

**IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM)  
DALAM ANALISIS WASTE MATERIAL PENULANGAN BALOK PADA  
PEMBANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK (GLT) 4  
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA**

**Oleh**

**FAJAR RYANDANA PRADIPTA RAHARDI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) DALAM ANALISIS *WASTE MATERIAL* PENULANGAN BALOK PADA PEMBANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK (GLT) 4 INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA

Oleh

**FAJAR RYANDANA PRADIPTA RAHARDI**

Kemajuan era industri saat ini akibat perkembangan teknologi diharapkan mampu menciptakan iklim pekerjaan yang efektif dan efisien dari segi material, tenaga, dan waktu. Salah satu tantangan terbesar pada industri konstruksi adalah berkaitan dengan penggunaan material yang menghasilkan *waste*. Oleh sebab itu, konsep *Building Information Modeling* (BIM) perlu diaplikasikan ke dalam seluruh alur pekerjaan pembangunan mulai dari konsep hingga demolisi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pekerjaan dari segi tenaga, waktu, maupun penggunaan sumber daya material yang akan berdampak terhadap berkurangnya *waste material*. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji penerapan *Building Information Modeling* (BIM) terhadap optimalisasi penggunaan material baja tulangan pada penulangan balok. Penerapan konsep BIM pada penelitian ini dilakukan melalui *software* Autodesk Revit. Tahapan-tahapan penelitian ini mencakup perumusan konsep, pengumpulan data, pemodelan struktural BIM 3D, penjadwalan tulangan balok, pembuatan *cutting list* menggunakan *software* Cutting Optimization Pro dan analisis *waste material*. Hasil penelitian menunjukkan berat kebutuhan perlu untuk penulangan balok sebesar 131873,68 kg dan terpakai sebesar 122160,22 kg dengan persentase *waste material* masing-masing untuk tulangan D10 sebesar 2,05%; tulangan D13 sebesar 4,42%; tulangan D16 sebesar 7,20%; dan tulangan D19 sebesar 20,06%.

Kata kunci: Autodesk Revit, Baja Tulangan, Balok, *Building Information Modeling* (BIM), *Cutting List*, Cutting Optimization Pro, Penjadwalan, *Waste Material*.

## **ABSTRACT**

### **IMPLEMENTATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) IN ANALYZING WASTE MATERIAL OF BEAM REINFORCEMENT AT THE CONSTRUCTION GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK (GLT) 4 INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA.**

**By**

**FAJAR RYANDANA PRADIPTA RAHARDI**

The advancement of the current industrial era due to technological developments is expected to create an effective and efficient work climate regarding material, labor, and time. One of the biggest challenges in the construction industry is using materials that produce waste. Therefore, the Building Information Modeling (BIM) concept needs to be applied to the entire flow of development work from concept to demolition. This aims to increase the effectiveness and efficiency of work in terms of labor, time, and use of material resources which will impact reducing material waste. This research examined the application of Building Information Modeling (BIM) to optimize the use of reinforcement bar material in beam reinforcement. The application of the BIM concept in this research was carried out through Autodesk Revit software. The stages of this research include concept formulation, data collection, 3D BIM structural modeling, beam rebar scheduling, making a cutting list using Cutting Optimization Pro software, and material waste analysis. The results showed that the weight required for beam reinforcement was 131873.68 kg and used was 122160.22 kg with a percentage of waste material for D10 rebar of 2.05%, D13 rebar of 4.42%, D16 rebar of 7.20%, and D19 rebar of 20.06%.

**Keywords:** Autodesk Revit, Building Information Modeling (BIM), Beam Reinforcement, Cutting List, Cutting Optimization Pro, Material Waste, Rebar Schedule.

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)* DALAM ANALISIS *WASTE MATERIAL* PENULANGAN BALOK PADA PEMBANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK (GLT) 4 INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA**

Nama Mahasiswa : **Fajar Ryandana Pradipta Rahardi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011044

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



**MENYETUJUI**

Komisi Pembimbing

**Bayzoni, S.T., M.T.**  
NIP 19730514 200003 1 001

**Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**  
NIP 19740530 200012 2 001

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

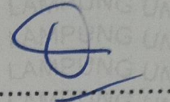
**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP 19691111 200003 1 002

**Dr. Suyadi, S.T., M.T.**  
NIP 19741225 200501 1 003

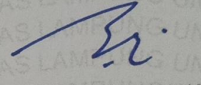
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

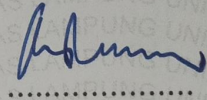
**Ketua : Bayzoni, S.T., M.T.**



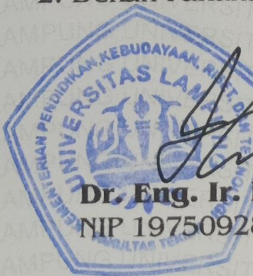
**Sekretaris : Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**



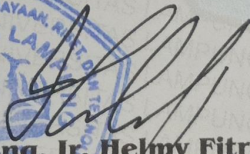
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Ir. Ashruri, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19750928 200112 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 4 September 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fajar Ryandana Pradipta Rahardi  
NPM : 1915011044  
Program Studi/Jurusan : S1/Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*IMPLEMENTASI BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) DALAM ANALISIS WASTE MATERIAL PENULANGAN BALOK PADA PEMBANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TEKNIK (GLT) 4 INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada saya dan Pembimbing I, Bapak Bayzoni, S.T., M.T. Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 4 September 2024



Fajar Ryandana Pradipta Rahardi

## RIWAYAT HIDUP



Fajar Ryandana Pradipta Rahardi merupakan nama penulis sendiri, lahir di Kabupaten Pemalang, Provinsi Jawa Tengah pada tanggal 14 Mei 2001 sebagai anak pertama dari dua bersaudara oleh pasangan Bapak Sigit Suhardi dan Ibu Suci Rahayu. Penulis mulai menempuh pendidikan dari Sekolah Dasar di SD Negeri Cimahi Mandiri 5 pada tahun 2007–2013, dan melanjutkan jenjang pendidikan berikutnya ke Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 6 Kota Cimahi sampai tahun 2016, kemudian dilanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Kota Cimahi dari tahun 2016–2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Penulis turut serta aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil sebagai anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan di tahun 2021–2022. Pada bulan Juni 2022 hingga bulan Agustus 2022 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Muara Gading Mas, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung.

Kemudian penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) selama 3 bulan dari Agustus sampai November 2022 pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera. Penulis memutuskan untuk mengambil tugas akhir dengan judul “Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam Analisis *Waste Material* Penulangan Balok pada Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera”.

# Persembahan

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, puji dan syukur selalu saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas karunia dan kehendak-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam.

Saya persembahkan skripsi ini untuk:

## **Kedua Orangtua dan Keluarga Tercinta**

Yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan moral ataupun materi kepada penulis. Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan.

## **Dosen Pembimbing dan Penguji**

Yang sangat berjasa dalam membantu dan membimbing serta selalu memberikan ilmu dalam penyelesaian skripsi ini.

## **Sahabat, Rekan dan Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2019**

Yang selalu menghibur serta mendukung dan memberikan semangat agar dapat menyelesaikan skripsi ini.

## **Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil**

Sebagai tempat bernaung selama mengemban ilmu untuk bekal di masa yang akan datang.



# MOTTO

“Dan Dia mendapatimu sebagai seorang yang bingung,  
lalu Dia memberikan petunjuk.”

(Q.S. Ad-Dhuha: 7)

“Tak ada jalan menuju kebahagiaan. Kebahagiaan itu adalah jalan.”

(Gautama Buddha)

“One day, you'll leave this world behind. So live a life you will remember.”

(Tim Bergling)

“This world is cruel and merciless, but it's also very beautiful”

(Mikasa Ackerman)

## SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyusun serta menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam Analisis *Waste Material* Penulangan Balok pada Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, DEA., IPM., ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku Pembimbing Pertama yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu pengetahuan, kritik, saran, serta semangat selama proses penyelesaian penelitian ini.
6. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Pembimbing Kedua yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu pengetahuan, kritik, saran, serta semangat selama proses penyelesaian penelitian ini.
7. Bapak Ir. Ashruri, S.T., M.T., selaku Penguji yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu pengetahuan, kritik, saran, serta semangat selama proses penyelesaian penelitian ini.

8. Bapak Ir. Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses perkuliahan.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan pengalaman selama proses perkuliahan.
10. Keluarga tercinta, Bapak Sigit Suhardi dan Ibu Suci Rahayu serta Arawinda Syafa Rahardi sebagai pendukung utama, yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan dan kepercayaan selama proses penyelesaian penelitian dan perkuliahan ini.
11. Daffa Nurvireza dan seluruh rekan-rekan penelitian BIM yang telah membantu mengajarkan pengoperasian BIM, memberikan diskusi dan referensi serta semangat untuk menyelesaikan penelitian ini.
12. Amir, Muniif, Hijrah, Fauzan, Ulwan, Andi, dan Rizka yang telah memberikan dukungan, baik dalam dunia akademis maupun non akademis, juga tentunya dorongan semangat selama perkuliahan dan penelitian ini.
13. SOLID 19, seluruh rekan seperjuangan Angkatan 2019 Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan selama ini.
14. Diri saya sendiri yang masih bisa bertahan setelah melewati masa-masa sulit selama proses perkuliahan hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwasanya masih banyak keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis sehingga mengakibatkan banyaknya kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik serta saran yang membangun dari pembaca sehingga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bandar Lampung, 4 September 2024

Penulis,

**Fajar Ryandana Pradipta R**

## DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                            | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                             | <b>viii</b> |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                           | <b>1</b>    |
| 1.1. Latar Belakang .....                             | 1           |
| 1.2. Perumusan Masalah .....                          | 3           |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                          | 4           |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                         | 4           |
| 1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....                   | 4           |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                     | <b>6</b>    |
| 2.1. Material Konstruksi .....                        | 6           |
| 2.2. <i>Waste</i> Material .....                      | 7           |
| 2.3. <i>Building Information Modeling</i> (BIM) ..... | 9           |
| 2.4. Autodesk Revit .....                             | 13          |
| 2.5. Baja Tulangan .....                              | 15          |
| 2.6. <i>Rebar Schedule</i> .....                      | 19          |
| 2.7. <i>Quantity Take Off</i> Material .....          | 20          |
| 2.8. Cutting Optimization Pro .....                   | 20          |
| 2.9. Balok Beton Bertulang .....                      | 20          |
| <b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....               | <b>27</b>   |
| 3.1. Jenis Penelitian .....                           | 27          |
| 3.2. Gambaran Umum Objek Penelitian .....             | 27          |
| 3.3. Data Penelitian .....                            | 29          |
| 3.4. <i>Software</i> Penelitian .....                 | 30          |
| 3.5. Tahapan Penelitian .....                         | 30          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                            | <b>34</b> |
| 4.1. Data Struktur Bangunan .....                                | 34        |
| 4.2. Pemodelan 3D Bangunan .....                                 | 40        |
| 4.3. Pengecekan Deteksi Tabrakan ( <i>Clash Detection</i> )..... | 76        |
| 4.4. Pengeluaran Data <i>Rebar Schedule</i> .....                | 77        |
| 4.5. <i>Cutting List</i> .....                                   | 82        |
| 4.6. Analisis <i>Waste Material</i> .....                        | 85        |
| 4.7. Pembahasan .....  | 90        |
| <b>V. PENUTUP</b> .....  | <b>94</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....  | 94        |
| 5.2. Saran .....   | 95        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                                      | <b>96</b> |
| <b>LAMPIRAN</b> .....  | <b>99</b> |
| Lampiran A (Pemodelan Revit)                                     |           |
| Lampiran B (Gambar Kerja)  |           |
| Lampiran C (Lembar Asistensi)                                    |           |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar  | Halaman |
|---|---------|
| 1. Siklus hidup bangunan. ....                              | 9       |
| 2. Model dimensi dalam BIM. ....                            | 11      |
| 3. Baja tulangan.....                                       | 15      |
| 4. Baja tulangan beton polos. ....                          | 16      |
| 5. Baja tulangan beton sirip/ulir bambu. ....               | 17      |
| 6. Baja tulangan beton sirip/ulir curam. ....               | 18      |
| 7. Baja tulangan beton sirip/ulir tulang ikan. ....         | 18      |
| 8. Detail balok beton bertulang. ....                       | 21      |
| 9. Sambungan balok dan kolom. ....                          | 22      |
| 10. Kait standar.....                                       | 24      |
| 11. Kait sengkang dan sengkang ikat. ....                   | 24      |
| 12. Grafik tulangan lentur pada struktur balok menerus..... | 26      |
| 13. Denah lokasi objek penelitian. ....                     | 28      |
| 14. Visualisasi 3D GLT 4 ITERA. ....                        | 29      |
| 15. Diagram alir pemodelan 3D struktural.....               | 32      |
| 16. Diagram alir penelitian.....                            | 33      |
| 17. Denah <i>pile cap</i> dan <i>bore pile</i> .....        | 34      |
| 18. Detail penulangan PC1 dan PC2. ....                     | 35      |
| 19. Denah <i>tie beam</i> .....                             | 35      |
| 20. Denah kolom lantai dasar. ....                          | 36      |
| 21. Denah kolom lantai 2–4. ....                            | 36      |
| 22. Denah balok lantai 2–4.....                             | 37      |
| 23. Denah balok lantai atap. ....                           | 37      |
| 24. Denah pelat lantai 2–4.....                             | 39      |
| 25. Denah pelat lantai atap. ....                           | 39      |

