

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bidang Architect Engineering Construction (AEC) ikut serta memaksimalkan perkembangan teknologi digital dalam upaya menghadirkan kemajuan teknologi akibat munculnya era revolusi industri 4.0. Salah satu solusi yang ditawarkan dan dikembangkan hingga saat ini adalah penerapan konsep Building Information Modelling (BIM). BIM menawarkan kemudahan pertukaran informasi dan melakukan perubahan dengan menggunakan model 3D dalam berbagai disiplin kerja yang berbeda, sehingga pekerjaan dapat berjalan lebih efektif dan efisien. Lahirnya era revolusi industri 4.0 didampingi dengan kemajuan teknologi yang saling bersaing di berbagai bidang industri, pada bidang Architect Engineering Construction (AEC) yang terus berusaha untuk memaksimalkan perkembangan teknologi digital, salah satu usaha nyata yang dilakukan adalah optimalisasi dari penggunaan software agar dapat membantu dalam pengaplikasian konsep Building Information Modelling (BIM).

Dalam bidang konstruksi mengenal istilah BIM, singkatan dari Building Information Modelling. BIM adalah suatu system yang membentuk proses dalam menyampaikan informasi atau referensi digital karakteristik fisik dan fungsional yang lebih akurat tentang suatu konstruksi yang mencakup AEC (Architecture, Engineering, and Construction). BIM meliputi berbagai informasi yang berkaitan pada suatu proyek/bangunan, dari awal perencanaan (pra-konstruksi), pelaksanaan (konstruksi), pemeliharaan (*maintenance*), hingga pembongkaran (*demolition*), bangunan. Pendekatan dimensi pada BIM diketahui memiliki keunggulan, berbeda

dengan aplikasi konvensional yang umumnya masih terbatas pada tahap 3D. BIM diketahui dapat dimanfaatkan hingga konsep pendekatan 4D (scheduling), 5D (estimating), 6D (sustainability), dan 7D (facility management applications). (Prasetia et al., 2023)

Salah satu dampak dalam ketidakefektifan perencanaan adalah pemborosan material yang dapat menyebabkan *waste* material. Kelebihan dari penerapan konsep *Building Information Modelling* (BIM) adalah mempermudah pengumoulan informasi yang dibutuhkan sehingga *output* yang dihasilkan tepat dan dapat meminimalisir *waste* material sehingga tidak terjadi pemborosan. *Waste* material didefinisikan sebagai hasil dari penggunaan atau pengadaan dalam jumlah yang berlebihan, tetapi tidak memberikan nilai tambah pada pekerjaan tersebut. Dengan pengurangan *waste* material kontraktor dapat menghemat biaya, sehingga dapat meningkatkan keuntungan dan juga mengurangi limbah yang berdampak pada lingkungan. (Kensek, 2014)

Di Indonesia, hamper 60% material yang digunakan adalah beton (*concrete*), yang pada umumnya dpadukan dengan baja (*composite*) atau jenis lainnya (Mulyono, 2004). Ditinjau dari segi kekuatan, beton memiliki keunggulan yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi namun beton lemah dalam menahan gaya Tarik. Kuat Tarik beton yang sangat rendah berakibat beton mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Untuk menahan gaya Tarik tersebut beton diberikan baja tulangan sehingga struktur beton merupakan kombinasi dari beton dan baja (beton bertulang). (Tjokrodumuljo, 1996)

Material Baja tulangan adalah salah satu komponen yang paling banyak memakai biaya dan waktu, dan material baja tulangan juga merupakan salah satu

komponen yang menyisakan sisa yang cukup banyak, memahami bentuk besi dan pemotongan yang tepat sangat penting untuk menghindari kerugian yang terjadi karena salah dalam manajemen dan juga dalam memotong akan mengakibatkan kerugian. Munculnya material sisa pada besi tulangan dapat digolongkan atas 2 jenis. Pertama, *waste* besi tulangan terjadi secara alamiah karena karakteristik desain penulangan. Kedua, besi tulangan terjadi karena kelebihan jumlah pembelian dibandingkan dengan kebutuhan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan dengan teliti dan tepat dalam menentukan jumlah kebutuhan material tulangan yang akan digunakan dalam proyek disertai dengan evaluasi terhadap penggunaan material tersebut. Untuk mengurangi sisa-sisa tulangan yang berlebih dapat dilakukan dengan membuat *Bar Bending Schedule* (BBS) menggunakan *software* Autodesk Revit untuk mempermudah mendapatkan hasil BBS. *Bar Bending Schedule* (BBS) didefinisikan sebagai pola pembengkokan tulangan yang mencakup informasi tentang diameter, panjang, dan jumlah tulangan. (Nasutama S & Sitompul M, 2022). Penggunaan *software Cutting Optimization Pro* dapat menghasilkan pola pemotongan dan *waste* material dari tulangan baja yang didasari *Bar Bending Schedule* hasil *output* dari *software* Autodesk Revit. (Kensek, 2014)

Penelitian ini akan membahas penerapan *Building Information Modelling* (BIM) dengan pemodelan 3D menggunakan *software* Autodesk Revit pada balok untuk mendapatkan *output* dari *Bar Bending Schedule*, kemudian dilakukan penginputan ke dalam *software* Cutting Optimization Pro agar mendapat pola potongan tulangan baja yang ideal dan menekan sisa material (*waste material*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memperoleh *Bar Bending Schedule* (BBS) menggunakan *software Autodesk Revit*?
2. Berapa *waste material* dan kebutuhan besi tulangan pada struktur balok menggunakan *software Cutting Optimazion pro*?
3. Berapakah *wastage level* atau persentase sisa besi tulangan balok pada proyek gedung?
4. Bagaimana pengaruh penerapan konsep BIM dalam pengoptimalan material tulangan?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Pemodelan dilakukan pada elemen struktural menggunakan *software Autodesk Revit*.
2. Penelitian hanya menghitung kebutuhan baja tulangan pada pekerjaan struktur khususnya balok.
3. Optimasi pemotongan tulangan baja menggunakan *software Cutting Optimazatiob Pro*.
4. Dalam pemodelan tidak melakukan proses pemodelan arsitektur, *Mechanical, Electrical, dan Plumbing* (MEP), Analisa struktur, dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh hasil *Base Bending Schedule (BBS)* menggunakan *software Autodesk Revit*.
2. Mengetahui *waste* material dan kebutuhan besi tulangan pada elemen struktur balok.
3. Mengetahui persentase *waste* material pada struktur balok menggunakan *software Cutting Optimization Pro*.
4. Mengetahui pengaruh penerapan konsep BIM dalam optimasi *waste* material tulangan balok.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi untuk pemilihan umum selanjutnya, berikut beberapa manfaat dari penelitian yang dimaksud:

1. Memberikan pengetahuan terkait manfaat dan keuntungan dalam implementasi BIM dalam dunia konstruksi.
2. Mempermudah kontraktor dalam pengelolaan dan optimasi pemotongan tulangan baja agar tidak terjadinya pemborosan biaya dan mengurangi pemakaian material yang berlebih.
3. Menghemat waktu karena konsep BIM dapat membantu dalam perencanaan pola pemotongan baja melalui *software Cutting Optimazing Pro*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Building Information Modelling (BIM)*

Building Information Modelling (BIM) adalah teknologi dan proses inovatif yang dengan cepat mengubah cara bangunan dipahami, dirancang, dibangun, dan dioperasikan. Walaupun asal-usul BIM dapat ditelusuri ke penelitian pemodelan parametrik yang dilakukan di Amerika Serikat dan Eropa pada akhir 1970-an dan awal 1980-an, industri AEC (*Architecture, Engineering, and Construction*) secara praktis mulai mengaplikasikannya pada proyek-proyek sejak pertengahan tahun 2000-an. Dalam tujuh tahun terakhir, istilah BIM telah berevolusi dari sekedar kata kunci menjadi pusat dari teknologi MEA (*Microelectrode Array*). (Azhar et al., 2012)

National Institute of Buildings Sciences (NBIMS) dari Amerika Serikat mendefinisikan BIM sebagai berikut: “BIM merupakan representasi digital dari sifat fisik dan karakteristik fungsional suatu fasilitas. BIM sebagai pengembangan desain dan konstruksi melalui teknologi pemodelan yang mengaitkan serangkaian proses untuk menghasilkan, berkomunikasi, dan menganalisis model bangunan. BIM berfungsi sebagai sumber informasi Bersama yang dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan selama siklus hidup bangunan, digunakan sebagai suatu metoda untuk mencapai satu atau beberapa tujuan yang spesifik.

