

# Analisis *Quantity Take Off* (QTO) Material Besi Tulangan Menggunakan Metode *Building Information Modeling* (BIM) (Studi Kasus : Proyek Bangunan Parkir dan Kantin Pabrik Kawasan Industri Kendal)

R. Ningsih<sup>1</sup>, T.N. Handayani<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

\*Corresponding author: tantri.n.h@ugm.ac.id

## INTISARI

Kurangnya ketelitian dalam perhitungan manual *Quantity Take Off* (QTO) besi tulangan dapat mengakibatkan estimasi yang tidak akurat dan pemborosan material, sehingga meningkatkan biaya dan berisiko menyebabkan keterlambatan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) menawarkan solusi dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi, meskipun penerapannya dapat menghadapi tantangan seperti kompleksitas pemodelan dan potensi benturan elemen (*clash*). Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi perhitungan QTO menggunakan BIM pada proyek bangunan parkir dan kantin pabrik guna meningkatkan ketepatan estimasi material serta mengoptimalkan efisiensi dalam perencanaan konstruksi. Metode penelitian menggunakan simulasi perhitungan QTO dengan aplikasi *autodesk revit 2025* pada pekerjaan pembesian balok dan pelat lantai. Data hasil simulasi dianalisis dan dibandingkan dengan hasil perhitungan kontraktor. Hasil penelitian menunjukkan total berat besi tulangan pada pekerjaan pelat lantai berdasarkan BIM sebesar 10.291,43 kg. Sedangkan perhitungan kontraktor lebih tinggi, yaitu 10.464,79 kg dengan selisih sebesar 173,36 kg atau 1,66%. Pada pekerjaan balok total berat besi tulangan berdasarkan BIM sebesar 11.091,17 kg, sementara hasil perhitungan kontraktor lebih rendah, yaitu 10.948,60 kg dengan selisih 164,72 kg atau 1,30%. Penelitian ini membuktikan bahwa BIM dapat meningkatkan akurasi perhitungan QTO material besi tulangan dan menjadi solusi efektif untuk proyek konstruksi yang kompleks.

Kata kunci : Besi tulangan, *Building Information Modeling* (BIM), *Quantity Take Off* (QTO).

## 1 PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi, *Quantity Take Off* (QTO) merupakan proses penting yang bertujuan untuk mengukur secara rinci kebutuhan bahan dan material yang diperlukan dalam menyelesaikan proyek konstruksi (Laorent dkk., 2019). Pada umumnya, perhitungan QTO dilakukan secara manual dan telah digunakan dalam waktu yang lama. Namun, perhitungan ini masih memiliki beberapa kelemahan yang signifikan. Salah satu kelemahan utamanya adalah kerentanan terhadap kesalahan manusia, seperti ketidakakuratan dalam pengukuran, penginputan data yang salah, atau terjadinya perhitungan ganda pada item pekerjaan (Bečvarovská & Matějka, 2014).

Kemunculan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) menawarkan pendekatan alternatif yang lebih efisien dan akurat dalam perhitungan QTO (Sacks dkk., 2018). Melalui integrasi data dan pemodelan 3D, BIM memungkinkan simulasi perhitungan yang lebih akurat serta identifikasi dan penghitungan elemen struktural secara digital. Hal ini mengurangi risiko *human error*, mempercepat proses perencanaan dan mendukung kelancaran pelaksanaan proyek secara keseluruhan (Olsen & Taylor, 2017). Perangkat lunak berbasis BIM mendukung pemodelan 3D yang mencakup elemen seperti denah, elevasi, perspektif, dan detail lainnya, serta mampu meminimalisir kesalahan manusia, seperti kesalahan pengukuran, penginputan data, dan penghitungan ganda pada item pekerjaan (Yudi dkk., 2020).