|   |    |
|---|----|
| 26. Tampilan awal <i>software</i> Autodesk Revit.....                       | 40 |
| 27. Pembuatan <i>grid</i> . .....   | 41 |
| 28. Pembuatan <i>level</i> . .....  | 41 |
| 29. Kotak dialog “type properties” <i>rebar bar</i> . .....                 | 42 |
| 30. Kotak dialog “type properties” <i>rebar hook</i> . .....                | 43 |
| 31. Penambahan kait tulangan.....   | 44 |
| 32. <i>Tools</i> “edit sketch” <i>structural rebar</i> . .....              | 44 |
| 33. Membuat <i>family</i> baru. ....  | 46 |
| 34. Pemodelan <i>family</i> pondasi baru. ....                              | 46 |
| 35. Hasil pemodelan <i>family</i> pondasi baru. ....                        | 46 |
| 36. <i>Tools</i> “section”. .....   | 47 |
| 37. Mengatur selimut beton pondasi. ....                                    | 47 |
| 38. Pemodelan tulangan pondasi <i>bore pile</i> dan <i>pile cap</i> . ..... | 47 |
| 39. Hasil pemodelan tulangan pondasi. ....                                  | 48 |
| 40. Denah pemodelan pondasi. ....   | 49 |
| 41. <i>Tools</i> “beam”. .....  | 49 |
| 42. <i>Load family</i> “M_Concrete-Rectangular Beam.rfa”.....               | 49 |
| 43. Kotak dialog “type properties” <i>concrete rectangular beam</i> .....   | 50 |
| 44. Pemodelan <i>tie beam</i> . .....                                       | 50 |
| 45. Membuat garis bantu pada potongan <i>tie beam</i> .....                 | 51 |
| 46. Pemodelan tulangan <i>tie beam</i> . ....                               | 51 |
| 47. <i>Tools</i> “placement” tulangan. ....                                 | 52 |
| 48. <i>Tools</i> “rebar set”. .....   | 52 |
| 49. Menambahkan detail tulangan <i>tie beam</i> .....                       | 52 |
| 50. Hasil pemodelan tulangan <i>tie beam</i> . ....                         | 53 |
| 51. Denah pemodelan <i>tie beam</i> . ....                                  | 53 |
| 52. <i>Tools</i> “column”. .....  | 53 |
| 53. <i>Load family</i> “M_Precast-Square Column.rfa”. .....                 | 54 |
| 54. Kotak dialog “type properties” <i>precast square column</i> ”.....      | 54 |
| 55. Pemodelan kolom <i>precast</i> . .....                                  | 54 |
| 56. <i>Toolbar</i> “properties” <i>precast square column</i> ”.....         | 55 |
| 57. Membuat garis bantu pada potongan kolom <i>precast</i> . ....           | 55 |

|  |    |
|--|----|
| 58. Pemodelan tulangan kolom <i>precast</i> . .....                        | 56 |
| 59. Hasil pemodelan kolom <i>precast</i> . .....                           | 56 |
| 60. Denah pemodelan kolom <i>precast</i> . .....                           | 57 |
| 61. <i>Tools</i> “beam” pada <i>tab menu</i> “structure”. .....            | 57 |
| 62. <i>Tools</i> “load family” balok. ....                                 | 57 |
| 63. <i>Load family</i> “M_Precast-Rectangular Beam.rfa” .....              | 57 |
| 64. Kotak dialog “type properties” <i>precast rectangular beam</i> . ..... | 58 |
| 65. Pemodelan balok <i>precast</i> . .....                                 | 58 |
| 66. Membuat garis bantu pada potongan balok <i>precast</i> . .....         | 59 |
| 67. Pemodelan tulangan balok <i>precast</i> . .....                        | 59 |
| 68. Mengatur jumlah dan spasi tulangan pada balok <i>precast</i> . .....   | 60 |
| 69. Mengatur detail tulangan balok <i>precast</i> . .....                  | 60 |
| 70. Hasil pemodelan balok <i>precast</i> . .....                           | 61 |
| 71. Denah pemodelan balok <i>precast</i> . .....                           | 61 |
| 72. Tampak 3D pemodelan balok <i>precast</i> . .....                       | 61 |
| 73. Menambahkan <i>schedule mark</i> pada tulangan balok. ....             | 62 |
| 74. <i>Tools</i> “floor: structural”. .....                                | 63 |
| 75. Kotak dialog “Type properties” <i>floor</i> . .....                    | 63 |
| 76. Kotak dialog “Edit assembly” <i>floor</i> . .....                      | 63 |
| 77. Pemodelan pelat <i>precast</i> . .....                                 | 64 |
| 78. Membuat garis bantu pada potongan pelat <i>precast</i> . .....         | 64 |
| 79. Pemodelan tulangan pelat <i>precast</i> . .....                        | 65 |
| 80. Mengatur jumlah dan spasi tulangan pada pelat <i>precast</i> . .....   | 65 |
| 81. Hasil pemodelan pelat <i>precast</i> . .....                           | 65 |
| 82. Denah pemodelan pelat <i>precast</i> lantai 2–4. ....                  | 66 |
| 83. Denah pemodelan pelat <i>precast</i> lantai atap. ....                 | 66 |
| 84. <i>Tools</i> “component model in-place”. .....                         | 66 |
| 85. Kotak dialog “family category and parameters”. .....                   | 67 |
| 86. Pemodelan sambungan <i>precast</i> kolom, balok, dan pelat. ....       | 67 |
| 87. Hasil pemodelan sambungan <i>precast</i> kolom, balok, dan pelat. .... | 67 |
| 88. Konfigurasi <i>topping</i> pelat lantai. ....                          | 68 |
| 89. Pemodelan <i>topping</i> pelat lantai. ....                            | 68 |



|   |    |
|---|----|
| 90. <i>Tools</i> “fabric area”.....   | 69 |
| 91. Kotak dialog “Type properties” <i>fabric sheet</i> .....                | 69 |
| 92. Hasil pemodelan <i>topping</i> pelat lantai.....                        | 69 |
| 93. Membuat potongan dan garis bantu pada area tangga. ....                 | 70 |
| 94. <i>Tools</i> “stair”.....   | 70 |
| 95. Kotak dialog “Type properties” <i>cast-in place stair</i> .....         | 70 |
| 96. Pemodelan tangga. ....  | 71 |
| 97. <i>Tools</i> “rebar” pada <i>tab menu</i> “modify create stair”.....    | 71 |
| 98. Pemodelan tulangan tangga. ....   | 71 |
| 99. Hasil pemodelan tangga. ....  | 72 |
| 100. Pemodelan kolom pedestal atap. ....                                    | 73 |
| 101. <i>Load family</i> “M_W-Wide Flange Column.rfa”.....                   | 73 |
| 102. Pemodelan kolom rangka baja. ....                                      | 73 |
| 103. <i>Tools</i> “set work plane”. ....                                    | 74 |
| 104. <i>Load family</i> “M_W-Wide Flange.rfa”.....                          | 74 |
| 105. Pemodelan rangka atap menggunakan balok baja. ....                     | 74 |
| 106. Kotak dialog “structural conncection settings”.....                    | 75 |
| 107. Pemodelan sambungan rangka baja. ....                                  | 75 |
| 108. Hasil pemodelan rangka atap baja. ....                                 | 75 |
| 109. <i>Tools</i> “run interference check”.....                             | 76 |
| 110. Kotak dialog “interference check”. ....                                | 76 |
| 111. Kotak pesan “no interference detected!”.....                           | 76 |
| 112. <i>Tools</i> “schedule/quantities”.....                                | 77 |
| 113. Kotak dialog “new schedule”.....                                       | 77 |
| 114. Kotak dialog “schedule properties” <i>tab</i> “fields”.....            | 78 |
| 115. Kotak dialog “schedule properties” <i>tab</i> “filter”. ....           | 78 |
| 116. Kotak dialog “schedule properties” <i>tab</i> “sorting/grouping”. .... | 78 |
| 117. Kotak dialog “calculated value”.....                                   | 79 |
| 118. Kotak dialog “schedule properties” <i>tab</i> “formatting”.....        | 79 |
| 119. <i>Rebar schedule</i> pemodelan tulangan balok.....                    | 79 |
| 120. Mengekspor data <i>rebar schedule</i> . ....                           | 80 |
| 121. Mengekspor data <i>rebar schedule</i> . ....                           | 83 |

|  |    |
|--|----|
| 122. Kotak dialog “import the data” .....                                    | 83 |
| 123. Menambahkan <i>stock</i> baja tulangan. ....                            | 83 |
| 124. Kotak dialog “technical settings”.....                                  | 84 |
| 125. <i>Output data cutting list</i> pada Cutting Optimization Pro.....      | 84 |
| 126. Grafik perbandingan berat perlu dengan berat <i>waste</i> .....         | 92 |
| 127. Grafik perbandingan <i>waste level</i> dan <i>waste</i> kumulatif. .... | 93 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel  | Halaman |
|--|---------|
| 1. Sumber dan penyebab limbah material.....  | 8       |
| 2. <i>Building Information Modeling (BIM) software</i> .....                         | 12      |
| 3. Ukuran baja tulangan beton polos.....   | 16      |
| 4. Toleransi penyimpangan diameter baja tulangan polos. ....                         | 17      |
| 5. Ukuran baja tulangan beton sirip/ulir.....  | 18      |
| 6. Toleransi penyimpangan diameter baja tulangan sirip/ulir. ....                    | 19      |
| 7. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tarik.....                               | 23      |
| 8. Panjang sambungan lewatan dalam kondisi tarik. ....                               | 25      |
| 9. Data dimensi <i>pile cap</i> dan <i>bore pile</i> .....                           | 34      |
| 10. Data dimensi dan penulangan <i>tie beam</i> .....                                | 35      |
| 11. Data dimensi dan penulangan kolom <i>precast</i> .....                           | 36      |
| 12. Data dimensi dan penulangan balok <i>precast</i> .....                           | 37      |
| 13. Data dimensi dan penulangan pelat <i>precast</i> .....                           | 39      |
| 14. Besaran diameter bengkokan tulangan sesuai SNI 2847:2019. ....                   | 42      |
| 15. Besaran diameter kait tulangan sesuai SNI 2847:2019.....                         | 43      |
| 16. Besaran panjang penyaluran tulangan sesuai SNI 2847:2019. ....                   | 44      |
| 17. Besaran panjang sambungan lewatan pada SNI 2847:2019. ....                       | 45      |
| 18. <i>Rebar shape</i> pemodelan tulangan <i>bore pile</i> dan <i>pile cap</i> ..... | 48      |
| 19. <i>Rebar shape</i> pemodelan tulangan <i>tie beam</i> .....                      | 51      |
| 20. <i>Rebar shape</i> pemodelan tulangan kolom <i>precast</i> . ....                | 56      |
| 21. <i>Rebar shape</i> pemodelan tulangan balok <i>precast</i> .....                 | 60      |
| 22. <i>Rebar shape</i> pemodelan tulangan tangga.....                                | 72      |
| 23. <i>Output data rebar schedule</i> pemodelan tulangan balok.....                  | 80      |
| 24. Diagram batang pola pemotongan tulangan dan <i>waste material</i> .....          | 84      |
| 25. Rekapitulasi perhitungan <i>waste material</i> tulangan balok Ø10. ....          | 86      |

|   |    |
|---|----|
| 26. Rekapitulasi perhitungan <i>waste</i> material tulangan balok D13.....      | 87 |
| 27. Rekapitulasi perhitungan <i>waste</i> material tulangan balok D16.....      | 88 |
| 28. Rekapitulasi perhitungan <i>waste</i> material tulangan balok D19.....      | 89 |
| 29. Rekapitulasi perhitungan <i>waste level</i> dan <i>waste</i> kumulatif..... | 90 |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Berkembangnya ilmu teknologi, informasi, dan komunikasi pada era industri masa kini mempengaruhi perkembangan di berbagai bidang pekerjaan termasuk pada bidang pekerjaan konstruksi. Kemajuan era industri saat ini diharapkan mampu menciptakan iklim pekerjaan yang efektif dan efisien dari segi material, tenaga, dan waktu. Saat ini pada bidang pekerjaan konstruksi sudah dikenal sebuah konsep yang dapat menggabungkan berbagai informasi pekerjaan satu sama lain berbasis digital atau yang dikenal sebagai *Building Information Modeling* (BIM).