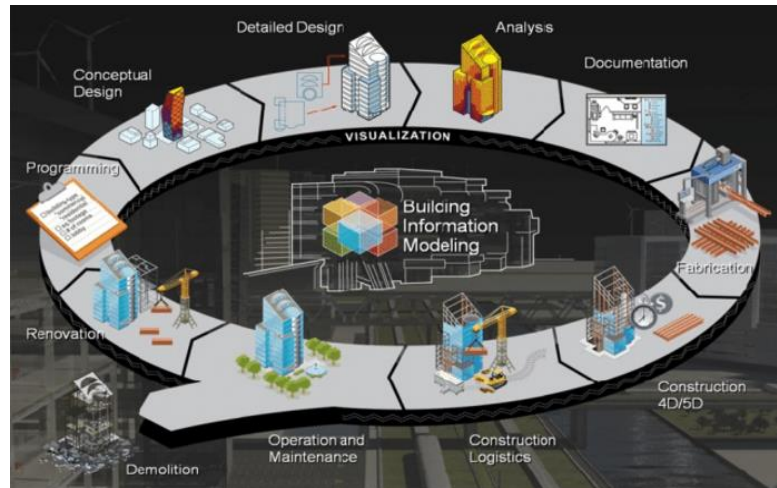
Building Information Modelling (BIM) adalah inovasi revolusioner dalam industri konstruksi untuk merancang dan mengatur proyek secara virtual di seluruh siklus pelaksanaan proyek bangunan. BIM membantu peserta dalam industri untuk

meningkatkan akurasi dan kecepatan Teknik bangunan dan manajemen konstruksi di semua tahapan. Keberhasilan penerapan BIM dalam proyek-proyek yang terkait dengan manfaat signifikan, termasuk peningkatan kualitas desain, peningkatan tingkat produktivitas, dan pengurangan biaya dan waktu. (Simanjuntak & Baskoro, 2020)

Pada dasarnya, BIM ini merupakan penggabungan dari dua gagasan penting yaitu:

- 1) Menjaga informasi desain dalam bentuk digital, sehingga memberi kemudahan untuk memperbaharui dan berbagi data antara pihak yang terlibat dalam proyek. Baik perusahaan konsultan desain arsitektur, mekanikal, elektrikal, plumbing, landscape dan kontraktor.
- 2) Konsep *real-time* yang berhubungan terus menerus antara dua desain digital dengan inovasi-inovasi teknologi pemodelan bangunan, sehingga dapat menghemat waktu dan uang serta meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek.

BIM digunakan dari tahap perencanaan sampai dengan konstruksi, bahkan dapat digunakan pada tahapan operasi dan pemeliharaan. Kebijakan teknologi. BIM dapat meminimalisasi dampak dari terlambatnya pekerjaan, penambahan biaya, serta kegagalan konstruksi. (Aulya Reista et al., 2022)



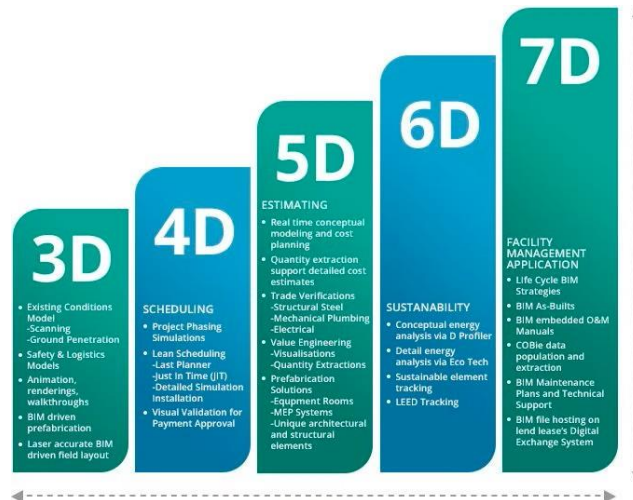
Gambar 2.1. Siklus konstruksi dengan menggunakan BIM

Sumber: (Aulya Reista et al., 2022)

2.1.1 Dimensi dan Tingkat Implementasi *Building Information Modelling*

Dimensi BIM menggambarkan metode khusus dimana berbagai jenis data terhubung dengan model informasi. Setiap dimensi dan data yang terkait menyediakan pemahaman yang lebih komprehensif tentang proyek, termasuk bagaimana proyek akan direalisasikan, waktu pelaksanaannya, estimasi biaya, dan sebagainya. (Kensek, 2014)

Pemodelan BIM tidak hanya merepresentasikan 2D dan 3D saja, namun selain 3D, keluarannya dapat diperoleh 4D, 5D, 6D dan bahkan sampai 7D. 3D berbasis objek pemodelan parametrik, 4D adalah urutan dan penjadwalan material, pekerja, luasan area, waktu, dan lain-lain, 5D termasuk estimasi biaya dan part-lists, dan 6D mempertimbangkan dampak lingkungan termasuk analisis energi dan konflik, serta 7D untuk fasilitas manajemen. (AbnerEleazar Castro Olivas, 2018)



Gambar 2.2. Dimensi BIM dari 3D sampai 7D

Sumber: (Abner Eleazar Castro Olivas, 2018)

2.1.2 Tingkat Implementasi (*Maturity Level*)

BIM mempunyai beberapa Tingkat implementasi yang harus diketahui, berikut adalah Tingkat implementasi BIM menurut Institut BIM Indonesia (2018) antara lain:

1. Level 0 BIM
 - a. Tidak ada kolaborasi.
 - b. 2D CAD untuk penggambaran dan dokumentasi (drafting).
2. Level 1 BIM
 - a. Pekerjaan desain konseptual dengan 3D model, gambar-gambar 2D CAD digunakan untuk dokumentasi, perijinan dan informasi konstruksi.
 - b. Terdapat standar CAD dan informasi dikolaborasikan dalam bentuk elektronik.
 - c. Setiap disiplin, pelaku memiliki standar sendiri-sendiri.

3. Level 3 BIM

- a. Kolaborasi penuh antar semua disiplin dan pelaku menggunakan satu objek (*shared object*). Semua pelaku dapat mengerjakan, memodifikasi objek yang sama.
- b. Dinamakan sebagai Open BIM.

2.1.3 Manfaat *Building Information Modelling*

Menurut PT Piranti Nusantara Teknologi (PIRANUSA) yang lebih dikenal sebagai spesialis dalam bidang Teknologi Informasi, penyedia perangkat lunak untuk desain 2D, 3D, rendering dan visualisasi maupun teknologi BIM, terdapat manfaat dari penerapan konsep *Building Information Modelling* (BIM). Berikut merupakan manfaat dari penerapan konsep *Building Information Modelling* (BIM):

1. Kolaborasi dan Koordinasi yang Lebih Baik

Dalam proyek konstruksi, berbagai pihak terlibat harus bekerja secara terpadu untuk mencapai kesuksesan proyek. BIM memungkinkan kolaborasi yang lebih baik antara arsitek, insinyur, dan kontraktor dengan menyediakan platform yang dapat diakses oleh semua pihak. Hal ini memungkinkan pertukaran informasi yang lebih cepat, koordinasi yang lebih efektif, dan mengurangi kesalahan yang dapat terjadi karena kurangnya komunikasi.

2. Analisis yang Lebih Akurat

BIM memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap berbagai aspek proyek konstruksi, seperti analisis structural, analisis energi, dan analisis biaya. Dengan menggunakan model informasi digital yang kaya akan data.

Para professional dapat melakukan simulasi dan analisis yang mendalam untuk mengoptimalkan desain dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum konstruksi dimulai. Hal ini dapat mengurangi risiko kesalahan dan perubahan yang mahal di kemudian hari.

3. Efisiensi Konstruksi dan Pengelolaan Proyek

BIM membantu meningkatkan efisiensi konstruksi dengan memungkinkan perencanaan yang lebih baik dan penggunaan sumber daya yang lebih efektif. Dengan BIM, rencana konstruksi dapat disimulasikan secara virtual sebelum implementasi di lapangan, memungkinkan identifikasi potensi konflik dan pengoptimalan proses. Selain itu, BIM juga memungkinkan pemantauan proyek secara real-time manajemen asset yang lebih baik, dan pemeliharaan yang lebih efisien.

4. Keuntungan Ekonomi

Dalam jangka Panjang, penggunaan BIM dapat memberikan keuntungan ekonomi bagi industri konstruksi. Dengan adanya kolaborasi yang lebih baik, analisis yang lebih akurat, dan efisiensi konstruksi yang ditingkatkan, proyek dapat diselesaikan lebih cepat, dengan biaya yang lebih rendah, dan kualitas yang lebih tinggi. Selain itu, BIM juga dapat mengurangi risiko kesalahan, perubahan, dan konflik di lapangan yang dapat mengakibatkan penundaan dan biaya tambahan.

