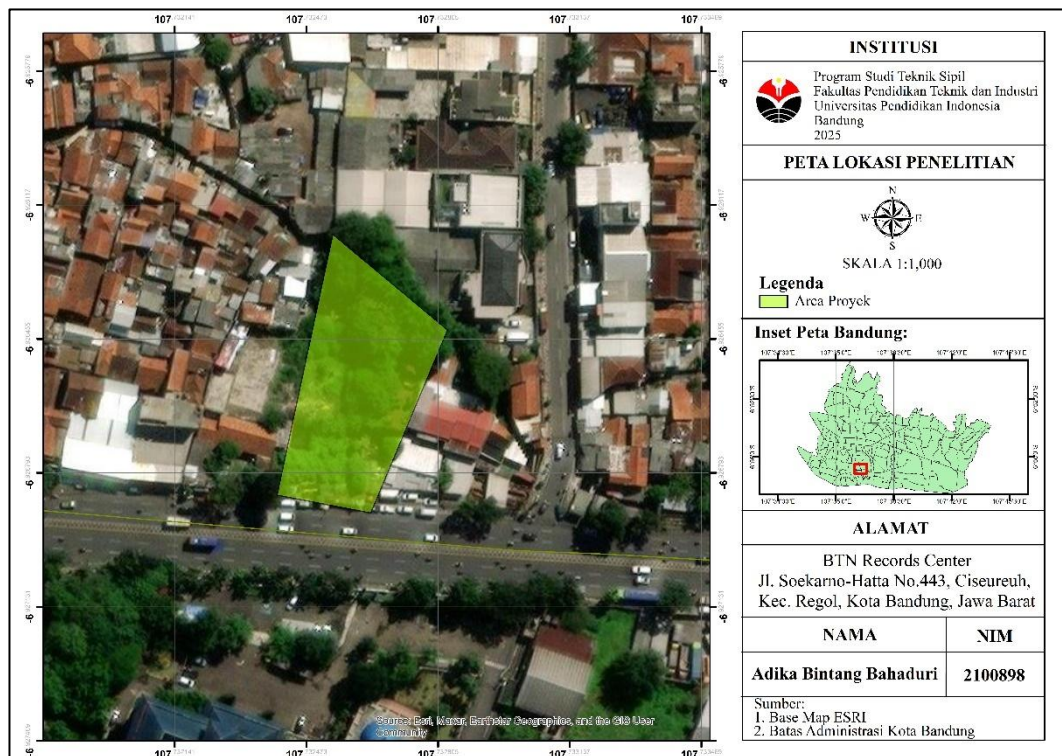


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Objek Penelitian

Lokasi objek penelitian berada di Proyek Pembangunan Gedung Perkantoran Bank BTN Records Center Soekarno Hatta Bandung. Proyek berlokasi di Jalan Soekarno-Hatta No.443, Ciseureuh, Kec. Regol, Kota Bandung, Jawa Barat 40255.



Gambar 3.1 Lokasi Objek Penelitian

Sumber : Base Map ESRI, 2025

3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian adalah durasi yang dibutuhkan oleh peneliti untuk melakukan observasi dan mengumpulkan data di lapangan (*Sujarweni, 2014*). Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dari mulai Februari 2025 hingga Agustus 2025. Pelaksanaan penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahap utama, yaitu tahap

prapenelitian, tahap penelitian, dan tahap pasca-penelitian. Rincian waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

| Kegiatan | Februari | | | | Maret | | | | April | | | | Mei s.d. Juli | | | | Agustus | | | |
|--------------------------------|----------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|---------------|---|---|---|---------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pra Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Judul dan Topik Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengumpulan Data | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Studi Literatur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pembuatan Proposal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Proposal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pemodelan BIM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengolahan Data | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pasca Penelitian | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisi hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sidang | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Publikasi dan penyerahan hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis *waste material* tulangan baja pada proyek konstruksi Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung. Menurut Creswell, penelitian kuantitatif adalah suatu usaha untuk menyelidiki suatu masalah. Dari masalah yang ada, peneliti kemudian mengumpulkan dan menganalisis data, menetapkan variabel, serta melakukan pengukuran dengan menggunakan angka, sehingga analisis dapat dilakukan sesuai dengan prosedur statistik yang relevan. Tujuan dari penelitian kuantitatif adalah

untuk mendukung peneliti dalam membuat keputusan serta menggambarkan prediksi teori yang akurat (Amruddin, et al., 2022).

Dalam penelitian ini, variabel kontrol meliputi pemotongan tulangan, kebutuhan pemotongan, panjang batang, diameter tulangan, dan tipe pemasangan tulangan sesuai kondisi pada gambar *as-built*. Penetapan variabel kontrol ini bertujuan memastikan perbedaan hasil hanya disebabkan oleh perbedaan metode optimasi, bukan oleh perbedaan data atau kondisi input.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Autodesk Revit, Solver add-in pada Microsoft Excel, dan Cutting Optimization Pro. Revit digunakan untuk memodelkan, membaca, serta menganalisis gambar berdasarkan data DED. Sementara itu, Solver Excel diterapkan dalam optimasi pemotongan menggunakan metode Integer Linear Programming. Sedangkan, Cutting Optimization Pro digunakan untuk menentukan strategi pemotongan yang paling efisien secara otomatis guna meminimalkan sisa material baja tulangan.

3.4 Data Penelitian

Berdasarkan cara memperolehnya, sumber data dapat dikategorikan menjadi dua jenis yakni data primer dan data sekunder. Data primer dalam sebuah penelitian diperoleh secara langsung dari sumbernya melalui berbagai metode, seperti pengukuran, perhitungan sendiri menggunakan angket, observasi, wawancara, dan lain-lain. Sementara itu, data sekunder didapatkan secara tidak langsung dari orang lain atau lembaga, berupa laporan, profil, buku panduan, atau literatur (Hardani, et al., 2020).