*Building Information Modeling* (BIM) adalah salah satu teknologi di bidang arsitektur, teknik, dan konstruksi yang dapat merepresentasikan bangunan secara digital dan mensimulasikan semua informasi bangunan mulai dari karakteristik fisik maupun karakteristik fungsional. Informasi yang terkandung meliputi elemen-elemen yang terdapat pada bangunan tersebut dan dapat digunakan sebagai basis pengambilan keputusan dalam kurun waktu siklus umur bangunan mulai dari konsep hingga demolisi (Fakhrudin dkk., 2019).

Salah satu yang menjadi kekhawatiran pelaksanaan pekerjaan proyek konstruksi adalah masalah mengenai *waste* material (pemborosan material). Pemborosan material pada proyek konstruksi mencakup material atau bahan mentah seperti pasir, batu pecah, baja tulangan, kayu bekisting, adukan beton, semen, batu bata, dan lainnya.

*Waste* material di bidang konstruksi dapat diartikan sebagai hilangnya sumber daya material, waktu pekerjaan, peralatan, dan modal yang disebabkan oleh kegiatan proyek, baik secara langsung atau tidak langsung. Material dapat dikategorikan sebagai *waste* apabila tidak dapat menambah nilai produk akhir bagi pihak pengguna jasa konstruksi (Formoso et al., 2002).

Berkaitan dengan masalah *waste*, salah satu penyumbang *waste* material terbesar dalam proyek konstruksi disebabkan oleh material baja tulangan. Hal ini diperkuat dari hasil studi kasus yang dilakukan oleh Geraldi & Sulistio (2020), mengenai *waste* material yang dihasilkan pada 10 (sepuluh) sampel proyek pembangunan *low rise building* di daerah Jakarta dan sekitarnya. Didapatkan persentase rata-rata volume *waste* material yang disebabkan oleh baja tulangan adalah sebesar 5%. Apabila dikonversikan ke dalam total kerugian biaya proyek didapati kerugian rata-rata dari seluruh sampel proyek yang ditinjau sebesar Rp. 6.806.294,60. Ada dua faktor penyebab terjadinya *waste* material dalam pembangunan sebuah proyek, yang pertama adalah faktor *human error* dalam menangani material dan faktor kedua adalah manajemen yang buruk dalam pelaksanaan konstruksi.

Sisa pemotongan (residu) atau kelebihan material pada akhir pekerjaan juga menjadi salah satu sumber yang menyebabkan terjadinya *waste* material terkhususnya material baja tulangan (Gavilan dan Bernold, 1994). Pada umumnya baja tulangan yang diproduksi untuk kebutuhan proyek konstruksi memiliki panjang 12 m. Dalam menyesuaikan kebutuhan penulangan struktural bangunan yang tertera pada gambar kerja maka baja tulangan akan dipotong sesuai bentuk dan ukurannya masing-masing. Perhitungan dan perencanaan yang tidak akurat akan menyebabkan sisa-sisa potongan baja tulangan yang tidak dapat digunakan kembali dan menimbulkan *waste* (limbah) material yang berujung pada kerugian suatu proyek konstruksi.

Jika dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional, penerapan konsep BIM dapat mempermudah proses perencanaan proyek pembangunan dalam menghasilkan data yang akurat dan cepat, serta mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan desain (Laily dkk., 2021). Data perencanaan desain

bangunan yang akurat akan berdampak pada manajemen pelaksanaan pembangunan yang lebih baik serta meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan material selama proses pembangunan sebagai salah satu upaya dalam menanggulangi masalah *waste* material. Implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* pemodelan 3D seperti Autodesk Revit.

Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengimplementasikan konsep *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan bantuan *software* pemodelan 3D Autodesk Revit dalam memperoleh *output* data berupa *rebar schedule* dan *quantity take off* material. Data-data tersebut digunakan untuk melakukan analisis *waste* material penulangan balok pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran umum terkait pengaruh implementasi BIM secara lebih luas terhadap manajemen perencanaan desain dan pelaksanaan pada suatu proyek konstruksi.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diangkat pada topik pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa jumlah *waste* material baja tulangan yang dihasilkan oleh pekerjaan penulangan balok pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA setelah menggunakan konsep *Building Information Modeling* (BIM)?
2. Bagaimana cara mendapatkan *ouput* data berupa *rebar schedule* melalui penerapan konsep BIM dengan menggunakan *software* Autodesk Revit?
3. Apa pengaruh yang didapatkan dari penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM) terhadap optimalisasi penggunaan material baja tulangan dalam proses pelaksanaan pembangunan?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pemaparan rumusan masalah sebelumnya, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui banyaknya *waste* material baja tulangan yang dihasilkan oleh pekerjaan penulangan balok pada proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA setelah menerapkan konsep *Building Information Modeling* (BIM).
2. Mendapatkan *output* data *rebar schedule* melalui penerapan konsep BIM dengan menggunakan *software* Autodesk Revit.
3. Mengetahui pengaruh implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) terhadap optimalisasi penggunaan material baja tulangan dalam proses pelaksanaan pembangunan.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran umum terkait manfaat dan keuntungan penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM).
2. Memberikan informasi mengenai hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengaplikasian konsep *Building Information Modeling* (BIM).
3. Memberikan pertimbangan bagi para *stakeholder* di bidang teknik sipil untuk segera mengaplikasikan konsep *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek pembangunan.

### 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Batasan penelitian yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gedung yang ditinjau adalah Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera.



2. Pemodelan yang dilakukan pada *software* Autodesk Revit hanya terbatas pada elemen struktural.
3. Kebutuhan baja tulangan yang dihitung hanya terbatas pada komponen struktur balok.
4. Implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) menghasilkan data berupa *rebar schedule* penulangan balok.
5. Pemodelan arsitektural, mekanikal, elektrikal, plumbing, analisa struktur, dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) tidak dilakukan dalam penelitian ini.
6. Pola pemotongan baja tulangan untuk penulangan balok ditentukan dengan menggunakan bantuan *software* Cutting Optimization Pro.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Material Konstruksi

Menurut Ibrahim (2001), material konstruksi merupakan seluruh bahan yang digunakan untuk menyelesaikan tahap pekerjaan dalam suatu proses konstruksi. Tingkat kompleksitas suatu proyek konstruksi akan berakibat pada meningkatnya jumlah dan jenis material proyek tersebut. Material juga merupakan salah satu elemen yang sangat penting untuk diperhatikan selama proses pekerjaan konstruksi karena material konstruksi merupakan pemegang alih terbesar dalam suatu proyek yang proporsi nilainya dapat mencapai 50%-60% dari total keseluruhan biaya suatu proyek (Ganesan, 2000). Prosedur manajemen yang baik diperlukan dalam proses pembelian, penyimpanan, perhitungan, dan pemakaian material guna mencegah kemungkinan terjadinya kerugian atau kerusakan material selama pelaksanaan proyek konstruksi (Ervianto, 2004).

Dalam proses konstruksi, penggunaan material secara garis besar digolongkan kedalam dua bagian menurut Gavilan & Bernold (1994), yaitu:

1. *Consumable* material, adalah material konstruksi yang akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan. Contohnya: pasir, batu pecah, semen, baja tulangan, bata, keramik, cat, dan lain-lain.
2. *Non-consumable* material, adalah material penunjang selama proses pekerjaan proyek konstruksi berlangsung dan bukan merupakan bagian yang akan menjadi fisik bangunan. Biasanya material ini dapat didaur ulang dan pada akhirnya akan menjadi *waste* material, misalnya: *scaffolding*, bekisting, dan dinding penahan sementara.

## 2.2. Waste Material

Secara umum, *waste* atau limbah merupakan hasil sampingan dari suatu proses produksi yang dianggap sudah tidak lagi berguna dan tidak diinginkan atau dengan kata lain adalah barang sisa. *Waste* atau limbah juga didefinisikan sebagai suatu substansi objek dimana pemilik objek tersebut berkeinginan untuk membuang dan tidak menggunakannya kembali (Waste Management Licensing Regulation, 1994).

*Waste material* di bidang konstruksi dapat diartikan sebagai hilangnya sumber daya material, waktu pekerjaan, peralatan, dan modal yang disebabkan oleh kegiatan proyek, baik secara langsung atau tidak langsung. (Formoso et al., 2002).

Tchobanoglous (1993) menjelaskan bahwa keberadaan *waste material* yang terjadi sejalan dengan proses pembangunan yang dilaksanakan. Jenis *waste material* dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu:

1. *Demolition waste*, adalah limbah material yang disebabkan dari pembongkaran, penghancuran, atau proses renovasi bangunan.
2. *Construction waste*, merupakan limbah material konstruksi yang berasal dari proses pembangunan suatu proyek atau renovasi bangunan.

*Construction waste* menurut Skoyles (1976) digolongkan ke dalam dua kategori apabila ditinjau dari tipenya, yaitu:

1. *Direct waste*, adalah limbah material pada proyek yang mengalami kerusakan atau hilang sehingga tidak dapat digunakan lagi.
2. *Indirect waste*, adalah limbah material yang timbul karena adanya kelebihan volume pakai dari volume yang direncanakan. Sisa material *indirect waste* tidak meninggalkan bentuk fisik di lapangan, melainkan tersembunyi di dalam bangunan dan mempengaruhi biaya secara keseluruhan (*hidden cost*), contohnya seperti ketebalan plesteran.

### 2.2.1. Sumber dan Penyebab Limbah Material

Penelitian yang dilakukan oleh Aulia dkk. (2016) menemukan berbagai macam limbah material yang terjadi pada proyek pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang (UNISMA) diantaranya adalah baja tulangan, beton *ready mix*, bata ringan, pasir urug, keramik, tiang pancang, galvalum, gypsum, aluminium, batu kali, dan genteng. Limbah material yang paling dominan jika ditinjau dari segi biaya disebabkan oleh limbah material yang berasal dari tiang pancang dan baja tulangan dengan total kerugian yang dicapai sebesar Rp. 108.303.861,00.

Sumber dan penyebab terjadinya limbah atau *waste* material konstruksi dapat digolongkan kedalam beberapa kategori seperti yang telah dibuat oleh Gavilan dan Bernold (1994) sebagai berikut:

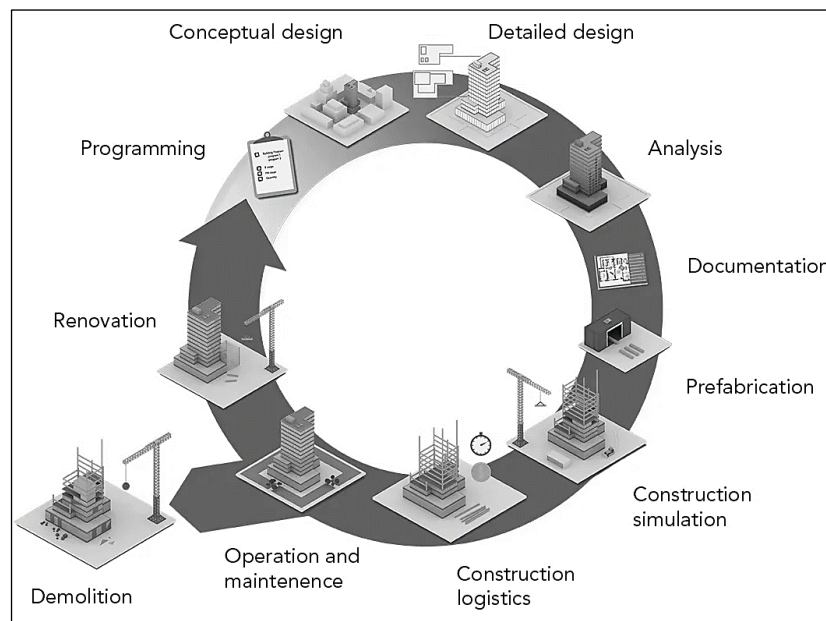
Tabel 1. Sumber dan penyebab limbah material.

| Sumber      | Penyebab  |
|-------------|---|
| Desain      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perubahan pada desain/perencanaan</li> </ul>   |
| Pengadaan   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kelebihan, kekurangan, atau kesalahan dalam pemesanan/pengiriman material</li> </ul>   |
| Penanganan  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penanganan material yang kurang baik (meliputi: saat fabrikasi, pengemasan, pemuatan, atau pengiriman material)</li> <li>▪ Penyimpanan material kurang baik</li> </ul>   |
| Pelaksanaan | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kesalahan yang dilakukan oleh tukang atau pekerja</li> <li>▪ Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik</li> <li>▪ Kejadian yang tidak terduga pada saat pelaksanaan konstruksi seperti: bencana, kecelakaan kerja, atau cuaca yang buruk</li> </ul> |
| Residual    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sisa material yang tidak dapat digunakan kembali akibat pemotongan ukuran sesuai dengan desain</li> <li>▪ Sisa <i>non-consumable</i> material setelah proses pemakaian (contoh: bekisting)</li> </ul>  |
| Faktor lain | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kehilangan material</li> </ul>   |

Sumber: (Gavilan dan Bernold, 1994)

### 2.3. *Building Information Modeling (BIM)*

*Building Information Modeling (BIM)* merupakan suatu proses dalam mengelola serta menghasilkan data keseluruhan suatu bangunan selama siklus hidup bangunan tersebut. Ruang lingkup yang dapat diproses pada konsep BIM meliputi geometri bangunan, hubungan ruang, informasi geografis, serta kuantitas, dan kualitas komponen bangunan. Konsep BIM menggambarkan konstruksi secara virtual sebelum konstruksi fisik yang sebenarnya. Untuk mengurangi ketidakpastian, meningkatkan keselamatan, menyelesaikan masalah, mensimulasi, dan menganalisa keadaan. BIM juga mencegah kesalahan dengan memungkinkan konflik atau benturan deteksi dimana model komputer visual akan memberikan gambaran bagian bangunan struktural yang mungkin berpotongan (Nelson dan Sekarsari, 2019).



