

# Implementasi *Building Information Modelling* (BIM) dalam Estimasi Volume Pekerjaan Struktural dan Arsitektural

Itsna Aulya Reista<sup>1</sup>, Annisa<sup>1\*</sup> dan Ilham<sup>1</sup>

Dikirim: 28/9/2022

Diterima: 13/10/2022

## ABSTRAK

Perhitungan volume pekerjaan menggunakan gambar *Computer Aided Design* (CAD) 2D memerlukan proses manual dan *software* pendukung lain seperti Microsoft Excel untuk perhitungan. Hal ini menyebabkan peluang terjadinya *error* karena ketidaktepatan interpretasi dan perhitungan dalam mengelaborasi kompleksitas bangunan yang akan dibangun. Penerapan *Building Information Modelling* (BIM) dapat meminimalisir kesalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan *software* Autodesk Revit untuk estimasi perhitungan volume dan menganalisis perbedaan hasil estimasi perhitungan volume berbasis *Building Information Modelling* dan hasil estimasi menggunakan CAD 2D. Studi kasus penelitian menggunakan data perencanaan gedung utama Rumah Sehat Baznas (RSB) Berau. Penelitian dilakukan dengan membuat model BIM menggunakan *software* Autodesk Revit dari data *Detail Engineering Design* (DED) CAD 2D eksisting. Output volume *software* Revit kemudian dibandingkan dengan *Bill of Quantity* (BQ) eksisting dan dianalisis perbedaannya. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata perbedaan pada pekerjaan fondasi adalah 2%, pekerjaan *sloof* dan balok 0%, pekerjaan kolom 1%, pekerjaan pelat lantai 3%, pekerjaan *railing* 15%, pekerjaan dinding 7%, pekerjaan pintu 7%, pekerjaan jendela 0%, pekerjaan pola lantai 5%, pekerjaan plafond 17%, dan pekerjaan atap 6%. Rata-rata perbedaan pada pekerjaan arsitektural adalah 6%, sedangkan pada pekerjaan struktur adalah 5%, perbedaan terjadi karena kesalahan menghitung jumlah objek, kesalahan perhitungan, dan kesalahan interpretasi gambar.

**Kata Kunci:** arsitektural, Autodesk Revit, BIM, struktural, volume

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan *software* Autodesk Revit untuk perhitungan volume masih jarang dilakukan di Indonesia karena saat ini sebagian besar perhitungan volume masih dilakukan secara manual menggunakan Microsoft Excel, padahal *software* ini mampu melakukan perhitungan volume secara akurat dan *real time* sesuai model bangunan yang dimodelkan. Model bangunan saling terintegrasi sehingga saat model diubah, secara otomatis volume pekerjaan akan langsung berubah sehingga dapat mempersingkat waktu pengerjaan. Penelitian ini diperlukan untuk melihat persentase (%) perbedaan volume dan penyebab mengapa terjadi perbedaan tersebut. Peneliti ingin memberi gambaran data informasi yang dihasilkan BIM 5D, sehingga dapat menghemat waktu karena kesalahan pada desain dapat direvisi dengan mudah.

Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan *software* Autodesk Revit untuk pekerjaan perhitungan volume, serta menganalisis perbedaan hasil perhitungan volume berbasis BIM 5D dengan perhitungan volume secara BIM 2D, perbedaan ini dapat digunakan untuk menentukan mana yang lebih efisien antara BIM 2D dan BIM 5D untuk perhitungan volume. Data proyek yang digunakan adalah data *Detail Engineering Design* (DED) dan *Bill of Quantity* (BQ) pekerjaan struktur dan arsitektur pada proyek perencanaan RSB Berau. Hasil volume dari *software*

<sup>1</sup> Institut Teknologi Sains Bandung, Jl. Ganesha Boulevard No.1, Bekasi 17530

\* Penulis Korespondensi: [annisa@itsb.ac.id](mailto:annisa@itsb.ac.id)

Autodesk Revit dibandingkan dengan data perhitungan BQ proyek dan dihitung selisihnya dalam persentase (%), selisih tersebut kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### ***Building Information Modelling (BIM)***

BIM merupakan suatu metode yang menggunakan teknologi untuk memodelkan suatu bangunan dimana aspek desain, konstruksi, dan operasional tersistem menjadi satu dalam informasi digital (3D) yang terintegrasi dan bekerja secara kolaboratif [1]. Keunggulan BIM diantaranya: (1) mampu menunjukkan siklus hidup bangunan pada tahapan proses konstruksi dan operasi fasilitas; (2) kuantitas dan kualitas dari suatu material dapat digali dengan mudah; (3) Lingkup kerja dapat dibagi, dipisahkan dan ditentukan dengan jelas [2].