Pada penelitian ini hanya menggunakan data sekunder. Data Sekunder yang digunakan diantaranya *As Built Drawing*, RAB, BOQ serta sumber literasi seperti buku, artikel maupun jurnal. Rincian sumber data sekunder dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Sekunder

| No | Jenis Data | Sumber Data |
|----|-------------------------|-------------------------|
| 1 | <i>As Built Drawing</i> | PT Casa Prima Indonesia |
| 2 | Rencana Anggaran Biaya | PT Casa Prima Indonesia |
| 3 | <i>Bill of Quantity</i> | PT Casa Prima Indonesia |

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan metode yang digunakan untuk menelusuri dan mengolah informasi dari data yang telah dikumpulkan, sehingga hasil penelitian menjadi lebih akurat serta lebih mudah dipahami oleh pembaca (*Soesana, et al., 2023*). Tahapan analisis data dimulai dengan perhitungan volume pekerjaan penulangan, kemudian dilakukan analisis data sekunder menggunakan *Autodesk Revit*. Setelah itu, dilakukan optimasi pemotongan baja tulangan menggunakan perangkat lunak COP dan *Excel Solver*. Hasil dari kedua metode ini kemudian dibandingkan berdasarkan jumlah waste material yang dihasilkan serta perbedaan dari segi biaya guna menentukan metode yang paling optimal dalam mengurangi pemborosan material. Tahapan analisis data dalam penelitian ini dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

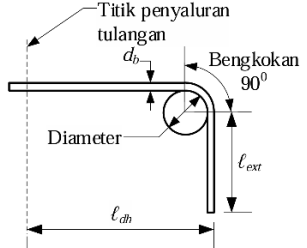
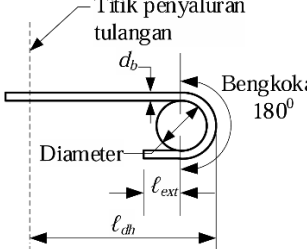
3.5.1 Perhitungan Volume Baja Tulangan

Langkah pertama yang dilakukan sebelum melakukan pemodelan BIM yaitu menghitung volume pekerjaan penulangan. Proses ini mencakup perhitungan panjang penyaluran serta sambungan lewatan pada tulangan yang digunakan dalam proyek Gedung perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung. Perhitungan volume baja tulangan dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Menghitung Kait Standar

Dalam SNI 2847:2019, standar kait untuk penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tarik harus memenuhi ketentuan yang tercantum dalam Pasal 25.3. Kait standar untuk penyaluran tulangan ulir dalam kondisi tarik harus sesuai dengan tabel 3.3.

Tabel 3.3 Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi Tarik

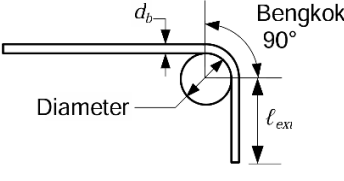
| Tipe kait standar | Ukuran batang | Diameter sisi dalam bengkokan minimum | Perpanjangan lurus ℓ_{ext} , mm | Tipe kait standar |
|-------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Kait 90 derajat | D10 – D25 | $6d_b$ | $12d_b$ |  |
| | D29 – D36 | $8d_b$ | | |
| | D43 – D57 | $10d_b$ | | |
| Kait 180 derajat | D10 - D25 | $6d_b$ | terbesar dari $4d_b$ dan 6mm |  |
| | D29 – D36 | $8d_b$ | | |
| | D43 – D57 | $10d_b$ | | |

Sumber: SNI 2847:2019

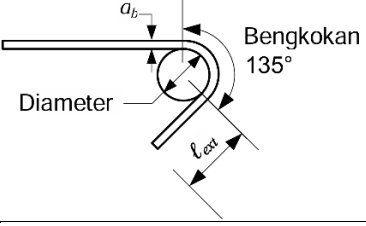
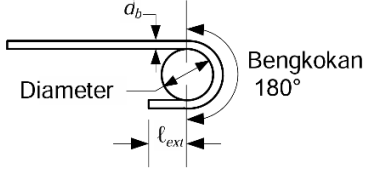
2. Menghitung Kait Senggang, Ikat Senggang, dan Senggang Pengekang

Perhitungan kait sengkang, ikat sengkang, dan sengkang pengekang harus mengikuti ketentuan yang tercantum dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Detail ikat sengkang, kait sengkang, dan sengkang pengekang

| Tipe kait standar | Ukuran batang | Diameter sisi dalam bengkokan minimum | Perpanjangan lurus ℓ_{ext} , mm | Tipe kait standar |
|-------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Kait 90 derajat | D10 – D16 | $4d_b$ | Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm |  |
| | D19 – D25 | $6d_b$ | $12d_b$ | |
| Kait 135 derajat | D10 – D16 | $4d_b$ | Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm | |

Tabel 3.4 Detail ikat sengkang, kait sengkang, dan sengkang pengekuat (Lanjutan)

| Tipe kait standar | Ukuran batang | Diameter sisi dalam bengkokan minimum | Perpanjangan lurus ℓ_{ext} , mm | Tipe kait standar |
|-------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | D19 – D25 | $6d_b$ | |  |
| Kait 180 derajat | D10 – D16 | $4d_b$ | Terbesar dari $4d_b$ dan 75 mm |  |
| | D19 – D25 | $6d_b$ | | |

Sumber: SNI 2847:2019

3. Panjang Penyaluran dan Sambungan Lewatan

Panjang penyaluran terdiri dari dua kondisi utama yaitu tarik dan tekan, di mana kondisi tarik bergantung pada daya lekat beton dan tulangan, sedangkan kondisi tekan dipengaruhi oleh kapasitas tekan beton. Sambungan lewatan digunakan saat tulangan tidak cukup panjang untuk mencapai bentang yang diinginkan. Perhitungan panjang penyaluran dan sambungan lewatan harus sesuai SNI 2847:2019 agar struktur beton bertulang tetap kuat dan aman.

a. Tarik

Panjang penyaluran l_d untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus memenuhi nilai terbesar dari dua ketentuan berikut:

- Panjang yang dihitung berdasarkan tabel 3.5 dengan mempertimbangkan faktor modifikasi yang berlaku sesuai tabel 3.6.
- 300 mm.

Tabel 3.5 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

| Spasi dan selimut | Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir | Batang D22 dan yang lebih besar |
|---|--|--|
| Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatan tidak kurang dari d_b . selimut beton | $\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'c}} d_b$ | $\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'c}} d_b$ |

Tabel 3.5 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik (Lanjutan)

| Spasi dan selimut | Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir | Batang D22 dan yang lebih besar |
|---|--|--|
| paling sedikit d_b , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang l_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b . | | |
| Kasus-kasus lainnya | $\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$ | $\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$ |

Sumber: SNI 2847:2019

Tabel 3.6 Faktor modifikasi penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik

| Faktor modifikasi | Kondisi | Faktor |
|----------------------------|--|--------------------------------------|
| Beton ringan λ | Beton ringan | 0,75 |
| | Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan | Sesuai dengan 19.2.4.3 SNI 2847:2019 |
| | Beton normal | 1,0 |
| Epoksi Ψ_e | Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari 3db atau spasi kurang dari 6db | 1,5 |
| | Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya | 1,2 |
| | Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis) | 1,0 |
| Ukuran Ψ_s | Batang D22 dan yang lebih besar | 1,0 |
| | Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir | 0,8 |
| Posisi pengecoran Ψ_t | Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal | 1,3 |
| | lainnya | 1,0 |

Sumber: SNI 2847:2019

Selanjutnya, untuk perhitungan penyaluran kait standar dalam kondisi tarik. Panjang penyaluran tarik l_{dh} untuk batang ulir yang diakhiri dengan kait standar harus memenuhi nilai terbesar dari tiga ketentuan berikut:

- a) $\frac{0,24f_y\Psi_e\Psi_c\Psi_r}{\lambda\sqrt{f'c}} d_b$, dengan $\Psi_e\Psi_c\Psi_r$ dan λ diberikan pada tabel 3.7.
- b) $8d_b$
- c) 150 mm

Tabel 3.7 Faktor modifikasi penyaluran dengan kait kondisi Tarik

| Faktor Modifikasi | Kondisi | Nilai faktor |
|----------------------------|---|--------------|
| Bobot beton λ | Beton ringan | 0,75 |
| | Beton normal | 1,0 |
| Epoksi Ψ_e | Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi | 1,2 |
| | Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis) | 1,0 |
| Selimut Ψ_c | Untuk batang D36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) ≥ 65 mm dan untuk kait 90 derajat dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait ≥ 50 mm | 0,7 |
| | Lainnya | 1,0 |
| Tulangan pengekan Ψ_r | Untuk kait 90 derajat dengan batang D36 dan yang lebih kecil, | |
| | • Dilingkupi sepanjang l_{dh} sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{dh} pada $s \leq 3d_b$, atau. | 0,8 |
| | • Dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{ext} pada $s \leq 3d_b$ | |
| | Untuk kait 180 derajat D36 dan yang lebih kecil dilingkupi sepanjang l_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{dh} pada $s \leq 3d_b$ | 0,8 |
| | Lainnya | 1,0 |

Sumber: SNI 2847:2019

Selanjutnya jarak sengkang sepanjang penyaluran harus memenuhi syarat berikut:

- a) Kait harus dilingkupi sepanjang l_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang dengan spasi $s \leq 3d_b$
- b) Sengkang ikat atau sengkang pertama harus dipasang sejarak $2d_b$ disisi terluar bengkokan.
- c) Ψ_r harus diambil sebesar 1,0 dalam perhitungan l_{dh} sesuai tabel 3.7

Panjang sambungan lewatan l_{st} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus disesuaikan dengan tabel 3.8, dimana l_d sesuai dengan tabel 3.5.

Tabel 3.8 Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir kondisi Tarik

| $A_{s,t}/A_{s,p}$ sepanjang sambungan lewatan | Maksimum persentase dari As lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan | Tipe sambungan lewatan | l_{st} |
|--|--|------------------------------|------------------------------------|
| $\geq 2,0$ | 50 | kelas A | terbesar dari 1,0 l_d dan 300 mm |
| $< 2,0$ | 100 | kelas B | terbesar dari 1,3 l_d dan 300 mm |

Sumber: SNI 2847:2019

b. Tekan

Panjang penyaluran l_{dc} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus yang terbesar dari a), b), dan c) dengan faktor modifikasi berdasarkan tabel 3.9.

a) $\frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$

b) $0,43 \cdot f_y \Psi_r d_b$

c) 200 mm

Tabel 3.9 Faktor modifikasi batang ulir dan kawat dalam kondisi tekan

| Faktor modifikasi | Kondisi | Nilai |
|-----------------------------|---|------------------------------------|
| Bobot beton λ | Beton ringan | 0,75 |
| | Beton ringan, apabila f_{ct} disyaratkan | Sesuai pada 19.2.4.3 SNI 2847:2019 |
| | Beton normal | 1,0 |
| Tulangan pengekang Ψ_r | Tulangan dilingkupi oleh (1), (2), (3), atau (4): | 0,75 |
| | <ul style="list-style-type: none"> tulangan spiral tulangan lingkaran menerus dengan db ≥ 6 mm dan jarak 100 mm Sengkang D13 atau pengikat kawat D10, yang sesuai 25.7.2 dengan spasi pusatnya ≤ 100 mm Sengkang pengekang, yang sesuai 25.7.4 dengan spasinya ≤ 100 mm | |
| | Lainnya | 1,0 |

Selanjutnya, sambungan lewatan pada kondisi tekan l_{sc} pada batang ulir D36 atau yang lebih kecil harus dihitung sesuai dengan a) atau b):

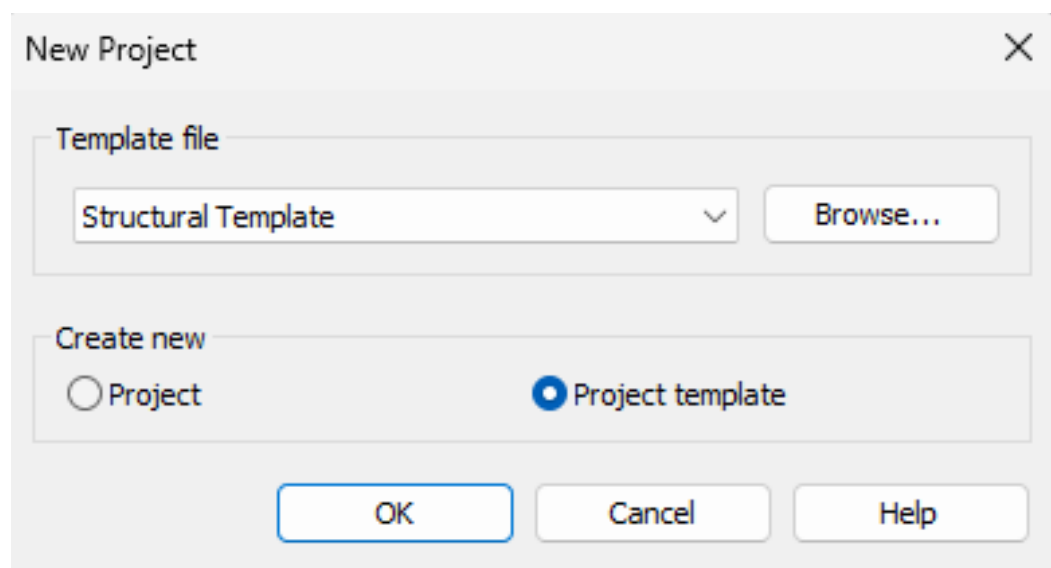
- a) Untuk $f_y \leq 420$ MPa: nilai l_{sc} harus yang terbesar dari $0,071 f_y d_b$ dan 300 mm.
- b) Untuk $f_y > 420$ MPa: nilai l_{sc} harus yang terbesar dari $(0,13 f_y - 24)$ db dan 300 mm.