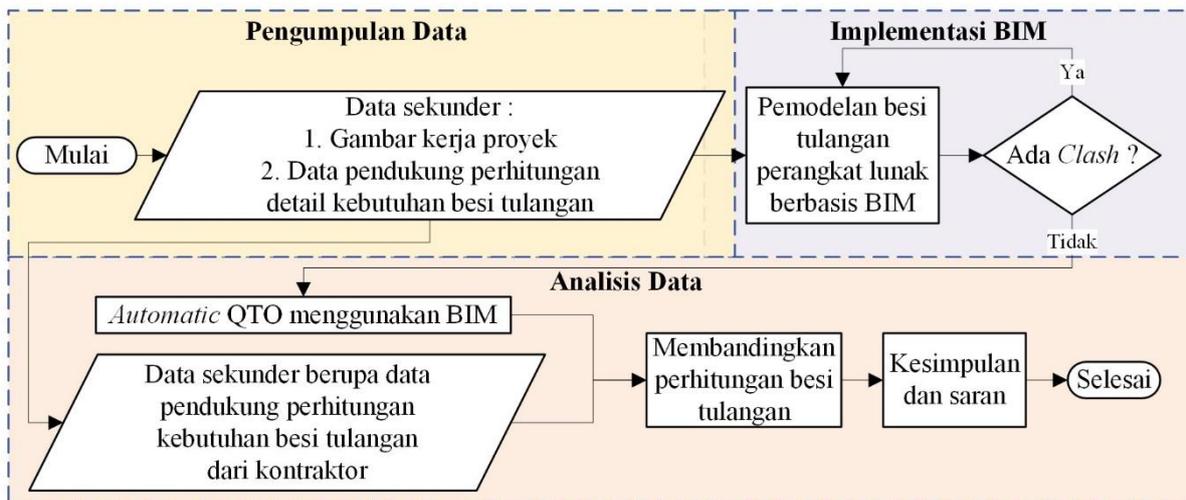
Beberapa penelitian telah membuktikan efektivitas *Building Information Modeling* (BIM) dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi *Quantity Take-Off* (QTO) untuk material konstruksi. Laily dkk., (2021) menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam hasil berat material struktural antara metode manual dan perangkat lunak berbasis BIM, seperti baja IWF (81,54%) dan reng baja ringan (100,18%). Hal ini mengindikasikan tingkat keakuratan lebih tinggi dari BIM dibandingkan metode manual. Khosakitchalert dkk., (2020) mengembangkan metode *Automated Compound Element Modification* (ACEM) yang memodifikasi elemen dinding dan lantai dalam model BIM dengan memisahkan lapisan material menjadi elemen individu dan menghilangkan area tumpang tindih. Metode ini terbukti meningkatkan akurasi QTO, sekaligus mengurangi waktu dan biaya yang diperlukan untuk modifikasi manual pada model BIM. Selain itu, Pratama & Witjaksana, (2022) mengungkapkan bahwa dalam proyek jembatan gantung, pemodelan 3D menggunakan *autodesk revit* dapat menghitung volume pekerjaan struktur seperti pondasi beton, besi tulangan, dan struktur baja dengan hasil yang terintegrasi pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Hasil

penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan BIM tidak hanya meningkatkan efisiensi dan akurasi estimasi material, tetapi juga meminimalkan risiko kesalahan yang sering terjadi pada metode manual dalam proyek konstruksi.

Perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) material besi tulangan memerlukan tingkat ketelitian tinggi untuk memastikan detail material proyek konstruksi dapat terpenuhi dengan akurat. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi kebutuhan volume besi tulangan menggunakan metode BIM dalam proses QTO. Dengan simulasi model BIM, data QTO besi tulangan akan dihitung dan diverifikasi untuk mengukur tingkat akurasi serta efisiensi metode BIM dibandingkan metode manual. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan panduan bagi para pelaku industri konstruksi dalam memilih metode perhitungan QTO yang lebih efektif, efisien, dan akurat, sehingga dapat mendukung perencanaan proyek secara menyeluruh dan meminimalkan risiko kesalahan perhitungan material.

## 2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan beberapa tahap dalam proses penyelesaiannya, diantaranya tahap pengumpulan data, tahap Implementasi BIM dan tahap analisis data. Berikut metode penelitian ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Bagan alir penelitian.

### 2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industri Kendal (KIK) pada salah satu proyek pembangunan gedung pabrik, yaitu gedung parkir dan kantin, dengan luas bangunan mencapai 792 m<sup>2</sup>. Pembangunan gedung ini terdiri dari tiga lantai, namun struktur dengan kerangka besi tulangan hanya diterapkan pada lantai satu. Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari pihak proyek, yang mencakup gambar kerja serta perhitungan aktual detail kebutuhan besi tulangan untuk pekerjaan pembesian pada balok dan pelat lantai. Pengumpulan data ini bertujuan sebagai dasar perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) besi tulangan secara akurat. Selain itu, data ini memiliki peran penting dalam proses validasi dan simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini.

### 2.2 Implementasi BIM

*Building Information Modeling* (BIM) merupakan salah satu teknologi digital yang dapat mengoptimalkan perencanaan, pembangunan dan pengelolaan proyek konstruksi secara akurat dan efisien (Cheng dkk., 2015). Penggunaan BIM dalam estimasi material dapat menghasilkan perkiraan kebutuhan material yang lebih akurat (Won dkk., 2016). Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) digunakan sebagai metode pemodelan 3D besi tulangan pada elemen pelat lantai dan balok. Pemodelan ini menggunakan data DED dengan beberapa penyesuaian ketentuan SNI yang berlaku. Ketentuan perhitungan besi tulangan pada pemodelan ini mengacu pada SNI 2847:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Berikut beberapa tabel ketentuan perhitungan berdasarkan SNI.

Tabel 2. 1 (a) Kait standar untuk sengkang SNI 2847:2019 dan (b) Kait standar untuk besi tulangan biasa SNI 2847:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019).

Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus $\ell_{ext}$ , mm	Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus $\ell_{ext}$ , mm
Kait 90°	D10 - D16	$4d_b$	$> 6d_b$ dan 75 mm	Kait 90°	D10 - D25	$6d_b$	$> 6d_b$ dan 75 mm
	D19 - D25	$6d_b$	$12d_b$		D29 - D36	$8d_b$	$12d_b$
Kait 135°	D10 - D16	$4d_b$	$> 6d_b$ dan 75 mm		D43 - D57	$10d_b$	
	D19 - D25	$6d_b$		Kait 180°	D10 - D25	$6d_b$	$> 4d_b$ dan 65 mm
Kait 180°	D10 - D16	$4d_b$	$> 6d_b$ dan 75 mm		D29 - D36	$8d_b$	
	D19 - D25	$6d_b$			D43 - D57	$10d_b$	

(a)

(b)

Selama proses pemodelan 3D, dilakukan pengecekan benturan (*clash detection*) pada elemen-elemen bangunan untuk memastikan tidak terjadi tumpang tindih pada besi tulangan. Analisis *clash* ini tidak hanya bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengatasi potensi benturan antar elemen konstruksi, tetapi juga digunakan untuk memastikan keakuratan perhitungan volume material, sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian Ferial dkk., (2022). Jika dalam proses analisis ditemukan adanya tumpang tindih pada besi tulangan, maka pemodelan akan direvisi dengan melakukan penyesuaian dan perbaikan desain. Langkah ini dilakukan untuk memastikan efisiensi dalam proses konstruksi serta menghindari kesalahan yang dapat menghambat tahap pelaksanaan proyek.

Setelah pemodelan selesai dan telah disesuaikan, perangkat lunak berbasis BIM ini memungkinkan pengguna untuk menghasilkan laporan berupa *Quantity Take Off* (QTO). Laporan ini menampilkan total berat setiap elemen melalui menu *schedule*. Elemen yang dihitung beratnya meliputi detail besi tulangan balok dan pelat lantai.

### 2.3 Analisis Data

Setelah proses *clash detection* selesai dan model telah disesuaikan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan otomatis *Quantity Take Off* (QTO) menggunakan BIM. Data yang digunakan dalam perhitungan ini berasal dari data sekunder, yaitu data pendukung perhitungan kebutuhan besi tulangan yang diperoleh dari kontraktor. Perangkat lunak berbasis BIM dapat menampilkan total berat dari setiap elemen pada menu *schedule*. Elemen yang dihitung beratnya pada penelitian ini adalah elemen balok, dan pelat lantai besi tulangan. Setelah itu, dilakukan validasi pemodelan 3D dengan cara mengambil contoh balok, dan pelat lantai besi tulangan yang dihitung secara manual. Validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa perhitungan tersebut sudah sesuai dengan konsep perhitungan berat secara manual. Hasil perhitungan berat besi tulangan dari pemodelan BIM dibandingkan dengan hasil perhitungan kontraktor. Hasil perbandingan besi tulangan berupa presentase selisih yang dihitung dengan selisih perhitungan besi tulangan antara metode BIM dan perhitungan besi tulangan kontraktor. Hasil dari analisis ini kemudian digunakan untuk menyusun kesimpulan dan saran guna meningkatkan akurasi perhitungan dan efisiensi penggunaan besi tulangan dalam proyek konstruksi. Setelah tahap ini selesai, penelitian pun berakhir.

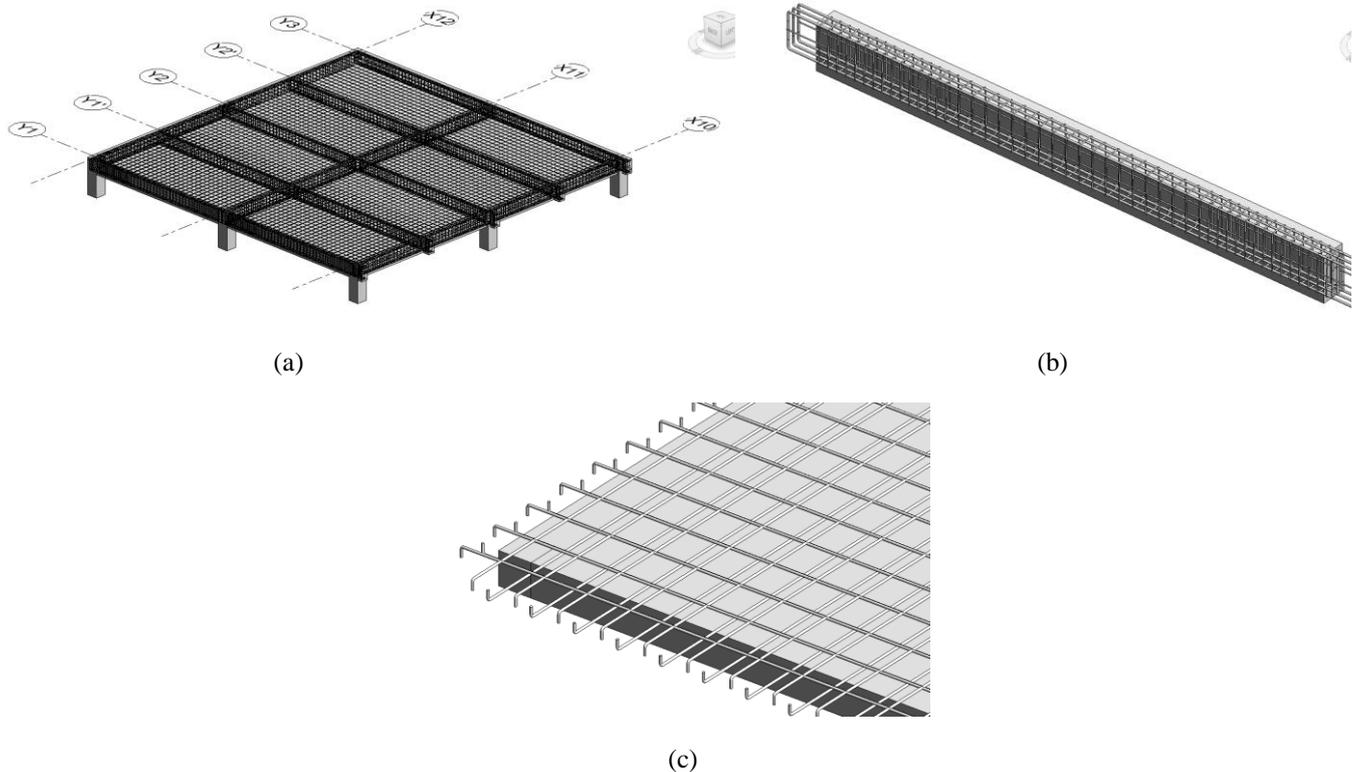
## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pemodelan

