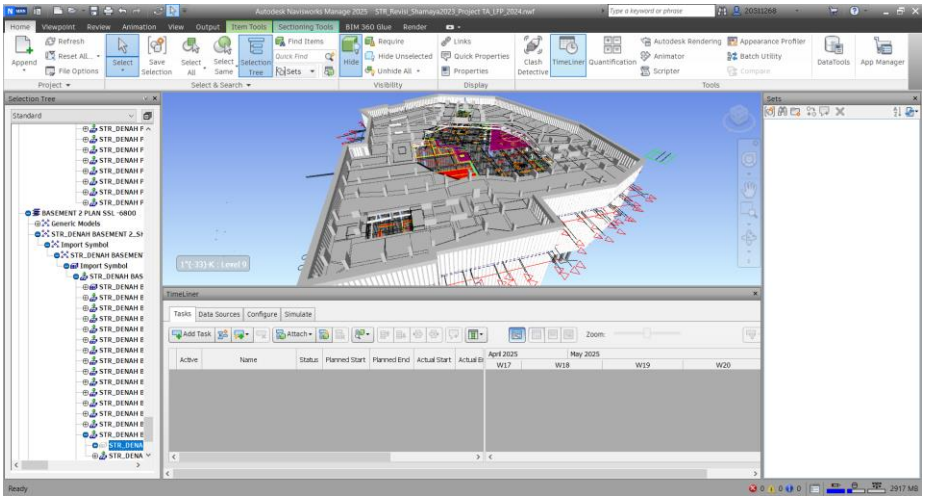
Gambar 5.74 Membuka Software Autodesk Naviswork 2025

3. Input Data Permodelan 3D dari Autodesk Revit

   File hasil permodelan 3D dari *authorized software* yang pada kali ini menggunakan Autodesk Revit yang telah di-*export* dengan ekstensi (.nwc) di *input*-kan ke dalam Autodesk Naviswork. Cara *input* data dengan cara klik *tools append* pada *toolbar home* dan memilih file yang akan dimasukkan.



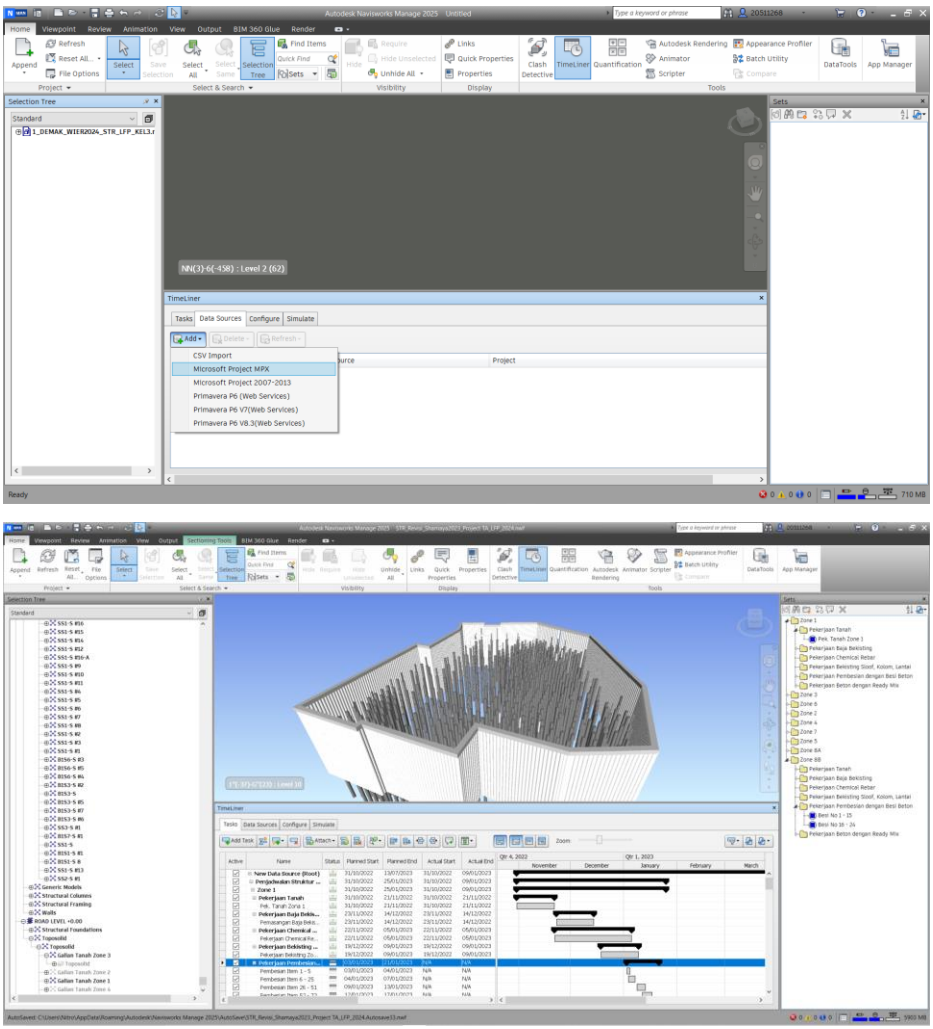
Gambar 5.75 *Input* File 3D Model ke Naviswork



Gambar 5.76 3D Model dalam Naviswork

4. *Input* Data Penjadwalan dari Microsoft Project ke Naviswork

   Data penjadwalan yang telah diolah menggunakan bantuan *software* Mirosoft Project dapat diintegrasikan dengan model 3D dalam *software* penjadwalan. Ekstensi data penjadwalan yang dapat di-*input*-kan pada permodelan menggunakan *software* Autodesk Naviswork adalah Microsoft Project MPX, Microsoft Project 2007 – 2013, Primavera P6, dan CSV Import. Data penjadwalan di *import* dengan klik pada *toolbar timeliner* (tampilan *tab timeliner*) pada menu *data source*, klik *add* menggunakan pilihan jenis file Microsoft Project klik open. Setelah data Microsoft Project dimasukkan pada *data source*, kemudian klik *refresh* memilih *rebuild task hierarchy* untuk mensinkronkan data penjadwalan.



Gambar 5.77 Input Data Penjadwalan ke Naviswork

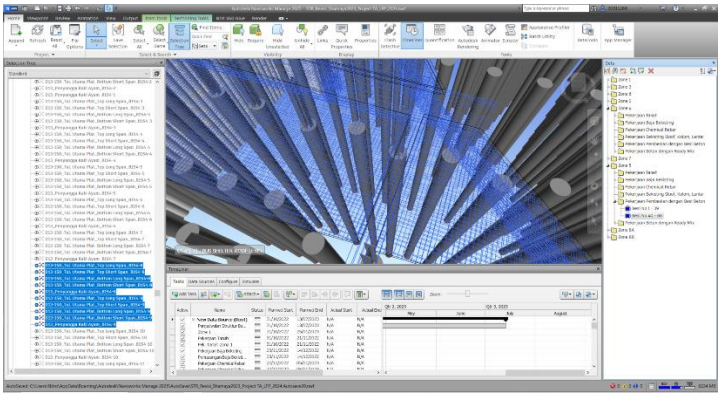
5. Membuat Konektivitas Data Penjadwalan dengan Model 3D

   Setelah memasukkan data model 3D dan juga hasil analisis penjadwalan, perlu dilakukan sinkronisasi antar kedua data tersebut agar saling terintegrasi satu sama lain dengan uraian pekerjaan dalam model 3D. langkah dalam proses pengintegrasian data tersebut adalah sebagai berikut.

   a. Kelompok *Item* Permodelan

      Untuk meghubungkan data penjadwalan dengan uraian pekerjaan pada model 3D, perlu dilakukan pengelompokkan pekerjaan sesuai dengan urutan pekerjaan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam pengelolaan perubahan atau perbaikan data. Untuk mengelompokkan *item* pekerjaan sesuai dengan uraian pekerjaan adalah dengan cara *klik* pada

tools sets pada *toolbar home*, buat folder dan sesuaikan dengan uraian pekerjaan menurut dokumen *Work Method Statement* (WMS). Pemberian nama pada setiap *sets* harus sama dengan dengan uraian pekerjaan pada dokumen penjadwalan, hal tersebut dimaksudkan agar mempermudah ketika melakukan *attach* atau konektivitas data.



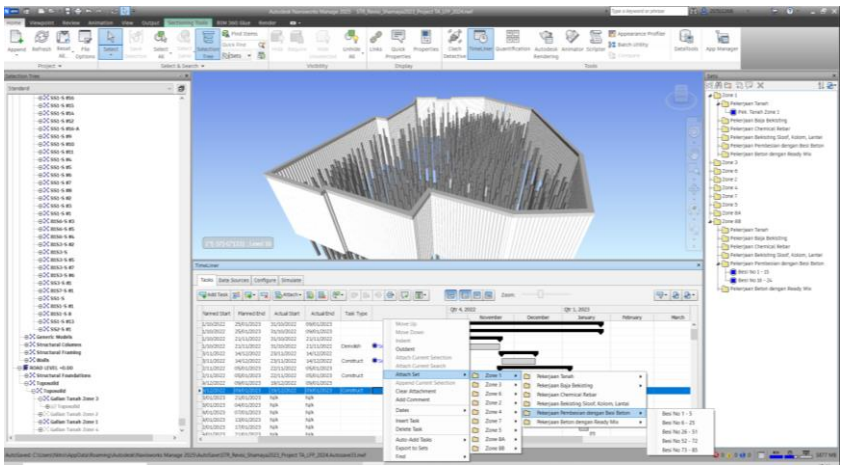
Gambar 5.78 Pengelompokan *Item* Model sesuai dengan Uraian Pekerjaan

b. *Auto Attach*

Setelah masing-masing dari uraian pekerjaan dikelompokkan dalam folder stes sesuai dengan urutan pekerjaan, data dihubungkan dengan model 3D dengan menggunakan *tools auto-attach using rules* pada menu *timeliner*. Hal tersebut dilakukan untuk menghubungkan antara *folder sets* yang telah di buat dengan uraian pekerjaan pada dokumen penjadwalan dengan catatan nama dari uraian pekerjaan pada *folder sets* dan dokumen penjadwalan dibuat sama.

c. Hubungkan Penjadwalan dengan Model 3D (*Attached*)

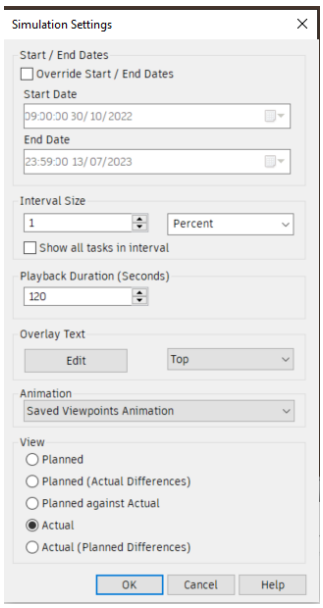
Setelah dilakukan penghubungan (*attached*) antara data penjadwalan dengan model 3D, lakukan pengecekan kesesuaian pada hubungan jadwal dengan model dan pastikan bahwa semua uraian pekerjaan dengan model 3D telah terhubung. Setelah semua terhubung, ubah *task type* pada tab penjadwalan ke *construct* agar model dapat dimunculkan pada visualisasi penjadwalan.



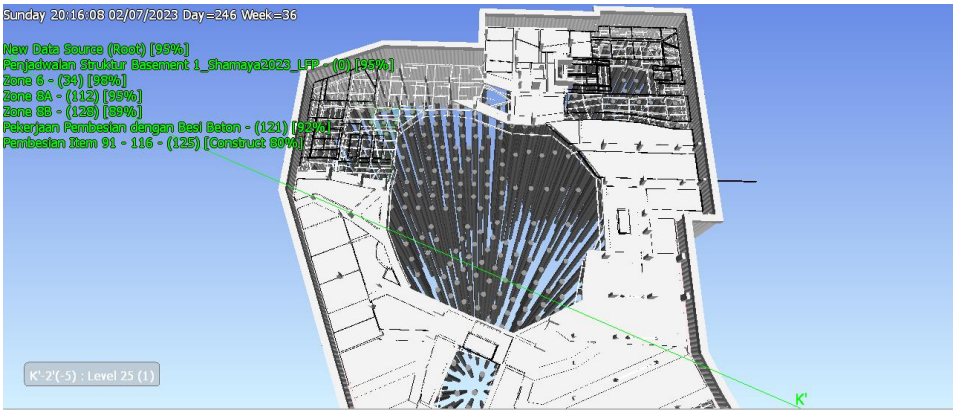
Gambar 5.79 *Attatch Sets Models* dengan Penjadwalan

6. Membuat Animasi *Schedule Simulation*

   Langkah terakhir dalam pembuatan *Schedule Simulation* adalah membuat visual animasi dari permodelan yang telah kita lakukan pada langkah sebelumnya. Pembuatan *visual sceduling* dilakukan pada *tab timeliner section simulate*. Cara nya adalah dengan mengatur *simulation setting* untuk *start/end dates* pada waktu pelaksanaan project, *playback duration* (s), *overlay text* untuk menampilkan keterangan pada *visual scheduling*, dan *view* untuk tampilan *project*. Dalam program Naviswork, akan secara otomatis terhubung dengan data penjadwalan yang telah dibuat, sehingga pada pengaturan *start/end dates* akan terhubung dengan data penjadwalan. Terakhir adalah penyimpanan file dengan klik *animation export* dan memilih format file (.avi) dan tentukan *frame rate* dari kualitas *visual scheduling* yang diinginkan.



Gambar 5.80 Pengaturan *Visual Simulation*



Gambar 5.81 Hasil Permodelan 4D *Visual Simulation*

Setelah model 4D *simulation* berhasil dijalankan, hal tersebut menandakan bahwa proses pengintegrasian model 3D dengan rencana penjadwalan telah selesai. Pada visual *simulation*, dapat dilihat berbagai informasi dari perencanaan yaitu tekait hari dan tanggal pada saat itu, jumlah hari dari pelaksanaan pekerjaan, dan jumlah minggu berjalan. Selain itu, presentase dari masing-masing progres pekerjaan juga dapat dilihat pada tampilan sehingga memungkinkan untuk kontrol rencana pekerjaan dan pekerjaan berjalan pada suatu hari tertentu pada setiap elemen pekerjaan.

5.4 *Augmented Reality* (AR)

5.4.1. Observasi Kondisi *Eksisting* Proyek

Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement* Podium Fase 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya memulai tahap pelaksanaan konstruksi pada bulan Agustus 2022 dan direncanakan selesai pada bulan Maret tahun 2025. PTPP Persero Tbk, selaku kontraktor utama beserta PT Ciria Jasa CM Gedung selaku konsultan pengawas pada fase 1 ini membangun struktur *basement*, lantai podium dan Tower Aubrey.



Gambar 5.82 Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement* Podium fase 1 dan Tower Aubrey Grand Shamaya *Actual Progress*
(Dokumentasi Proyek, 2023)

Pada saat proses penelitian dilakukan bulan Desember 2024, pelaksanaan konstruksi proyek berstatus *Cut Off* dari akhir tahun 2023. Sehingga pelaksanaan *site inspection* berbasis *Augmented Reality* tidak dapat dilaksanakan pada saat proses pekerjaan masih berlangsung. Oleh karena itu, tinjauan *site inspection* dilakukan pada kondisi aktual terakhir yang ada pada saat penelitian dilakukan. Survey kondisi *eksisting* dilakukan untuk menganalisa kondisi kesesuaian struktur kolom di basement 1 baik dari segi lokasi dan juga kesesuaian jenis kolom.