Gambar 1. Siklus hidup bangunan.

Sumber: (<https://buildext.com/en/bim-services/>, 2023)

Menurut Reista dkk. (2020) *Building Information Modeling (BIM)* adalah suatu pendekatan desain konstruksi dan manajemen informasi yang terintegrasi menjadi satu kesatuan. Ruang lingkup BIM meliputi seluruh aspek desain proyek, penjadwalan, dan informasi-informasi lainnya yang dibutuhkan pada sebuah proyek konstruksi. Pada dasarnya, BIM ini merupakan penggabungan dari dua gagasan penting yaitu:

1. Informasi desain dalam bentuk digital yang memberi kemudahan untuk memperbarui berbagai data antar pihak yang terlibat dalam sebuah proyek. Meliputi konsultan, desain arsitektur, elektrik, mekanikal, plumbing, *landscape*, dan kontraktor pelaksana.
2. Konsep *real-time* yang terintegrasi secara terus menerus antara desain digital dengan teknologi pemodelan konstruksi, sehingga mampu menghemat sumber daya material maupun non-material serta meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek.

### **2.3.1. Manfaat *Building Information Modeling***

Penerapan konsep BIM dapat memberikan beragam manfaat sepanjang siklus hidup suatu aset, mulai dari pengadaan aset sampai dengan pengoperasian aset tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh (Al-Ashmori et al., 2020) telah menemukan berbagai manfaat dari implementasi konsep BIM, diantaranya:

1. Menunjukkan biaya proyek yang aktual karena disusun berdasarkan kuantitas pekerjaan yang akurat.
2. Menurunkan limbah konstruksi dan mengurangi pergerakan angkutan material yang berdampak pada penurunan konsumsi energi, dan emisi karbon.
3. Memberikan kesempatan kepada pemilik proyek untuk merasakan pengalaman secara virtual pada rancangan gedung.
4. Mempermudah proses komunikasi semua pihak yang terlibat pada proyek.
5. Mencegah terjadinya pekerjaan ulang sejak fase perencanaan sehingga menghemat waktu, upah, dan material selama fase konstruksi.
6. Membantu siklus pemeliharaan gedung dalam mengelola dan memelihara fasilitas gedung dengan data yang akurat.
7. Menurunkan biaya seumur hidup bangunan.

### **2.3.2. Hierarki *Building Information Modeling***

Tingkatan informasi yang terkandung dalam sebuah model BIM dapat didefinisikan sebagai dimensi dalam BIM. Setiap dimensi mengacu pada

informasi tertentu yang terdapat dalam sebuah model BIM sesuai dengan kebutuhan dan tingkat kompleksitas suatu proyek. Semakin banyak informasi yang terintegrasikan dalam sebuah model, maka tingkatan dimensinya akan bertambah. Berikut ini adalah tingkatan dimensi BIM menurut (PUPR, 2018).

|           |  |
|-----------|--|
| <b>3D</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>2. Model Kondisi eksisting:               <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Laser scanning</i></li> <li>b. Ground penetration (Konversi Radar (GPR))</li> </ul> </li> <li>3. Model Logistik dan <i>safety</i></li> <li>4. Animasi, <i>rendering, walkthrough</i></li> <li>5. BIM Pre-Pabrikasi</li> <li>6. Laser accurate BIM driven field layout</li> </ul>   |
| <b>4D</b> | <p><b>SCHEDULING</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Simulasi tahapan proyek</li> <li>2. Mempelajari penjadwalan:               <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Perencanaan akhir</li> <li>b. <i>Just in Time (JIT)</i> mengirim peralatan</li> <li>c. Instalasi simulasi detail</li> </ul> </li> <li>3. Validasi visual untuk persetujuan pembayaran</li> </ul>   |
| <b>5D</b> | <p><b>ESTIMATING</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Pemodelan konsep real time dan perencanaan biaya</li> <li>2. Ekstrak kuantitas untuk mensupport detail estimasi biaya</li> <li>3. Trade verification dari model pabrikan:               <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Struktur baja</li> <li>b. Pembesian</li> <li>c. Mekanikal dan plumbing</li> <li>d. Elektrikal</li> </ul> </li> <li>4. Value Engineering:               <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Skenario</li> <li>b. Visualisasi</li> <li>c. Ekstak kuantitas</li> </ul> </li> <li>5. Solusi Pre-fabrication:               <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Ruang peralatan</li> <li>b. MEP</li> <li>c. Multi-trade Prefabrication</li> <li>d. Arsitektural unik dan elemen-elemen struktur</li> </ul> </li> </ul> |
| <b>6D</b> | <p><b>SUSTAINABILITY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Analisis konsep energi (via Dprofler)</li> <li>2. Analisis detail energi (via Eco tech)</li> <li>3. Sustainable element tracking</li> <li>4. LEED tracking</li> </ul>   |
| <b>7D</b> | <p><b>APLIKASI FACILITY MANAGEMENT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Strategi Life cycle BIM</li> <li>2. BIM as-builts</li> <li>3. BIM embedded O&amp;P Manuals</li> <li>4. COBe data population dan extraction</li> <li>5. Perencanaan Pemeliharaan BIM dan Technical support</li> <li>6. BIM file hosting on lend Lease's digital exchange system</li> </ul>   |

Gambar 2. Model dimensi dalam BIM.

Sumber: (Pemodelan 3D, 4D, 5D, 6D, dan 7D serta simulasinya dan *Level of Development (LOD)*, 2018)

### 2.3.3. *Building Infromation Modeling Software*

Dalam sebuah proyek konstruksi konsep BIM dapat digunakan oleh berbagai macam kepentingan seperti desain arsitektural, perhitungan struktural, penjadwalan, mekanikal, elektrikal, plumbing, pengawasan, dan kebutuhan energi.

Keberagaman pihak dan kepentingan tersebut membuat konsep BIM memiliki berbagai macam *software* yang memiliki keunggulan fungsional sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan masing-masing. Eastman et al. (2011) merangkum beberapa contoh *software* BIM serta ruang lingkup pengaplikasiannya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Building Information Modeling (BIM) software.*

| <b>BIM Tools</b>                         | <b>BIM Software</b>   |
|--|---|
| Arsitektur                               | ArchiCAD<br>Bentley Architecture<br>Revit Architecture<br>ONUMA Planning System |
| Struktural                               | Revit Structures<br>Tekla Structures<br>Robot Millennium<br>ETABS               |
| Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing (MEP) | CAD Duct<br>CAD MEP<br>Revit MEP  |
| Fabrikasi                                | CATIA<br>Solid Works  |
| Penjadwalan                              | Strategic Project Solutions<br>Vico Control                                     |
| Koordinasi                               | Navisworks<br>Newforma  |
| Energi                                   | TraneTrace  |
| Kontrol Survey                           | Trimble RealWorks   |

Sumber: (Eastman et al., 2011).

#### 2.3.4. Penerapan *Building Information Modeling* di Indonesia

Kewajiban penggunaan BIM di Indonesia telah diatur melalui Peraturan Menteri PUPR nomor 22/PRT/M//2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara. Peraturan tersebut mewajibkan penggunaan BIM pada proyek Bangunan Gedung Negara (BGN) tidak sederhana dengan kriteria luas diatas 2000 m<sup>2</sup> dan di atas 2 (dua) lantai.



Menurut PUPR (2018), implementasi *Building Information Modeling* (BIM) yang berlaku di beberapa negara dapat dikategorikan ke dalam beberapa tingkat antara lain:

1. Level 0 BIM
  1. Tidak ada kolaborasi.
  2. 2D CAD digunakan untuk penggambaran dan *drafting*.
2. Level 1 BIM
  1. Pekerjaan desain dengan 3D model, gambar-gambar 2D digunakan untuk *drafting* dan informasi konstruksi.
  2. Terdapat standar CAD dan informasi dikolaborasikan dalam bentuk elektronik.
  3. Setiap disiplin pelaku memiliki standar masing-masing.
3. Level 2 BIM
  1. Semua *stakeholder* bekerja dengan sistem dan lingkungan sendiri namun model atau objek dikolaborasikan bersama.
  2. Informasi dipertukarkan dengan protokol dan format yang disetujui.
4. Level 3 BIM
  1. Kolaborasi penuh antara semua disiplin dan *stakeholder* menggunakan satu objek bersama (*share object*). Semua pihak dapat mengerjakan dan memodifikasi objek yang sama.
  2. Dinamakan sebagai *OpenBIM*.

#### **2.4. Autodesk Revit**

Salah satu perangkat lunak/*software* yang dapat mengoperasikan konsep BIM dan cukup populer digunakan adalah Autodesk Revit. Autodesk Revit merupakan *software* yang dibuat dan dikembangkan oleh perusahaan asal Amerika Serikat yang bernama Autodesk, Inc. Autodesk Revit memungkinkan para *engineer* profesional untuk melakukan pemodelan bentuk bangunan struktural dan arsitektural dalam bentuk 3D, menyederhanakan manajemen proyek, mengatur perencanaan, mengintegrasikan multidisiplin untuk menciptakan kolaborasi, serta

menciptakan efisiensi kinerja tim pada sebuah proyek pembangunan (Autodesk Inc., 2023).

Secara terperinci Rayendra dan Soemardi (2014) menjelaskan fitur-fitur BIM yang terdapat pada *software* Autodesk Revit, diantaranya:

1. *Modeling*

Revit dapat membuat pemodelan menjadi lebih mudah dan lebih efisien karena berorientasi pada objek. Komponen objek yang digunakan dalam pemodelan pada Revit dikenal dengan nama *family*, *library*, atau *template*.

2. *Massing*

*Massing* digunakan untuk menggambarkan bentuk dan geometri suatu bangunan dengan lebih sederhana. *Massing* bertujuan untuk menentukan volumetri, memvisualisasikan bentuk bangunan ataupun keperluan analisis lainnya.

3. *Phasing*

Revit dapat melakukan perubahan pemodelan selama fase proyek berlangsung sesuai dengan kebutuhan. Fitur-fitur pada Revit dapat menentukan komponen mana yang akan terlihat atau disembunyikan.

4. *Rendering*

Pemodelan tiga dimensi yang telah dibuat perlu direpresentasikan serealistis mungkin. Revit dapat memperlihatkan material nyata dari suatu pemodelan serta memberikan tekstur dan pencahayaannya.

5. *Scheduling*

Revit sebagai *database* dapat menyajikan data dalam berbagai macam bentuk. Objek-objek pemodelan yang dilakukan pada Revit dapat disusun ke dalam satu susunan jadwal. Jadwal akan terintegrasi langsung dengan pemodelan sehingga setiap perubahan model akan menyebabkan perubahan penjadwalan.

6. *Collaboration*

Revit memungkinkan pemodelan dikerjakan bersama-sama dan diakses dari komputer yang berbeda. Salinan akan dibuat setiap kali terjadinya perubahan terhadap model sebelumnya.

### 2.4.1. Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit

Menurut Marizan dkk. (2019) kelebihan *software* Autodesk Revit dalam mendesain bangunan serta dalam pengaplikasiannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat objek pemodelan yang sarat akan informasi teknis.
2. Mempermudah proses revisi yang menyita banyak waktu.
3. Memproduksi gambar dengan cepat dan presisi.
4. Mampu mendeteksi terjadinya tabrakan desain (*clash detection*).
5. Menghemat sumber daya manusia maupun biaya.