Balok yang dimodelkan dalam penelitian ini merupakan *tie beam* dengan dimensi 250 mm x 500 mm dan memiliki selimut beton sebesar 30 mm di setiap sisinya. Spesifikasi penulangan terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang yang digunakan untuk memperkuat struktur balok. Detail penulangan balok ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *End-I* (ujung awal), *Middle* (tengah), dan *End-J* (ujung akhir). *End-I* dan *End-J* berfungsi sebagai tumpuan, sementara *Middle* merupakan lapangan. Baik pada bagian tumpuan maupun lapangan, jumlah dan diameter tulangan utama yang digunakan adalah 3 batang dengan diameter 19 mm pada bagian atas dan bawah. Sedangkan tulangan tengah ketiga bagian balok memiliki jumlah dan diameter yang sama, yaitu 2 batang dengan diameter 10 mm. Untuk tulangan sengkang, diameter yang digunakan adalah 10 mm diseluruh bagian balok. Namun, terdapat perbedaan pada jarak pemasangannya. Pada bagian tumpuan (*End-I* dan *End-J*), tulangan sengkang dipasang dengan jarak 100 mm, sedangkan pada bagian lapangan (*Middle*), jarak pemasangan tulangan sengkang adalah 150 mm.

Pelat lantai yang dimodelkan dalam penelitian ini memiliki dimensi sebesar 66 m x 12 m dengan ketebalan beton sebesar 150 mm. Detail penulangan pelat lantai (*slab*) dirancang dengan tulangan diameter 10 mm dan dipasang dengan jarak 200 mm pada kedua arah (horizontal dan vertikal). Pelat lantai ini didukung oleh dowel dengan diameter besi tulangan sebesar 19 mm dan jaraknya 500 mm. Dowel digunakan sebagai sambungan antara *slab* dan elemen struktur lainnya untuk meningkatkan ikatan dan kekuatan sambungan.

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan hasil pemodelan 3D dari kerangka besi tulangan pada balok dan pelat lantai pada perangkat lunak berbasis BIM. Gambar dibawah ini terdiri dari Tampilan 3D model bangunan (a) potongan As X11-X12 – As Y1-Y3, (b) balok potongan As Y1 – As X2 dan (c) pelat lantai potongan As Y1 – As X2.



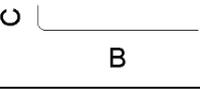
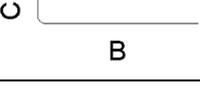
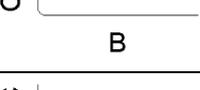
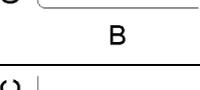
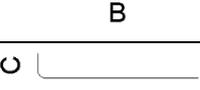
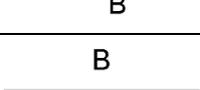
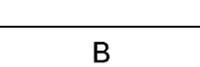
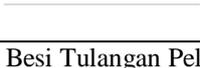
Gambar 3. 1 (a) Tampilan 3D model bangunan potongan As X11-X12 – As Y1-Y3, (b) Tampilan 3D model balok potongan As Y1 – As X2 dan (c) Tampilan 3D model pelat lantai potongan As Y1 – As X2.