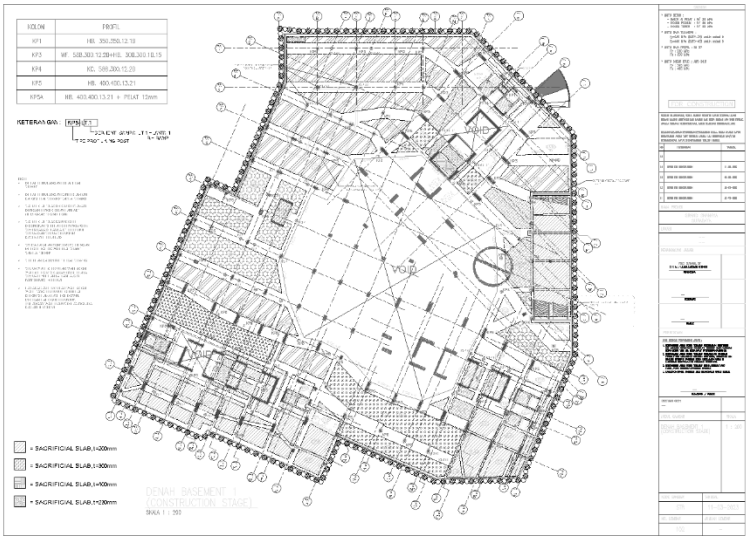


Gambar 5.83 Struktur Pembesian Kolom Proyek Grand Shamaya Surabaya

Mengacu pada Gambar 5.66 yang merupakan pekerjaan pembesian pada struktur kolom adalah salah satu item yang dijadikan sebagai tinjauan penelitian. Implementasi *site inspection* berbasis *Augmented Reality* dilakukan untuk menganalisis kesesuaian kolom baik dari segi jenis, lokasi, detail pembesian, dan sebagainya jika dibandingkan dengan *shopdrawing*. Kolom yang ditinjau berada pada struktrur basement lantai 1.

5.4.2. *Shopdrawing For Construction* 2 Dimensi Berbasis BIM

Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya yang dilaksanakan oleh PT PP (Persero) Tbk, selaku kontraktor utama menggunakan gambar kerja atau *Shopdrawing for Construction* yang dibuat oleh PT Meinhart Indonesia selaku *Civil & Structure. MEP and BMU Consultant* sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan. Gambar kerja tersebut dilakukan penyesuan terhadap kondisi aktual di lapangan oleh pihak *drafter* kontraktor yang kemudian akan diajukan secara berkala kepana konsultan pengawas dan *owner* sebelum digunakan untuk pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

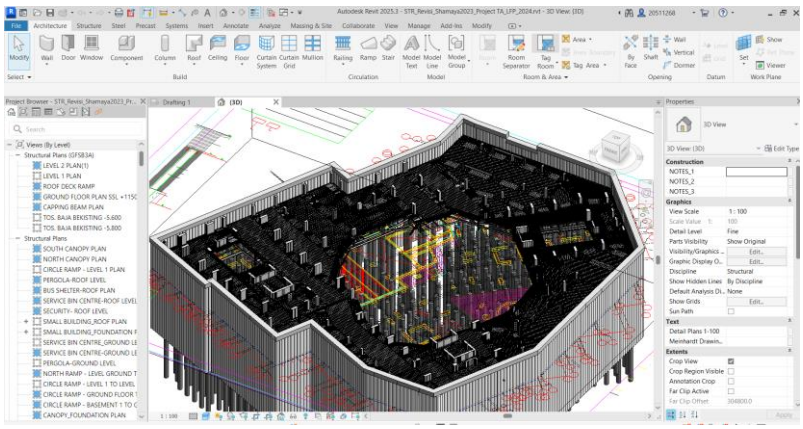


Gambar 5.84 ***Shopdrawing for Construction Structural Item Basement*** **1**
(Dokumen Proyek, 2023)

Pembuatan *Shopdrawing* tersebut menggunakan *environtment* perangkat lunak dari Autodesk.com. AutoCAD sebagai *drawing software* berbasis *Building Information Modeling* memberikan fitur yang lebih kompleks dalam metode pelaksanaan gambar kerja. Penggunaan AutoCAD yang berbasis BIM ini memudahkan untuk pengembangan ke dalam tahap selanjutnya yaitu gambar 3 dimensi.

5.4.3. Gambar 3 Dimensi Berbasis BIM

Shopdrawing 2 dimensi yang digunakan sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan kemudian dimodelkan dengan proyeksi 3 dimensi. Hasil proyeksi 3 dimensi ini dapat membantu pada tahap perencanaan dan juga pelaksanaan dengan menyajikan data agar dapat terlihat secara nyata dengan skala yang ditentukan. Perangkat lunak yang digunakan dalam penggambaran model 3 dimensi adalah Autodesk Revit. Fitur yang dimiliki oleh Autodesk Revit terbilang sangat kompleks dan lengkap sehingga spesifikasi-spesifikasi teknis yang ada seperti detail pembesian, jenis material, dan lainnya dapat dimodelkan dengan presisi. Hasil permodelan 3D pada proyek Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya dengan batasan elemen struktrur *basement* 1 *ring* (*non-void*) dapat dilihat pada Gambar 5.76 berikut.



Gambar 5.85 Hasil Permodelan 3D Struktur *Basement* 1 *Ring* (*non-void*)

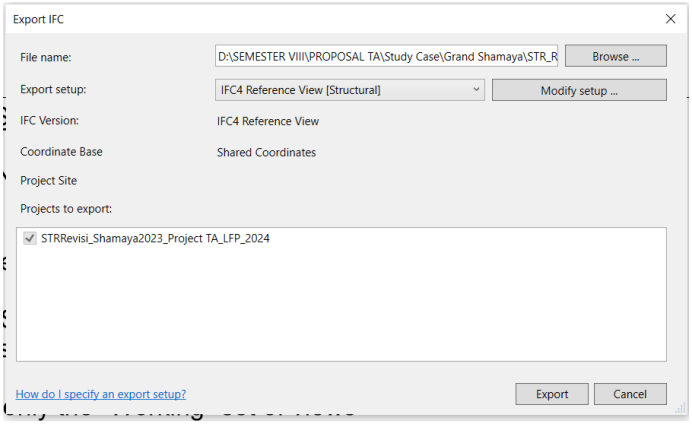
Permodelan gambar kerja 3 dimensi menggunakan *software* berbasi BIM akan dapat mempermudah alur kerja pengerjaan gambar, dikarenakan dengan *software* berbasis BIM dapat memberikan fitur *linked* pada suatu objek. Hasil dari permodelan inilah yang nantinya akan dikembangkan menggunakan *software* pengembang *Augmented Reality* dalam uji coba penerapan model berbasis *Virtual Reality* dalam proses inspeksi dan monitoring proses pekerjaan.

5.4.4. Integrasi BIM – Augmented Reality

Integrasi BIM – *Augmented reality* dilakukan untuk mengsinkronisasikan data dan berbagai informasi dari sebuah objek yang telah didefinisikan pada *Authorized software* yang pada penelitian ini menggunakan Autodesk Revit dapat diterima oleh *software* pengembang AR yaitu Gamma AR. Gamma AR adalah *software* yang dikembangkan oleh perusahaan Gamma Technologies S.à.r.l. yang berfokus pada pengembangan *Visual Reality* berupa *Augmented Reality* pada industri konstruksi. Konektivitas antara *Autorized Software* dengan *Common Data Environtment* Gamma AR dapat dilakukan pada lingkungan Autodesk Construction Cloud, BIM 360, BIMCollab, PROCORE, Revizto. Untuk *autorized software* dengan pengembang lain dapat menggunakan ekstensi (.ifc) pada saat sinkronisasi data. Pada penelitian ini, *license* yang digunakan pada *software* Gamma AR adalah *Trial Students Version* dengan durasi pemakaian 30 hari. Langkah untuk integrasi BIM dengan *Augmented Reality* menggunakan *software* Gamma AR adalah sebagai berikut.

1. *Export* Data *Authorized Model*

   Dikarenakan *license* dari *software* Gamma AR hanya menggunakan *Trial Students Version*, maka integrasi *Common Data Environtment* (CDE) dari Portal Gamma AR dan Autodesk BIM360 tidak dapat dihubungkan. Oleh karena itu, ekstensi dalam pengembangan AR menggunakan output data (.ifc) yang nantinya akan diupload dalam CDE Portal Gamma AR.

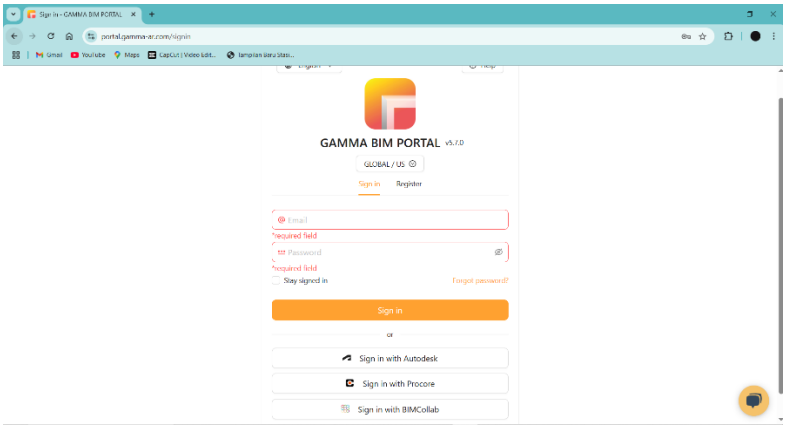


Gambar 5.86 Export 3D Model dengan Ekstensi (.ifc)

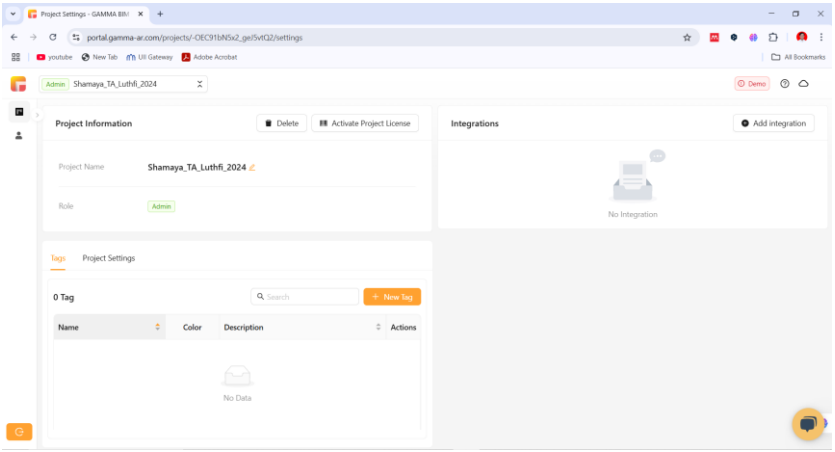
2. Integrasi Data BIM – CDE

   Setelah melakukan *export modelBase* dengan ekstensi (.ifc), langkah selanjutnya adalah *uploading* data kedalam CDE Gamma AR. Buka CDE pada browser dengan alamat portal.gamma-ar.com, kemudian untuk langkah-langkah penggunaan adalah sebagai berikut.

   a. Membuat akun Gamma BIM Portal. Pembuatan akun dapat dilakukan dengan memasukkan alamat gmail secara manual atau dapat disinkronisasikan dengan beberapa portal BIM seperti akun Autodesk, Procore, ataupun BIMCollab. Setelah *sign in* berhasil akan diarahkan ke halaman CDE.

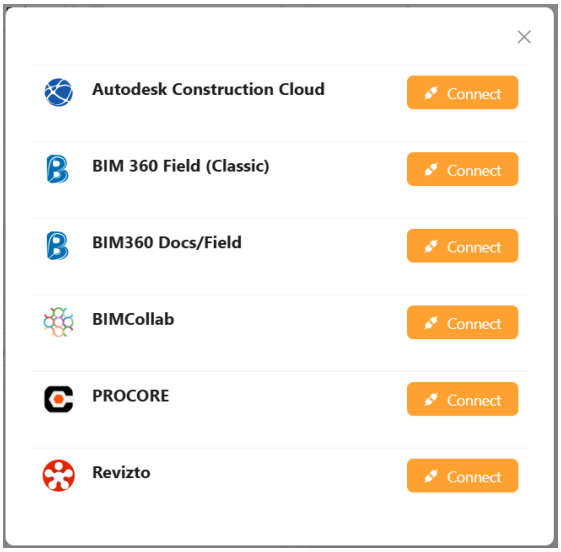


Gambar 5.87 *Sign in* Akun Gamma BIM Portal

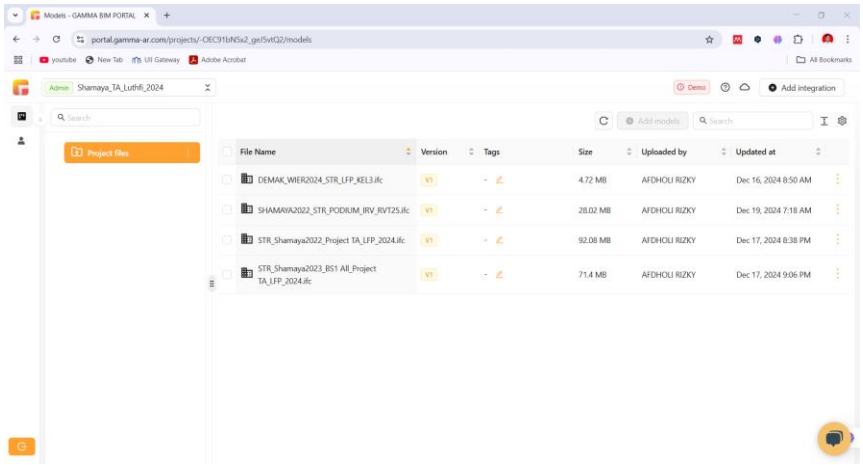


Gambar 5.88 CDE Gamma BIM Portal

b. Upload modelBase. Dalam proses uploading modelBas, terdapat dua cara yaitu dengan upload secara manual dengan ekstensi (.ifc) dengan cara klik pada *tab models* kemudian *Add models* atau mengintegrasikan Gamma BIM Portal dengan CDE dari berbagai software seperti pada Gambar 5.83 sebagai berikut.



Gambar 5.89 *Supportive CDE for Integrate with Gamma BIM Portal*

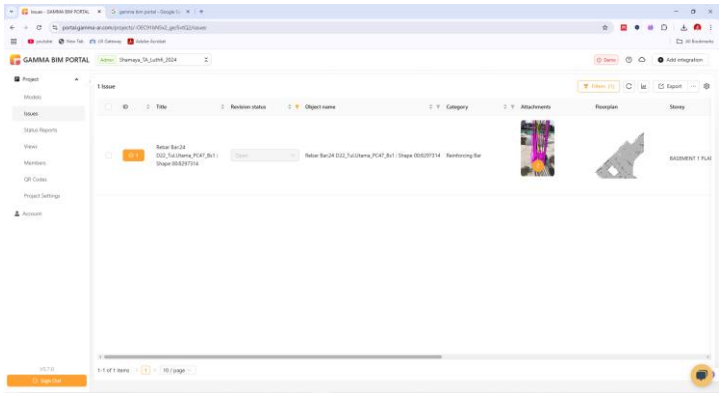


Gambar 5.90 *Uploaded modelBase* pada *Project Files* Gamma BIM Portal

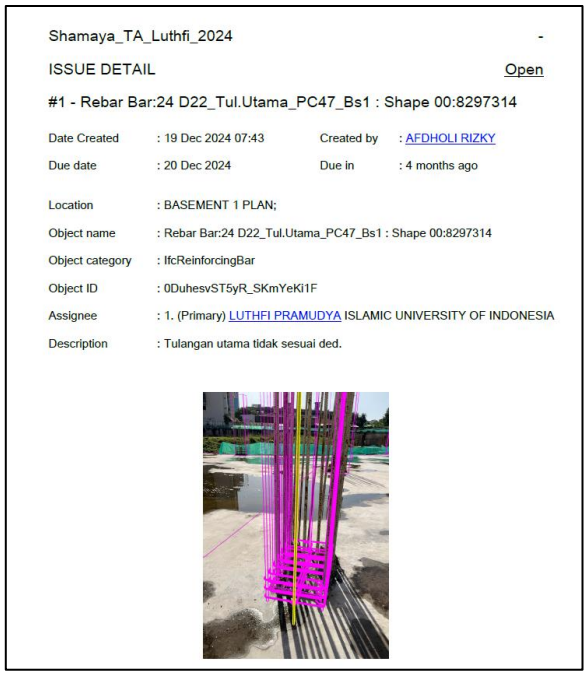
c. Setelah melakukan *upload modelBase* pada *Project Files*, model sudah dapat dibuka melalui aplikasi. Pada Gamma BIM Portal terdapat beberapa pengaturan seperti *Issues*, *Status Report*, *Views*, *Members*, QR *Code*, *Project Setting*, Informasi *Account*.