Sementara kekurangan pengaplikasian BIM *pada software* Autodesk Revit adalah sebagai berikut:

1. Harga lisensi *software* resmi yang mahal.
2. Membutuhkan spesifikasi *hardware* PC/laptop yang mumpuni.

### 2.5. Baja Tulangan

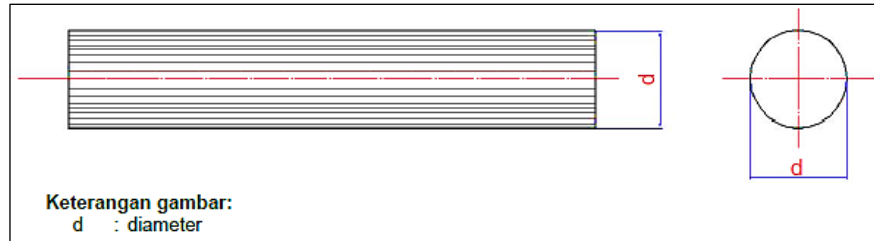
Badan Standardisasi Nasional (2017) dalam SNI 2052:2017, mendefinisikan istilah baja tulangan atau baja karbon adalah baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan pada beton. Baja tulangan diproduksi dari bahan baku *billet* dengan cara canai panas (*hot rolling*).



Gambar 3. Baja tulangan.

### 2.5.1. Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2017) dalam SNI 2052:2017 menyatakan definisi baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip/berulir.



Gambar 4. Baja tulangan beton polos.

Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

Ukuran dan toleransi penyimpangan diameter baja tulangan beton polos diatur dalam SNI 2052:2017 seperti pada tabel berikut:

Tabel 3. Ukuran baja tulangan beton polos.

| No | Penamaan | Diameter nominal (d) | Luas penampang nominal (A) | Berat nominal per meter* |
|----|----------|----------------------|----------------------------|--------------------------|
|    |          | mm                   | mm <sup>2</sup>            | kg/m                     |
| 1  | P 6      | 6                    | 28                         | 0,222                    |
| 2  | P 8      | 8                    | 50                         | 0,395                    |
| 3  | P 10     | 10                   | 79                         | 0,617                    |
| 4  | P 12     | 12                   | 113                        | 0,888                    |
| 5  | P 14     | 14                   | 154                        | 1,208                    |
| 6  | P 16     | 16                   | 201                        | 1,578                    |
| 7  | P 19     | 19                   | 284                        | 2,226                    |
| 8  | P 22     | 22                   | 380                        | 2,984                    |
| 9  | P 25     | 25                   | 491                        | 3,853                    |
| 10 | P 28     | 28                   | 616                        | 4,834                    |
| 11 | P 32     | 32                   | 804                        | 6,313                    |
| 12 | P 36     | 36                   | 1018                       | 7,990                    |
| 13 | P 40     | 40                   | 1257                       | 9,865                    |
| 14 | P 50     | 50                   | 1964                       | 15,413                   |

**CATATAN:**

- \*sebagai referensi
- Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran adalah sebagai berikut:
  - a) Luas penampang nominal (A)  
 $A = 0,7854 \times d^2$  (mm<sup>2</sup>)  
 d = diameter nominal (mm)
  - b) Berat nominal =  $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100}$  (kg/m)

Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

Tabel 4. Toleransi penyimpangan diameter baja tulangan polos.

| No | Diameter (d) | Toleransi (t) | Penyimpangan kebulungan maks (p) |
|----|--------------|---------------|----------------------------------|
|    | mm           | mm            | mm                               |
| 1  | 6            | ± 0,3         | 0,42                             |
| 2  | 8 ≤ d ≤ 14   | ± 0,4         | 0,56                             |
| 3  | 16 ≤ d ≤ 25  | ± 0,5         | 0,70                             |
| 4  | 28 ≤ d ≤ 34  | ± 0,6         | 0,84                             |
| 5  | d ≥ 36       | ± 0,8         | 1,12                             |

**CATATAN:**

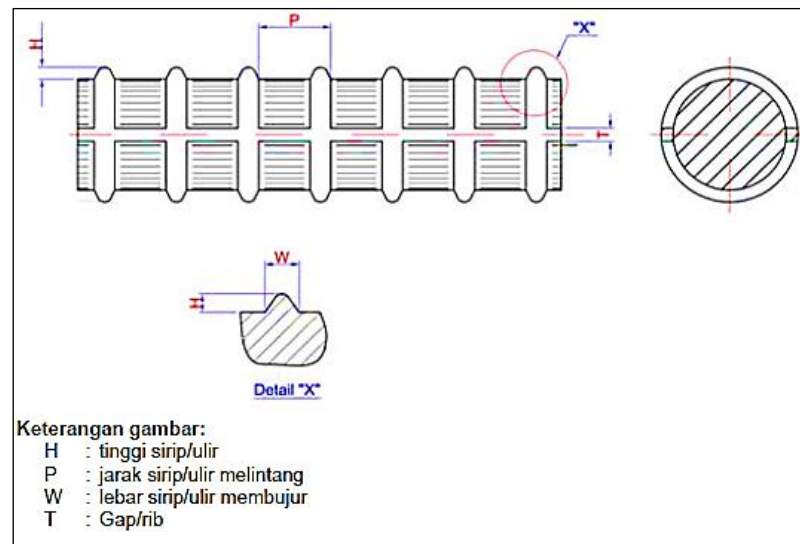
- Penyimpangan kebulungan maksimum dengan rumus:  
 $p = (d_{maks} - d_{min}) \leq (2t \times 70\%)$
- Toleransi untuk baja tulangan beton polos =  $d - d_{aktual}$

Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

### 2.5.2. Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BjTS)

Baja tulangan beton sirip/ulir adalah baja tulangan beton yang permukaannya memiliki sirip/ulir melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton. Terdapat 3 jenis baja tulangan beton sirip/ulir yakni:

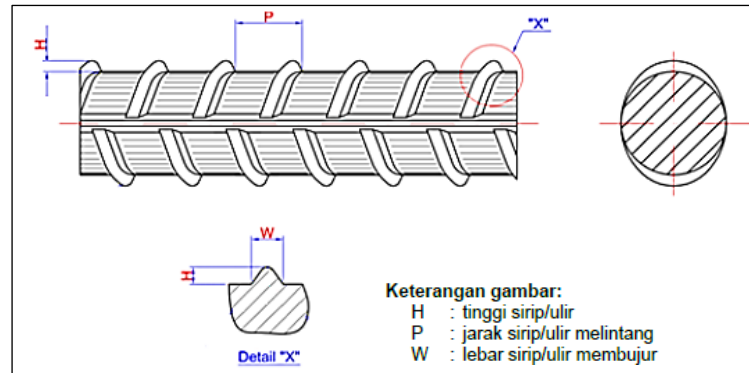
#### 1. Sirip/ulir bambu



Gambar 5. Baja tulangan beton sirip/ulir bambu.

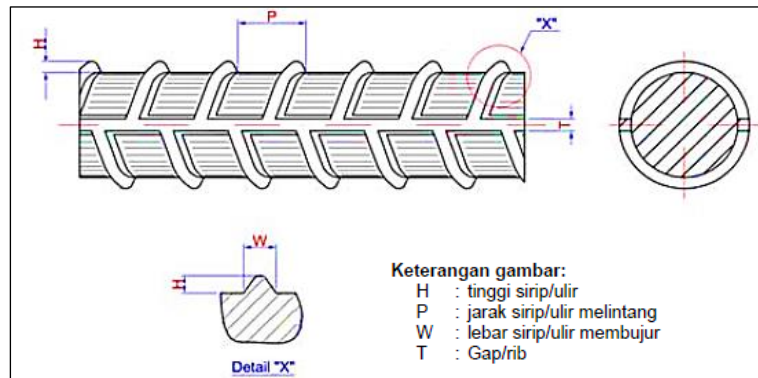
Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

## 2. Sirip/ulir curam



Gambar 6. Baja tulangan beton sirip/ulir curam.  
 Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

## 3. Sirip/ulir tulang ikan



Gambar 7. Baja tulangan beton sirip/ulir tulang ikan.  
 Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

Ukuran dan toleransi penyimpangan diameter baja tulangan beton sirip/ulir diatur dalam SNI 2052:2017 seperti pada tabel berikut:

Tabel 5. Ukuran baja tulangan beton sirip/ulir.

| No | Penaamaan | Diameter nominal (d) | Luas penampang nominal (A) | Tinggi sirip (H) |      | Jarak sirip melintang (P) Maks | Lebar sirip membujur (T) Maks | Berat nominal per meter |
|----|-----------|----------------------|----------------------------|------------------|------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
|    |           |                      |                            | min              | maks |                                |                               |                         |
|    |           | mm                   | mm <sup>2</sup>            | mm               | mm   | mm                             | mm                            | kg/m                    |
| 1  | S 6       | 6                    | 28                         | 0,3              | 0,6  | 4,2                            | 4,7                           | 0,222                   |
| 2  | S 8       | 8                    | 50                         | 0,4              | 0,8  | 5,6                            | 6,3                           | 0,395                   |
| 3  | S 10      | 10                   | 79                         | 0,5              | 1,0  | 7,0                            | 7,9                           | 0,617                   |
| 4  | S 13      | 13                   | 133                        | 0,7              | 1,3  | 9,1                            | 10,2                          | 1,042                   |
| 5  | S 16      | 16                   | 201                        | 0,8              | 1,6  | 11,2                           | 12,6                          | 1,578                   |
| 6  | S 19      | 19                   | 284                        | 1,0              | 1,9  | 13,3                           | 14,9                          | 2,226                   |
| 7  | S 22      | 22                   | 380                        | 1,1              | 2,2  | 15,4                           | 17,3                          | 2,984                   |

Tabel 5 (lanjutan)

| No | Pena-<br>maan | Dia-<br>meter<br>nominal<br>(d) | Luas penam-<br>pang nominal<br>(A) | Tinggi sirip<br>(H) |      | Jarak sirip<br>melintang<br>(P)<br>Maks | Lebar sirip<br>membujur<br>(T)<br>Maks | Berat<br>nominal per<br>meter |
|----|---------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------|---|--|-------------------------------|
|    |               |                                 |                                    | min                 | maks |   |  |                               |
|    |               | mm                              | mm <sup>2</sup>                    | mm                  | mm   | mm                                      | mm                                     | kg/m                          |
| 8  | S 25          | 25                              | 491                                | 1,3                 | 2,5  | 17,5                                    | 19,7                                   | 3,853                         |
| 9  | S 29          | 29                              | 661                                | 1,5                 | 2,9  | 20,3                                    | 22,8                                   | 5,185                         |
| 10 | S 32          | 32                              | 804                                | 1,6                 | 3,2  | 22,4                                    | 25,1                                   | 6,313                         |
| 11 | S 36          | 36                              | 1018                               | 1,8                 | 3,6  | 25,2                                    | 28,3                                   | 7,990                         |
| 12 | S 40          | 40                              | 1257                               | 2,0                 | 4,0  | 28,0                                    | 31,4                                   | 9,865                         |
| 13 | S 50          | 50                              | 1964                               | 2,5                 | 5,0  | 35,0                                    | 39,3                                   | 15,413                        |
| 14 | S 54          | 54                              | 2290                               | 2,7                 | 5,4  | 37,8                                    | 42,3                                   | 17,978                        |
| 15 | S 57          | 57                              | 2552                               | 2,9                 | 5,7  | 39,9                                    | 44,6                                   | 20,031                        |

**CATATAN:**

- Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur
- Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip/ulir adalah sebagai berikut:
  - Luas penampang nominal (A)  
 $A = 0,7854 \times d^2$  (mm<sup>2</sup>)  
d = diameter nominal (mm)
  - Berat nominal =  $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100} \times 0,7$  (kg/m)
  - Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d
  - Tinggi sirip minimum = 0,05 d  
Tinggi sirip maksimum = 0,10 d

Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

Tabel 6. Toleransi penyimpangan diameter baja tulangan sirip/ulir.

| Diameter nominal<br>(mm) | Toleransi<br>(%) |
|--------------------------|------------------|
| $6 \leq d \leq 8$        | $\pm 7$          |
| $10 \leq d \leq 14$      | $\pm 6$          |
| $16 \leq d \leq 29$      | $\pm 5$          |
| $d > 29$                 | $\pm 4$          |

**CATATAN:**

Toleransi berat untuk baja tulangan beton sirip =  $\frac{\text{berat}_{\text{nominal}} - \text{berat}_{\text{aktual}}}{\text{berat}_{\text{nominal}}} \times 100\%$

Sumber: (SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton)

## 2.6. Rebar Schedule

*Rebar schedule* adalah daftar pola pemotongan dan pembengkokan tulangan yang menunjukkan bentuk, jumlah, ukuran, dan dimensi tulangan untuk struktur beton bertulang (American Concrete Institute, 2000). Dalam pembuatan *rebar schedule* dibutuhkan data gambar kerja rencana yang telah dibuat oleh konsultan perencana proyek guna mengetahui jumlah dan dimensi tulangan yang dibutuhkan oleh struktur beton bertulang (Hartono dkk., 2015).