### 3.2 Perhitungan Berat Besi Tulangan

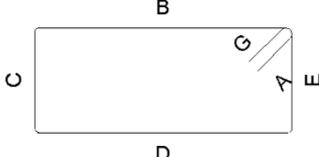
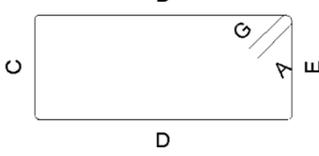
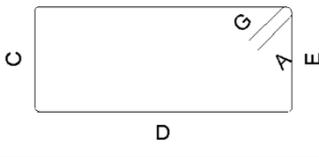
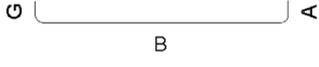
Penelitian ini hanya mencakup pemodelan elemen besi tulangan pada balok dan pelat lantai. Setelah pemodelan pada perangkat lunak berbasis BIM selesai divalidasi, langkah berikutnya adalah menghitung *quantity take-off schedule*, diikuti dengan penginputan dan penyesuaian parameter menggunakan persamaan berat besi. Berat besi diperoleh dari hasil perkalian volume besi tulangan (*reinforcement volume*) dengan berat jenis besi, yang ditetapkan sebesar 7850 kg/m<sup>3</sup>. Proses ini dilakukan karena dalam industri konstruksi, pembelian dan penggunaan besi tulangan umumnya dihitung berdasarkan berat, bukan volume, sehingga konversi dari volume ke berat menjadi langkah yang diperlukan untuk memastikan keakuratan perhitungan material.

Berikut hasil perhitungan detail besi tulangan pada pekerjaan balok dan pelat lantai berdasarkan pemodelan perangkat lunak BIM.

Tabel 3. 1 Perhitungan *quantity take off* besi tulangan berdasarkan perangkat lunak BIM pada pekerjaan pelat lantai.

Item Pekerjaan	Detail Besi Tulangan	Dimensi Besi Tulangan (mm)	Diameter Besi Tulangan (mm)	Volume Besi Tulangan (m <sup>3</sup> )	Berat Besi Tulangan (Kg)
Pelat Lantai		A = 0 B = 700 C = 0	19	0,039	308,48
Pelat Lantai		A = 0 B = 1815 C = 60	10	0,047	368,31
Pelat Lantai		A = 0 B = 1815 C = 60	10	0,047	369,46
Pelat Lantai		A = 0 B = 8322 C = 60	10	0,038	299,23
Pelat Lantai		A = 0 B = 8324 C = 60	10	0,039	304,46
Pelat Lantai		A = 0 B = 10833 C = 60	10	0,274	2.152,85
Pelat Lantai		A = 0 B = 10837 C = 60	10	0,275	2.160,55
Pelat Lantai		A = 0 B = 11954 C = 60	10	0,055	429,11
Pelat Lantai		A = 0 B = 11954 C = 60	10	0,056	436,51
Pelat Lantai		A = 0 B = 12000 C = 0	10	0,219	1.716,44
Pelat Lantai		A = 0 B = 12000 C = 0	10	0,222	1.746,03
Total Perhitungan Besi Tulangan Pelat Lantai				1,311	10.291,43

Tabel 3. 2 Perhitungan *quantity take off* besi tulangan berdasarkan perangkat lunak BIM pada pekerjaan balok.

Item Pekerjaan	Detail Besi Tulangan	Dimensi Besi Tulangan (mm)	Diameter Besi Tulangan (mm)	Volume Besi Tulangan (m <sup>3</sup> )	Berat Besi Tulangan (Kg)
Balok		A = 75 B = 432 C = 182 D = 432 E = 182 G = 75	10	0,172	1.350,96
Balok		A = 75 B = 432 C = 182 D = 432 E = 182 G = 75	10	0,103	810,57
Balok		A = 75 B = 440 C = 190 D = 440 E = 190 G = 75	10	0,077	604,16
Balok		A = 75 B = 440 C = 190 D = 440 E = 190 G = 75	10	0,046	362,49
Balok		A = 0 B = 6324 C = 0 D = 0 E = 0 G = 0	10	0,078	616,04
Balok		A = 304 B = 6324 C = 0 D = 0 E = 0 G = 304	19	0,936	7.346,95
Total Perhitungan Besi Tulangan Balok				1,413	11.091,17

Berdasarkan 2 tabel diatas didapat total berat besi tulangan pada pelat lantai sebesar 10.291,43 kg dan total berat besi tulangan pada balok sebesar 11.091,17 kg.

Setelah didapat total perhitungan berat besi berdasarkan pemodelan lalu dibandingkan dengan perhitungan total berat besi dari pihak kontraktor. Berikut hasil perbandingan dan selisih antara perhitungan pemodelan BIM dan perhitungan dari pihak kontraktor.

Tabel 3. 3 Perbandingan *quantity take off* antara pemodelan BIM dan perhitungan kontraktor.

Item Pekerjaan	Total Berat Besi (kg)		Selisih (kg)	Persentase
	Pemodelan BIM	Kontraktor		
Pelat Lantai	10.291,43	10.464,79	173,36	1,66%
Balok	11.091,17	10.948,60	164,72	1,30%

Berdasarkan tabel di atas, terdapat perbedaan hasil perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) antara pemodelan BIM dan metode manual yang dilakukan oleh kontraktor dengan selisih yang bervariasi pada setiap item pekerjaan. Pada pekerjaan pelat lantai, pemodelan BIM menghasilkan total berat besi 10.291,43 kg. Sedangkan perhitungan kontraktor menunjukkan angka 10.464,79 kg. Terdapat selisih sebesar 173,36 kg atau 1,66% lebih tinggi pada hasil

perhitungan kontraktor. Sementara itu, pada pekerjaan balok total berat besi berdasarkan BIM adalah 11.091,17 kg. Sedangkan hasil perhitungan kontraktor lebih rendah, yaitu 10.948,60 kg dengan selisih 164,72 kg atau 1,30%. Perbedaan ini terjadi karena beberapa faktor yang memengaruhi proses perhitungan, terutama dalam hal perbedaan asumsi teknis yang digunakan antara pemodelan BIM dan metode manual.