1) *Issues* adalah menu yang digunakan untuk melihat apabila terdapat *report issues* yang ditemukan dilapangan. Dalam menu Issues terdapat berbagai informasi yang dapat disesuaikan seperti foto objek, keterangan objek, lokasi objek, sumber pelapor, dan kapan *issues*

tersebut dilaporkan. Report issues tersebut dapat di export dalam ekstensi lain seperti PDF, CSV, dan BCF.



Gambar 5.91 Tampilan Menu *Issues*



Shamaya_TA_Luthfi_2024 -

ISSUE DETAIL Open

#1 - Rebar Bar:24 D22_Tul.Utama_PC47_Bs1 : Shape 00:8297314

Date Created	: 19 Dec 2024 07:43	Created by	: AFDHOLI RIZKY
Due date	: 20 Dec 2024	Due in	: 4 months ago

Location : BASEMENT 1 PLAN;

Object name : Rebar Bar:24 D22_Tul.Utama_PC47_Bs1 : Shape 00:8297314

Object category : IfcReinforcingBar

Object ID : 0DuhesvST5yR_SKmYeKi1F

Assignee : 1. (Primary) LUTHFI PRAMUDYA ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA

Description : Tulangan utama tidak sesuai ded.

Gambar 5.92 *Issues Detail Report* (export .pdf)

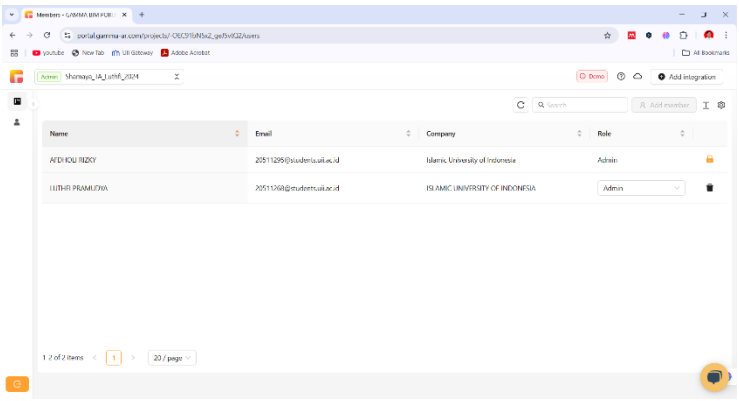
2) *Status Report*

Pada menu *Status Report* adalah tempat untuk melihat bagaimana status pekerjaan pada suatu objek. Pelaporan status dari pengawas lapangan akan masuk dan terdapat beberapa informasi seperti nama objek, kategori objek, pelapor, dan kapan dilaporkan.

3) *Views*

4) *Members*

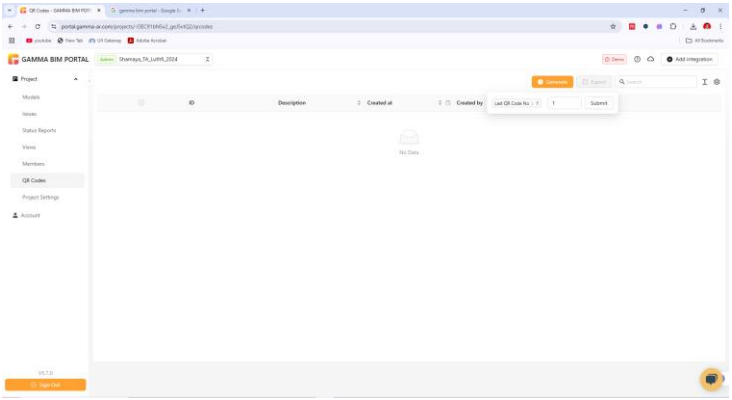
Pada menu member, admin dapat menambahkan akun member kepada pihak terkait untuk dapat mengakses informasi pada Gamma BIM Portal. Admin juga dapat menentukan *role* atau posisi member apakah sebagai admin sehingga dapat mengakses keseluruhan informasi atau hanya dapat mengakses sebagian informasi sebagai *rescricted user* dan *guest*.



Gambar 5.93 Tampilan Menu *Members* Gamma BIM Portal

5) QR *Code*

Pada menu QR Code digunakan untuk membuat atau meng-*generate* QR Code yang akan dijadikan sebagai *marker base tracker*. Akan tetapi untuk akun Gamma BIM Portal dengan *Trial Student Version* tidak dapat menggunakan fitur ini.



Gambar 5.94 Tampilan QR Code Gamma BIM Portal



Gambar 5.95 Hasil *Generate* QR Code Gamma BIM Portal

6) *Project Setting*

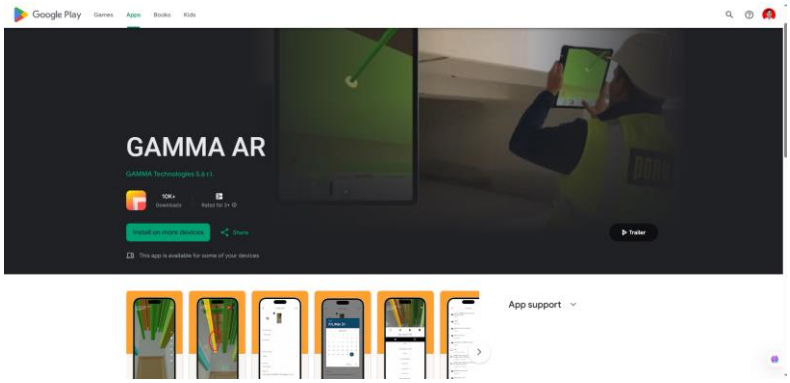
Pada menu *project setting* berisi informasi terhadap model yang dipilih seperti *project name*, *integration*, dll.

7) *Account*

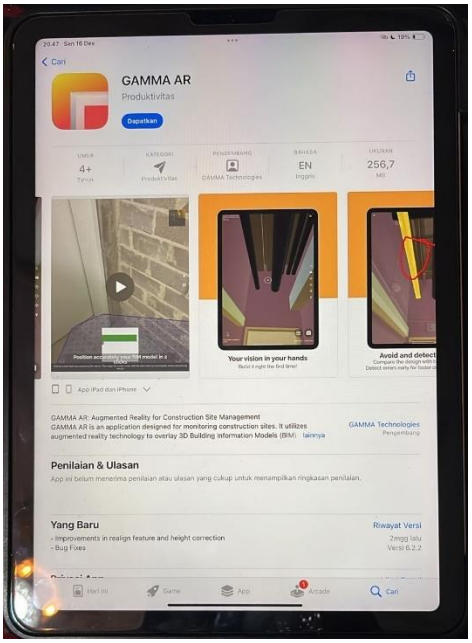
Menu *account* berisi informasi terkait akun pengguna seperti nama, email, *license type*, dll. Pada menu ini juga dapat digunakan untuk mengganti password akun.

3. *Software* Gamma AR

Software yang digunakan untuk display *Augmented Reality* bernama Gamma AR. *Software* tersebut dapat didapatkan secara gratis di Google Play Store untuk OS Android dan Apple Apps Store untuk IOS.



Gambar 5.96 Gamma AR Pada Google Play Store



Gambar 5.97 Gamma AR Pada Apple Apps Store

Device yang dapat digunakan untuk proyeksi AR adalah *device* yang mempunyai berbagai sensor seperti *acelerometer*, *gyroscope*, *magnetometer*, dan GPS. Berbagai sensor tersebut dapat mendukung fitur seperti motion tracking dan location-based AR sehingga memungkinkan untuk proyeksi AR. Pada penelitian ini menggunakan dua *device* untuk proyeksi AR yaitu *Smartphone* Samsung A32 4G dan Apple Ipad Air Gen 5. Kedua device tersebut mempunyai berbagai sensor pendukung dan juga kualitas kamera yang cukup sehingga menungkinkan percobaan proyeksi AR. Setelah selesai menginstal aplikasi Gamma AR pada *device* yang akan digunakan, kemudian *log in* menggunakan akun yang sama dengan akun Gamma BIM Portal. Pastikan model yang tersedia sama dengan yang ada pada *project files* Gamma BIM Portal, jika file model sudah sama artinya *log in* sudah berhasil dan siap untuk dilakukan percobaan proyeksi di lapangan.

5.4.5. Proyeksi Permodelan *Augmented Reality* di Lapangan

Setelah dilakukan sinkronisasi data antara *modelBase* dengan *Common Data Environtment,* proyeksi permodelan *Augmented Reality* (AR) dapat diuji coba untuk *plotting* model di lapangan. Pelaksanaan proyeksi dilakukan pada struktur basement 1 (Struktur pembesian kolom) di Proyek Pekerjaan Struktur

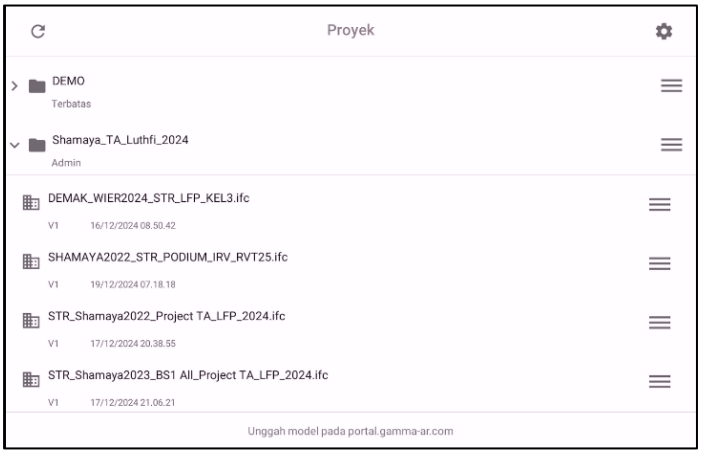
Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Pelaksanaan proyeksi tersebut dilakukan pada Rabu, 18 Desember 2024 dan Kamis, 19 Desember 2024.



Gambar 5.98 Uji Coba Proyeksi AR di *Site* Proyek Apartemen Grand Shamaya

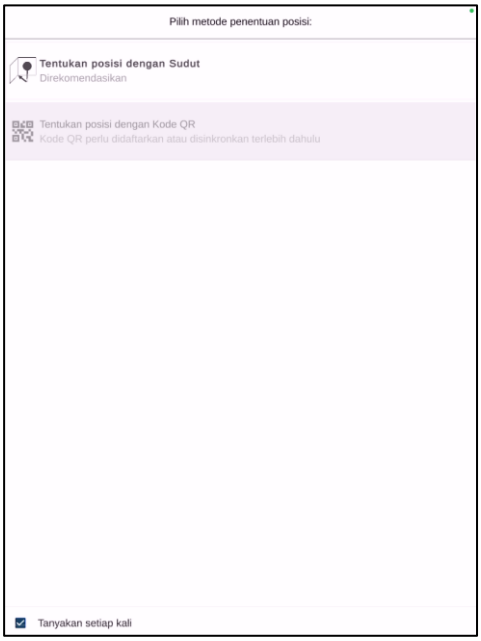
Langkah yang dilakukan pada saat proses proyeksi di lapangan adalah sebagai berikut.

1. Pilih *modelBase* yang akan diproyeksikan di lapangan



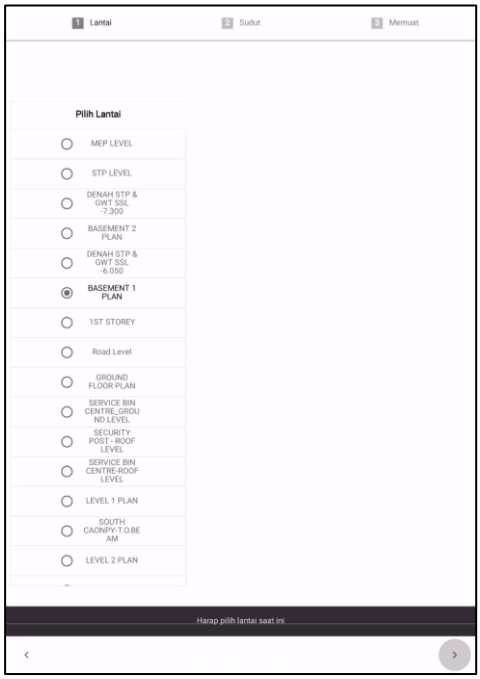
Gambar 5.99 Tampilan *File modelBase* pada Aplikasi Gamma AR

2. Pilih metode penentuan posisi. Terdapat dua pilihan metode yaitu pemposisian dengan acuan sudut dan kode QR. Penggunaan kode QR tidak dapat digunakan jika *license type* akun menggunakan *Trial Students Version*. Oleh karena itu, satu-satunya cara yang dapat digunakan adalah proyeksi dengan acuan sudut.



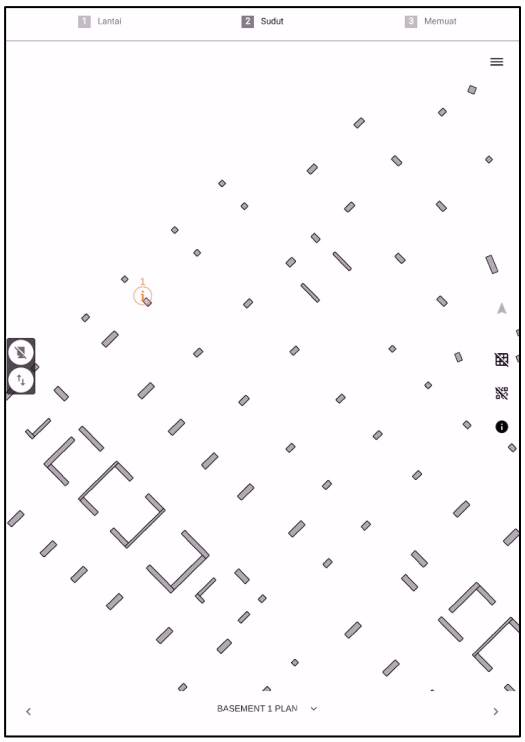
Gambar 5.100 Tampilan Pilihan Metode Penentuan Posisi

3. Menentukan *floor plan* yang akan di ploting. Model yang akan muncul adalah objek yang *associate* dengan *floor plan* yang dipilih. Pastikan *floor plan* yang dipilih sesuai dengan dimana model akan di proyeksikan atau pada level yang sama.