BIM telah menjadi salah satu pendorong utama transformasi digital dalam industri konstruksi. Di masa depan, penerapan BIM diperkirakan akan semakin penting. Beberapa perkembangan yang mungkin terjadi adalah:

1. Integrasi dengan teknologi lainnya, BIM dapat diintegrasikan dengan teknologi lain seperti *Augmented Reality (AR)*, *Virtual Reality (VR)*, dan *Internet of Things (IoT)*. Hal ini akan membuka peluang baru dalam visualisasi proyek, pengalaman pengguna yang lebih baik, dan pengumpulan data secara real-time untuk pengambilan Keputusan yang lebih cerdas.
2. Penggunaan BIM dalam pembangunan berkelanjutan, BIM dapat digunakan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dengan mengoptimalkan desain bangunan yang ramah lingkungan, menganalisis dampak energi dan karbon, serta mengelola limbah konstruksi dengan lebih efisien. BIM juga dapat membantu pemantauan kinerja bangunan selama masa operasionalnya untuk memastikan efisiensi energi dan pemeliharaan yang berkelanjutan.
3. Penggunaan BIM dalam pemeliharaan dan pengelolaan bangunan setelah selesai dibangun, BIM dapat terus digunakan dalam pemeliharaan dan pengelolaan bangunan. Data yang terkumpul selama siklus hidup bangunan dapat dimanfaatkan untuk pemeliharaan yang lebih efisien, perencanaan perawatan, dan peningkatan kinerja bangunan.

Building Information Modelling (BIM) telah membawa transformasi besar dalam industri konstruksi. Dengan manfaat seperti kolaborasi yang lebih baik, analisis yang lebih akurat, efisiensi konstruksi, dan keuntungan ekonomi, BIM telah menjadi alat penting dalam memajukan proyek konstruksi. Di masa depan, peranan BIM diperkirakan akan semakin penting dengan integrasi teknologi lainnya dan penerapan konsep pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, BIM akan terus

menjadi factor utama dalam membangun masa depan industri konstruksi yang lebih efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

2.1.4 *Building Information Modelling Software*

Tersedia beragam jenis BIM *software* yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Setiap *software* BIM memiliki keunggulan dan fitur yang memungkinkannya memenuhi kebutuhan pengguna dalam menerapkan konsep BIM. Selain desain 3D bangunan, *software* BIM juga memiliki fungsi tambahan seperti penjadwalan, estimasi biaya, pemeliharaan, analisis struktur, *clash detection*, jadwal proyek, dan lain-lain. Dengan demikian, pengguna dapat memanfaatkan *software* BIM sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi mereka. (Kensek, 2014)

Menurut (Purwanto et al., 2020) ada banyak *software* dalam *Building Information Modelling* antara lain:

Tabel 2.1. *Building information modelling software*

Manufacture	Product Name	Primary Function
Autodesk	Revit	3D Architecture Modelling
	AutoCAD Architecture	3D Architecture Modelling and Parametric Design
	AutoCAD MEP	3D MEP Modelling
	AutoCAD Civil 3D	Site Development
Bentley System	Bentley BIM Suite (MicroStation, Bentley Architecture, Structural, Mechanical, Electrical, Generative Design)	3D Architecture, Structural, Mechanical, Electrical, and Generative Components Modelling
Graphosift	ArchiCAD	3D Architecture Modelling
	MEP Modeler	3D MEP Modelling

Manufacture	Product Name	Primary Function
RISA Technologies	RISA	Fullsuite of 2D and 3D Structural Design Application
Tekla	Tekla Structure	3D Detailed Structural Modelling

Sumber: (Purwanto et al., 2020)

2.2 Autodesk Revit

Sejak awal, Revit dimaksudkan untuk memungkinkan arsitek dan professional bangunan lainya merancang dan mendokumentasikan bangunan dengan menciptakan model tiga dimensi parametrik yang mencakup desain geometri, yang juga dikenal sebagai *Building Information Modelling* atau BIM. Kemudian melakukan perubahan mengilhami nama Revit singkatan dari “*Revise-Instantly*”. Istilah Parametric Building Model diadopsi untuk mencerminkan fakta bahwa perubahan pada parameter akan mengubah keseluruhan model bangunan dan dokumentasi terkait, bukan hanya komponen individual. (Marizan, 2019)

Autodesk Revit merupakan salah satu perangkat lunak yang BIM yang membantu dalam industri Arsitektur, Rekayasa, dan Konstruksi (AEC) dalam merancang bangunan dan infrastrukturberkualitas tinggi. Dengan menggunakan Revit, pengguna dapat melakukan pemodelan bentuk, struktur, dan system 3D dengan Tingkat akurasi, presisi, dan kemudahan parametrik yang tinggi. Selain itu, Revit juga menyederhanakan proses dokumentasi dengan fitur revisi instan yang memungkinkan perubahan cepat pada rencana, elevasi, jadwal, dan bagian proyek. Dengan dukungan alat khusus dan lingkungan proyek terintegrasi, Revit

memungkinkan kolaborasi multidisiplin dalam tim secara efektif dan efisien. (Autodesk, 2022)

Autodesk Revit adalah aplikasi atau alat program berbasis BIM yang membantu mendokumentasikan proyek dalam model 3D secara lebih realistis. Berikut fitur-fitur lain pada Autodesk Revit:

1. *Modelling*

Pemodelan adalah hal yang paling penting pada perencanaan sebuah proyek. Teknologi pemodelan Revit, yang berorientasi pada objek dapat membuat pemodelan lebih mudah dan lebih efisien. Komponen seperti kolom, balok, tulangan, dan pintu otomatis dapat dipilih (*family*), sehingga sebagai modeler hanya perlu memasukkan spesifikasi yang diperlukan sesuai dengan rencana.

2. *Massing*

Dengan menggunakan *massing*, objek yang digunakan untuk menggambarkan bentuk dan geometri suatu bangunan dapat dilakukan dengan lebih sederhana. Tujuan dari *massing* ini adalah untuk menentukan luas, volume, atau dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi lain seperti insight untuk menganalisis konsumsi energi, pencahayaan, dan lain lain.

3. *Phasing*

BIM sering disebut sebagai aplikasi empat dimensi karena dapat dilihat setiap waktu. Revit dapat melakukan perubahan model sesuai kebutuhan selama fase proyek. Pada setiap fase konstruksi, dapat menentukan komponen mana yang akan terlihat atau disembunyikan.

4. *Grouping*

Revit juga berfungsi sebagai aplikasi yang dapat menampilkan data dalam berbagai format. Model yang dibuat di Autodesk Revit dapat mengatur objek-objek ini dalam satu susunan daftar. Daftar tersebut terintegrasi langsung ke dalam model yang dibuat, sehingga saat mengubah objek juga akan mengubah daftar. (Aulya Reista et al., 2022)

2.2.1 Kelebihan Autodesk Revit

Beberapa kelebihan yang dimiliki Autodesk Revit bisa digunakan sebagai alasan untuk mulai mencoba melaksanakan perencanaan proyek konstruksi menggunakan aplikasi ini. Selain itu, kekurangan yang dimiliki juga harus diketahui sehingga lebih waspada pada saat penggunaannya, seperti *software* ini agak berat jika pemodelan pembesian dimasukkan ke dalam struktur beton sehingga memerlukan spesifikasi *hardware* (komputer) yang tinggi.

Menurut (Marizan, 2019), berikut merupakan kelebihan pengaplikasian yang dimiliki Autodesk Revit:

1. Revit dapat menghasilkan peningkatan efisiensi dalam proses perencanaan hingga dua kali lipat atau sekitar 50%, sambil mengurangi kebutuhan sumber daya manusia hingga 26,66%. Dengan demikian, dapat menghasilkan penghematan biaya hingga 48,37%.
2. Revit memberikan kemudahan dengan integrasi perangkat lunak, mampu mendeteksi tabrakan desain, maupun proses pekerjaan menjadi lebih cepat.

Menurut (Mahendra, 2021). Adapun beberapa kelebihan dari *software* Revit adalah sebagai berikut:

1. *Virtual Building*

Drafter tidak perlu membuat garis untuk menjelaskan objek suatu bangunan secara manual. Tapi membuat objek bangunan secara virtual dan gambar-gambar detail 2D akan didapat dengan sendirinya.

2. Objek yang penuh dengan data teknis

Sistem bangunan virtual mengharuskan kita untuk memasukkan banyak pengaturan pada setiap elemen yang kita ciptakan. Dalam tahapan berikutnya, ini sangat menghemat waktu karena variasi jenis komponen selama desain akan merujuk pada tipe-tipe yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan demikian, setiap kali kita menggunakan objek tersebut dalam desain, informasi akan tercatat dalam sistem Revit seperti jumlah, total berat, kebutuhan material keseluruhan, hingga total biayanya.