Dalam pemodelan BIM, *overlapping* dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak berdasarkan standar desain yang diterapkan. Sementara itu, dalam metode manual *overlapping* dihitung secara manual oleh kontraktor berdasarkan pengalaman serta standar yang digunakan dalam proyek. Sebagai contoh pada perangkat lunak berbasis BIM panjang *overlapping* yang digunakan adalah 60D (D = diameter tulangan), dimana 60D tersebut adalah hasil otomatis dari perangkat lunak tersebut. Nilai tersebut kemudian disesuaikan menjadi 40D agar sesuai dengan ketentuan yang diterapkan oleh kontraktor.

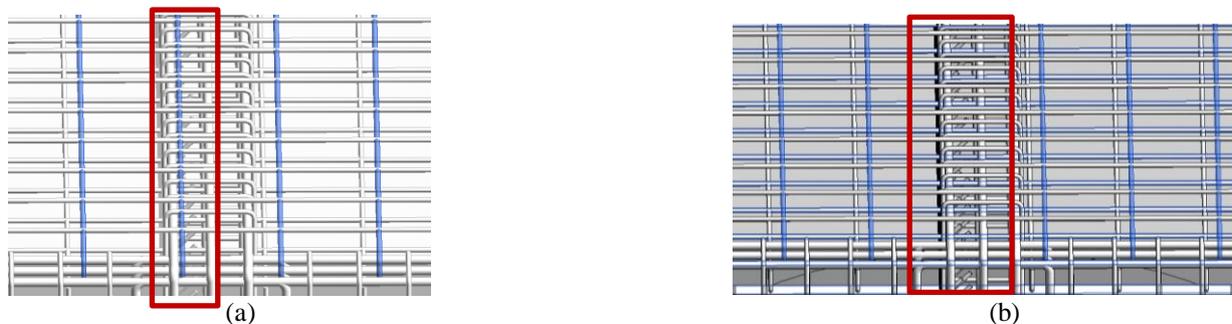
Gambar 3.2 dibawah ini merupakan hasil detail pemodelan dari perangkat lunak berbasis BIM yang terdiri dari *overlapping* pada besi tulangan pelat lantai yang diinput secara (a) otomatis dan (b) manual.



Gambar 3. 2 Tampilan 3D model bangunan detail *overlapping* pada pekerjaan pelat lantai pada saat penginputan (a) otomatis dan (b) manual.

Selain itu, terdapat perbedaan asumsi dalam *spacing* (jarak pemasangan) tulangan. Dalam pemodelan BIM, *spacing* diperiksa kembali menggunakan fitur *clash detection* 3D, yang memastikan bahwa tidak terjadi benturan dengan elemen lain dalam struktur bangunan. Sementara itu, dalam metode manual, *spacing* dihitung secara manual oleh kontraktor tanpa menggunakan analisis benturan 3D, sehingga memungkinkan adanya sedikit perbedaan dalam jumlah total tulangan yang digunakan.

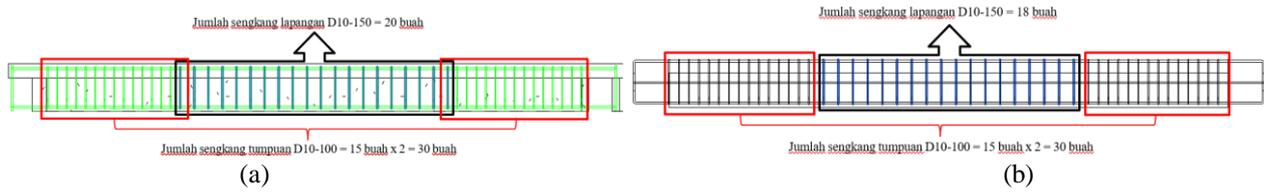
Gambar 3.3 dibawah ini merupakan hasil pemodelan dari perangkat lunak berbasis BIM yang terdiri dari penghapusan besi tulangan akibat terjadi benturan pada elemen lain.



Gambar 3. 3 Tampilan 3D model bangunan (a) sebelum penghapusan besi tulangan dan (b) setelah penghapusan besi tulangan yang terjadi benturan antar elemen pada pekerjaan pelat lantai.