Manfaat dari penggunaan *rebar schedule* diantaranya adalah mempermudah dalam mengetahui volume, jenis, dan ukuran baja tulangan serta memberikan panduan/petunjuk bagi pekerja proyek dalam melakukan pekerjaan pembesian untuk struktur beton bertulang (Alimin dkk., 2023).

### **2.7. Quantity Take Off Material**

*Quantity take off* adalah pengukuran rinci daftar seluruh bahan yang diperlukan untuk pembangunan sebuah proyek konstruksi. Istilah “quantity take off” mengacu pada proses “take off” semua bahan yang digunakan dalam membangun sebuah proyek sesuai yang tertera pada gambar kerja. Diperlukan ketelitian tingkat tinggi pada saat menghitung material yang dibutuhkan untuk membuat *quantity take off*. Setiap material harus dijabarkan rincian volume dan jumlahnya agar estimasi harga proyek yang diperoleh menjadi lebih akurat (Apriansyah, 2021).

### **2.8. Cutting Optimization Pro**

Cutting Optimization Pro adalah sebuah *software* yang dibuat dan dikembangkan oleh perusahaan asal Rumania yakni Optimal Programs SRL. Cutting Optimization Pro merupakan *software* pemotongan yang digunakan untuk mendapatkan pola/tata letak pemotongan yang optimal untuk potongan satu dimensi (1D) ataupun dua dimensi (2D). *Software* ini dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan pemotongan linier seperti batangan, pipa, tabung, batang baja, profil logam, ekstrusi, tabung, papan kayu linier, dan material lainnya (Optimal Programs SRL, 2023).

### **2.9. Balok Beton Bertulang**

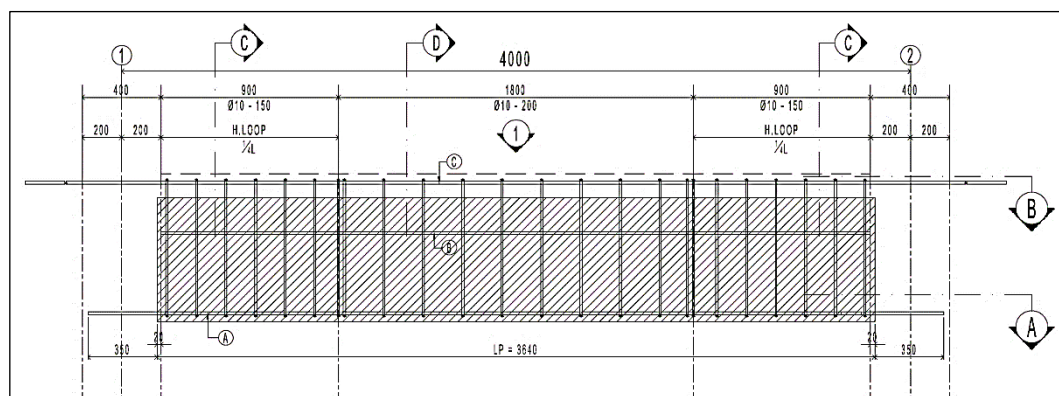
Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu bagian dari elemen struktur portal dengan arah bentang horizontal yang berfungsi menghubungkan pelat lantai dengan kolom serta menyalurkan beban-bebannya. Beban yang bekerja pada



balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir) sehingga biasanya struktur pada balok beton diberikan perkuatan berupa baja tulangan untuk memperkuat balok dalam menahan beban-beban tersebut (Asroni, 2010).

### 2.9.1. Penulangan Balok

Terdapat dua jenis penulangan pada balok, yakni tulangan memanjang atau tulangan longitudinal yang menahan beban lentur (tulangan utama) dan juga tulangan transversal yang menahan beban geser dan torsi (tulangan sengkang/begel), seperti dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Detail balok beton bertulang.

### 2.9.2. Detail Penulangan Balok

Standar detail penulangan menurut badan Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) dan American Concrete Institute (ACI), terdiri dari:

#### 1. Spasi Minimum Penulangan

Batasan minimum ditetapkan untuk memungkinkan beton mengalir dengan mudah ke ruang antar tulangan dengan bekisting tanpa terbentuk *honeycomb*, dan untuk memastikan terhadap konsentrasi masing-masing tulangan pada garis yang dapat menyebabkan retak geser atau retak susut. Standar spasi minimum penulangan ditentukan sebagai berikut:

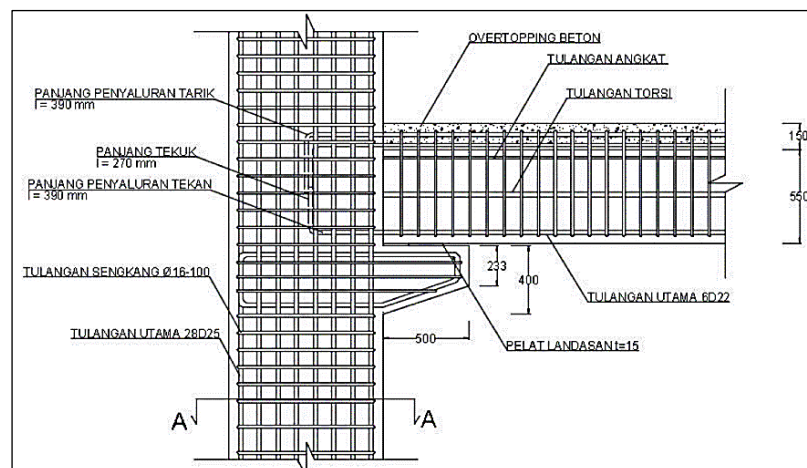
- Untuk tulangan nonprategang yang sejajar pada satu lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm,

diameter nominal batang tulangan, dan  $\frac{4}{3}$  dari ukuran nominal maksimum agregat kasar (SNI 2847:2019 pasal 25.2.1).

- Untuk tulangan nonprategang sejajar yang dipasang pada dua atau lebih lapisan horizontal, tulangan pada lapisan atas harus diletakkan tepat di atas tulangan lapisan bawah dengan spasi bersih paling sedikit 25 mm (SNI 2847:2019 pasal 25.2.2).

## 2. Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran ( $L_d$ ) adalah panjang penanaman tulangan yang diperlukan agar tulangan tersebut dapat mengembangkan kuat rencananya ( $f_y$ ).



Gambar 9. Sambungan balok dan kolom.

Sumber: (Kusumowibowo & Wahyuni, 2017)

Apabila panjang penyaluran yang disediakan kurang dari persyaratan, maka tegangan lekatan pada daerah tarik dari balok akan menjadi cukup tinggi yang berakibat munculnya retak dan mengelupasnya selimut beton di sekitar tulangan tarik. Ketentuan-ketentuan panjang penyaluran ditentukan sebagai berikut:

- Besarnya panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik menurut SNI 2847:2019 pasal 25.4.2, menyatakan bahwa panjang penyaluran dihitung dengan menggunakan persamaan:

Tabel 7. Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tarik.

| Jarak tulangan dan selimut beton  | D19 atau lebih kecil   | D22 atau lebih besar   |
|---|--|--|
| (1) Jarak bersih tulangan yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang sepanjang $l_d$ tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan. | $\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$ | $\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$ |
| (2) Jarak bersih tulangan yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari $d_b$ .  |  |  |
| Kasus-kasus lainnya   | $\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$ | $\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$ |

Sumber: (SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)

dengan,

$\Psi_t$ , adalah faktor lokasi tulangan, yang ditentukan:

$\Psi_t = 1,3$  untuk tulangan atas, yang didefinisikan sebagai tulangan horizontal yang ditempatkan hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau.

$\Psi_t = 1$  untuk tulangan lainnya.

$\Psi_e$ , adalah faktor pelapisan tulangan, yang besarnya:

$\Psi_e = 1,5$  untuk tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari  $3d_b$  atau spasi bersih kurang dari  $6d_b$ .

$\Psi_e = 1,2$  untuk tulangan berlapis ekposi lainnya.

$\Psi_e = 1$  untuk tulangan tanpa lapisan epoksi.

Hasil kali  $\Psi_t \Psi_e$  tidak perlu diambil lebih dari 1,7.

$\lambda$ , adalah faktor beton ringan, dengan ketentuan:

$\lambda = 0,75$  untuk beton ringan.

$\lambda = \frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f_c}} \leq 1$  jika kuat tarik belah beton ringan diketahui.

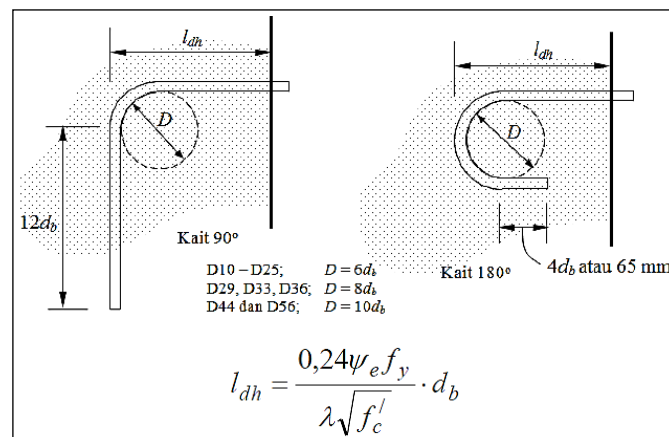
$\lambda = 1$  untuk beton normal.

- Panjang penyaluran tulangan pada kondisi tekan diambil nilai terbesar antara: (SNI 2847:2019 pasal 25.4.9)

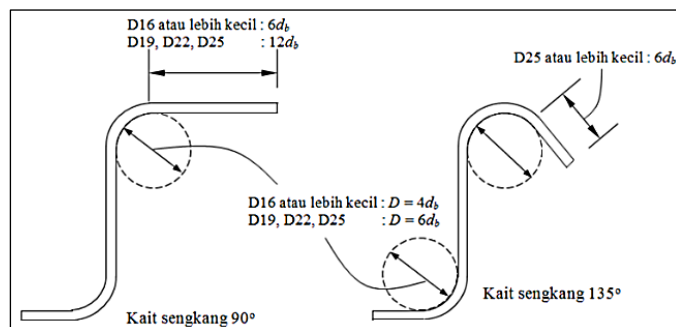
$$L_d = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad \text{atau} \quad 0,043 f_y \Psi_r d_b$$

### 3. Kait, Ikat Silang, dan Bengkokan

Kait diperlukan untuk memberikan penjangkaran tulangan yang memadai apabila tidak tersedia tempat yang cukup untuk memenuhi syarat panjang penyaluran. Besaran kait ditentukan seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Kait standar.  
Sumber: (ACI 318M-14, 2014)



Gambar 11. Kait sengkang dan sengkang ikat.  
Sumber: (ACI 318M-14, 2014)

### 4. Sambungan Lewatan

Terkadang panjang baja tulangan yang dibutuhkan melebihi ketersediaan panjang tulangan yang ada di lapangan, maka dalam hal ini diperlukan penyambungan tulangan dengan panjang penyambungan yang mencukupi untuk mentransfer tegangan lekatan dari tulangan yang satu ke tulangan yang lainnya. Sambungan lewatan adalah salah satu jenis penyambungan yang

umum digunakan. Sambungan lewatan memiliki beberapa ketentuan perhitungan sebagai berikut:

- Sambungan lewatan pada kondisi tarik berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.5.2 memiliki dua alternatif perhitungan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Panjang sambungan lewatan dalam kondisi tarik.

| $\frac{A_s \text{ terpasang}}{A_s \text{ perlu}}$ | Persentase Maksimum $A_s$ Yang Disambung Sepanjang $l_d$ |         |
|---|--|---------|
|   | 50   | 100     |
| $\geq 2,0$  | Kelas A  | Kelas B |
| $< 2,0$   | Kelas B  | Kelas B |

Sumber: (SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)

- Sambungan lewatan pada kondisi tekan ditentukan dalam ACI 318M-14 pasal 25 yaitu:

$$I_{sc} > 0,071f_y d_b \quad (\text{untuk } f_y \leq 420 \text{ MPa})$$

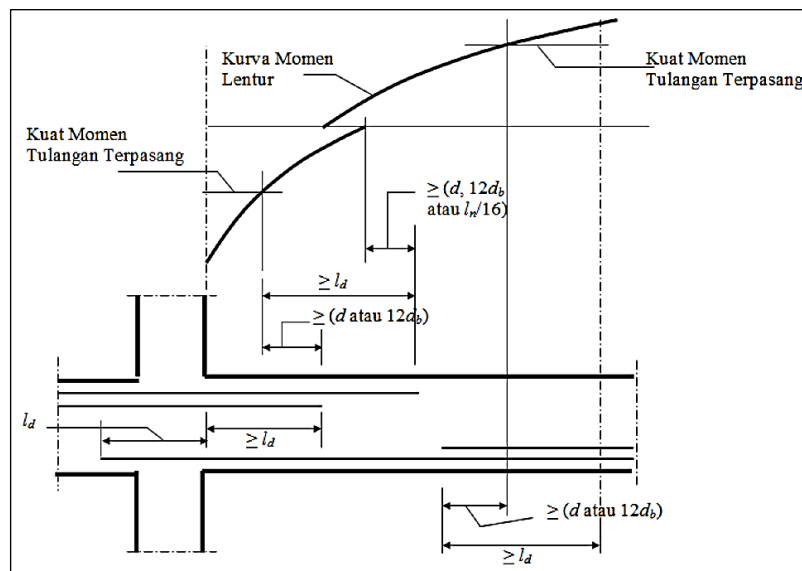
$$I_{sc} > (0,13f_y - 24)d_b \quad (\text{untuk } f_y > 420 \text{ MPa})$$

Dalam semua hal, panjang lewatan pada kondisi tekan tidak boleh kurang daripada 300 mm. Di samping itu untuk nilai kuat tekan beton,  $f'_c$  yang kurang dari 21 MPa, maka panjang lewatannya harus dinaikkan sepertiganya.