3. Kemudahan dalam membentuk objek

Dengan menggunakan konsep *mass* ini, arsitek dapat bereksperimen dengan bentuk-bentuk bangunan yang tidak umum, Revit akan mengkonversi bentuk tersebut menjadi dinding, lantai, dan atap sehingga efektifitas bangunan akan langsung dapat dianalisis tanpa harus melalui proses penggambaran manual yang memakan waktu.

4. Berkurangnya kendala dalam kerja tim

Worksharing yang diusung Revit untuk kemudahan bekerja dalam tim sangat berguna untuk proyek berkala menengah maupun skala besar. Dengan menggunakan fitur ini disertai jaringan computer, semua tugas masing-masing disiplin dapat terintegrasi secara *virtual*. Perubahan-perubahan yang dibuat oleh satu orang akan terupdate di unit kerja lainnya.

5. Revisi yang tidak menyita banyak waktu dan tenaga

Sesuai Namanya, Revit yang merupakan singkatan dari *Revise Instantly* berarti merevisi secara instan. Revisi akan berdampak banyak dalam proyek besar karena semuanya akan saling berkaitan. Lembar-lembar gambar yang dihasilkan Revit bukanlah lembar-lembar terpisah, melainkan lembar0lembar yang terintegrasi satu sama lain.

6. Produksi gambar dengan cepat dan presisi setelah objek

Setelah objek-objek telah terbentuk, pengambilan gambar dapat dilakukan. Seperti gambar tampak, potongan, tampilan 3D dan detail-detail dapat dikeluarkan sesuai kebutuhan. Kita hanya perlu menyiapkan *sheet* dan mengisi *sheet* tersebut dengan *view* yang sudah ada. Yang masih perlu dilakukan adalah memberikan dimensi dan notasi untuk kejelasan nanti ditahap konstruksi. Lembar-lembar beserta data-data nomor lembar, desainer, drafter, owner hingga tanggal akan terinput secara otomatis pada lembar gambar setelah disetting.

7. Koneksi antar *software* Autodesk

Output dari Revit dapat diekstrak dan dibaca dengan baik oleh *software* Autodesk lainnya. Pada proyek yang menggunakan aplikasi konvensional biasanya menggunakan banyak *software* seperti untuk analisis kekuatan struktur, *software* untuk desain dan menggambar, *software* untuk menghitung volume dan penjadwalan.

8. Rencana Anggaran Biaya (RAB) / BQ (*Schedule*)

Schedule adalah fitur pada Revit untuk mengetahui tipe komponen yang dipakai pada model bangunan, contohnya untuk mengetahui tipe pintu, jendela, *furniture*, dan lainnya beserta mengetahui jumlahnya. Pada kolom

schedule, kita dapat mengaturnya sesuai kebutuhan dan dapat membuat suatu formula, filter, serta kalkulasi.

2.2.2 Kekurangan Autodesk Revit

Menurut (Marizan, 2019) berikut kekurangan yang dimiliki Autodesk Revit:

1. Kebutuhan perangkat komputer dengan spesifikasi yang cukup tinggi.
2. Harga lisensi program yang mahal.
3. Ketergantungan pada plug-in untuk ekspor ke program bantu analisis struktural.

2.3 Cutting Optimization Pro

Cutting Optimization Pro adalah perangkat lunak pemotongan yang digunakan untuk mendapatkan tata letak pemittingan yang optimal untuk potongan 1D dan 2D. Perangkat ini juga memungkinkan untuk menentukan dan menangani prodek yang kompleks, seperti meja, lemari, loker, rak buku, dan lainnya. Cutting Optimization Pro juga dapat digunakan untuk memotong lembaran persegi panjang yang terbuat dari kaca, kayu, logam, plastic, atau bahan lain yang digunakan oleh aplikasi industri. Selain itu Cutting Optimization Pro juga bisa digunakan sebagai perangkat lunak pemotongan untuk potongan linier seperti Batangan, pipa, tabung, batang baja, profil logam, ekstrusi, tabung, papan kayu linier, dan bahan lainnya.

(Cutting Optimization Pro, 2021)

Cutting Optimization Pro adalah *software cutting* berbasis desktop yang dikembangkan oleh Optimal program SRL. Perangkat lunak ini adalah perangkat lunak desktop yang dibuat khusus untuk membantu Perusahaan konstruksi dalam melakukan pemotongan besi tulangan, yang merupakan bahan utama dalam proyek

konstruksi beton bertulang. Perangkat ini memiliki kemampuan untuk melakukan pemotongan dengan pola yang optimal, sehingga mempermudah proses konstruksi dan meningkatkan efisiensi. (Kensek, 2014)

Aplikasi Cutting Optimization Pro merupakan program yang dapat mengoptimalkan material tulangan. *Output* yang dihasilkan dari aplikasi ini antara lain diagram potongan besi, jumlah besi yang digunakan, jumlah potongan sisa material yang tidak dipakai, serta jumlah material yang dapat digunakan Kembali. Aplikasi ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan seperti jenis material yang digunakan, Batasan dimensi material yang akan diklasifikasikan sebagai *waste* serta bisa juga untuk material selain besi semisal bekisting. (Abdullah, 2023)

2.4 Bar Bending Schedule (BBS)

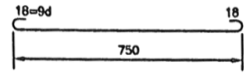
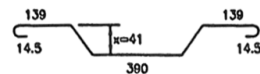

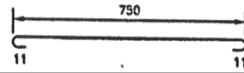
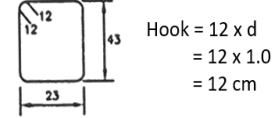
Bar Bending Schedule merupakan pekerjaan yang berhubungan dengan detail pembesian dalam suatu proyek meliputi perhitungan jumlah besi yang dibutuhkan pada tiap pekerjaan, bentuk besi, hingga sisa potongan besi. *Bar Bending Schedule* memuat daftar pola pembengkokan tulangan yang meliputi data diameter, bentuk, panjang dan jumlah tulangan. (Arifin et al., 2022)

Daftar pembengkokan Batangan tulangan umumnya berisi bentang tulangan maupun yang dibengkok, dan menyajikan semua dimensi detail batang tulangan termasuk bengkokanya, serta informasi mengenai mutu baja tulangan dan jumlah yang digunakan. Daftar batang tulangan jenis yang demikian dapat pula digunakan untuk tambahan keterangan pada daftar detail bengkokan, dan gambar pemasangan.

Bar Bending Schedule (BBS) digunakan sebagai petunjuk dalam proses pemotongan dan pembengkokan tulangan baja sebelum dipasang sesuai dengan napa yang telah direncanakan. Meskipun *Bar Bending Schedule* dapat disusun secara

manual tanpa menggunakan perangkat lunak/*software*, namun membutuhkan waktu yang relatif lama. Selain itu, jika terjadi perubahan selama proyek berlangsung akan memakan waktu lebih lama untuk penyesuaian. Oleh karena itu, dikembangkanlah *Bar Bending Schedule* dengan *software* untuk mempermudah perhitungan biaya yang diperlukan dalam pekerjaan pembesian.

Bar Bending Schedule bisa digunakan untuk mempermudah proses persiapan kebutuhan pembesian karena memerlukan tulangan yang cukup banyak dengan diameter yang berbeda-beda. Adapun *Bar Bending Schedule* akan memudahkan dalam manajemen dan mengidentifikasi daftar potongan besi sisa, yang nantinya bisa digunakan kembali dan terciptanya efisiensi material. (Prasetia et al., 2023)

Type	Shape-size	Length (m)	No.	Total length (m)	Unit weight (kg/m)	Total weight (kg)
A (20mm)		7.86	3	23.58	2.5	58.95
B (16mm)		8.16	2	16.32	1.6	26.11
C (16mm)		8.13	2	16.26	1.6	26.0
D (12mm)		7.72	2	15.44	0.89	13.74
E (10mm)		1.56	38	59.28	0.62	36.75

Gambar 2.3 Contoh *Bar Bending Schedule* (BBS)

Sumber: (Prasetia et al., 2023)

2.5 Waste Material

Waste material adalah segala sesuatu yang kuantitasnya lebih banyak dari persyaratan, baik hasil pelaksanaan pekerjaan ataupun material yang tersisa atau rusak sehingga tidak dapat dipakai lagi (Abdullah, 2023). Menurut Formoso (2003), material besi merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki bobot biaya paling tinggi sekitar 20% - 30% dari biaya total proyek. *Waste* besi banyak terjadi pada proses pemotongan besi yang terlalu pendek sehingga sisa ini akan dibuang.

Waste diartikan sebagai segala macam kehilangan yang dihasilkan dari sebuah aktivitas yang menghasilkan biaya, baik secara langsung maupun tidak langsung, tetapi tidak menambah manfaat atau nilai suatu produk dari sudut pandang klien (Kristianto et al., 2020).