3.5.2 Pemodelan 3D BIM dengan Autodesk Revit

Pemodelan ini digunakan untuk memvisualisasikan penempatan tulangan dalam struktur beton serta mengidentifikasi potensi pemborosan material. Dengan BIM, informasi mengenai jumlah dan distribusi baja tulangan dapat diperoleh secara lebih akurat, sehingga membantu dalam proses estimasi kebutuhan material dan perencanaan konstruksi. Berikut tahapan dalam pembuatan model 3D di Autodesk Revit 2025:

1. Membuat file dengan format *structural template*

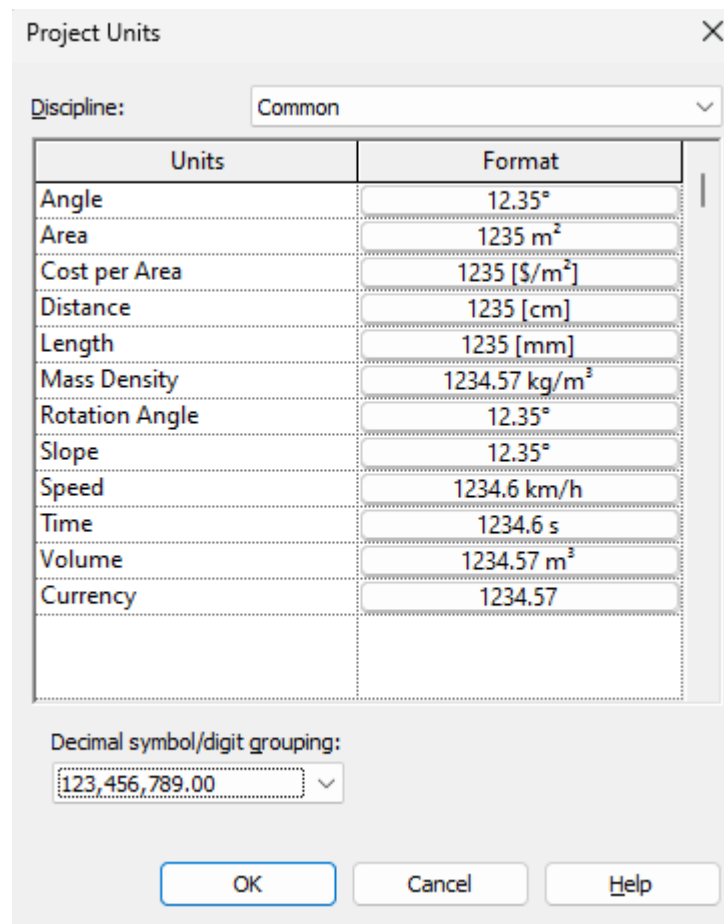
Aplikasi ini menyediakan beberapa jenis template untuk pemodelan, di antaranya *Construction Template*, *Architectural Template*, *Structural Template*, dan *Mechanical Template*. Dalam penelitian ini, *Structural Template* dipilih karena pemodelan yang dilakukan berfokus pada elemen struktur untuk menghitung volume, tanpa mempertimbangkan aspek *architectural*, *mechanical electrical plumbing* (MEP).



Gambar 3.2 New Project Structural Template

2. Mengatur *Project Unit*

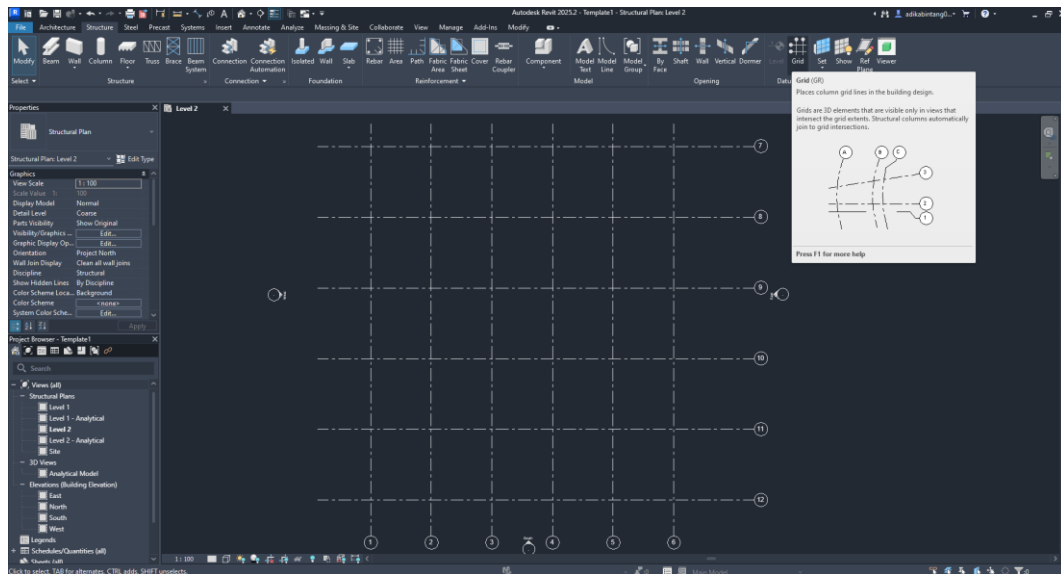
Sebelum melakukan permodelan, langkah yang harus dilakukan adalah memastikan satuan yang digunakan sudah benar dengan cara mengetik “UN” hingga tampilan *project unit* muncul, atau dengan membuka panel *project unit* di tab *manage*



Gambar 3.3 *Setting Project Unit*

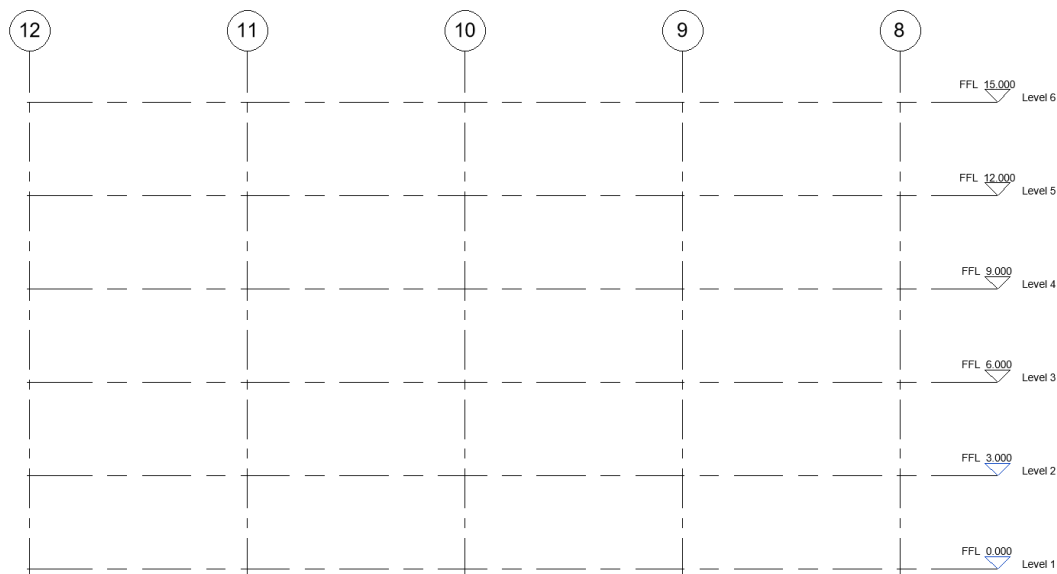
3. Membuat *Level* dan *Grid*

Grid merupakan elemen penting dalam pemodelan struktur, karena berfungsi sebagai acuan dalam penyusunan dan penempatan objek dalam struktur bangunan. Penggunaan *grid* membantu dalam memastikan keteraturan serta kesesuaian posisi elemen-elemen struktur, sehingga proses perancangan dan analisis dapat dilakukan dengan lebih sistematis dan akurat. *Grid* dapat dibuat dengan membuka panel *grid* di tab *structure* kemudian susun *grid* sesuai dengan perencanaan.