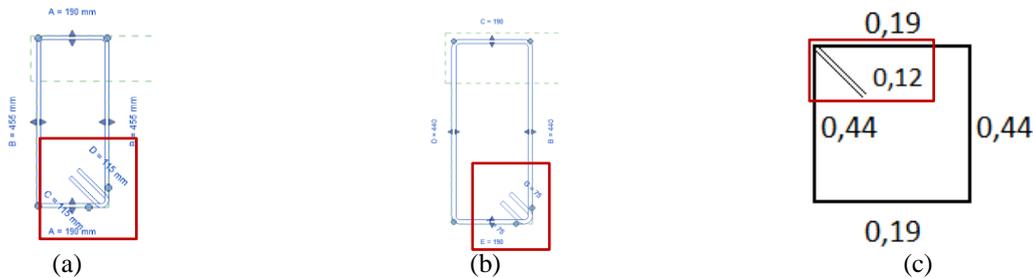
Pada pekerjaan balok terdapat perbedaan asumsi dalam menentukan *spacing* (jarak pemasangan) tulangan sengkang. Dalam pemodelan menggunakan BIM jumlah tulangan sengkang dihitung secara otomatis berdasarkan parameter desain yang telah ditetapkan sehingga diperoleh 30 buah pada tumpuan dan 18 buah pada lapangan. Sementara itu, dalam metode manual kontraktor menentukan jumlah tulangan sengkang berdasarkan pengalaman dan standar proyek yang digunakan sehingga diperoleh 28 buah pada tumpuan dan 20 buah pada lapangan. Terdapat selisih pada jumlah sengkang yaitu 2 buah lebih sedikit pada tumpuan dan 2 buah lebih banyak pada lapangan dalam metode manual dibandingkan dengan hasil BIM. Hal ini disebabkan oleh perbedaan asumsi dalam penentuan jarak pemasangan tulangan (*spacing*), metode perhitungan yang diterapkan, serta pembulatan angka dalam estimasi jumlah besi tulangan. Perbedaan ini dapat memengaruhi efisiensi penggunaan material, biaya, dan waktu dalam proyek konstruksi. Kekurangan tulangan pada tumpuan berpotensi menurunkan daya dukung struktur dan meningkatkan risiko kerusakan, sementara kelebihan tulangan di lapangan dapat menyebabkan pemborosan material serta biaya

tambahan. Dengan menggunakan BIM, perhitungan dapat dilakukan lebih akurat karena mempertimbangkan parameter desain secara otomatis melalui simulasi 3D. Hal ini memungkinkan pemantauan bentrokan elemen (*clash detection*) dan meminimalkan kesalahan dalam perencanaan, sehingga proyek dapat berjalan lebih efisien dan sesuai dengan standar desain yang telah ditetapkan. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan pemodelan sengkang besi tulangan balok pada perangkat lunak BIM saat terjadinya penumpukan dua elemen.



Gambar 3. 4 Tampilan pemodelan sengkang balok (a) sebelum penghapusan besi tulangan dan (b) sesudah penghapusan besi tulangan yang terjadi penumpukan 2 elemen sengkang pada pekerjaan balok.

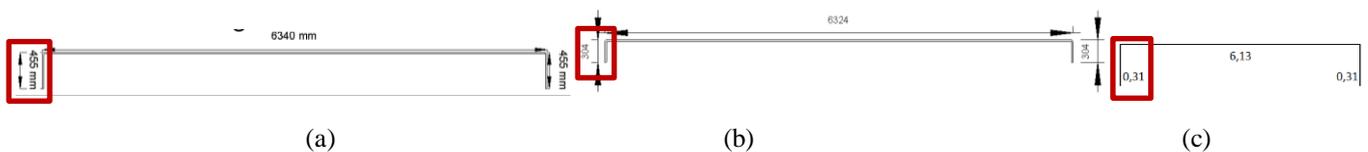
Gambar 3.5 dibawah ini merupakan perbedaan yang ditemukan pada bengkokan sengkang besi tulangan balok, dimana dalam perhitungan perangkat lunak BIM digunakan nilai sebesar 75 mm, sedangkan dalam perhitungan kontraktor digunakan nilai 6D.



Gambar 3. 5 Tampilan model bangunan potongan detail balok berbasis BIM (a) sebelum penginputan angka, (b) setelah penginputan angka dan (c) potongan detail balok dari kontraktor.

Perbedaan lainnya terdapat pada perhitungan panjang bengkokan pada tulangan utama balok. Dimana hasil perhitungan BIM menghasilkan nilai 304 mm, sementara kontraktor menghitungnya sebesar 310 mm. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam menghitung panjang bengkokan. BIM mempertimbangkan lengkungan secara lebih detail dengan memperhitungkan diameter sangkutanannya, sedangkan metode manual menggunakan pendekatan yang lebih sederhana. Akibatnya, Jika perhitungan manual digunakan tanpa koreksi, dapat terjadi ketidaksesuaian panjang tulangan yang berpotensi menyebabkan kesulitan dalam pemasangan di lapangan, pemborosan material akibat pemotongan yang tidak presisi, serta ketidaktepatan struktur terhadap desain yang telah direncanakan. Dampak lainnya termasuk kemungkinan perlunya penyesuaian ulang atau modifikasi di lokasi proyek yang dapat menghambat produktivitas serta meningkatkan biaya dan waktu pengerjaan. Dengan menggunakan BIM, proyek dapat mencapai tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam perhitungan tulangan sehingga risiko kesalahan dalam fabrikasi dapat diminimalkan. Selain itu, efisiensi penggunaan material dapat ditingkatkan dan kesesuaian terhadap standar desain yang berlaku lebih terjamin. Oleh karena itu, pemanfaatan BIM dalam perencanaan dan perhitungan struktur tulangan tidak hanya membantu mengoptimalkan efisiensi proyek tetapi juga memastikan bahwa pelaksanaan di lapangan berjalan lebih lancar tanpa kendala akibat perbedaan perhitungan yang tidak terdeteksi sejak awal.