BIM adalah sebuah pendekatan untuk desain bangunan, konstruksi, dan manajemen. Ruang lingkup BIM mendukung keseluruhan aspek desain proyek, penjadwalan, dan informasi-informasi lainnya secara terintegrasi. Pada dasarnya, BIM ini merupakan penggabungan dari dua gagasan penting yaitu [3] :

- 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 data desain digital dengan inovasi-inovasi teknologi pemodelan bangunan, sehingga dapat menghemat waktu dan uang serta meningkatkan produktivitas dan kualitas proyek.

### **Penerapan BIM Di Indonesia**

Penerapan BIM pada Kementrian PUPR saat ini mulai dilakukan pada Bangunan Gedung Negara dengan luas diatas 2000 m<sup>2</sup> dan diatas dua lantai [4].

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. Penerapan tersebut telah dilakukan dan diinisiasi pada pembangunan Gedung negara di lingkungan Ditjen Cipta Karya dalam beberapa proyek antara lain renovasi Stadion Utama Gelora Bung Karno, renovasi dan pengembangan stadion Manahan Solo, pembangunan Pasar Atas Bukittinggi di Sumatera Barat, serta Stadion dan *Aquatic* Arena untuk PON Papua dan bangunan Gedung lainnya [5].

### **Autodesk Revit**

Proyek konstruksi seringkali melibatkan sinkronisasi antara beberapa disiplin ilmu terkait, seperti: arsitektural, struktural, dan mekanikal elektrikal [6]. Terkadang apa yang seharusnya dikerjakan bersama oleh para *engineer* dilakukan secara terpisah karena tidak ada fasilitas terintegrasi [7]. Namun saat ini, penggunaan dan penerapan aplikasi yang dapat mengintegrasikan ketiga disiplin ilmu tersebut dalam perencanaan proyek konstruksi telah muncul dan diterapkan agar sinkronisasi tercipta dengan benar, memudahkan pengerjaan di lapangan dan tentunya mempercepat pelaksanaan proyek sehingga tepat waktu, mutu dan kualitasnya. Salah satu program yang dapat digunakan untuk melakukan *superimpose* tersebut adalah Autodesk Revit.

Autodesk Revit adalah aplikasi atau alat program berbasis BIM yang membantu mendokumentasikan proyek dalam model 3D secara lebih realistis. Berikut adalah fitur-fitur lain pada Autodesk Revit [8]:

#### 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, jendela, dan pintu otomatis dapat dipilih (*family*), sehingga sebagai modeler hanya perlu memasukkan spesifikasi yang diperlukan sesuai dengan desain 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.

### **Volume Pekerjaan**

Perhitungan kuantitas memiliki peran yang penting, kegiatan ini diperlukan untuk menghitung dan memverifikasi jumlah pekerjaan yang termasuk dalam lingkup pekerjaan untuk BQ yang akan diserahkan nanti. sebagai dokumen lelang perhitungan volume ini harus dilakukan dengan hati-hati dan akurat dan dibangun sesuai dengan gambar perencanaan yang disetujui agar kesalahan yang kemudian mengarah pada perselisihan atau bahkan merugikan kontraktor tidak terjadi. BQ adalah kumpulan daftar yang menunjukkan ringkasan pekerjaan yang diselesaikan dan perkiraan/kuantitas [9].

Volume pekerjaan disesuaikan dengan kebutuhan per kegiatan pekerjaan yang dicantumkan dalam BQ. Harga total keseluruhan merupakan jumlah dari seluruh hasil perkalian volume pekerjaan dengan harga satuan masing-masing pekerjaan. Umumnya, pajak pertambahan nilai (PPN) sebesar 11% dari harga total keseluruhan pekerjaan juga ditambahkan ke dalam total perhitungan [10]. Metode perhitungan volume menggunakan gambar 2D memerlukan banyak proses manual sehingga diperlukan ketelitian dalam proses komputasi untuk mendapatkan volume bersih dari setiap elemen sehingga volume yang sama tidak dihitung dua kali. Di sisi lain, dengan metode BIM seperti Revit, proses perhitungan volume dapat dilakukan dengan lebih efisien berdasarkan model yang sudah dibuat. Hal ini membantu mengurangi dampak kesalahan manusia dalam proses manual.