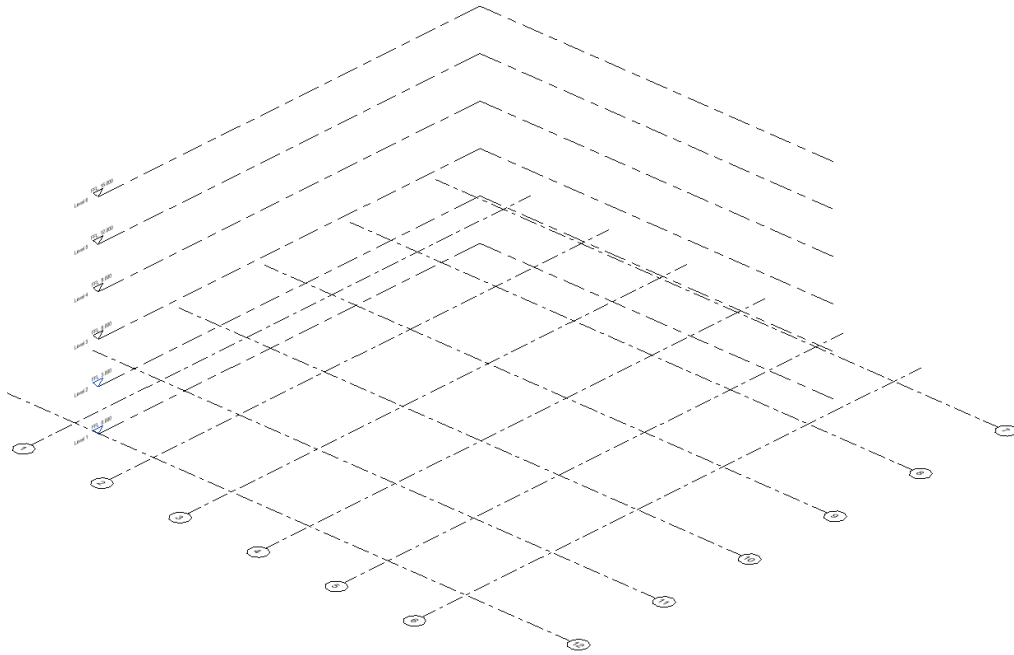


Gambar 3.4 Grid

Level adalah garis elevasi yang digunakan sebagai acuan ketinggian dalam pemodelan bangunan pada perangkat lunak Revit. Fungsi utama *level* adalah memastikan setiap elemen bangunan, seperti lantai, balok, kolom, dan elemen struktural lainnya, ditempatkan pada posisi ketinggian yang sesuai dengan desain. *Level* dibuat dengan membuka panel level pada tab *structure*, kemudian buat dan atur *level* pada gambar kerja.