## 5. Pemutusan Tulangan Lentur

Beberapa buah tulangan memanjang dapat dipotong pada daerah-daerah tertentu, apabila sudah tidak diperlukan lagi. Namun akibat pemotongan tulangan tersebut, akan mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan tarik secara tiba-tiba pada tulangan yang tersisa dan akan menimbulkan kenaikan regangan yang cukup besar pada balok serta menyebabkan munculnya retak tarik pada penampang balok. Retak tarik yang terjadi akan meningkatkan kemungkinan terjadinya kegagalan geser yang bersifat getas (American Concrete Institute, 2011). Berdasarkan ACI 318M-14 pada pasal 9.7.3.2 persyaratan yang harus dipenuhi untuk pemutusan tulangan lentur, yaitu:

- Gaya geser terfaktor pada titik pemutusan tulangan tidak melebihi dua pertiga dari kuat geser rencana, atau dapat dikatakan  $V_u \leq 2/3 \phi V_n$ .
- Luas tulangan geser tambahan selain yang diperlukan untuk geser dan torsi harus dipasang di sepanjang  $\frac{3}{4}d$  dari titik pemotongan tulangan, dengan luasan yang tidak kurang dari  $0,41 b_w \frac{s}{f_{yt}}$ , dan jarak  $s$  yang tidak lebih dari  $\frac{d}{8\beta_b}$ . Dengan  $\beta_b$  adalah rasio dari luas tulangan yang diputus terhadap luas tulangan tarik total pada penampang tersebut.
- Untuk batang tulangan D36 atau lebih kecil, maka tulangan yang menerus harus mempunyai luas dua kali luas tulangan lentur yang diperlukan pada titik pemutusan tulangan. Di samping itu gaya geser terfaktornya tidak melebihi  $\frac{3}{4}$  dari kuat geser rencana,  $\phi V_n$ .



Gambar 12. Grafik tulangan lentur pada struktur balok menerus.  
Sumber: (ACI 318M-14, 2014)

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

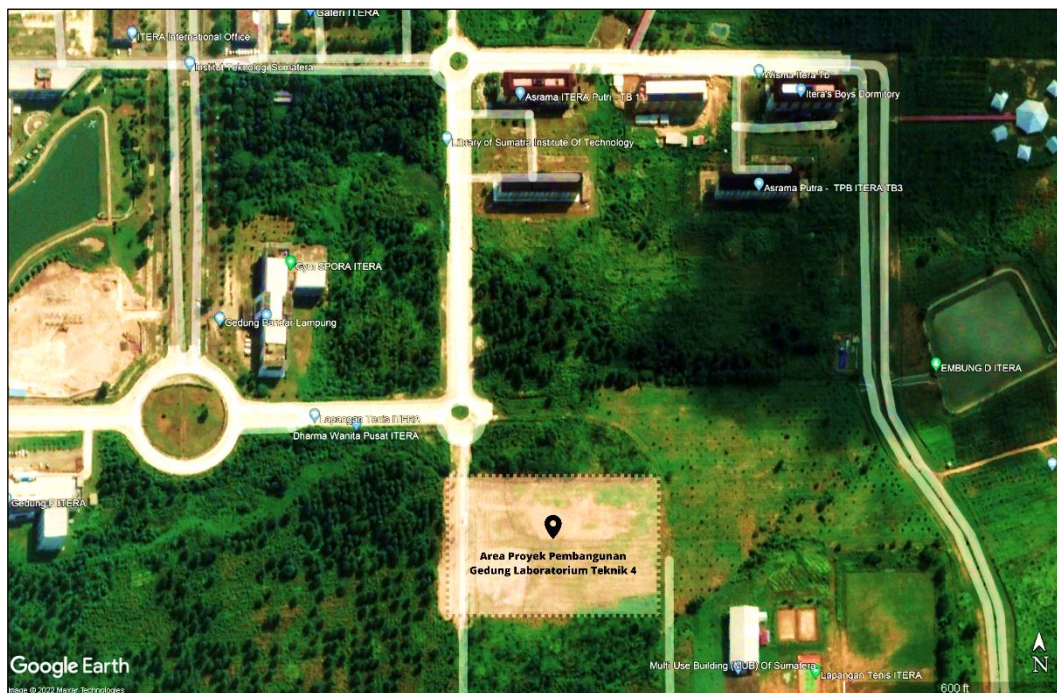
#### **3.1. Jenis Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif eksperimental murni. Metode penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang berbasis pada data yang berbentuk angka. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan metode analisis perhitungan terhadap data-data yang bersifat pembuktian dari masalah (Sugiyono, 2013).

Penelitian eksperimental merupakan penelitian kuantitatif yang paling murni, karena semua kaidah dan prinsip penelitian kuantitatif dapat diterapkan pada metode ini. Secara khusus penelitian eksperimental murni merupakan metode eksperimen yang paling mengikuti prosedur dan memenuhi syarat-syarat eksperimen. Prosedur dan syarat-syarat tersebut meliputi, variabel kontrol, kelompok kontrol, serta pengujian hasil. Semua variabel (kecuali variabel independen) yang akan diuji pengaruhnya terhadap variabel dependen disamakan karakteristiknya atau dikontrol variabelnya (Untari, 2018).

#### **3.2. Gambaran Umum Objek Penelitian**

Objek penelitian yang ditinjau mengambil studi kasus pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera, yang berlokasi di Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, 35365. Denah lokasi objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Denah lokasi objek penelitian.  
(Sumber: Google Earth)

Rincian mengenai data administrasi proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA dapat dilihat sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik 4  
Institut Teknologi Sumatera
2. Lokasi Proyek : Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung,  
Lampung Selatan, Provinsi Lampung, 35365
3. Luas Bangunan : 2128,96 m<sup>2</sup>
4. Owner : Institut Teknologi Sumatera
5. Kontraktor Utama : PT. Brantas Abipraya (Persero)
6. Konsultan Pengawas : PT. Yodya Karya (Persero)  
PT. Surya Cipta *Engineering* (Persero)  
PT. Sayovi Karyatama (Persero) KSO
7. Konsultan Perencana : CV. Dwiantara Mega Konsultan
8. Nilai Kontrak : Rp. 100.907.879.600,- (Seratus Sembilan Miliar  
Sembilan Ratus Tujuh Juta Delapan Ratus Tujuh  
Puluh Sembilan Ribu Enam Ratus Rupiah)
9. Jenis Kontrak : Gabungan Harga Satuan dan Lumpsum
10. Waktu Pelaksanaan : 540 hari kalender



11. Tanggal Pelaksanaan : 03 Juni 2022 – 24 November 2023
12. Waktu Pemeliharaan : 180 hari kalender
13. Sistem Pembayaran : Termin
14. Sistem Pelelangan : Pelelangan Umum

Adapun visualisasi Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Visualisasi 3D GLT 4 ITERA.

### 3.3. Data Penelitian

Data merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam melakukan suatu penelitian, tersedianya data yang lengkap dan jelas akan mempermudah peneliti untuk melakukan penelitiannya. Data penelitian yang diperlukan pada penelitian ini meliputi data teknis pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA yang berasal dari Institut Teknologi Sumatera selaku pemilik proyek. Data-data teknis yang dimaksud meliputi:

1. Dokumen gambar kerja detail proyek.
2. Dokumen-dokumen lainnya terkait proyek pembangunan.

### 3.4. *Software* Penelitian

*Software*/perangkat lunak yang digunakan dalam proses penelitian ini yaitu:

1. Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu *software* yang dapat menunjang konsep *Building Information Modeling* (BIM). *Software* Autodesk Revit digunakan untuk melakukan pemodelan 3D struktural bangunan yang dapat menghasilkan data berupa *rebar schedule*. Salah satu faktor pemilihan *software* Autodesk Revit dikarenakan produk dari Autodesk cukup familiar dan sering digunakan oleh banyak *stakeholder* di bidang teknik sipil, sehingga penyesuaian dan adaptasi bisa dilakukan lebih cepat dan mudah karena sudah mengenali *tools* dan *command* yang digunakan.

2. Cutting Optimization Pro

*Software* Cutting Optimization Pro digunakan dalam melakukan analisis pencarian pola pemotongan baja tulangan yang dapat menghasilkan sisa-sisa potongan paling sedikit. Cutting Optimization Pro menggunakan sistem algoritma dalam menemukan solusi untuk mencari pola pemotongan baja tulangan yang dibutuhkan.

### 3.5. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah *waste* material baja tulangan yang dihasilkan oleh penulangan balok pada proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA setelah mengimplementasikan konsep *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan bantuan *software* Autodesk Revit. Pemodelan struktural BIM 3D termasuk pemodelan tulangan struktural dilakukan untuk menghasilkan data berupa *rebar schedule* pada penulangan balok. Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu studi literatur, pengumpulan data, pemodelan pada *software* Autodesk Revit, dan analisis *waste* material.

### **3.5.1. Studi Literatur**

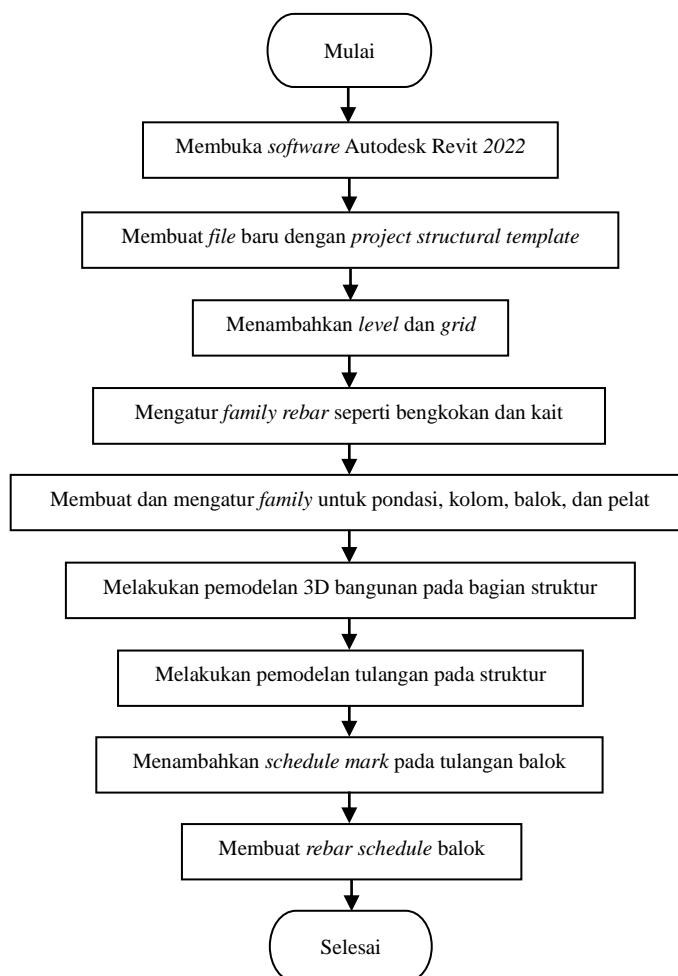
Studi literatur dilakukan untuk menemukan landasan teori, teknik penulisan, teknik analisis data, dan penemuan terkait penelitian serupa terdahulu. Tujuan dari dilakukannya studi literatur adalah untuk mempelajari dasar-dasar ilmu yang menjadi landasan dilakukannya penelitian serta mencari langkah-langkah dalam menganalisis data guna mencapai hasil penelitian. Studi literatur dilakukan dengan cara membaca beberapa literatur seperti jurnal, buku, dan artikel terkait yang mengandung pembahasan mengenai Building Information Modeling (BIM), *waste material*, serta panduan atau *manual book* penggunaan *software* Autodesk Revit ataupun Cutting Optimization Pro.