2.5.1 Jenis Waste Material

Menurut Kristianto (2020), kategori *waste* dibagi menjadi lima kategori, yaitu *repa*, *waiting periods*, *materials*, *human resources* dan *operations*. Pada pekerjaan struktur *waste* dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Pembesian

Pekerjaan pembesian merupakan bagian dari pekerjaan struktur. Pekerjaan ini memegang peranan penting dari aspek kualitas pelaksanaan mengingat fungsi besi tulangan yang penting dalam kekuatan struktur gedung. Dalam melakukan pekerjaan pembesian kadang tukang melakukan kesalahan seperti kesalahan dalam menghitung besi yang dibutuhkan yang menyebabkan kesalahan dalam pemotongan. Hal ini dapat menimbulkan *construction waste* yang merugikan lingkungan sekitar.

2. Pembetonan

Pekerjaan pembetonan atau pengecoran adalah penuangan beton segar ke dalam cetakan suatu elemen struktur yang telah dipasang besi tulangan. Beton merupakan material yang agak sulit dikendalikan *waste*-nya. Dalam perencanaan, unsur *waste* ini di tetapkan 3%- 5%, akibatnya terjadi pembengkakan biaya akibat tambahan biaya yang tidak disadari. Berikut penyebab utama terjadinya *waste* beton, metode pengecoran yang kurang baik, perencanaan tenaga kerja yang tidak efektif, waktu pengecoran yang tidak tepat, perencanaan pengujian atau test yang tidak sesuai, isi beton segar terlalu banyak, beton terbuang pada saat penuangan dan perhitungan volume pemesanan yang berlebih.

3. Bekisting

Bekisting adalah cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Kayu yang digunakan untuk bekisting semakin lama semakin sulit untuk didapat. Sehingga para pekerja di proyek konstruksi di tuntut untuk bisa memaksimalkan penggunaan kayu dan triplek. Namun kadang kelalaian yang dilakukan pekerja konstruksi menghasilkan *waste*.

Menurut Formoso (2002), *waste* material dibagi menjadi dua kategori berdasarkan tipenya, yaitu :

1. *Direct waste* adalah sisa material yang terjadi akibat kerusakan, kehilangan, atau tidak dapat dipakai kembali selama proses konstruksi.
2. *Indirect waste* adalah sisa material yang terjadi dikarenakan volume material yang melebihi rencana awal, sehingga tidak ada sisa material fisik yang terjadi di lapangan dan menyebabkan pembengkakan biaya.

2.5.2 Faktor Penyebab Terjadinya *Waste Material*

Sisa material yang terjadi di lapangan dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa penyebab. Gavilan dan Bernold, membedakan sumber-sumber yang dapat menyebabkan terjadinya sisa material konstruksi atas enam kategori, yaitu disain, pengadaan material, penanganan material, residual dan lain-lain. (Intan et al., 2005)

Hasil penelitian Intan et al. (2005), menyimpulkan sumber dan faktor penyebab berdasarkan kategori yang telah dibuat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Sumber dan Penyebab Terjadinya *Waste Material* Konstruksi

Sumber	Penyebab
Desain	Adanya perubahan desain yang disebabkan perencanaan yang kurang sempurna
	Informasi yang tidak jelas dan kurang detail
	Pendetailan gambar yang rumit sehingga pekerja membuat kesalahan dalam pelaksanaan
Pengadaan Material	Pemesanan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi
	Pembelian material melebihi estimasi
	Pemesanan material yang tidak bisa dibeli dalam jumlah yang sedikit
	Tercecernya material saat pengiriman
Penanganan Material	Proses penurunan dari atas truk yang tidak baik menyebabkan kerusakan
	Ketidakteelitian saat menerima barang yang cacat
	Penataan <i>site</i> yang kurang baik yang menyebabkan material tercecer
Pelaksanaan	Kecerobohan pekerja di lapangan
Pelaksanaan	Melakukan pekerjaan saat cuaca buruk yang menyebabkan penurunan kualitas material
	Tidak adanya <i>Bar Bending Schedule</i> (BBS) dalam pelaksanaan proyek
	Penggunaan peralatan yang tidak berfungsi dengan baik sehingga terjadi kesalahan dalam pekerjaan
	Terjadinya kelebihan material karena pemasangan <i>bekisting</i> yang tidak kuat

Sumber: (Intan et al., 2005)

2.5.3 Persentase *Waste*

Persentase *waste* dihitung untuk mengetahui volume *waste* dari masing-masing item yang dianalisis. Persentase *waste* dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase Waste} = \frac{\text{volume waste}}{\text{vol. kebutuhan material}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: $\text{vol. waste} = \text{vol. kebutuhan material} - \text{vol. material digunakan}$.

2.5.4 Waste Cost

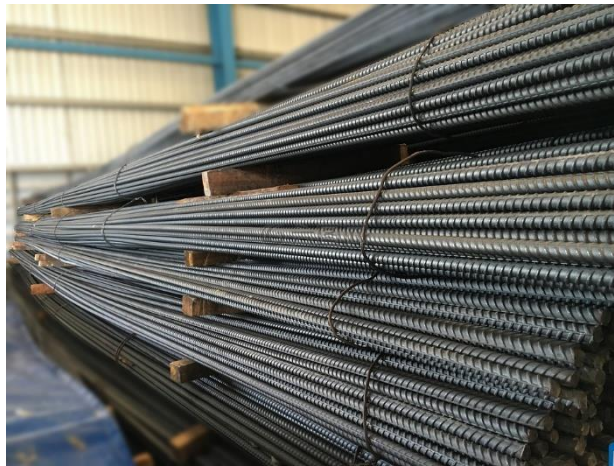
Biaya sisa atau *waste cost* dihitung untuk mengetahui kerugian dari pembelian material yang tidak terpakai dan dapat dihitung dengan metode pendekatan rumus:

$$\text{Waste cost} = \text{persentase waste} \times \text{harga satuan} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: $\text{harga satuan} = \text{harga per satuan batang atau berat material yang ditinjau}$.

2.6 Baja Tulangan

Menurut SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) mendefinisikan baja tulangan sebagai material yang digunakan untuk memperkuat beton dengan tujuan menahan gaya tarik dan meningkatkan kinerja struktural elemen beton. Baja tulangan juga didefinisikan oleh Badan Standardisasi Nasional (2017), dalam SNI 2052:2017 adalah batang besi baja dengan penampang berbentuk lingkaran dan permukaanya terdapat 2 jenis yaitu polos dan berulir, yang berfungsi untuk penguat dalam konstruksi beton. Menurut Intan et al. (2005), *waste material* yang sering bersisa adalah baja tulanga. Baja tulangan umumnya memiliki panjang standar 10 meter dan 12 meter dengan toleransi panjang minimum 0 mm, maksimum + 70 mm. Panjang ini kemudian akan dipotong sesuai dengan gambar rencana yang telah ditentukan, dan biasanya akan menghasilkan sisa potongan yang tersisa. Gambar baja tulangan bisa dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Baja tulangan

Sumber: <https://chemicalanchorindonesia.com>

Salah satu hal yang harus dipersiapkan dalam perencanaan kebutuhan baja tulangan adalah *Bar Bending Schedule* (BBS). Adanya pola potongan dalam BBS memudahkan dalam meminimalisir sisa material dari hasil pemotongan tulangan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan material baja. (Tulangan, 2019)

Peran utama baja tulangan dalam konstruksi adalah meningkatkan kekuatan dan daya tahan struktur bangunan. Berikut beberapa fungsi baja tulangan dalam konstruksi :

1. Meningkatkan Kekuatan Tarik

Beton memiliki kekuatan tekan yang baik, tetapi lemah dalam menahan tegangan. Baja tulangan digunakan untuk menahan tegangan dalam struktur, seperti yang terjadi saat beban berat diterapkan atau saat ada perubahan suhu yang menyebabkan ekspansi atau kontraksi.

2. Mencegah Retak

Baja tulangan juga membantu mencegah terbentuknya retakan dalam beton. Retakan dapat merusak struktur dan mengurangi daya tahan terhadap beban

esktrenal. Baja tulangan memastikan bahwa retakan yang mungkin terbentuk tidak melear atau merusak integritas struktur.

3. Meningkatkan Daya Tahan Terhadap Gempa

Dalam daerah yang rentan terhadap gempa bumi, besi bertulang digunakan untuk memperkuat struktur agar dapat menahan gaya gempa yang kuat.

4. Memungkinkan Desain yang Lebih Fleksibel

Penggunaan baja bertulang memungkinkan arsitek dan insinyur untuk merancang struktur yang lebih besar, lebih tinggi, dan lebih kompleks. Ini memberikan fleksibilitas dalam perencanaan arsitektur dan desain bangunan.