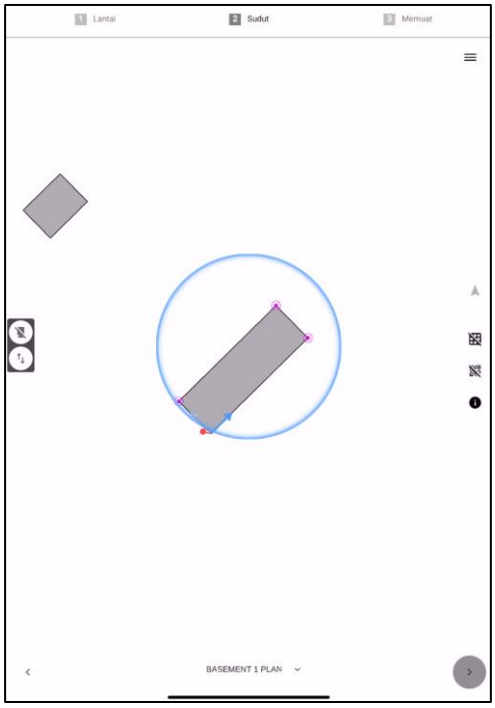
Gambar 5.101 Tampilan Pilih *Floor Plan*

4. Menentukan objek yang digunakan sebagai titik acuan. Klik pada objek yang akan dijadikan acuan hingga muncul kursor dan lingkaran biru.



Gambar 5.102 Menentukan Objek sebagai Acuan

5. Tentukan arah proyeksi sesuai dengan objek sudut objek, kemudian klik selanjutnya.

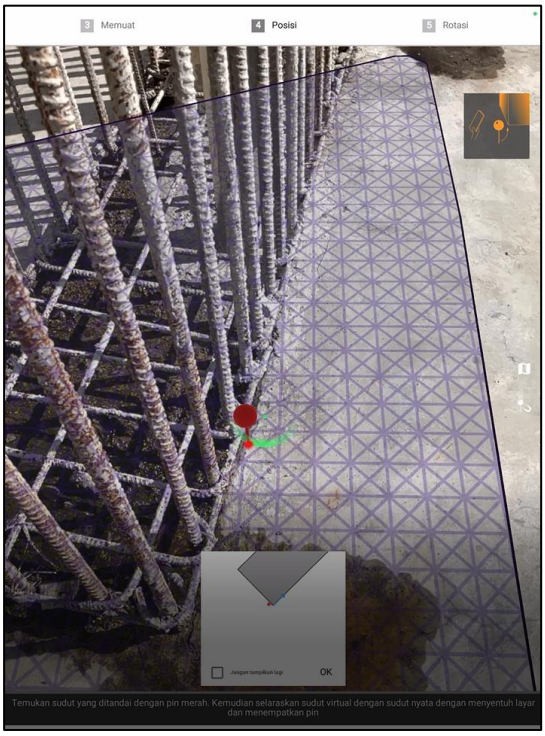


Gambar 5.103 Menentukan Arah Proyeksi pada Sudut Objek

6. Setelah muncul kursor warna merah seperti pada gambar, gerakkan kamera hingga muncul bidang penempatan.

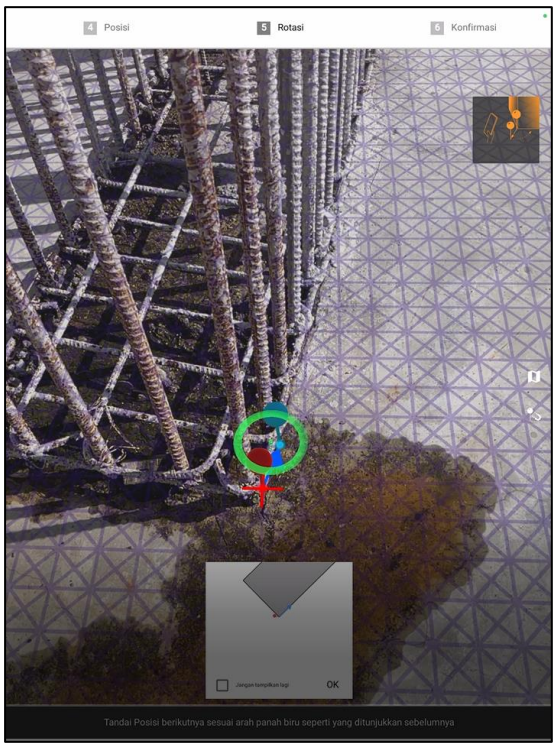


Gambar 5.104 Kursor Merah



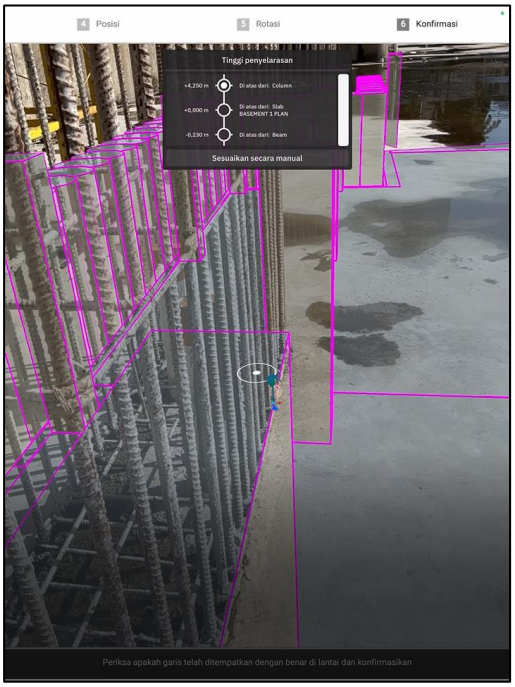
Gambar 5.105 Bidang Penempatan telah muncul

7. Arahkan kursor pada sudut objek sesuai pada langkah nomor 5. Setelah tanda panah tegak lurus dengan sudut objek atau muncul tanda garis hijau, klik selanjutnya dan model 3D akan muncul.



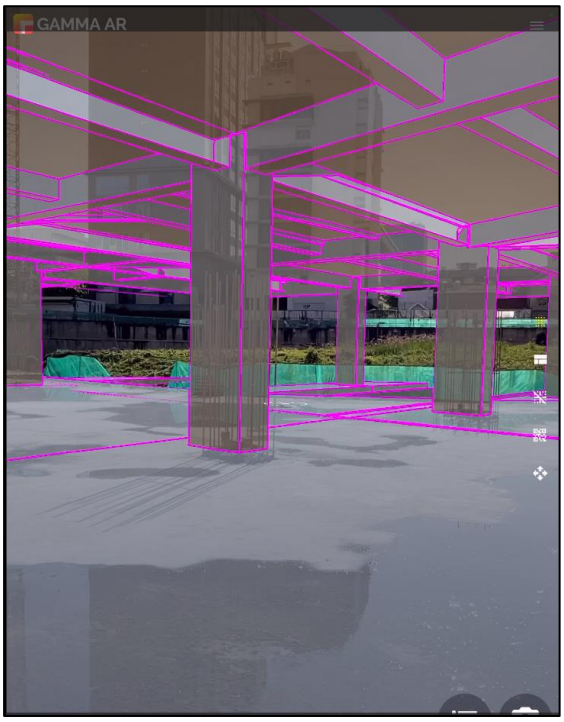
Gambar 5.106 *Plotting* Titik Sudut dan Arah Proyeksi

8. Setelah Model 3D muncul, Selaraskan level tinjauan objek sesuai dengan posisi peninjau.



Gambar 5.107 Penyelarasan Titik Level Tinjauan

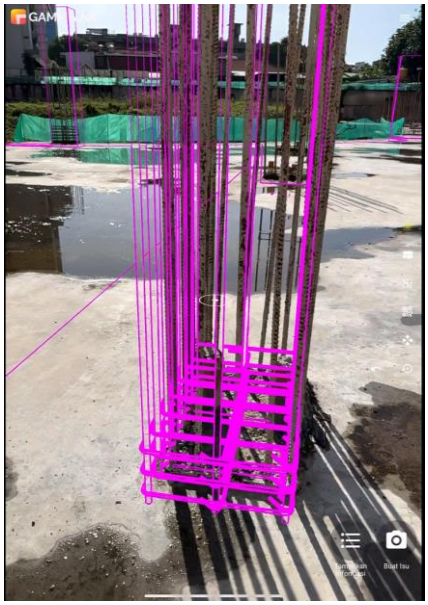
9. Amati Proyeksi AR.



Gambar 5.108 Hasil Proyeksi 3D Model AR di Lapangan

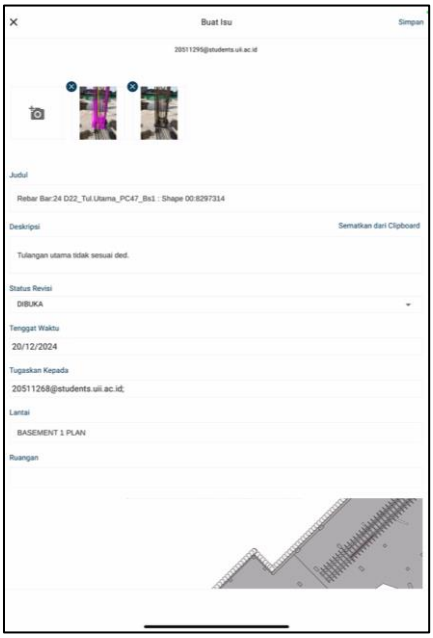
Pada tahap ini langkah yang harus dilakukan dalam proses proyeksi AR di lapangan dapat dikatakan selesai. Selanjutnya, langkah yang perlu dilakukan adalah bagaimana melakukan pengecekan kesesuaian proyeksi apakah sesuai dengan dokumen Shopdrawing atau tidak. Dalam proses pengecekan terdapat berbagai informasi yang dapat diatur dalam interface software Gamma AR seperti tingkat shading material, kemudian material apa aja yang akan ditampilkan, detail informasi duatu item pekerjaan, bahkan pembuatan issues jika terjadi temuan pekerjaan yang tidak sesuai juga dapat dilakukan.

10. Report Issues pada saat ditemukan pekerjaan yang tidak sesuai



Gambar 5.109 Temuan Kesalahan Pekerjaan

Jika pada saat melakukan inspeksi ditemukan adanya kesalahan atau perbedaan pekerjaan dengan dokumen shopdrawing, inspektor dapat melaporkan atau memberikan catatan item apa yang salah dengan cara klik ikon “buat isu” pada pojok kanan bawah kemudian akan muncul tampilan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.110 *Report Issues*

Pada menu “buat isu”, perlu dilakukan beberapa informasi terkait temuan *item* pekerjaan yang mengalami kesalahan seperti deskripsi temuan kesalahan, status revisi, tenggat waktu revisi, ditujukan atau ditugaskan kepada siapa, dan lain-lain. Informasi yang sudah tersedia dalam fitur tersebut adalah foto *item* pekerjaan sebelum dan setelah dilakukan *plotting* AR, nama atau judul *item* pekerjaan, dan lokasi *item* pekerjaan berikut dengan denah lokasi.

5.5 Analisis Kendala

Pada penelitian ini dilakukan sesi wawancara kepada narasumber yang relevan terkait dengan pembahasan. Narasumber dalam sesi wawancara adalah BIM *Engineer* pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya yaitu Saudara Mohamad Ardhani Wahyu Riadianto, S.Tr.T. Terdapat tiga indikator sebagai materi wawancara yaitu sebelum menggunakan AR, proses penggunaan AR, dan setelah penggunaan AR. Rekapitulasi pertanyaan dan jawaban dari hasil wawancara dapat dilihat pada Tabel 5.4, 5.5 dan 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Wawancara Indikator 1 (Sebelum Penerapan AR)

Indikator 1	
Pertanyaan 1:	Bagaimana cara yang dilakukan pada saat melaksanakan proses inspeksi pekerjaan struktural Basement 1?
Jawaban	Selama ini cara yang dilakukan pada saat inspeksi pekerjaan adalah pengecekan yang dilakukan oleh divisi QC, Pelaksana, MK, dan *Owner*. Dokumen *Shopdrawing* beserta lembar *checklist* dicetak secara fisik kemudian dibawa pada saat pengecekan dilapangan. Setelah *checklist* selesai dilakukan, kemudian lembar *checklist* diverifikasi oleh QC, Pelaksana, MK, dan Owner untuk segera diajukan pelaksanaan pekerjaan selanjutnya.
Pertanyaan 2:	Apa kendala yang sering dialami pada saat melaksanakan proses inspeksi pekerjaan dengan cara kegiatan inspeksi yang digunakan saat ini?
Jawaban	Kendala seperti cuaca dan juga waktu, selain itu pencatatan dan pelaporan yang masih manual juga terkadang menjadi sebuah kendala
Pertanyaan 3:	Bagaimana cara yang dilakukan pada saat proses monitoring progres pekerjaan (*Mapping*) pada pekerjaan struktural Basement 1?
Jawaban	Selama ini, pekerjaan mapping dilakukan dengan pengecekan langsung oleh tim engineer bersama mahasiswa KP Magang. Mapping dilakukan dengan cara membawa hardcopy shopdrawing pada pekerjaan yang akan lakukan pengecekan, setelah itu akan diberikan berbagai tandai baik menggunakan spidol maupun stabilo (*highlightener*). Setelah itu dilakukan pelaporan kepada engineer melalui unggah foto di drive maupun dengan bantuan website Canva.
Pertanyaan 4:	Apa kendala yang sering dialami oleh pada saat melakukan proses progres monitoring (*Mapping*) selama proses konstruksi

	pekerjaan struktural Basement 1 dengan menggunakan metode *mapping* saat ini?
Jawaban	Karena untuk mapping sering kali dilakukan oleh mahasiswa KP Magang, mereka kerap kesulitan dalam membayangkan suatu elemen atau letak elemen, jadi semisal elemen A sudah dikerjakan separuh tapi dalam keterangan sudah dikerjakan semua, perbedaan-perbedaan minor seperti itu
Pertanyaan 5:	Jika terjadi kelasahan pengerjaan oleh tukang, bagaimana pelaporan yang dilakukan oleh *Engineer* Pelaksana atau *Quality Control* selama ini dengan menggunakan metode inspeksi saat ini?
Jawaban	Pelaksana atau QC akan melaporkan temuan kepada engineer, baik secara langsung, atau via whatsapp massage/calls. Kemudian engineer akan segera memikirkan cara penanganan terbaik.

Tabel 5.5 Hasil Wawancara Indikator 2 (Penerapan AR)

Indikator 2	
Pertanyaan 1:	Apakah Anda selaku BIM Engineer Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya mengetahui penggunaan teknologi *Augmented Reality* dalam industri konstruksi?
Jawaban	Ya, saya mengetahui dari berbagai media bahwa kemajuan *virtual reality* sudah mulai diterapkan pada proyek.
Pertanyaan 2:	Apakah penggunaan *Augmented Reality* dalam proses inspeksi pekerjaan mudah dipahami?
Jawaban	Penggunaan AR akan sangat mudah dipahami karena dengan AR akan memberikan gambaran visual secara nyata, kita akan lebih mudah paham jika dapat melihat bentuk secara langsung daripada membandingkan dari gambar DED.