### **3.5.2. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang meliputi dokumen detail gambar kerja dan dokumen-dokumen lainnya terkait proyek pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA dikumpulkan dengan cara mengajukan permintaan langsung kepada kontraktor pelaksana proyek yakni PT. Brantas Abipraya (Persero) melalui persetujuan dari Institut Teknologi Sumatera selaku pemilik proyek.

### **3.5.3. Pemodelan dengan *Software* Autodesk Revit**

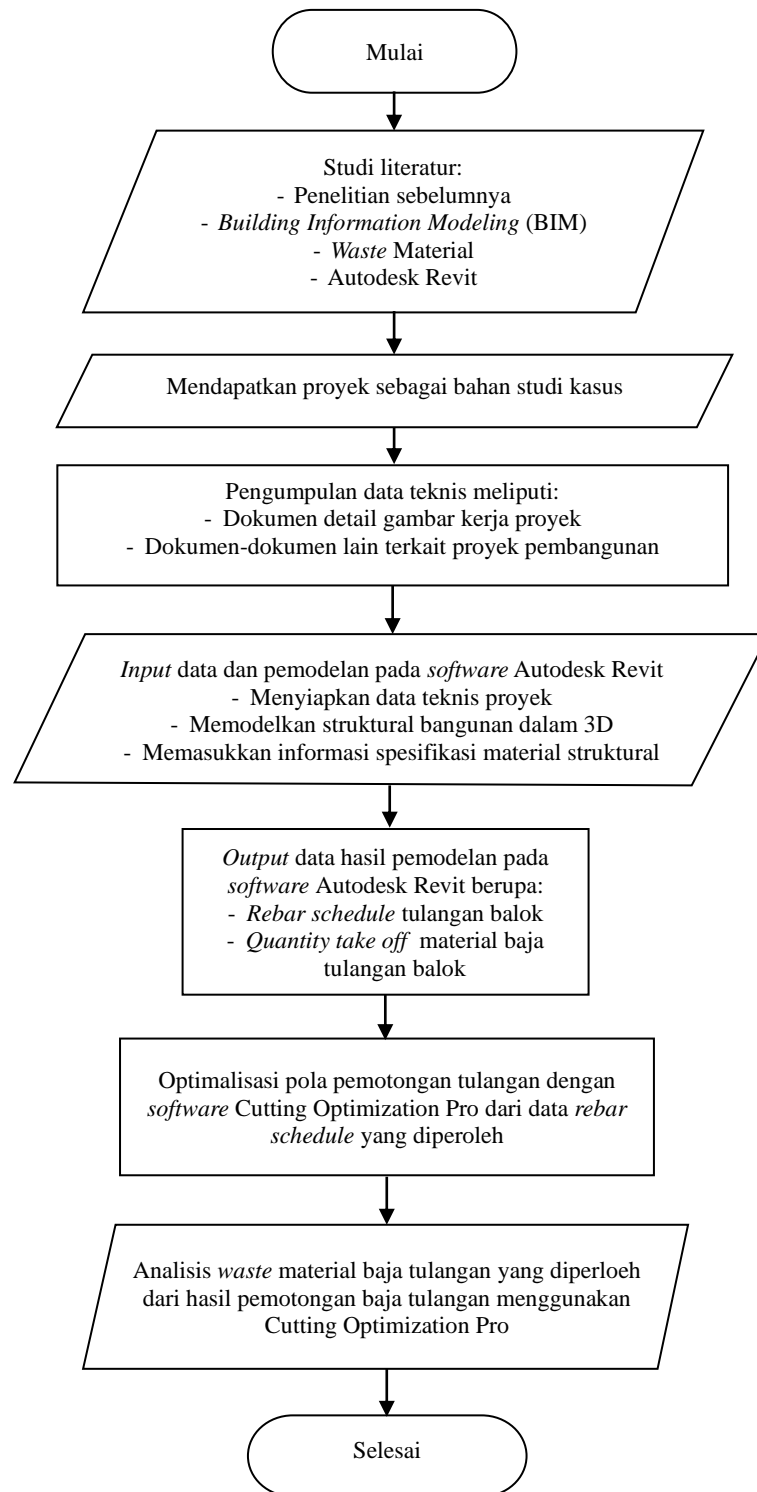
Pemodelan yang dilakukan meliputi seluruh komponen struktural bangunan mulai dari pondasi, kolom, balok, pelat, tangga, dan rangka atap dengan melakukan pemodelan tulangan pada setiap komponen struktur tersebut. Tahap pemodelan 3D struktural bangunan menggunakan *software* Autodesk Revit dapat digambarkan pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 15. Diagram alir pemodelan 3D struktural.

#### 3.5.4. Analisis Waste Material

Analisis *waste material* dilakukan setelah mendapatkan *output* data berupa *rebar schedule* tulangan balok dari pemodelan 3D struktural bangunan yang dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Revit. *Rebar schedule* akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan pola pemotongan baja tulangan dengan menggunakan bantuan *software* Cutting Optimization Pro. Pola pemotongan baja tulangan akan menghasilkan jumlah kebutuhan perlu untuk penulangan balok yang nantinya akan dibandingkan dengan kebutuhan terpakai yang diperoleh dari data *rebar schedule* balok sehingga memperlihatkan *waste material* yang dihasilkan. Tahapan penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir penelitian seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alir penelitian.

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis data yang dilakukan maka kesimpulan yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis *waste* material tulangan balok yang diperoleh melalui *cutting list* menghasilkan data berupa berat keperluan, berat terpakai, dan berat *waste*. Besarnya berat keperluan adalah sebesar 131873,68 kg; berat terpakai sebesar 122160,19 kg; dan berat *waste* sebesar 9713,49 kg. Dari total berat *waste* material tulangan balok, 7813,46 kg diantaranya adalah *reused waste* (panjangnya  $\geq 2000$  mm) dan 1900,03 kg lainnya adalah *disposed waste*.
2. *Rebar schedule* adalah salah satu *output* data yang dapat diperoleh dari pemodelan bangunan menggunakan konsep BIM melalui *software* Autodesk Revit. Langkah-langkah untuk mendapatkan *rebar schedule* adalah dengan melakukan pemodelan 3D struktural bangunan, melakukan pemodelan tulangan, menambahkan *schedule mark* dan *partition* pada setiap pemodelan tulangan, membuat penjadwalan tulangan, memilih parameter yang akan dimasukkan ke dalam penjadwalan, kemudian mengekspor penjadwalan kedalam format *file* terpisah.
3. Pemodelan yang dilakukan melalui konsep *Building Information Modeling* (BIM) memiliki tingkat akurasi sangat tinggi terhadap estimasi material di lapangan sehingga optimalisasi penggunaan material baja tulangan pada proyek dapat ditingkatkan dan akan berdampak pada berkurangnya *waste* material yang terjadi di lapangan. Selain itu, penggunaan *software* Cutting Optimization Pro dalam menentukan pola potongan baja tulangan dapat lebih meningkatkan lagi optimalisasi penggunaan material baja tulangan untuk suatu proyek konstruksi.

## 5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, berikut adalah saran-saran terkait penelitian ini yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Dibutuhkan pengetahuan mendalam terhadap penggunaan *software* Autodesk Revit agar dapat memaksimalkan fitur-fitur dan *tools* yang tersedia sebagai bentuk penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM).
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk meninjau *waste* material pada keseluruhan pekerjaan pembangunan proyek yang berhubungan dengan pembesian agar mendapatkan data *waste* material baja tulangan yang lebih akurat.
3. Peneliti berharap agar penelitian lebih lanjut dilakukan mengenai *Building Information Modeling* (BIM) dan keterkaitannya dengan *waste* material.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. H. M., Sabah, S. H. A., Rafindadi, A. D., Mikić, M. 2020. BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4): 1013-1019. Tersedia di <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002>.
- Alimin, M., Imron, Taulani, M. 2023. Penerapan Building Information Modeling (BIM) Autodesk Revit dalam Pembuatan Bar Bending Schedule (BBS) Pondasi Pile Cap Proyek Apartemen Jkt Living – Star Jakarta Timur. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik (JURRITEK)*, 2(2): 21-23. Tersedia di <https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i2.1599>.
- American Concrete Institute 2000. *ACI 116R-00: Cement and Concrete Terminology*. American Concrete Institute (ACI).
- American Concrete Institute 2014. *ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute (ACI).
- Apriansyah, R., 2021. Implementasi Konsep Building Information Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural.
- Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Aulia, N. A., Harimurti, Negara, K. P. 2016. Analisis dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi Menggunakan Metode Pareto dan Fishbone Diagram (Studi Kasus pada Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(2). Tersedia di <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/144763>.
- Autodesk Inc. 2023. *Autodesk Revit Overview*. Diakses pada 24 Oktober 2023, dari <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
- Badan Standardisasi Nasional 2017. *SNI 2052-2017: Baja Tulangan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional 2019. *SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.



- BIM PUPR & Institut BIM Indonesia 2018. *Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi*. Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. 2008. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Ervianto, W. I. 2004. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Edisi Revisi. Andi, Yogyakarta.
- Fakhrudin, Parung, H., Tjaronge, M. W., Djamaluddin, R., Irmawaty, R., Amiruddin, A. A., Djamaluddin, A. R., Harianto, T., Muhiddin, A. B., Arsyad, A., Nur, S. H. 2019. Sosialisasi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling (BIM) pada Sektor Konstruksi Indonesia. *Jurnal Tepat (Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat)*, 2(2): 112-119. Tersedia di [https://doi.org/10.25042/jurnal\\_tepat.v2i2.82](https://doi.org/10.25042/jurnal_tepat.v2i2.82).
- Formoso, C.T., Soibelman, L., De Cesare, C., Isatto, E.L. 2002. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4): 316-325. Tersedia di [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316)).
- Ganesan, S. 2000. *Employment Technology and Construction Development*. Ashgate Publishing Company. London.
- Gavilan, R. M. & Bernold, L. E. 1994. Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(3): 536-552. Tersedia di [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1994\)120:3\(536\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:3(536)).
- Geraldi, L. A. & Sulistio, H. 2020. Studi Analisis Persentase Waste Besi Beton dan Faktor Penyebabnya pada Bangunan Bertingkat Rendah di Jakarta. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1): 167-174. Tersedia di <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7070>.
- Hartono, W., Utamy, H., Sunarmasto. 2015. Rancangan Program Pengerjaan Bar Bending Schedule Penulangan Pile Cap dan Kolom Bawah dengan Visual Basic 6.0. *E-Journal Matriks Teknik Sipil*, 3(2): 403-411. Tersedia di <https://doi.org/10.20961/mateksi.v3i2.37193>.
- Ibrahim, H. B. 2001. *Rencana dan Estimate Real of Cost*. Bumi Aksara, Jakarta.
- Laily, F. N. Husni, H. R., Bayzoni, B. 2021. Perbandingan Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Revit 2019 Terhadap Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus: Gedung G Fakultas Pertanian Universitas Lampung). *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25(2): 27-31. Tersedia di <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v25i2.30>.

- Marizan, Y. 2019. Studi Literatur tentang Penggunaan Software Autodesk Revit Studi Kasus Perencanaan Puskesmas Sukajadi Kota Prabumulih. *Jurnal Ilmiah Bering's*, 6(1): 15-26. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.36050/berings.v6i01.154>.
- Nelson, Sekarsari, J. 2019. Faktor yang Memengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4): 241-248. Tersedia di <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6305>.
- Optimal Programs SRL 2023. *Rectangular (2D) + Linear (1D) = Cutting Optimization Pro*. Diakses pada 3 November 2023 melalui <https://www.optimalprograms.com/cutting-optimization>.
- Peraturan Menteri PUPR Republik Indonesia Nomor 22/PRT/M/2018 tentang *Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung Negara*.
- Rayendra, Soemardi, B. W. 2014. Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling untuk Pra-Konstruksi. *Simposium Nasional RAPI XIII – 2014 FT UMS*. Tersedia di <http://hdl.handle.net/11617/5528>.
- Reista, I. A., Annisa, Ilham. 2022. Implementasi Building Information Modeling (BIM) dalam Estimasi Volume Pekerjaan Struktural dan Arsitektural. *Journal of Sustainable Construction*, 2(1): 13-22. Tersedia di <https://doi.org/10.26593/josc.v2i1.6135>.
- Skoyles, E. R. 1987. Materials wastage – a misuse of resources. *Building Research and Practice*, 4(4): 232-232. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1080/09613217608550498>.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- Tchobanoglous, G., Theisen H., Vigil, S.A. 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. McGraw-Hill Inc. New York.
- Untari, D. T. 2018. *Metode Penelitian: Penelitian Kontemporer Bidang Ekonomi dan Bisnis*. CV. Pena Persada, Banyumas.
- Waste Management Licencing Regulation. 1994. *Statutory Instrument 1994 No. 1056*.