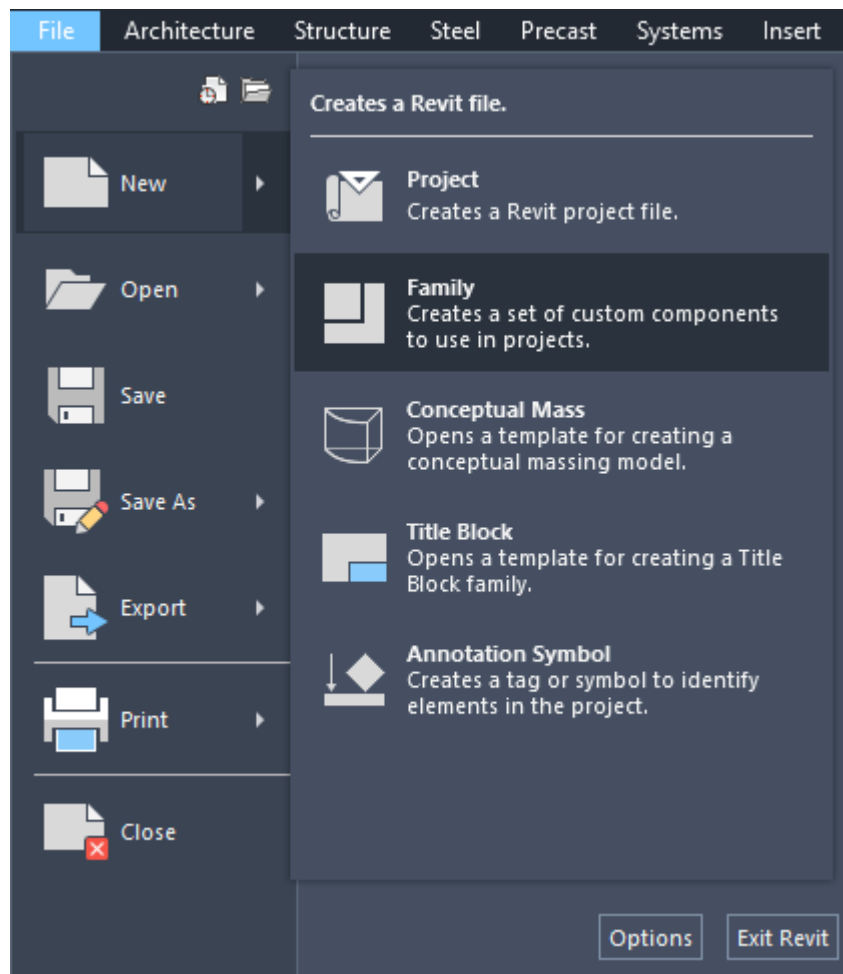
Gambar 3.5 Level



Gambar 3.6 *Level dan Grid* pada 3D View

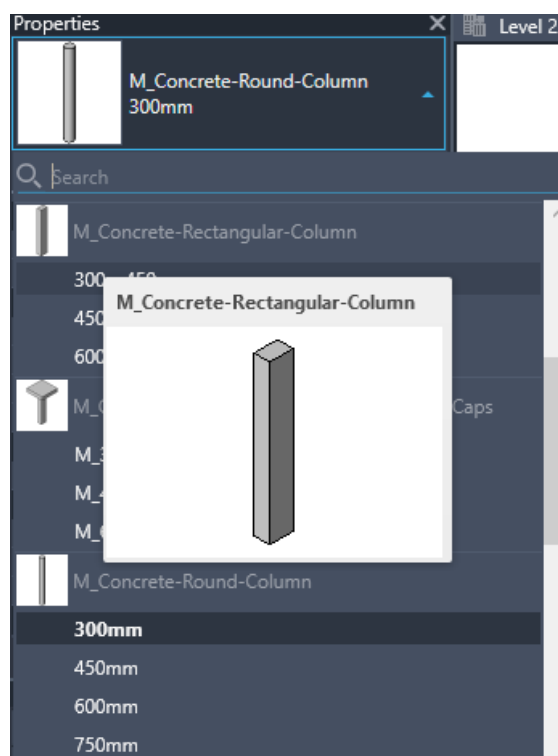
4. Membuat atau mengatur Family Komponen Struktur

Dalam pemodelan menggunakan *Autodesk Revit*, *Family* merupakan elemen penting yang digunakan untuk menentukan bentuk, ukuran, serta karakteristik komponen struktur dalam suatu proyek. Family memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan serta mengatur elemen-elemen seperti kolom, balok, pelat, dan tulangan baja sesuai dengan spesifikasi desain yang dibutuhkan. Langkah-langkah mengatur atau membuat *family* di *revit* dapat dengan memilih *File > New > Family*, lalu pilih jenis *template* yang sesuai misalnya *Metric Structural Column* atau *Metric Structural Framing* untuk elemen struktur.



Gambar 3.7 *New Family Revit*

Pengguna juga dapat mengimpor *Family* yang sudah tersedia di Autodesk Revit dengan cara membuka panel *Load Family* pada tab *Insert*. Setelah itu pilih jenis *Family* yang ingin digunakan, misalnya *Structural Column*, *Beam*, atau *Reinforcement* lalu klik *open*. Selanjutnya atur parameter *Family* seperti dimensi, material, dan properti lainnya sesuai kebutuhan proyek dengan membuka *properties* lalu klik *edit type*.



Gambar 3.8 Family Kolom

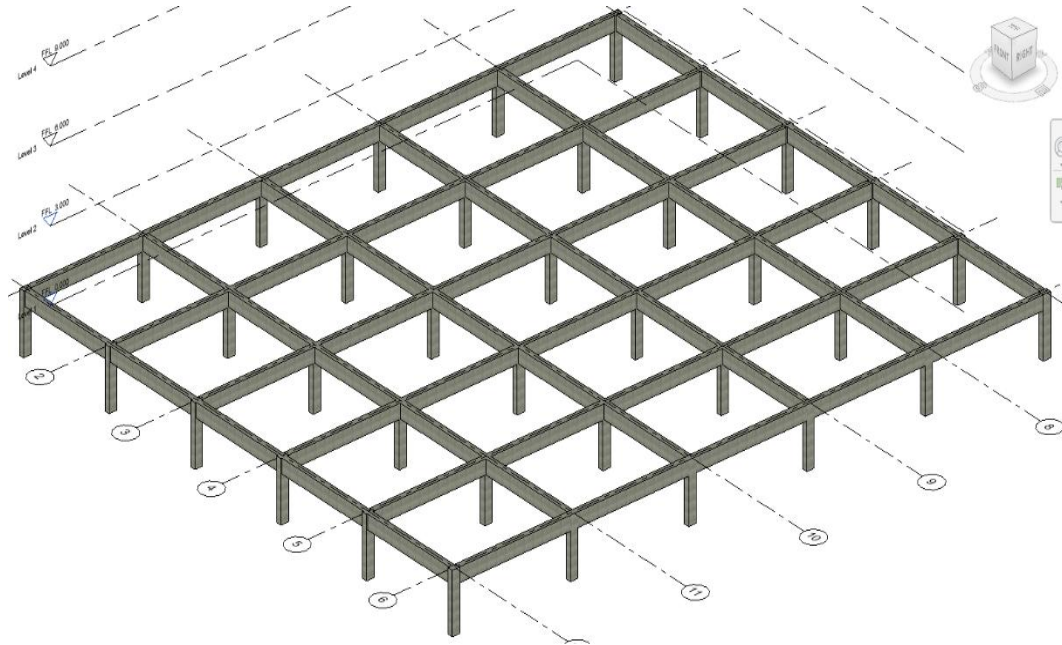
| Parameter | Value |
|-------------------|-------------|
| Structural | |
| Section Shape | Not Defined |
| Dimensions | |
| b | 300.0 |
| h | 450.0 |

Gambar 3.9 Dialog Box Pengeditan Family Kolom

5. Pemodelan 3D dan Penulangan

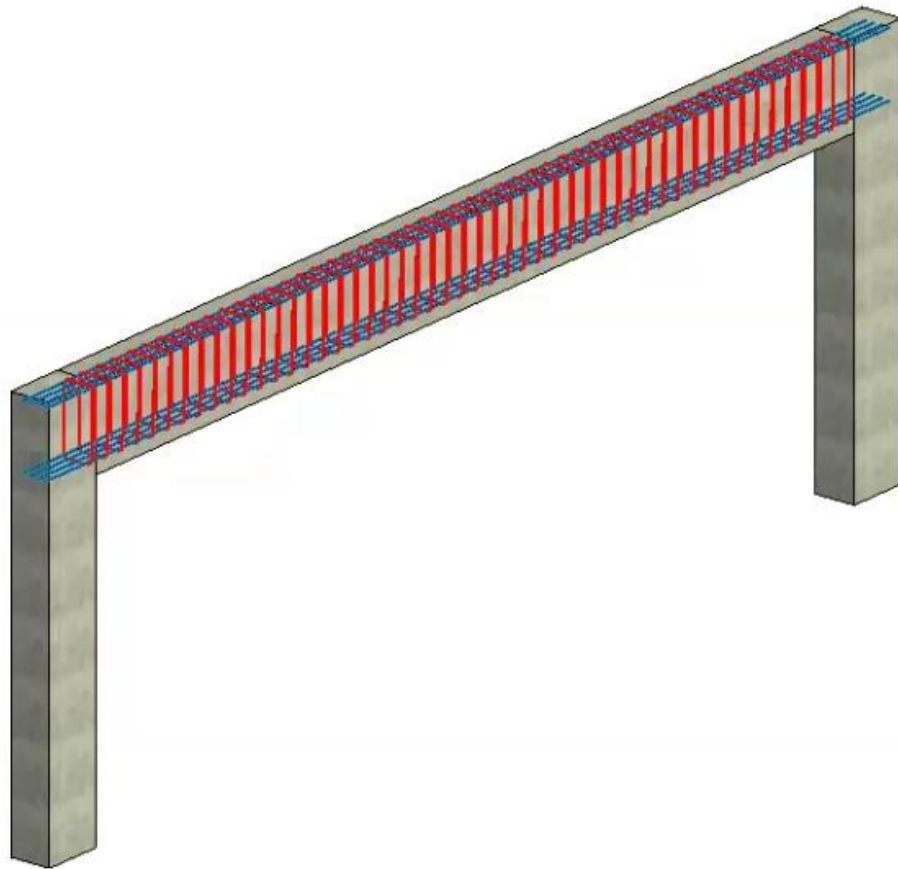
Pemodelan komponen struktur kolom dan balok dalam Autodesk Revit disesuaikan dengan gambar DED untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi perencanaan. Proses ini diawali dengan memilih *family* yang telah disesuaikan dengan kebutuhan proyek. Pemodelan kolom dan balok dilakukan dengan metode yang serupa, yaitu dengan membuka fitur *Structural Column* atau *Beam* pada tab *Structure*, kemudian mengakses *Properties* untuk menentukan jenis elemen yang sesuai. Setelah pemilihan selesai, kolom dan balok ditempatkan pada *grid* dan level