Pertanyaan 3:	Apakah proyeksi 3D yang di tampilkan di software AR pada saat di terapkan di lapangan dengan skala 1:1 sudah sesuai dengan objek 3D yang dimodelkan pada *Software autorized* BIM?
Jawaban	Ya, dan memang harus sama apa yang di tampilkan dalam AR dengan permodelan
Pertanyaan 4:	Seberapa besar tingkat kesesuaian atau akurasi pada saat pengintegrasian data dan informasi pada permodelan 3D berskala 1:1 yang diproyeksikan oleh AR dengan permodelan BIM?
Jawaban	Kalau tingkat akurasi atau kesesuaian data berarti kembali pada seberapa detail dalam memasukkan infromasi pada permodelan. Karena setau saya, AR kan hanya sebatas proyeksi 3D model ke dunia nyata melalui perangkat *smartphone*.
Pertanyaan 5:	Apakah fitur yang terdapat dalam *software* AR dapat memberikan kemudahan dalam kegiatan inspeksi maupun *mapping* pada objek yang akan atau sudah diinspeksi?
Jawaban	Saya kira pada saat inspeksi akan sangat dimudahkan dengan berbagai fitur seperti informasi elemen dan juga fitur pelaporan, tapi untuk *mapping* karena belum ada fitur seperti *mark on elemen* atau sejenisnya yang dapat menjadi tanda bahwa elemen tersebut sudah dikerjakan kecuali di tulis pada *status report*, maka belum bisa memberikan kemudahan sepenuhnya. Saya kira untuk *mapping* lebih mudah secara manual dengan membawa gambar dan memberi tanda seperti stabilo, dll

Tabel 5.6 Hasil Wawancara Indikator 3 (Pasca Penerapan AR)

Indikator 3	
Pertanyaan 1:	Dengan proyeksi permodelan 3D yang telak dilakukan menggunakan skala 1:1 di lapangan yang terintegrasi dengan BIM, apakah penggunaan *Augmented Reality* dapat mengoptimalkan pelaksanaan inspeksi pekerjaan pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya?
Jawaban	Secara teori penggunaan AR ini akan sangat memudahkan pada proses inspeksi, tapi untuk praktik secara masif di lapangan saya kira masih perlu waktu untuk adaptasi dari teknologi lama ke yang baru ini. Oleh karena itu, SDM nya juga harus dipersiapkan seperti pelatihan atau semacamnya.
Pertanyaan 2:	Apakah penggunaan teknologi AR dalam proses inspeksi dan monitoring pekerjaan dengan pengintegrasian data dapat memberikan efisiensi dalam proses inspeksi?
Jawaban	Ya, karena dapat secara langsung memberikan visualisasi secara *real* di lapangan sehingga kesalahan seperti *human error* dalam membayangkan suatu elemen dapat berkurang
Pertanyaan 3:	Kendala seperti apa yang dirasakan atau dialami selama penggunaan teknologi AR sebagai alat inspeksi dan monitoring progres pekerjaan?
Jawaban	Teknologi baru pasti membutuhkan adaptasi juga oleh SDM, karena harus belajar dari metode lama ke metode baru ini. Selain itu saya lihat juga untuk harga lisensi aplikasi juga masih sangat mahal untuk itu perlu sinergi antara pemerintah, perusahaan, dan pihak lain jika ingin mengembangkan teknologi dibidang ini.

Setelah melakukan sesi wawancara dengan BIM *Engineer* dari Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya didapatkan bahwa dalam pelaksanaan inspeksi pekerjaan masih menggunakan teknologi yang sederhana. AR memang sedang dalam tahap pengembangan oleh PT PP (Persero) untuk dapat diterapakan proyeknya, akan tetapi dalam proyek ini belum diterapkan. Menurutnya, penggunaan AR dalam proses konstruksi akan memberikan berbagai kemudahan seperti dalam hal pelaporan progres pekerjaan ataupun *reports issues* karena penggunaan AR berhubungan dengan CDE oleh berbagai pihak yang terkait seperti QC, *Engineer*, *Owner*, Dll. Hambatan terhadap adaptasi penggunaan AR dalam proses inspeksi tahap konstruksi menurutnya disebabkan oleh beberapa hal diantaranya sebagai berikut.

1. kurangsiapnya SDM dalam mengadaptasi penggunaan teknologi baru.
2. biaya lisensi *software* yang sangat mahal.

Adaptasi pekerja konstruksi di Indonesia menunjukkan daya saing yang lemah jika dibandingkan dengan perusahaan asing yang mana hal tersebut diduga disebabkan oleh rendahnya kreativitas dan inovasi dalam praktik konstruksi (Sudiansyah and Wahyu Adi, 2024). Nilai prosentase pekerja konstruksi yang siap menerapkan transformasi digital di kota Surabaya adalah sebesar 0,12% (Indirani and Beatrix, 2024). Berdasarkan kedua pernyataan tersebut dapat diperoleh bahwa kesiapan SDM pekerja konstruksi di indonesia dalam adopsi metode inspeksi berbasis digital masih sangat kurang.

Kendala yang selanjutnya adalah besarnya biaya lisensi pada *software* pengembang AR. Sebagai contoh untuk lisensi AR komersial seperti Gamma AR menurut e-katalog LKPP pada e-katalog.lkpp.go.id untuk paket Gamma AR *Enterprise License Annual Subscription* sebesar Rp.98.901.000,00. Pengembang lain seperti Vuforia SDK pada paket enterprise mencapai USD 12.000/tahun dan pada paket pro sebesar USD 15.000/tahun.

5.6 Pembahasan

Penerapan salah satu aspek kemajuan teknologi dalam bidang proyek konstruksi yaitu *Building information Modeling* (BIM) memberikan dampak nyata

terhadap berbagai hal dalam menunjang keberhasilan suatu proyek. BIM dapat menjadi sebuah *platform* yang dapat digunakan dalam kolaborasi berbagai disiplin ilmu dalam suatu proyek. Penerapan konsep BIM dalam proyek pekerjaan konstruksi kini mulai diterapkan pada berbagai proyek dari skala proyek nasional hingga skala kecil. Terlebih kewajiban penggunaan BIM dalam proses konstruksi telah diatur dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16, 2021. Sehingga, kedepan diharapkan inovasi-inovasi dari kemajuan teknologi, baik itu BIM, *Internet of things* (IoT), *Artificial Inteligence* (AI), dan bentuk lain dari kemajuan teknologi dapat menunjang prosses pekerjaan konstruksi untuk meminimalkan berbagai risiko yang ada.

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya. Pada proses pelaksanaan pekerjaan, Proyek menggunakan konsep BIM untuk modeling dan pelaporan progress hasil pekerjaan, akan tetapi belum sampai pada tingkatan BIM yang selanjutnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) yang lebih lanjut lagi. Fokus pada penelitian ini adalah penerapan konsep 4D BIM pada pekerjaan struktural basement 1 dan implementasi pengembangan *Augmented Reality* (AR) sebagai alat inspeksi dan monitoring progres pekerjaan.

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis, didapatkan beberapa temuan dari masing-masing indikator. Berikut merupakan penjelasan dari berbagai indikator tersebut.

5.6.1. Implementasi 4D BIM sebagai Simulasi Visual Pelaksanaan Proyek

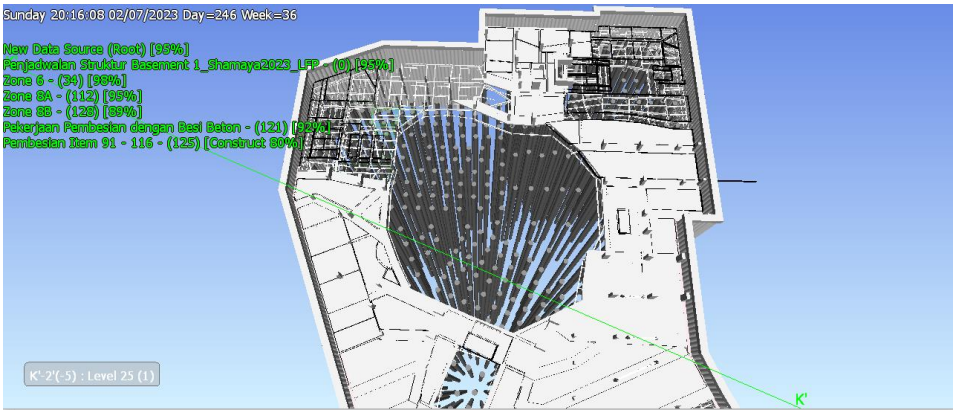
Penerapan konsep 4D sebagai simulasi visual pelaksanaan proyek memungkinkan kepada pengguna atau *engineer* untuk dapat mempresentasikan model dengan interaktif dan juga informatif. Model 3D dan juga 4D dapat memberikan gambaran visual secara *real-time* sehingga akan terlihat jelas bagaimana perencanaan pelaksanaan proyek tersebut mulai dari kesesuaian model atau gambar dan juga hubungan antar pekerjaan. Sehingga, koordinasi dari berbagai disiplin ilmu maupun bidang dapat terlaksana melalui simulasi pelaksanaan proyek yang dilakukan secara virtual. Selain itu, dengan simulasi visual 4D, perencana

maupun pelaksana dapat melakukan analisis terhadap suatu pekerjaan yang dilaksanakan terhadap urutan pelaksanaan pekerjaan, waktu pekerjaan, ketepatan waktu dalam pengerjaan, penggunaan sumber daya, dan lain sebagainya. Sehingga, hal tersebut memungkinkan perencana maupun pelaksana untuk dapat memikirkan strategi – strategi jika pada simulasi pelaksanaan terdeteksi atau teridentifikasi berbagai hal penghambat sebelum hal terebut terjadi.

Hasil analisis dan penerapan konsep 4D sebagai simulasi visual pelaksanaan proyek dalam Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya dapat dilihat pada tautan atau QR Code sebagai berikut.

Link:

https://youtu.be/EMZfq_jRgxU



Gambar 5.111 Hasil 4D Visual Simulasi

Dengan penerapan konsep 4D sebagai simulasi visual pelaksanaan pekerjaan dalam proyek memberikan beberapa manfaat diantaranya sebagai berikut.

1. Peningkatan Pemahaman terhadap Pekerjaan

   Dengan penerapan 3D model yang didukung dengan 4D sebagai visual simulasi pekerjaan, pemahaman dari masing – masing *stakeholder* baik *owner*,

perencana, maupun pelaksana dan juga konsultan pengawas terhadap pekerjaan yang akan dilaksanakan sangat terbantu. Hal tersebut dimungkinkan karena visual yang dihadirkan bukan hanya gambar statis berbentuk 2D, akan tetapi simulasi masing-masing elemen pekerjaan secara 3D. Oleh karena itu, hal tersebut akan sangat dapat meningkatkan koordinasi dan juga mengurangi kesalahan akibat dari mispresepsi yang sering terjadi dalam penggunaan gambar *Shopdrawing*.

2. Optimalisasi Perencanaan Penjadwalan Proyek

   Implementasi penggunaan 4D BIM sebagai visual simulasi pekerjaan memungkinkan perencana, pelaksana, bahkan owner dapat melakukan evaluasi terhadap ketepatan waktu pelaksanaan pekerjaan. Dalam simulasi 4D, jadwal pekerjaan yang telah direncanakan dapat secara langsung dibandingkan dengan aktual jadwal pelaksanaan. Sehingga, ketepatan pelaksanaan dapat diketahui secara langsung. Dengan demikian, seluruh elemen *stakeholder* baik perencana, pelaksana, konsultan pengawas, dan juga *owner* dapat melakuakan koordinasi untuk mengatasi keterlambatan jadwal dan aktivitas pekerjaan yang dapat dipengaruhi oleh keterlambatan tersebut melalui simulasi visual tersebut. Pengambilan keputusan yang tepat, cepat, dan akurat sangat berpengaruh dalam pelaksanaan secara mutu, waktu, dan juga biaya. Dengan identifikasi awal menggunakan visual simulasi, memungkinkan untuk mencari peluang yang dapat mempercepat pekerjaan dan juga peningkatan efisiensi secara keseluruhan.

3. Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik

   Visual simulasi terkait pelaksanaan pekerjaan dapat menunjang identifikasi masalah – masalah terkait pelaksanaan pekerjaan. Sehingga pengambilan keputusan untuk menghindari masalah atau konflik-konflik tersebut dapat dilakukan sejak dini. Sebagai contoh terdapat pekerjaan yang mengharuskan dikerjakan dalam waktu yang sama akan tetapi sumber daya yang ada tidak mencukupi pada waktu tersebut, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan seperti penyesuaian jadwal atau penambahan terhadap sumber daya.

Secara umum, penerapan visual simulasi 4D dalam pelakasanaan proyek memberikan gambaran jelas terhadap seluruh pihak yang berkepentingan sehingga dapat memberikan nilai tambah dalam kemajuan visualisasi dan juga kontrol terhadap penjadwalan proyek. Selain itu, dalam *software* Autodesk Naviswork ini juga mendukung untuk melakukan analisis *clash detection*. *Clash Detection* merupakan sebuah fitur analisis yang yang dapat mengidentifikasi keseluruhan *item* pekerjaan apakah terjadi tumbukan atau bentrok satu sama lain. Dengan analisis yang tepat, tumbukan atau bentrok antar pekerjaan dapat dihindarkan yang nanti akan berpengaruh kepada jadwal dan pembiayaan proyek.

5.6.2. Implementasi *Augmented Reality* (AR) sebagai Alat Inspeksi Tahap Konstruksi

Berdasarkan pengolahan data dari kegiatan *survey* lokasi eksisting hingga percobaan implementasi permodelan 3D BIM menggunakan AR di lokasi pekerjaan konstruksi, terdapat beberapa hasil temuan terkait dengan percobaan implementasi di lapangan. Penelitian ini bertujuan sebagai studi awal bagaimana AR itu dapat diimplementasikan pada proses konstruksi apakah berdampak pada kemajuan atau sebaliknya. Pada saat percobaan menggunakan AR, dilakukan berbagai sekenario untuk memperkuat temuan data informasi agar sesuai dengan yang diharapkan. Hasil dari percobaan implementasi AR di lapangan adalah sebagai berikut.

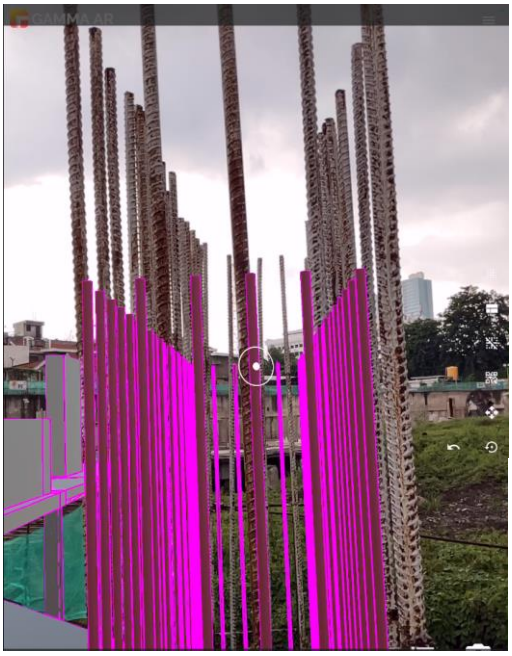
1. Percobaan pada pekerjaan yang salah (*Falsework Inspection*).