2.6.1 *Overlappig* Tulangan

Panjang baja tulangan yang diproduksi umumnya dibatasi sepanjang 12 m. Apabila terdapat bentang struktur yang panjangnya melebihi panjang baja tulangan, maka harus dibuat suatu sambungan. *Overlapping* atau tumpang tindih merupakan salah satu cara penyambungan tulangan dengan menyambungkan dua tulangan untuk menjamin kontinuitasnya. Dalam hali ini, panjang *overlapping* disebut dengan panjang lewatan (l_{st}) yang mana besarnya 1,3 kali panjang penyaluran (l_d) untuk kondisi umum atau dapat dipakai sebesar 1 kali panjang penyaluran bila tulangan yang dipakai ≥ 2 kali dari yang dibutuhkan (Tulangan, 2019).

Menurut SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) menerangkan bahwa panjang minimum sambungan lewatan untuk kondisi tarik harus diambil berdasarkan persyaratan kelas dan lebih besar dari 300 mm. Sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus

menggunakan sambungan kelas B, kecuali sambungan kelas A diperbolehkan apabila :

- Luas tulangan terpasang paling sedikit dua kali dari luas tulangan yang diperlukan berdasarkan analisis pada keseluruhan panjang sambungan.
- Paling banyak hanya setengah dari keseluruhan tulangan disambung di dalam daerah panjang lewatan yang diperlukan.

Tabel 2.3. Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik

$A_s \text{ terpasang} / A_s \text{ perlu}$ Sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari A_s 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
	100	Kelas B	Terbesar dari	$1,3 l_d$ dan 300 mm
$< 2,0$	Semua kelas	Kelas B		

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Panjang lewatan yang dibutuhkan harus diperhitungkan untuk menghindari kegagalan sambungan. Kebutuhan panjang lewatan berhubungan dengan panjang penyaluran (l_d) yang bertambah sesuai peningkatan tegangan. Menurut Abdullah (2023), panjang penyaluran (l_d) merupakan panjang minimal tulangan yang tertanam pada beton untuk memberikan kekuatan penjangkaran sebesar kuat leleh tulangan.

SNI 2847:2019 menjelaskan bahwa panjang penyaluran (l_d) dibutuhkan karena adanya kecendrungan batang dengan tegangan yang sangat besar dapat membelah bagian yang tipis pada beton pembungkus. Panjang penyaluran (l_d)

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Sedangkan untuk factor modifikasinya dapat menggunakan nilai-nilai yang tertera pada Tabel 2.4.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t.\psi_e.\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) \cdot d_b \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- l_d = panjang penyaluran (mm)
- f_y = kuat leleh tulangan (MPa)
- ψ_t = factor lokasi tulangan
- ψ_e = faktor pelapis tulangan
- ψ_s = faktor ukuran
- λ = beton ringan
- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- d_b = diameter tulangan (mm)
- c_b = jarak tulangan (mm)
- K_{tr} = indeks tulangan transversal

Tabel 2.4. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	$\lambda = \frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f_{cm}}} \leq 1,0$
	Beton normal	1,0
Epoksi ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	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	0,8
Posisi Pengecoran ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	Lainya	1,0

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

SNI 2847:2019 mengakui bahwa saat ini banyak kasus konstruksi praktis yang menggunakan seliut bersamaan dengan tulangan pengaku seperti Sengkang, yang menghasilkan nilai pada $(c_b + K_{tr})/d_b$ paling kecil sebesar 1,5. Selain itu,

untuk kelompok tulangan D19 dan yang lebih kecil, panjang penyaluran dapat diturunkan hingga 20% dengan menggunakan nilai $\psi_s = 0,8$. Sehingga, persamaan 1 dapat disederhanakan menjadi persamaan yang terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik

Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang Lebih Kecil	Batang D22 dan yang Lebih Besar
Spasi bersih batang yang disalurkan atau disambung Lewatan tidak kurang dari d_b , selimut beton paling sedikit d_b , dan Sengkang atau Sengkang ikat sepanjang l_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih bentang yang disalurkan atau disambung Lewatan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$
Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil	Batang D22 dan yang lebih besar
Kasus-kasus Lainnya	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,4\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$	$\left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,1\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Studi kegagalan kait menunjukkan bahwa pecahnya selimut beton pada bidang kaitnya merupakan penyebab utama kegagalan dan pecah tersebut berasal dari dalam kaitnya. Maka dari itu, penambahan kait merupakan fungsi langsung dari diameter tulangan d_b yang mempengaruhi besarnya tegangan tekan di dalam kait tersebut. Panjang penyaluran (l_{dh}) diukur dari penampang kritis sampai ujung luar kait (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Untuk penyaluran tarik (l_{dh}) batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar, nilai l_{dh} harus diambil terbesar dari:

- $\left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_e \cdot \psi_c \cdot \psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$ (4)
- $8d_b$

- 150 mm

Untuk nilai modifikasi ψ_c dan ψ_r pada persamaan 2 dapat ditentukan dengan menggunakan nilai yang tertera pada Tabel 2.6. Sedangkan untuk panjangkaitnya dapat dilihat pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.6. Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang kait dalam kondisi tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai Faktor
Bobot Beton λ	Beton ringan	0,75
	Beton normal	1,0
Epoksi ψ_c	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 ≥ 65 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait ≥ 50 mm	0,7
	Lainnya	1
Tulangan Pengekang ψ_r	Untuk kait 90° D36 dan yang lebih kecil: 1. Dilingkupi sepanjang l_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang yang tegak lurus terhadap l_{dh} pada $s \leq 3d_b$ atau 2. Dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan Sengkang ikat atau Sengkang yang tegak lurus terhadap l_{ext} pada $s \leq 3d_b$	0,8
	Untuk kait 90° 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

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Tabel 2.7. Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir kondisi tarik

Tipe Kait Standar	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan	Perpanjangan Lurus l_{ext} (mm)	Tipe Kait Standar
Kait 90°	D10 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	

	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180°	D10 hingga D25	$6d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Tabel 2.8. Diameter sisi dalam bengkokan minimum kait untuk Senggang

Tipe Kait Standar	Ukuran Batang	Diameter Sisi Dalam Bengkokan	Perpanjangan Lurus l_{ext} (mm)	Tipe Kait Standar
Kait 90°	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D10 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135°	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

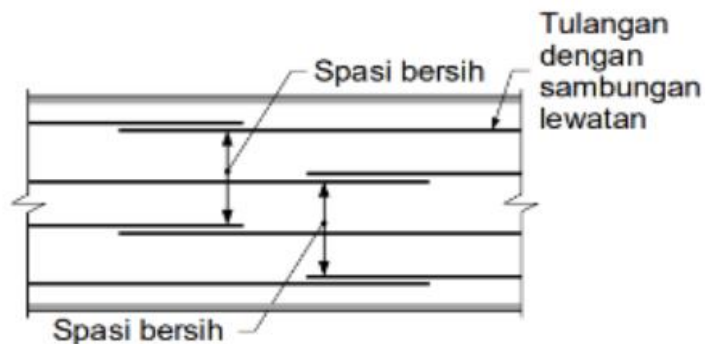
Selain itu, SNI 2847:2019 juga menambahkan untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus memiliki panjang penyaluran (l_{dc}) yang terbesar antara:

- $\left(\frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}\right) \cdot d_b$ (5)

- $0,043 \cdot f_y \cdot \psi_r \cdot d_b$ (6)

- 200 mm

Persyaratan dari sambungan dua Tingkat menyebabkan penyambungan tulangan dipasang pada posisi tegangan minimal dan adanya sambungan lewatan selang-seling untuk meningkatkan detail perilaku kritis. Untuk perhitungan l_d pada sambungan lewatan selang-seling, spasi bersih diambil sebagai jarak minimum antar sambungan lewatan yang berdekatan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



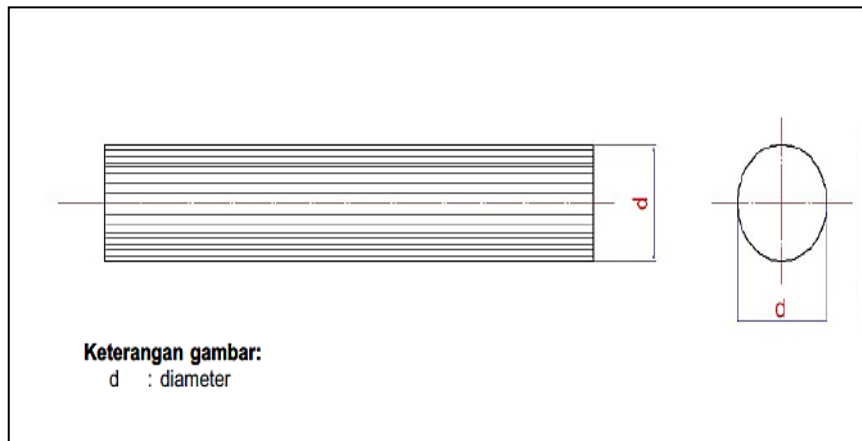
Gambar 2.5 Spasi bersih sambungan lewatan untuk sambungan *staggered*

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

2.6.2 Jenis Baja Tulangan

2.6.2.1 Baja Tulangan Polos (BjTP)

Baja tulangan beton polos (BjTP) merupakan jenis tulangan beton yang memiliki penampang lingkaran dan permukaannya rata, tidak memiliki ulir atau sirip (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Umumnya BjTP berukuran mulai dari diameter 6 mm s/d 25 mm dengan mutu BjTP 24 (U 24) dan BjTP 32 (U 32). Baja beton jenis ini sesuai rekomendasi ACI lebih cocok untuk dipakai sebagai tulangan plat beton, angker, sambungan pada perkerasan jalan, Sengkang dan spiral kolom.