yang telah dibuat berdasarkan gambar DED guna memastikan posisi struktur yang akurat.



Gambar 3.10 Pemodelan Kolom dan Balok pada tampilan 3D View

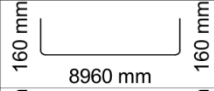
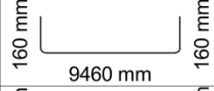
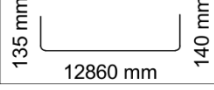
Sementara itu, pemodelan tulangan dalam Autodesk Revit dilakukan menggunakan fitur *Rebar*, yang memungkinkan penyusunan elemen tulangan secara sistematis. Langkah pertama dalam proses ini adalah mengatur family tulangan, termasuk menentukan diameter dan bentuk tulangan (*Rebar Shape*) sesuai standar perencanaan. Selanjutnya, pemodelan dilakukan dengan memilih objek struktur yang akan diberi tulangan, kemudian membuka tab *Modify*, mengakses fitur *Rebar*, dan memilih jenis tulangan yang akan digunakan. Setelah itu, tulangan ditempatkan dan disesuaikan dengan kebutuhan desain agar distribusi penulangan optimal serta memenuhi persyaratan teknis yang telah ditetapkan.



Gambar 3.11 Penulangan Balok pada 3D View

3.5.3 *Bar Bending Schedule* dan Kebutuhan Tulangan

Penerapan BIM menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit menghasilkan output berupa BBS. Analisis BBS bertujuan untuk memperoleh informasi detail mengenai jenis, diameter, bentuk, panjang, serta jumlah baja tulangan yang digunakan dalam proyek. Output BBS dapat diperoleh setelah proses pemodelan tulangan pada elemen struktural seperti balok, kolom, dan pelat telah selesai. Dengan memanfaatkan BIM melalui Autodesk Revit, perhitungan kebutuhan baja tulangan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan akurat, sehingga meningkatkan efektivitas dalam proses perencanaan serta pengelolaan material konstruksi.

| Bar Bending Schedule Plat Lantai | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|-----------|-------------|-----------|---------|-------------|-------|---------------|------------------|---|
| Type | A | B | C | D | E | Bar Length | Count | Weight | Total Bar Length | Bending Detail |
| PL1 D16-150 | 0 mm | 160 mm | 8960 mm | 160 mm | 0 mm | 9225 mm | 2 | 963.91 kg | 304425 mm |  |
| PL1 D16-150 | 0 mm | 160 mm | 9460 mm | 160 mm | 0 mm | 9725 mm | 2 | 2648.15 kg | 836350 mm |  |
| PL2 D16-150 | 0 mm | 135 mm | 12860 mm | 140 mm | 0 mm | 13075 mm | 2 | 2566.78 kg | 810650 mm |  |

Gambar 3.12 Output BBS Revit

Selain itu, Pemodelan BIM menggunakan Autodesk Revit dapat menghasilkan QTO yang berfungsi untuk menghitung jumlah dan volume material yang dibutuhkan dalam proyek konstruksi. QTO memberikan informasi terperinci mengenai spesifikasi material, seperti baja tulangan, beton, dan elemen struktural lainnya.

3.5.4 Optimasi *Waste Material* Baja Tulangan dengan *Excel Solver*

Optimasi pertama dalam pemotongan baja tulangan dilakukan menggunakan *Solver* pada *Microsoft Excel* dengan metode *integer linear programming*. Proses ini dilakukan dengan memasukkan panjang standar baja tulangan yang tersedia serta kebutuhan pemotongan yang diperlukan untuk menghasilkan kombinasi pemotongan yang optimal. Dengan metode ini, dapat diperoleh pola pemotongan yang meminimalkan sisa material atau waste.

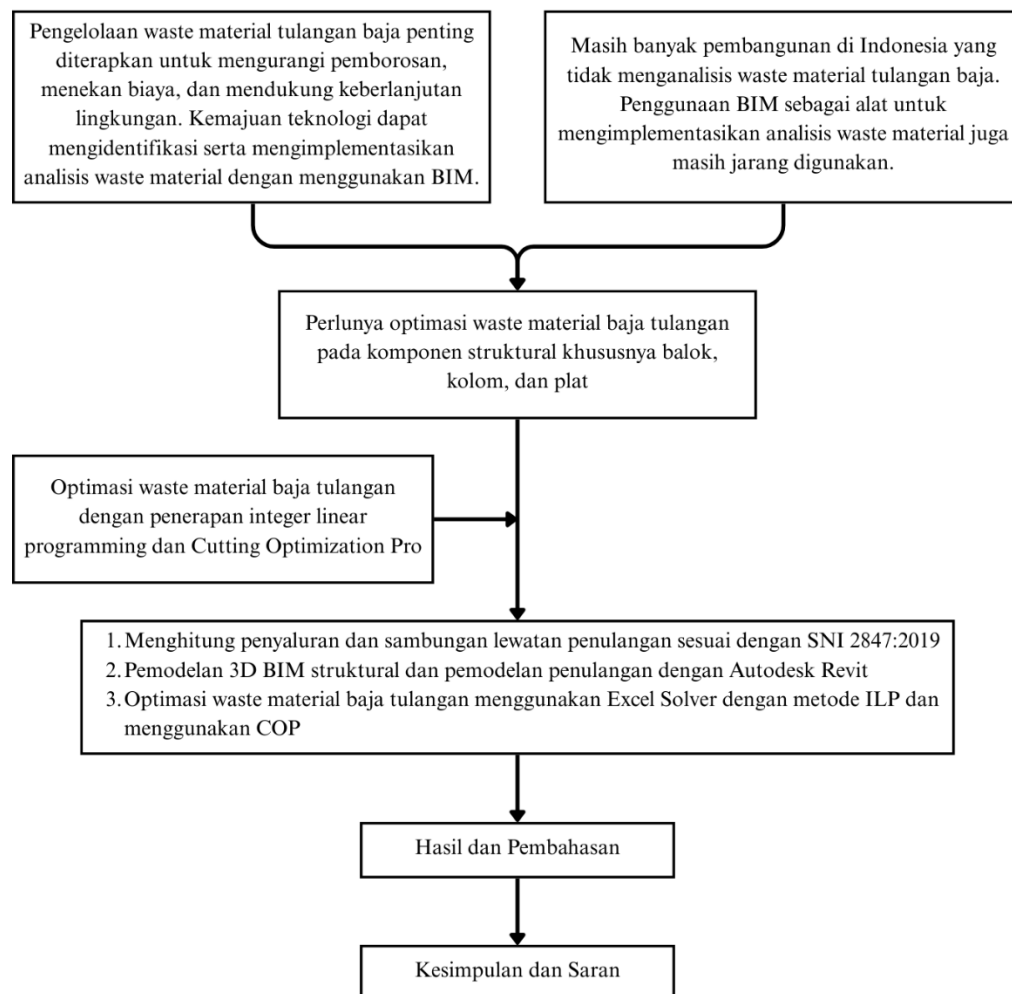
3.5.5 Optimasi *Waste Material* Baja Tulangan dengan *Cutting Optimization Pro*