   Percobaan dengan skenario pekerjaan salah dilakukan pada elemen pembesian salah satu kolom pada Basement 1 yaitu kolom T3C6. Pada proyeksi AR terlihat ada 6 buah tulangan utama pada sisi pendek, sedangkan kenyataan di lapangan di lapangan terdapat 5 buah tulangan. Hal tersebut dapat menjadi bukti bahwa dengan adanya pengimplementasian AR pada inspeksi pekerjaan akan memberikan gambaran secara *real-time* terhadap kondisi sesungguhnya dan konsisi seharusnya. Perbedaan atau kesalahan pekerjaan tersebut akan menjadi temuan oleh tim QC pada saat pelaksanaan inspeksi dan dapat langsung dilaporkan menggunakan fitur *Report Issues* yang akan dibahas pada point selanjutnya. Akan tetapi, penerapan AR pada inspeksi lapangan juga membutuhkan ketelitian yang tinggi seperti arah proyeksi yang sesuai,

kemudian jarak tulangan yang sesuai, sehingga apabila model 3D di proyeksikan pada elemen yang sebenarnya akan menghasilkan model yang sama dan sesuai. Hasil dari video percobaan dengan skenario pekerjaan yang salah dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

Link:

https://youtu.be/P-07oZeiWQQ



Gambar 5.112 QR Code Percobaan dengan Skenario Pekerjaan Salah

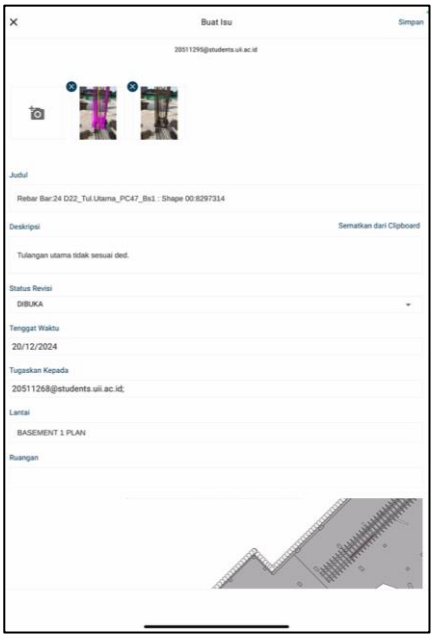
2. Percobaan *Reports Issues*

Percobaan *Report Issues* merupakan salah satu fitur yang dapat digunakan sebagai bentuk dari pelaporan jika terjadi temuan pekerjaan yang tidak sessuai dengan perencanaan. Inspektor dapat melakukan foto *real-time* yang akan tersinkronisasi langsung dengan proyeksi Augmented Reality sehingga akan tampak perbedaan antara pekerjaan yang dilaksanakan dan pekerjaan yang seharusnya. Akan tetapi pada fitur *Report Issues* ini hanya dapat digunakan untuk pelaporan saja, tidak bisa dijadikan sebagai pengganti dalam pekerjaan inspeksi atau *Checklist.* Pekerjaan *checklist* mempunyai standar format dalam penulisan untuk setiap perusahaan. Dalam aplikasi ini, belum tersedia fitur

untuk menambahkan foto ataupun dokumen checklist. Hasil dari video percobaan *Report Issues* dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

Link:

https://youtu.be/QT5XWaOSNhM



Gambar 5. 113 QR Code Percobaan *Report Issues*

3. Percobaan Plotting Beda Elevasi dan pindah level

   Percobaan pindah level merupakan satu percobaan yang dimana *plotting* titik awal berada pada suatu level kemudian pindah ke level yang lain. Pada percobaan ini dilakukan pada basement 1 (-3.300 m) untuk *plotting* titik awal kemudian berpindah ke level diatasnya yaitu *Ground Level* (+ 1.000 m) melalui tangga konstruksi. Hasil yang didapat adalah bahwa proyeksi tetap dapat berjalan akan tetapi dari software tersebut mendeteksi terjadi perpindahan titik tinjauan sehingga meminta untuk menyesuaikan ulang titik tinjauan. Selain itu, pada saat berpindah dari Basement 1 ke *Ground Level*, objek AR yang telah di proyeksikan juga ikut bergerak mengikuti arah gerak kita sehingga terlihat tidak berada pada titik plotting awal. Hal tersebut menyatakan bahwa dalam jangkauan yang besar atau luas, proyeksi AR akan berpindah dan mengikuti arah gerak *device* yang digunakan atau dalam kata lain tidak 100% mempunyai

ukuran 1:1 dengan skala asli. Hasil dari percobaan dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

Link:

https://youtube.com/shorts/sd2mkSRGOUE?feature=share

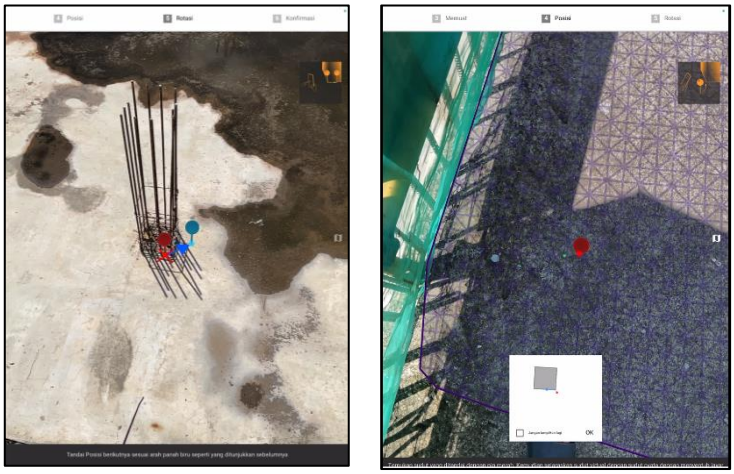


Gambar 5.114 Percobaan Pindah Level Tinjauan Proyeksi

Percobaan yang selanjutnya adalah plotting dari level yang berbeda. Pada percobaan ini, objek yang di proyeksikan berada pada level Basement 1 sedangkan posisi inspektor (*plotter*) berada satu level di atasnya (Ground Level). Hasil dari percobaan ini adalah bahwa proyeksi tidak dapat di jalankan karena posisi *plotter* harus sesuai dengan objek yang akan di proyeksikan. Hasil dari percobaan dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

Link:

https://youtube.com/shorts/nVFV6SDilG4?feature=share



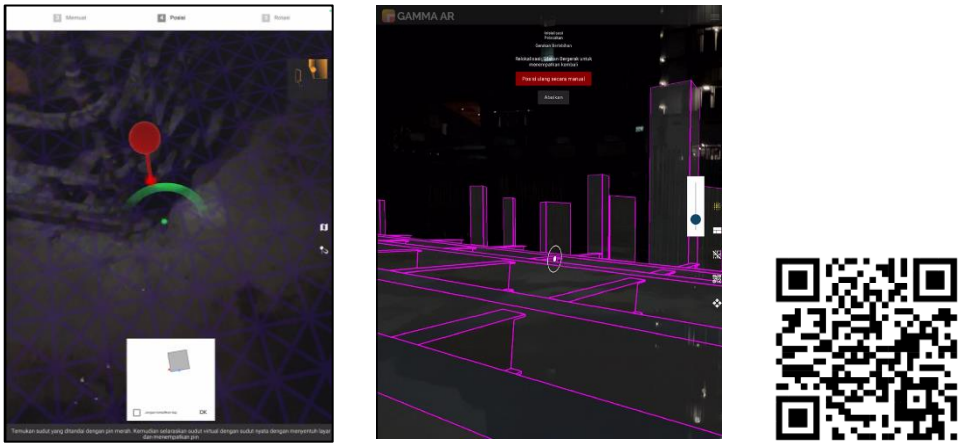
Gambar 5.115 Percobaan *Plotting* Beda Level

4. Percobaan Malam Hari

   Percobaan yang selanjutnya adalah percobaan pada malam hari. Pemposisian objek AR pada malam hari dengan konsisi tanpa bantuan cahaya lampu tidak dapat dilakukan karena software tidak dapat membaca kondisi surface dan sudut sebagai titik acuan. Dilakukan bantuan pencahayaan dengan lampu atau senter sehingga permukaan dan sudut namkah sehingga bisa di proyeksikan akan tetapi dalam pemposisian sudut, titik acuan masih bergeser tidak beraturan. Setelah proyeksi berhasil di visualkan, objek bergerak secara tidak beraturan dan tidak berada pada titik acuan awal. Dapat dilihat pada kotak kuning bahwa software meminta untuk melakukan pemposisian ulang secara manual dengan cara menggeser objek berdasarkan sumbu XYZ dan diposisikan pada objek fisik secara manual. Hasil dari percobaan dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

   Link:

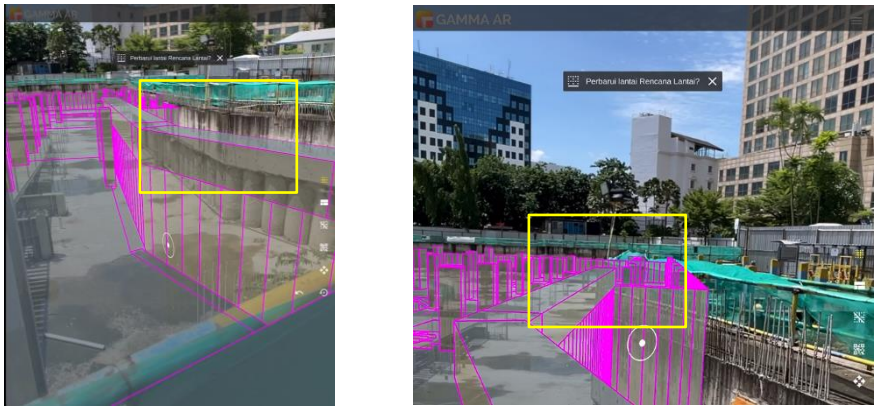
   https://youtu.be/1TZDk61p-H8



Gambar 5.116 Percobaan Malam Hari

5. Object Mengikuti Arah Gerak Device

   Objek AR dengan view of area besar (<35 m²) akan bergerak mengikuti arah gerak device. Ploting yang semula memiliki jarak Capping Beam bergerak mengikuti plotter dan ada akhirnya proyeksi AR berada tepat pada Caping Beam. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 5.117 Object Mengikuti Arah Gerak Device

6. Percobaan *All View Element*

   Pada percobaan yang terakhir yaitu *all view element* dari mulai basement 1, ground level, hingga podium level. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan kemampuan AR dalam memberikan kemudahan imajinasi pengguna dalam membayangkan bentuk suatu bangunan yang akan dibangun dengan menyuguhkan jelas secara *real-time* 3D model yang di proyeksikan

sesuai skala di lapangan. Hasil dari percobaan dapat dilihat melalui QR Code atau link url dibawah ini.

Link:

https://youtu.be/htAH10YBXk8



Gambar 5.118 Proyeksi All View Element

Secara umum, penerapan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam proses pekerjaan konstruksi memberikan pengalaman yang baru dalam dunia konstruksi. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan gambaran bahwa penerapan teknologi AR merupakan sebuah teknologi inovatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas dalam hal pemantauan dan juga pengendalian pekerjaan konstruksi. Berdasarkan percobaan di lapangan, di temukan hal-hal yang menjadi kelebihan dari penggunaan AR. Visualisasi secara *real-time* dimungkinkan untuk memberikan gambaran secara langsung kepada pengguna. Selanjutnya, kolaborasi antar pengguna sangat dimungkinkan sehingga inspeksi maupun deteksi tidah harus dilakukan oleh keseluruhan team. Hal ini menunjang pengambilan keputusan oleh pemangku kepentingan dari berbagai tempat atau tidak mengharuskan di lokasi pekerjaan. Selain itu, penggunaan AR juga dapat digunakan dalam identifikasi awal potensi-potensi yang nantinya akan menganggu kelangsungan pekerjaan seperti potensi bahaya dan kecelakaan, penemuan dalam kesalahan desain yang mengakibatkan kesalahan pekerjaan, dan lain sebagainya. Sebagaimana selaras dengan penemuan pada penelitian (Kolaei *et al.*, 2022) yang

berjudul "*Challenge and Opportunities of Augmented Reality during the Construction Phase*" bahwa berdasarkan investigasi penggunaan AR dapat digunakan sebagai visualisasi tempat-tempat yang kurang aman di area proyek sehingga pemberitahuan tentang risiko kecelakaan dapat dilakukan sedini mungkin. Seiring dengan perkembangan teknologi, AR dapat menjadi salah satu bentuk kemajuan teknologi yang harus dikembangkan untuk memanfaatkan peluangnya dalam hal peningkatan produktivitas pekerjaan pada proses pengendalian dan pemantauan kemajuan progres pekerjaan. Akan tetapi, penerapan AR dalam proses konstruksi juga mengalami kendala-kendala seperti mahalnya biaya lisensi yang harus dibayarkan oleh perusahaan pengguna kepada perusahaan pengembang AR. Kendala teknologi yang dirasakan pada saat percobaan di lapangan adalah ditunjukkan bahwa proyeksi model dengan *scope* luasan yang sangat besar berpindah mengikuti *device* yang digunakan untuk proyeksi. Dalam kata lain, polting titik awal akan berpindah mengikuti *device* sehingga di simpulkan bahwa dengan scope luasan tertentu proyeksi AR tidak sesuai dengan ukuran sebernarnya. Selain itu, kendala non teknis yang dihadapi seperti kesiapan SDM di indonesia dalam mengadaptasi teknologi ini juga dapat dikatakan masih kurang sehingga diperlukan berbagai pelatihan sehingga berbagai pihak mulai dari kontraktor, pengawas, mandor, bahkan pelaksana dapat menggunakan teknologi ini untuk mempermudah pekerjaan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Kolaei dkk., 2022), menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ini membuat staff merasa bingung terhadap penggunaan dan juga cara kerja teknologi tersebut. Masalah lain adalah kurangna penerimaan publik terkait teknologi baru. Investigasi oleh (Kolaei dkk., 2022) bahwa selalu menunjukkan adanya penolakan ketika menghadapi teknologi baru dan orang-orang cenderung masih menggunakan teknologi yang lama. Oleh karena itu, pengaplikasian dan adaptasi penggunaan teknologi baru harus di lakukan oleh berbagai pihak terkait. Berbagai pihak dalam hal ini adalah pemerintah, perusahaan, dan praktisi harus saling berkolaborasi dalam mengembangkan penerapan teknologi ini sehingga kedepannya teknologi ini dapat digunakan secara lebih luas untuk memanfaatkan potensi yang dimiliki.

BAB VI
KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. *Augmented Reality* (AR) berbasis BIM diterapkan dengan memproyeksikan model 3D ke lingkungan nyata menggunakan perangkat seperti tablet atau smart glasses. Teknologi ini memungkinkan inspeksi visual secara real-time di lapangan untuk membandingkan hasil pekerjaan dengan desain, mendeteksi kesalahan, dan memantau progres. Selain itu, AR mendukung kolaborasi melalui integrasi dengan Common Data Environment (CDE). Penerapan ini dapat meningkatkan efisiensi, namun keberhasilannya bergantung pada kualitas model, kondisi lingkungan, dan koneksi internet. Percobaan di lapangan dengan berbagai sekenario memberikan temuan terhadap kelebihan dan kekurangan AR dalam proses inspeksi tahap konstruksi.
2. Berdasarkan hasil percobaan dan wawancara, penerapan teknologi AR dalam proses inspeksi konstruksi masih terkendala oleh rendahnya kesiapan SDM, kurangnya penerimaan publik terhadap teknologi baru, dominasi metode inspeksi tradisional menggunakan gambar kerja 2D, serta tingginya biaya lisensi perangkat lunak AR.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan dari penelitian implementasi teknologi *Augmented Reality* dalam proses moonitoring dan inspeksi proyek, peneliti memberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Permodelan dapat dikembangkan pada cakupan design yang lebih luas seperti *architectural*, *mechanical*, & *plumbing* sehingga keberagaman *item* dan deteksi item pekerjaan dalam AR lebih bervariatif.

2. Pengembangan AR menggunakan *software* dengan *full-license* sehingga fitur-fitur seperti *marker based* (QR Code) dapat digunakan dalam metode pemposisian objek.
3. Percobaan AR dilakuakn dengan variabel sekenario percobaan untuk satu item pekerjaan dan keseluruhan item pekerjaan sehingga dapat dilihat bagaimana keseuaian data untuk lingkup kecil dan lingkup pekerjaan yang luas.
4. Percobaan pengaplikasian AR model pada proyek konstruksi dilakukan pada proyek yang sedang memulai tahapan konstruksi atau sedang berjalan sehingga tahapan dalam inspeksi dan monitoring dapat dilakukan dengan maksimal bersama dengan tim BIM, QC, *Engineer*, dan Pelaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Adebowale, O.J. and Agumba, J.N. (2022) "Applications of augmented reality for construction productivity improvement: a systematic review," *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(3), pp. 479–495. Available at: https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0128.