Gambar 2.6 Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

Ukuran Baja Tulangan Polos (BjTP) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2.9. Ukuran Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

No	Penamaan	Diameter nominal (d)	Luas penampang (A)	Berat nominal per meter
		mm	mm ²	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 38	38	1134	8,903
14	P 40	40	1257	9,865
15	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)

$$A = 0,7854 \times d^2 \quad (mm^2)$$
 d = diameter nominal (mm)

$$\text{Berat nominal} = \frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100} \quad (kg/m)ss$$

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

Baja Tulangan Beton Polos juga memiliki toleransi ukuran yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 2.10. Toleransi Baja Tulangan Beton Polos (BjTP)

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:

1. Penyimpangan kebulungan maksimum dengan rumus:

$$P = (d_{maks} - d_{min}) \leq (2t \times 70\%)$$
2. Toleransi untuk baja tulangan beton polos = $d - d_{aktual}$

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

2.6.2.2 Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BjTS)

Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BjTS) merupakan jenis tulangan beton yang permukaannya memiliki sirip/ulir, melintang ataupun memanjang yang bertujuan untuk meningkatkan daya lekat dan menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Baja beton sirip/ulir, umumnya berukuran diameter 10 mm s/d 38 mm dengan mutu BjTS 40 (U 39) keatas. Baja beton ulir merupakan jenis baja beton yang direkomendasikan untuk tulangan pokok suatu struktur beton. (Permana, 2021)

Menurut Permana (2021), Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BjTS) memiliki spesifikasi diantaranya yaitu :

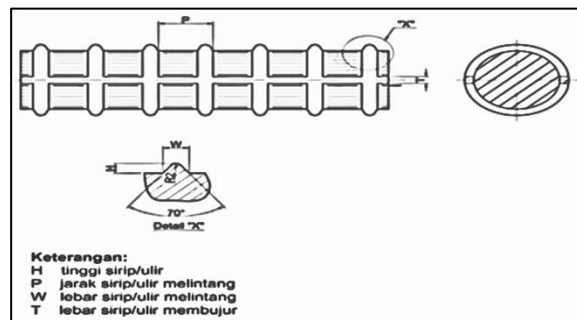
- a. Permukaan batang baja tulangan beton sirip harus bersirip teratur. Setiap batang diperkenankan mempunyai rusuk memanjang yang searah dan

sejajar dengan sumbu batang, serta sirip-sirip lain dengan arah melintang sumbu batang.

- b. Sirip-sirip melintang sepanjang batang baja tulangan beton harus terletak pada jarak yang teratur, serta mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Bila diperlukan tanda angka-angka atau huruf-huruf pada permukaan baja tulangan beton, maka sirip melintang pada posisi dimana angka atau huruf diletakkan dapat ditiadakan.
- c. Sirip melintang tidak boleh membentuk sudut kurang dari 45° terhadap sumbu batang, apabila membentuk sudut antar 45° sampai 70° , arah yang berlawanan tidak diperlukan.

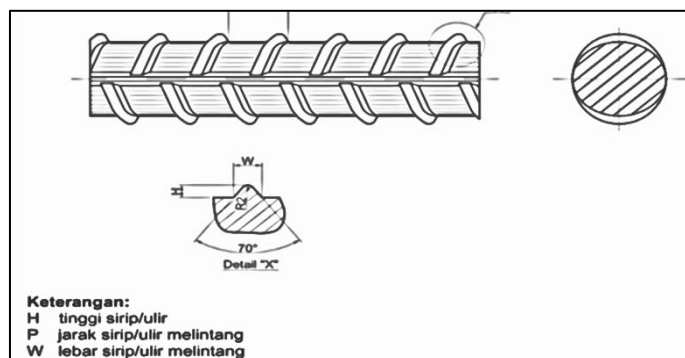
Terdapat 3 jenis Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir (BjTS) yaitu :

- a. Sirip/ulir Bambu



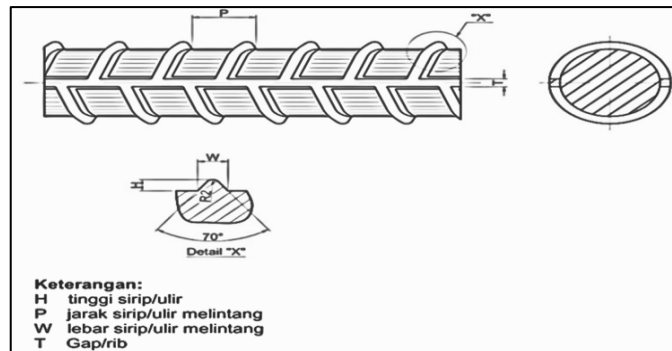
Gambar 2.7 Baja Tulangan Sirip/Ulir Bambu
Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

- b. Sirip/ulir Curam



Gambar 2.8 Baja Tulangan Sirip/Ulir Curam
Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

c. Sirip/ulir Tulang Ikan



Gambar 2. Baja Tulangan Sirip/ulir Ikan
 Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir

No	Pena- maan	Diameter nominal (d)	Luas penamp- ang nominal (A)	Tinggi sirip (H)		Jarak sirip melintang (P) maks	Lebar sirip membujur (T) maks	Berat nominal per meter
				min	maks			
		mm	mm ²	mm	mm	mm	mm	mm
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
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 43	43	1452	2,2	4,3	30,1	33,8	11,400
14	S 50	50	1964	2,5	5,0	35,0	39,3	15,413
15	S 54	54	2290	2,7	5,4	37,8	42,3	17,978
16	S 57	57	2552	2,9	5,7	39,9	44,6	20,031

CATATAN:

1. Diameter nominal hanya dipergunakan untuk perhitungan parameter nominal lainnya dan tidak perlu diukur
2. Cara menghitung luas penampang nominal, keliling nominal, berat nominal dan ukuran sirip/ulir adalah sebagai berikut:
 - a) Luas penampang nominal (A)

$$A = 0,785 \times d^2 \quad (mm^2)$$
 d = diameter nominal (mm)
 - b) Berat nominal = $\frac{0,785 \times 0,7854 \times d^2}{100} \times 0,7$ (kg/m)
 - c) Jarak sirip melintang maksimum = 0,70 d

- d) Tinggi sirip minimum = 0,05 d
Tinggi sirip maksimum = 0,10 d
- e) Jumlah 2 (dua) sirip membujur maksimum = 0,25 K
Keliling nominal (K)
K = 0,3142 x d (mm)

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2017)

Toleransi berat per batang Baja Tulangan Sirip/Ulir (BjTS) dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Toleransi Berat per-Batang Baja Tulangan Sirip/Ulir (BjTS)

Diameter nominal (mm)	Toleransi (%)
$6 \leq d \leq 8$	± 7
$10 \leq d \leq 14$	± 6
$16 \leq d \leq 29$	± 5
$d > 29$	± 4
CATATAN: Toleransi berat untuk baja tulangan beton sirip = $\frac{\text{berat}_{\text{nominal}} - \text{berat}_{\text{aktual}}}{\text{berat}_{\text{nominal}}} \times 100\%$ berat	

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2017)

2.7 Balok

Balok adalah elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya (Mahadhika et al., 2022). Balok merupakan elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal. Pada umumnya balok dicor bersamaan dengan plat lantai dan diperkuat dengan penulangan dibagian bawah atau kombinasi bagian atas dan bawah. Balok mengalami dua gaya utama, yaitu tekanan dan tarikan, yang disebabkan oleh pengaruh momen lentur dan gaya lateral. (Kensek, 2014)

Balok merupakan komponen struktur yang menahan beban transversal melalui lentur dan geser, serta dapat juga menerima kombinasi beban aksial (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Menurut Badan Standardisasi Nasional (2019),

balok sepanjang parimeter struktur harus memiliki tulangan menerus melebihi panjang bentang yang melalui daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal pada kolom yang terdiri dari:

1. Paling sedikit seperenam tulangan tarik yang diperlukan untuk momen negatif ditumpuan, tetapi tidak kurang dari dua batang tulangan.
2. Paling sedikit seperempat tulangan tarik yang diperlukan untuk momen positif yang diperlukan di Tengah bentang, tetapi tidak kurang dari dua batang tulangan.