Tahapan terakhir dalam analisis data adalah optimasi pemotongan baja tulangan menggunakan COP, sebuah perangkat lunak khusus yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pemotongan material. Software ini menggunakan algoritma pemotongan yang lebih kompleks dibandingkan dengan *Solver Excel*, sehingga dapat menghasilkan pola pemotongan dengan jumlah waste material yang lebih sedikit.

Proses optimasi menggunakan COP dimulai dengan memasukkan data panjang standar baja tulangan yang tersedia serta daftar kebutuhan potongan baja sesuai dengan desain konstruksi. Selanjutnya, perangkat lunak ini menjalankan algoritma pemotongan yang mempertimbangkan berbagai kemungkinan kombinasi untuk mencapai hasil dengan sisa material seminimal mungkin. Keunggulan COP dibandingkan dengan *Solver Excel* terletak pada kemampuannya dalam menangani berbagai skenario pemotongan dalam jumlah besar secara lebih cepat dan akurat, serta fitur otomatisasi yang memudahkan analisis tanpa perlu melakukan iterasi manual.

3.6 Kerangka Berpikir

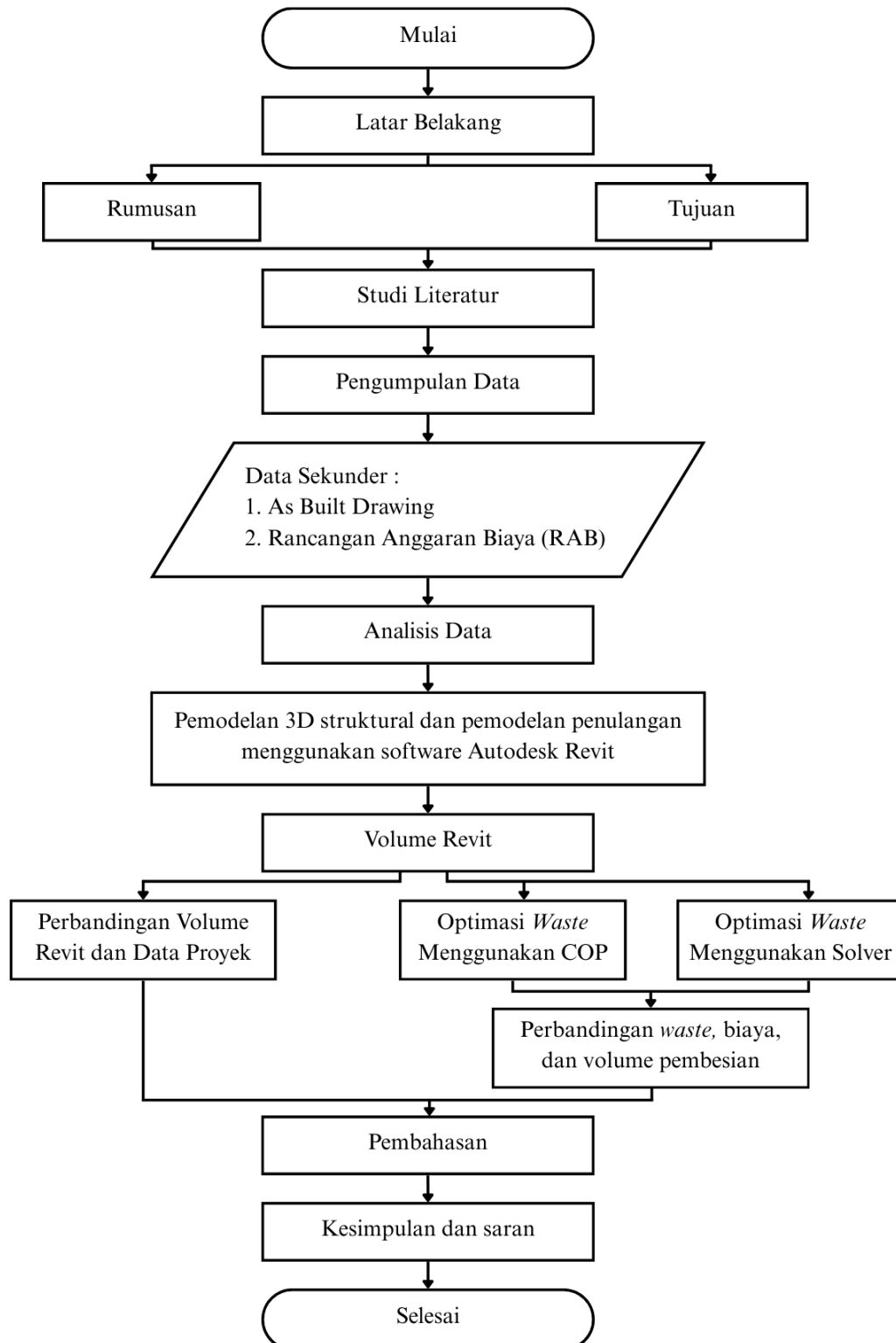
Kerangka berpikir merupakan landasan konseptual dalam suatu penelitian yang disusun berdasarkan sintesis dari berbagai fakta, hasil observasi, serta kajian kepustakaan. Kerangka berpikir penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.13 Kerangka Berpikir

3.7 Diagram Alir

Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Diagram Alir