Alkan, I.B. and Basaga, H.B. (2023) "Augmented reality technologies in construction project assembly phases," *Automation in Construction*, 156(July), p. 105107. Available at: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105107.

Alqahtani, E. (2020) "A Systematic Literature Review of the Benefit of Using Augmented Reality in Higher Education," *13th Annual International Conference of Education Reaserch and Innovation*, pp. 327–330. Available at: https://doi.org/10.21125/iceri.2020.0108.

Alzahrani, N.M. (2020) "Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts," *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(16). Available at: https://doi.org/10.3390/app10165660.

Andi, A., Alifen, R.S. and Chandra, A. (2010) "Model Persamaan Struktural Pengaruh Budaya Keselamatan Kerja pada Perilaku Pekerja di Proyek Konstruksi," *Jurnal Teknik Sipil*, 12(3), p. 127. Available at: https://doi.org/10.5614/jts.2005.12.3.1.

Antoni, F.A., Despa, D. and Widyawati, R. (2023) "Peran Implementasi Building Information Modelling (BIM) Terhadap Kinerja Proyek Jalan Tol Kayuagung – Palembang – Betung Tahap II STA 67+400 – 75+000," *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 3(1). Available at: https://doi.org/10.23960/snip.v3i1.403.

Bailey, K.D. (1994) *Method Of Social Research*. New York: The Free Press.

Barrie, D.S. (1995) *Manajemen Konstruksi Professional*. Ed. II. Jakarta: Erlangga. Available at: http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?pId=14892&pRegionCode=JIUNMAL&pClientId=111.

BCA (2013) *Guidebook for Design of Buildings in Singapore to Requirements*,

Eurocode 8.

Bogdan, R.C. and Biklen, S.K. (1982) "Qualitative Research For Education: Anintroduction To Teory And Method," *Allyn and Bacon. Inc* [Preprint].

Cleland, D.I. and Irenald, L.R. (2007) *Project Management: Strategic Design And Implementation*. 5th ed. New York: McGRAW-HILL. Available at: https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071471602.

Diegmann, P. *et al.* (2015) "Benefits of Augmented Reality in Educational Environments - A Systematic Literature Review," *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015*, p. 103. Available at: https://aisel.aisnet.org/wi2015/103.

Farrel Ghiffary, M. *et al.* (2023) "Analisis progres realisasi proyek terhadap biaya pada proyek jembatan kereta api rangka baja Surakarta," *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), pp. 63–71.

Ferdiana dkk (2023) "Pengaplikasian Tingkatan Sistem Manajemen Mutu pada Proyek Konstruksi (Quality Inspection, Quality Control," *Syntax Literate*, 8(7), pp. 5050–5065. Available at: http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i6.

Firdanu, R., Achmadi, S. and Adi Wibowo, S. (2020) "Pemanfaatan Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran mengenai Peralatan Konstruksi dalam Dunia Pendidikan Berbasis Android," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 4(2), pp. 276–282. Available at: https://doi.org/10.36040/jati.v4i2.2657.

Gaspersz, V. (2001) *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedika Pustaka Utama.

Gu, N. and London, K. (2010) "Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry," *Automation in Construction*, 19(8), pp. 988–999. Available at: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2010.09.002.

Hardikasari, F. and Dewi, P.T. (2019) "Penerapan Teknologi Augmented Reality 3D Berbasis Smartphone Sebagai Alat Visualisasi Arsitektur," *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 8(4), pp. 133–138. Available at: https://doi.org/10.32315/jlbi.v9i4.136.

Herlintang, E. (2019) *Analisis Pengendalian Mutu Pada Proyek Pembangunan Apartemen Yudhistira Yogyakarta*. Available at: https://dspace.uii.ac.id/.

Husen, A. (2011) *Manajemen Proyek (Perencanaan, Penjadwalan, dan*

Pengendalian Proyek). Edisi Revi. Yogyakarta: Penerbit ANDI Yogyakarta.

Indirani, D.N. and Beatrix, M. (2024) "Kesiapan Pekerja Terhadap Impelementasi Transformasi Digital Pada Proyek Konstruksi Di Kota Surabaya," *Seminar Nasional Akademik (Senadika) 2024*, pp. 388–399.

Kirby, M. (2022) "What Is a Common Data Environtment and How Is It Used In Construction?"

Kivrak, S., Arslan, G. and Tuncan, M. (2015) "Implementing Augmented Reality in Construction Projects," *Applied Mechanics and Materials*, 719–720, pp. 197–201. Available at: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.719-720.197.

Kolaei, A.Z. *et al.* (2022a) "Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase," *Automation in Construction*, 143, p. 104586. Available at: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104586.

Kolaei, A.Z. *et al.* (2022b) "Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase," *Automation in Construction*, 143(May), p. 104586. Available at: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104586.

Koskela, L. *et al.* (2002) "The foundations of lean construction," *Design and Construction*, (January), pp. 211–226. Available at: https://doi.org/10.4324/9780080491080.

Latiffi, A.A., Brahim, J. and Fathi, M.S. (2016) "Roles and Responsibilities of Construction Players in Project Using Building Information Modeling (BIM)," 467, pp. 529–540. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33111-9.

Likita, A.J. *et al.* (2022) "Lean and BIM Implementation Barriers in New Zealand Construction Practice," *Buildings*, 12(10). Available at: https://doi.org/10.3390/buildings12101645.

Lucas, J., Hutabarat, L.E. and Agnes Sri Mulyani (2022) "Analisis Pengendalian Mutu Sample Uji Beton Untuk Lantai Pondasi Di Proyek One Tower Bsd City Dengan Menggunakan Spc (Statistical Process Control)," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan - CENTECH*, 3(1), pp. 46–56. Available at: https://doi.org/10.33541/cen.v3i1.3791.

Marpaung, D.P., Dwiretnani, A. and Ropiah, R. (2020) "Evaluasi Rencana Manajemen Mutu pada Proyek Pembangunan Jembatan Rantau Kapas Tuo Tahun

Anggaran 2017," *Jurnal Talenta Sipil*, 3(1), p. 37. Available at: https://doi.org/10.33087/talentasipil.v3i1.26.

Martha, E. and Kresno, S. (2016) *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Jakarta: Rajawali Press.

Miles, M.B. and Huberman, A.M. (1984) *Analisis Data Kualitatif*. Terjemahan. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Mohammadhossein, N., Richter, A. and Lukosch, S. (2024) "Augmented Reality in Learning Settings: A Systematic Analysis if its Benefit and Avenues for Futue Studies," *Communications of the Association for Information System*, 54, pp. 29–49. Available at: https://doi.org/10.17705/1CAIS.05402.

Moleong and Lexy, J. (2013) *Metode Penelitian Kualitatif. Edisi Revisi*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.

Murdiyanto, E. (2020) *Metode Penelitian Kualitatif (Sistematika Penelitian Kualitatif)*, *Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"Yogyakarta Press*. Available at: http://www.academia.edu/download/35360663/METODE_PENELITIAN_KUALITAIF.docx.

Mustaqim, I. (2016) "Pemanfaatan Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 13, pp. 174–183. Available at: https://doi.org/10.1109/SIBIRCON.2010.5555154.

Nassereddine, H., Hanna, A.S. and Veeramani, D. (2020) "Augmented Reality in the Construction Industry: An Industry's Prespective of Its Users, Phases, and Future Trends," *Construction Research Congress 2020: Computer Applications*, pp. 743–752.

Nawawi, H. (2005) *Penelitian Terapan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

O'Brien, J.J. (2012) *Construction Inspection Handbook: Total Quality Management*. 4th ed. Springer Scince &Business Media. Available at: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6017-3.

Ocean, J. (2024) *What is BIM in construction management? BIM in construction industry.*, *revisto*. Available at: https://revizto.com/en/bim-in-construction-management/ (Accessed: October 29, 2024).

Ok, W.P. *et al.* (2022) "ANALISIS BEHAVIOR INTENTION TERHADAP KEEFEKTIFAN MEDIA PROMOSI DIGITAL MENGGUNAKAN AUGMENTED REALITYY," *Jurnal Ilmian Betrik* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.36050/betrik.v13i2.511.

Pan, N.-H. and Isnaeni, N.N. (2024) "Integration of Augmented Reality and Building Information Modeling for Enhanced Construction Inspection—A Case Study," *Buildings*, 14(3), p. 612. Available at: https://doi.org/10.3390/buildings14030612.

Patton, M.Q. (2002) *Qualitative Research And Evaluation Method*. 3 rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publication.

Peraturan Menteri PUPR No 9, P. (2021) "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahaan Rakyat No. 9 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan," *Kemetrian R*, 2021, pp. 1–212.

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 (2021) "Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung," *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, p. 299. Available at: https://peraturan.bpk.go.id/Details/161846/pp-no-16-tahun-2021.

Piroozfar, P. *et al.* (2017) "The application of Augmented Reality and Virtual Reality in the construction industry using wearable devices," *The Ninth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-9)* [Preprint], (March). Available at: https://www.researchgate.net/publication/315734571.

Porwal, A. and Hewage, K.N. (2013) "Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects," *Automation in Construction*, 31, pp. 204–214. Available at: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2012.12.004.

Preidel, C., Konig, M. and Bormann, A. (2018) "Common Data Environtment," *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*, (November 2020), pp. 1–15. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3.

Prihartanto, E. (2023) *Teknik Sipil Di Era Digital*. Available at: https://ekoprihartanto.wordpress.com/2023/03/10/teknik-sipil-di-era-digital/

(Accessed: November 21, 2024).

Rahman, I. (2010) "Earned Value Analysis Terhadap Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung," *Engineering* [Preprint]. Available at: https://www.semanticscholar.org/paper/EARNED-VALUE-ANALYSIS-TERHADAP-BIAYAPADA-PROYEK-Rahman/3d3a28c351a1242705fa2cef396e1a61823ac5c2.

Ramadhan, M.F., Siroj, R.A. and Afgani, M.W. (2024) "Validitas and Reliabilitas," *Journal on Education*, 6(2), pp. 10967–10975. Available at: https://doi.org/10.31004/joe.v6i2.4885.

Ramadhani, F. (2023) "IMPLEMENTASI BIM PADA TAHAP PELAKSANAANKONSTRUKSI DENGAN COMMON DATAENVIRONMENT (CDE) (studi kasus: Proyek Gedung Universitas Nahdatul UlamaYogyakarta)," pp. 34–34.

Rankohi, S. and Waugh, L. (2013) "Review and analysis of augmented reality literature for construction industry," *Visualization in Engineering*, 1(1). Available at: https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-9.

Reddy, K.P. (2011) "BIM for Building Owners and Developers: Making a Business Case for Using BIM on Project," *Wiley*, p. 240. Available at: https://www.wiley.com/en-ca/BIM+for+Building+Owners+and+Developers%3A+Making+a+Business+Case+for+Using+BIM+on+Projects-p-9780470905982.

Rexy (2024) *Platform Digital berbasis ISO 19086 untuk Produktivitas Proyek Konstruksi*, *ISOCENTER INDONESIA*. Available at: https://isoindonesiacenter.com/platform-digital-berbasis-iso-19086-untuk-produktivitas-proyek-konstruksi/.

Rizky Hutama, H. and Sekarsari, J. (2019) "Analisa Faktor Penghambat Penerapan Building Information Modeling Dalam Proyek Konstruksi," *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), pp. 25–31. Available at: https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v4i1.716.

Saar, C.C. *et al.* (2019) "Bim integration in augmented reality model," *International Journal of Technology*, 10(7), pp. 1266–1275. Available at: https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i7.3278.

Salim, B.H., Sudibio, J. and Nugraha, P. (2022) "Survei Pemahaman dan Kesiapan Pelaku Konstruksi di Surabaya dalam Penggunaan Augmented Reality (AR)," *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 11(Vol. 11 No. 2 (2022)).

Santoso, J.T. (2021) *Augmented Reality*. YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK. Available at: https://digilib.stekom.ac.id/ebook/view/augmented-reality-ar.

Sarifudin, F. and Fuk Jin, O. (2024) "Peranan Bim Dalam Konstruksi Perumahan (the Role of Bim in Residential Construction)," *Dinamika Rekayasa, Unsoed*, 20 Nomor 1, pp. 77–84. Available at: http://jurnal.dinarek.unsoed.ac.id.

Sekaran, U. (2011) *Metode Penelitian untuk Bisnis*. Jakarta: Salemba Empat.

Silitonga, D.M., Hendrawan, S.Y. and Jin, O.F. (2024) "Digitalisasi Metode Konstruksi Pada Proyek High-Rise Building," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(3), pp. 795–806. Available at: https://doi.org/10.24912/jmts.v7i3.26755.

Simanjuntak, J.O. *et al.* (2018) "Monitoring proyek berbasis indeks kinerja," 2(1), pp. 11–17.

Sudiansyah, N. and Wahyu Adi, T.J. (2024) "Pengaruh Kesiapan Teknologi, Karakteristik Perusahaan dan Adopsi Inovasi Terhadap Keunggulan Kompetisi pada Perusahaan Konstruksi di Indonesia," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 22(3), p. 233. Available at: https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v22i3.17618.

Sugiyono (2009) *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Sugiyono (2012) *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Sugiyono (2013) *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Tran, S.V.T. *et al.* (2021) "A hazard identification approach of integrating 4d bim and accident case analysis of spatial–temporal exposure," *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1–19. Available at: https://doi.org/10.3390/su13042211.

Unas, S. El *et al.* (2016) "MONITORING PROYEK DENGAN METODE MONTE CARLO PADA DURASI PEKERJAAN (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Bank Muamalat Indonesia Cabang Malang)," 10(3), pp. 241–249.

Wang, S.K. and Chen, H.M. (2020) “A Construction Progress On-site Monitoring and Presentation System Based on the Integration of Augmented Reality and BIM,” *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot*, (Isarc), pp. 147–154. Available at: https://doi.org/10.22260/isarc2020/0023.

Wastunimpuna, B.Y.A. and Purwanto, L.M.F. (2021) “Augmented Reality dalam Proses Desain Arsitek Masa Depan,” *Journal of Digital Architecture*, 1. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.24167/joda.v1i1.3494.

Wiraguna, S.A. and Purwanto, L.M.F. (2024) “Implementasi Teknologi Digital pada Tahap Konstruksi Oceanarium di Indonesia,” 6(1), pp. 2–6.

Yu, S. *et al.* (2024) “Application and Research of BIM Technology in the Construction of Ningbo International Conference Center,” pp. 1–25.

Zed, M. (2014) *Metode Penelitian Kepustakaan*. Cet.3. Jakarta: Yayasan Putstaka Obor Indonesia.

Zuriah, N. (2009) *Metodologi Penelitian Sosial Dan Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pedoman Wawacara

Instrumen penelitian

PEDOMAN WAWANCARA

"IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *AUGMENTED REALITY* (AR) SEBAGAI ALAT INSPEKSI DAN MONITORING PROGRES PEKERJAAN KONSTRUKSI"

(Studi Kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya)

Informan Penelitian : ..... PTPP (Persero) Tbk Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya

A. Identitas Informan

Nama :

Jabatan:

B. Daftar Pertanyaan

Indikator 1 : Pertanyaan Sebelum Menggunakan *Augmented Reality*

1. Bagaimana cara yang dilakukan pada saat melaksanakan proses inspeksi pekerjaan struktural Basement 1?
2. Apa kendala yang sering dialami pada saat melaksanakan proses inspeksi pekerjaan dengan cara kegiatan inspeksi yang digunakan saat ini?
3. Bagaimana cara yang dilakukan pada saat proses monitoring progres pekerjaan (*Mapping*) pada pekerjaan struktural Basement 1?
4. Apa kendala yang sering dialami oleh pada saat melakukan proses progres monitoring (*Mapping*) selama proses konstruksi pekerjaan struktural Basement 1 dengan menggunakan metode *mapping* saat ini?