Gambar 3.6 dibawah ini menunjukkan nilai bengkokan pada tulangan utama balok sebelum penginputan dan setelah penginputan pada perangkat lunak BIM serta nilai bengkokan tulangan utama balok berdasarkan kontraktor



Gambar 3. 6 Tampilan model besi tulangan utama balok (a) sebelum penginputan dan (b) sesudah penginputan nilai bengkokan serta (c) besi tulangan utama balok berdasarkan kontraktor.

Selain itu terdapat perbedaan level pemahaman yang dapat menimbulkan terjadinya kesalahan atau *human error*. Pada proses pengerjaan BIM juga harus diikuti dengan pemahaman yang baik untuk memaksimalkan efisiensi. Oleh karena itu faktor *human error* menjadi salah satu faktor yang masih mempengaruhi dalam perhitungannya.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemodelan 3D BIM menghasilkan total berat besi tulangan sebesar 10.291,43 kg untuk pelat lantai dan 11.091,17 kg untuk balok. Dibandingkan dengan metode manual, terdapat selisih berat besi sebesar 173,36 kg atau 1,66% pada pelat lantai dan 142,57 kg atau 1,30% pada balok. Metode Quantity Take Off (QTO) berbasis BIM terbukti lebih cepat dan efektif dalam menghitung kebutuhan material dibandingkan dengan pendekatan manual. Namun, penelitian ini memiliki beberapa limitasi yang dapat memengaruhi hasil perhitungan. Salah satu kendala utama adalah perbedaan asumsi teknis antara metode BIM dan manual, seperti variasi dalam menentukan panjang *overlapping* tulangan, jarak pemasangan sengkang, serta metode pembulatan dalam estimasi jumlah material. Selain itu, akurasi perhitungan sangat bergantung pada tingkat pemahaman pengguna terhadap perangkat lunak BIM. Kesalahan dalam memasukkan data, kurangnya pemahaman terhadap parameter desain, serta pemanfaatan fitur otomatisasi yang kurang optimal dapat menghasilkan estimasi yang tidak sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Oleh karena itu, penerapan BIM dalam perhitungan QTO memerlukan ketelitian tinggi, terutama dalam tahap pemodelan dan analisis benturan (*clash detection*), guna mengurangi risiko kesalahan akibat *human error*.

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam menganalisis limitasi perangkat lunak BIM, terutama dalam menangani proyek dengan tingkat kompleksitas tinggi. Penelitian selanjutnya juga dapat berfokus pada peningkatan akurasi metode validasi serta integrasi BIM dengan teknologi canggih seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan efisiensi proyek. Selain itu, proses validasi perhitungan BIM yang belum dilakukan dalam studi ini perlu diteliti lebih lanjut untuk memastikan ketepatan estimasi material.

#### REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)". *SNI 2847:2019*.
- Bečvarovská, R., & Matějka, P. (2014). "Comparative Analysis of Creating Traditional Quantity Takeoff Method and Using a Bim Tool." *Construction Maeconomics Conference*.
- Cheng, J. C. P., Won, J., & Das, M. (2015). "Construction and demolition waste management using bim technology." *Proceedings of IGLC 23 - 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions, 2015-Janua*, 381–390.
- Ferial, R., Hidayat, B., Pesela, R. C., & Daoed, D. (2022). "Quantity Take-Off Berbasis Building Information Modeling (BIM) Studi Kasus: Gedung Bappeda Padang." *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(3), 228. <https://doi.org/10.25077/jrs.17.3.228-238.2021>
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2020). "Automated Modification of Compound Elements for Accurate BIM-Based Quantity Takeoff." *Automation in Construction*, 113(September 2019), 103142. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103142>
- 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. <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v25i2.30>
- Laorent, D., Nugraha, P., & Budiman, J. (2019). "Analisa Quantity Take-Off dengan Menggunakan Autodesk Revit." *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.9744/duts.6.1.1-8>
- Olsen, D., & Taylor, J. M. (2017). "Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors." *Procedia Engineering*, 196, 1098–1105. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.067>
- Pratama, A. F., & Witjaksana, B. (2022). "Implementasi Autodesk Revit untuk Quantity Take Off Pada Pekerjaan Struktur Jembatan." *kacapuri*, 5.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). "BIM Handbook 3rd Edition." Dalam *John Wiley & Sons*. [www.wiley.com.%0ALibrary](http://www.wiley.com.%0ALibrary)
- Won, J., Cheng, J. C. P., & Lee, G. (2016). "Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea." *Waste Management*, 49, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>

Yudi, A., Ulum, M. S., & Nugroho, M. T. (2020). "Perancangan Detail Engineering Design Gedung Bertingkat Berbasis Building Information Modeling (Studi Kasus: Asrama Institut Teknologi Sumatera)." *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 00(00). <https://bexelmanager.com>,