Apabila balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi (regangan) lentur pada balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tagangan akan terjadi di bagian atas dan tegangan tarik akan terjadi di bagian bawah penampang. Tegangan tersebut akan mengakibatkan tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah. (Mahadhika et al., 2022)

Untuk memperhitungkan kemampuan kapasitas daya dukung komponen balok struktur lentur, sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan dengan cara memperkuat tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan diperoleh balok yang mampu menahan lentur. Struktur balok dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Balok

Sumber: <https://repository.upnjatim.ac.id>

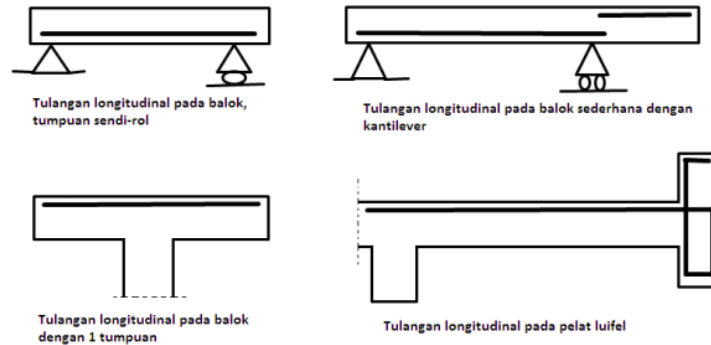
2.7.1 Penulangan Balok

Tulangan balok umumnya terdiri tulangan pokok (memanjang) dan tulangan pengikat/Sengkang (*beugel*). Selain tulangan tersebut ada juga beberapa macam tulangan tambahan misalnya tulangan susut, tulangan pembagi, tulangan retak dan tulangan miring. Namun tulangan tersebut tidak dibahas lebih lanjut.

1. Tulangan Longitudinal

Pada kolom dan balok yang paling mempengaruhi kuat tariknya adalah luas permukaan baja yang dipakai, bukan jarak, tetapi harus diperhitungkan terhadap lebar retak. Kondisi Dimana jarak tulangan terlalu rapat (kurang dari 4 cm), maka dua atau lebih tulangan dapat dirapatkan sehingga campuran beton dapat diisikan. Pada kolom dan balok, baik baja polos maupun ulir, diameter minimum tulangan pokok adalah 12 mm. Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu menahan gaya tarik. Tulangan longitudinal (tulangan memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik, keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar umumnya, di daerah lapangan atau tengah bentang, atau di atas tumpuan, sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat

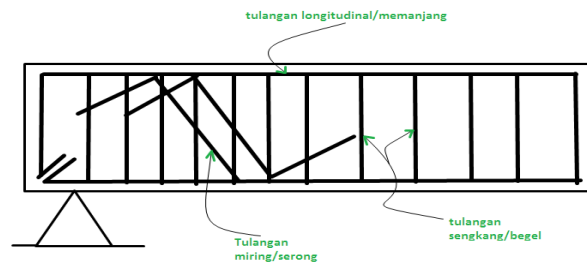
tegangan lentur tersebut. Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang. Berikut ini beberapa contoh pemasangan tulangan memanjang pada balok maupun pelat yang bisa dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.11 Pemasangan tulangan longitudinal pada balok dan plat
 Sumber: <https://repository.upnjatim.ac.id>

2. Tulangan Geser

Retakan beton pada balok juga dapat terjadi di daerah ujung balok yang dekat dengan tumpuan. Retakan ini disebabkan oleh bekerjanya gaya geser atau gaya lintang balok yang cukup besar, sehingga tidak mampu ditahan oleh material beton dari balok yang bersangkutan. Agar balok dapat menahan gaya geser tersebut, maka diperlukan tulangan geser yang dapat berupa tulangan miring atau berupa tulangan sengkang/begel. Jika sebagai penahan gaya geser hanya digunakan begel saja, maka pada daerah dengan gaya besar seperti, pada ujung balok yang dekat tumpuan, dipasang begel dengan jarak yang kecil/rapat, sedangkan pada daerah dengan gaya geser kecil seperti daerah lapangan atau tengah bentang balok, dapat dipasang begel dengan jarak yang lebih besar/renggang.



Gambar 2.12 Pemasangan Tulangan Geser Balok

Sumber: <https://repository.upnjatim.ac.id>

Faktor yang mempengaruhi kekuatan sengkang pada komponen struktur adalah diameter dan jarak antar sengkang. Tulangan sengkang berfungsi menahan gaya geser yang diakibatkan gaya lintang. Adapun syarat-syarat pemasangan sengkang yaitu :

- a. Sengkang tertutup dan sengkang tegak lurus kait 135° pada kedua ujung tulangan.
- b. Sengkang sepihak menggunakan kombinasi kait 90° dan kait 135° yang dipasang selang – seling.

2.8 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, penelitian terdahulu sebagai tolak ukur dan acuan untuk melaksanakannya sehingga dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Digunakan 4 (empat) penelitian terdahulu sebagai referensi untuk memperkaya bahan kajian pada penelitian ini. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.13. Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1.	Mahendra (2021)	Penerapan konsep <i>building information modelling</i> (BIM) dalam bentuk tiga dimensi untuk menunjang estimasi biaya pekerjaan <i>plummbing</i>	Proyek pembangunan kos 3 lantai, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta	Mengetahui dan mendapatkan hasil dari penerapan dan estimasi biaya pada konsep BIM, mengetahui selisih hasil analisis menggunakan metode BIM dengan konvensional	Menggunakan aplikasi BIM yaitu <i>software Autodesk Revit 2019</i> dan menggunakan metode konvensional	Mendapatkan hasil dari perhitungan <i>bill of quantity</i> yang dihitung menggunakan <i>software Revit 2019</i> sebesar Rp. 184.702.341,81. Sedangkan <i>bill of quantity</i> dari dokumen proyek sendiri sebesar Rp. 186.145,860.
2.	Nasautama (2022)	Analisis kebutuhan tulangan dan tulangan sisa (<i>waste</i>) pekerjaan struktur kolom, balok	Jl. Wiliem Iskandar, Kota Penyabungan, Kabupaten	Mengetahui <i>bar bending schedule</i> dan total <i>waste</i> penggunaan	Metode konvensional dengan menghitung manual dari DED	Penggunaan tulangan kolom, balok dan pelat lantai berdasarkan perhitungan <i>Bar Bending Schedule</i> sebesar

		dan pelat lantai proyek pembangunan pasar baru Kabupaten Mandailing Natal	Mandailing Natal, Sumatera Utara	tulangan kolom, balok dan pelat lantai	dan <i>shop drawing</i> dengan acuan SNI	467.927,46 kg, Total <i>waste</i> -nya sebesar 51.135,53 kg
3.	Permana (2021)	Optimasi kebutuhan tulangan pada balok menggunakan program linier metode simplex dan BIM	Proyek gedung fakultas teknik UPY Yogyakarta	Mengetahui penerapan program linier metode simplex dan BIM untuk optimasi kebutuhan tulangan, mengetahui penghematan biaya dan mengetahui penyebab material sisa tulangan	Menggunakan program linier simplex dalam program <i>Microsoft Excel Add On Solver</i> dan <i>software</i> BIM dalam pemodelan	Mendapatkan hasil kebutuhan tulangan dengan metode BIM dan simplex sebesar 49% lebih baik dibanding metode konvensional, mendapatkan penurunan biaya tulangan dari Rp. 740.178.350 menjadi Rp. 560.497.150, mengetahui penyebab sisa material karena belum efektifnya perencanaan optimasi kebutuhan tulangan

						dalam kegiatan <i>Bar Bending Schedule</i>
4.	Sihotang (2025)	Analisis penerapan BIM pada tahap perencanaan gedung snowdon tower Jakarta	Gedung snowdon tower yang terletak di Jakarta, Indonesia	Mengetahui implementasi BIM dalam proyek gedung bertingkat	Menggunakan aplikasi BIM yaitu Autodesk Revit, AutoCAD, SketchUp dan MS Excel	Mengetahui bahwa BIM tidak hanya digunakan untuk pemodela 3D tapi juga untuk 4D (penjadwalan), 5D (estimasi biaya), 6D (analisis energi dan deteksi konflik), 7D (manajemen fasilitas)

Sumber: Jurnal