5. Jika terjadi kelasahan pengerjaan oleh tukang, bagaimana pelaporan yang dilakukan oleh *Engineer* Pelaksana atau *Quality Control* selama ini dengan menggunakan metode inspeksi saat ini?

Indikator 2: Proses Penggunaan *Augmented Reality*

1. Apakah Anda selaku BIM *Engineer* Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya mengetahui penggunaan teknologi *Augmented Reality* dalam industri konstruksi?
2. Apakah penggunaan Augmented Reality dalam proses inspeksi pekerjaan mudah dipahami?
3. Apakah proyeksi 3D yang di tampilkan di software AR pada saat di terapkan di lapangan dengan skala 1:1 sudah sesuai dengan objek 3D yang dimodelkan pada *Software autorized* BIM?
4. Seberapa besar tingkat kesesuaian atau akurasi pada saat pengintegrasian data dan informasi pada permodelan 3D berskala 1:1 yang diproyeksikan oleh AR dengan permodelan BIM?
5. Apakah fitur yang terdapat dalam *software* AR dapat memberikan kemudahan dalam kegiatan inspeksi maupun *mapping* pada objek yang akan atau sudah diinspeksi?

Indikator 3: Setelah Penggunaan *Augmented Reality*

1. Dengan proyeksi permodelan 3D yang telak dilakukan menggunakan skala 1:1 di lapangan yang terintegrasi dengan BIM, apakah penggunaan Augmented Reality dapat mengoptimalkan pelaksanaan inspeksi pekerjaan pada Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya ?
2. Apakah penggunaan teknologi AR dalam proses inspeksi dan monitoring pekerjaan dengan pengintegrasian data dapat memberikan efisiensi dalam proses inspeksi?

3. Kendala seperti apa yang dirasakan atau dialami selama penggunaan teknologi AR sebagai alat inspeksi dan monitoring progres pekerjaan?

Lampiran 2 : Pedoman Observasi

Instrumen Penelitian

PEDOMAN OBSERVASI

"IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *AUGMENTED REALITY* (AR) SEBAGAI ALAT INSPEKSI DAN MONITORING PROGRES PEKERJAAN KONSTRUKSI"

(Studi Kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya)

Pada penelitian yang akan di lakukan, peneliti menggunakan pedoman observasi yang disusun untuk mempermudah dalam melakukan penelitian. Pedoman observasi pada penelitian, sebagai berikut:

Hari/Tanggal : Rabu-Kamis, 18-19 Desember 2024

Lokasi : Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya

Alamat : Jl. Embong Sawo, No.1, Embong Kaliasin, Kec. Genteng, Kota Surabaya, Jawa Timur

No.	Pernyataan	Ya	Tidak	Keterangan
1.	Proyek konstruksi berbasis BIM pada pelaksanaan konstruksi	v		
2.	Mengamati proses inspeksi dan juga monitoring progres pekerjaan	v		
3.	Mengamati dan menganalisis kendala yang ditemui berdasarkan metode inspeksi ataupun monitoring yang diterapkan pada proyek	v		

4.	Mengamati dan menganalisis proses pendataan dan arsip dokumen inspeksi dan monitoring proyek	v		
5.	Menganalisis kemungkinan pengaplikasian teknologi AR sebagai alat untuk proses inspeksi dan monitoring pekerjaan	v		
6.	Menganalisis kelemahan dan kelebihan pengaplikasian teknologi AR sebagai alat inspeksi dan monitoring berdasarkan sumber daya yang ada di proyek	v		

Lampiran 3 : Pedoman Dokumentasi

Instrumen Penelitian

PEDOMAN DOKUMENTASI

Pedoman dokumentasi dalam penelitian yang berjudul:

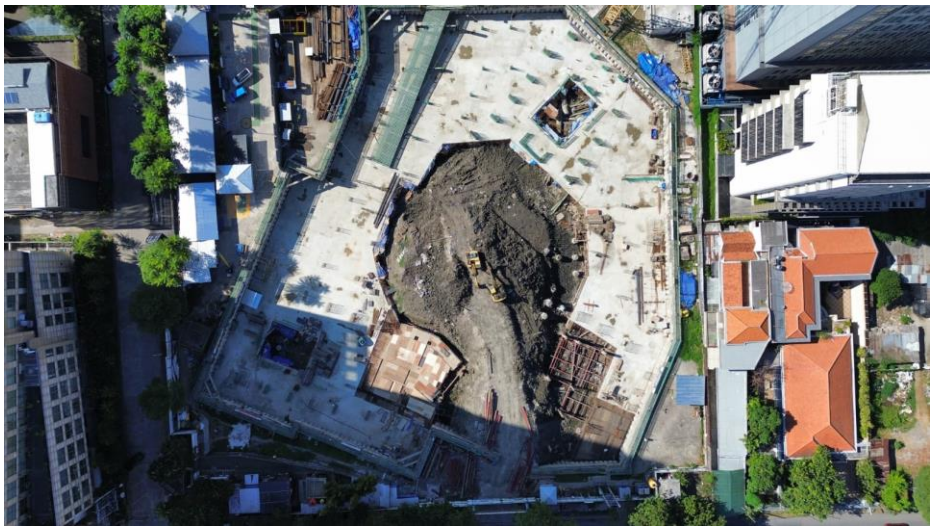
"IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *AUGMENTED REALITY* (AR) SEBAGAI ALAT INSPEKSI DAN MONITORING PROGRES PEKERJAAN KONSTRUKSI"

(Studi Kasus Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya)

yaitu sebagai berikut :

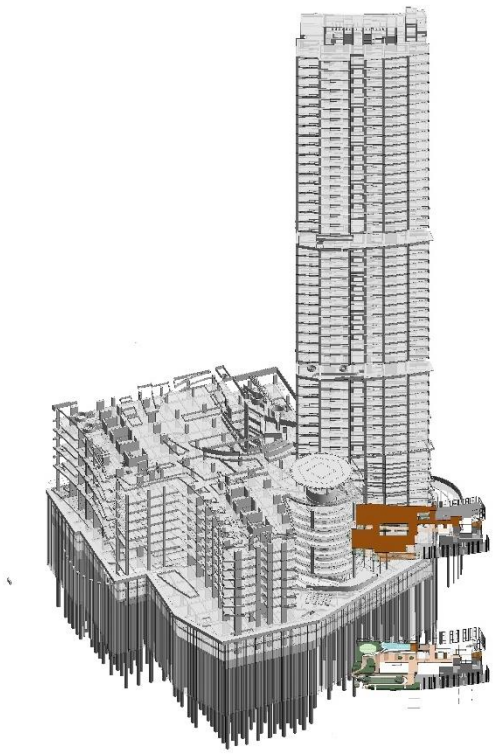
No.	Sumber Dokumentasi	Ada	Tidak
1.	Gambaran umum denah atau desain dari bangunan yang akan dibangun	v	
2.	Hubungan kerja antar unsur-unsur proyek dan Struktur organisasi PTPP (Persero) Tbk Proyek Pekerjaan Struktur Pembangunan *Basement Podium Fase* 1 dan *Tower* Aubrey Grand Shamaya Surabaya	v	
3.	*Flowchart* Pekerjaan pada dokumen *Work Method Statement*	v	
4.	Tampilan proses dalam menggunakan *software* AR sebagai alat inspeksi	v	
5.	Proses wawancara dengan narasumber	v	
6.	Proses observasi dengan objek terkait	v	

Lampiran 4 : Gambaran Umum Denah Bangunan



Gambar L.4-1 Tampak Atas Proyek

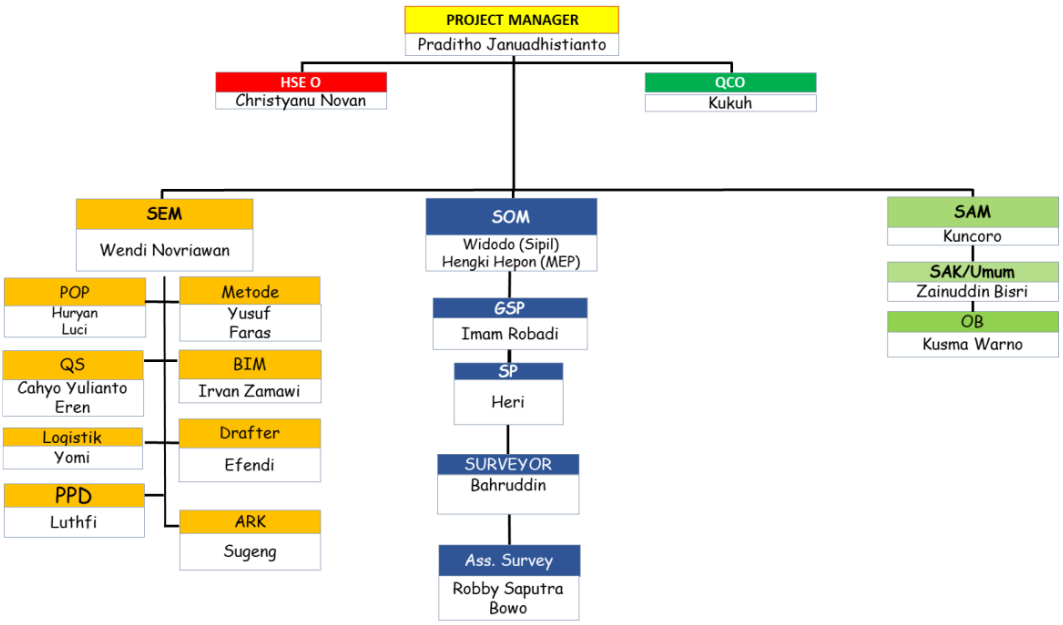
(Sumber: Dokumen Proyek, 2023)



Gambar L.4-2 Model 3D Proyek Grand Shamaya Surabaya

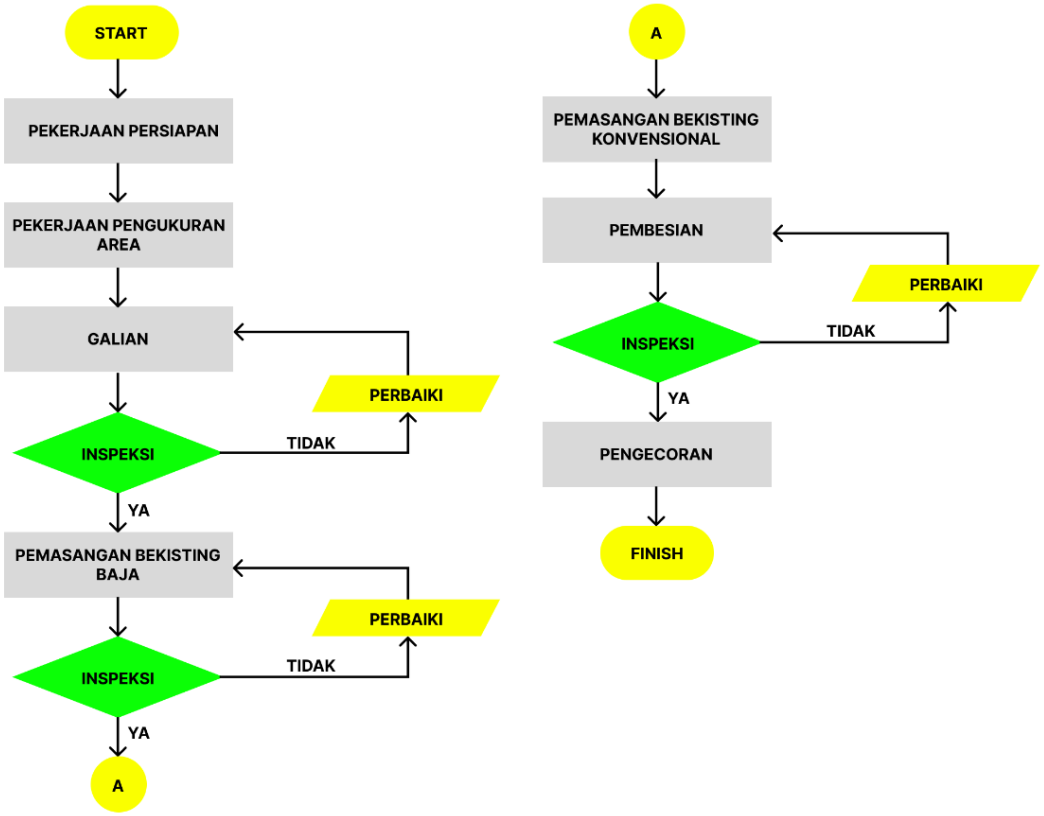
(Sumber: Dokumen BIM Proyek, 2023)

Lampiran 5 : Hubungan Antar Kerja Unsur-Unsur Proyek



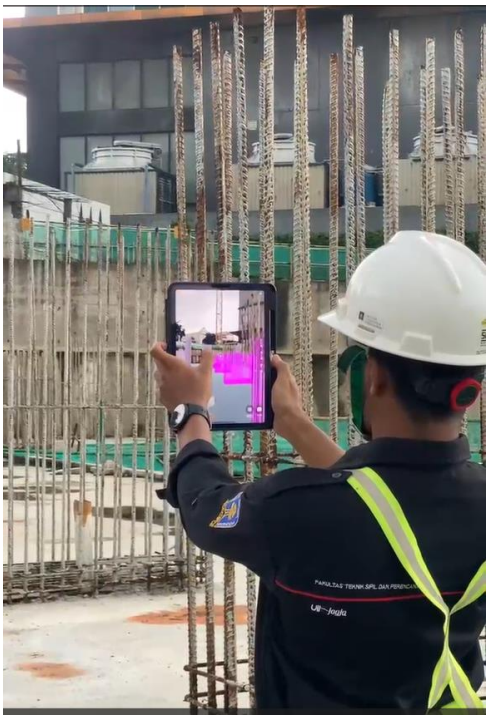
Gambar L.5-1 Struktur Organisasi Proyek
(Sumber: Dokumen WMS Proyek, 2023)

Lampiran 6 : Flowchart Pekerjaan

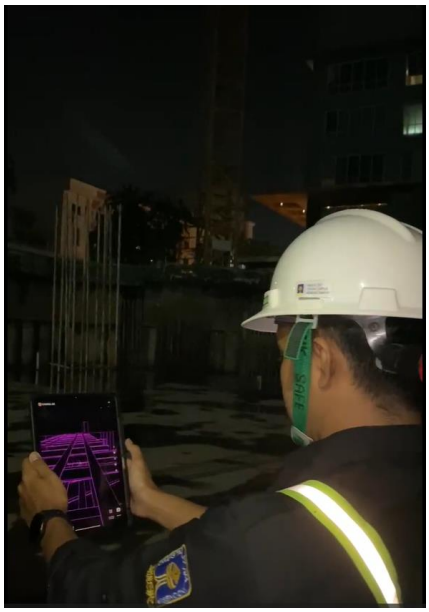


Gambar L.6-1 Flowchart Keseluruhan Pekerjaan
(Sumber: Dokumen WMS Proyek, 2023)

Lampiran 7 : Tampilan Proses Menggunakan AR



Gambar L.7-1 Proses Percobaan AR di Lapangan



Gambar L.7-2 Percobaan AR di Malam Hari

Lampiran 8 : Proses Wawancara



Gambar L.8-1 Proses Wawancara

Lampiran 9 : Proses Observasi dengan Objek Terkait



Gambar L.9-1 Proses Observasi di Lokasi Proyek



Gambar L.9-2 Proses Observasi pada Tulangan Kolom Tower