### **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Studi kasus ditinjau pada RSB Berau karena kelengkapan data dan kompleksitas sedang yang cukup menunjukkan gambaran umum ruang lingkup proyek konstruksi. Langkah-langkah dalam penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memperkaya pengetahuan, kemudian dilakukan penginputan data, yaitu data arsitektur dan struktur. Tahap selanjutnya yaitu memodelkan ulang gambar 2D arsitektur dan struktur menjadi 3D yang diteruskan dengan mengeluarkan perhitungan volume dari *software* Autodesk Revit. Volume dari Autodesk Revit ini akan dibandingkan dengan volume pada BQ proyek. Tahapan dari analisis data adalah sebagai berikut:

- 1) Meng-*export* data volume dari Revit ke Microsoft Excel
- 2) Mengelompokkan volume Revit dan BQ sesuai pekerjaan dan menyamakan satuannya.
- 3) Menghitung selisih volume Revit dengan BQ, dan dibuat dalam bentuk persentase.
- 4) Menganalisis perbedaan volume tersebut.

### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

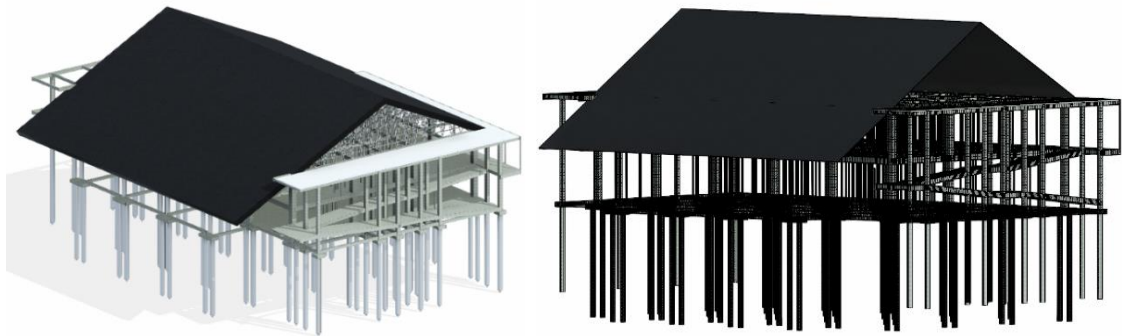
#### **RSB Berau**

RSB Berau dibahas karena masih jarang penggunaan BIM dalam bangunan Rumah Sakit. Data Bangunan yang digunakan dan diperoleh yaitu:

- 1) Data Umum bangunan  
 Nama Gedung : Gedung A  
 Lokasi : Berau, Kalimantan Timur  
 Fungsi : Rumah Sakit  
 Jumlah Lantai : 2 lantai  
 Tinggi Gedung : 15 m  
 Material Struktur : Beton bertulang
- 2) Data Gambar  
 Data gambar yang digunakan adalah gambar 2D struktur dan arsitektur.
- 3) Data *Bill Of Quantity*(BQ) proyek  
 Data BQ yang digunakan adalah data struktur dan arsitektur.

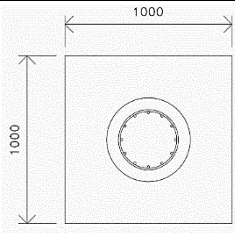
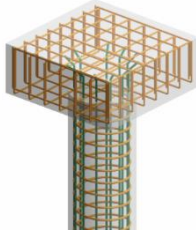
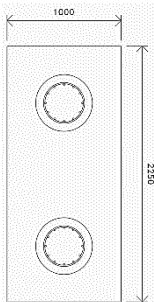

### Hasil Pemodelan

Pemodelan struktur terdiri dari pemodelan fondasi, kolom, balok, pelat lantai dan atap, Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Revit 2023 versi *student*. Hasil dari pemodelan struktur dapat dilihat pada Gambar 1, hasil dari pemodelan fondasi dapat dilihat pada Tabel 1, hasil dari pemodelan kolom dapat dilihat pada Tabel 2, dan hasil dari pemodelan balok dapat dilihat pada Tabel 3.

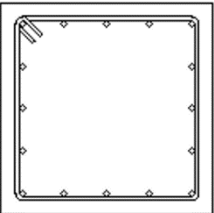
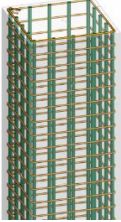
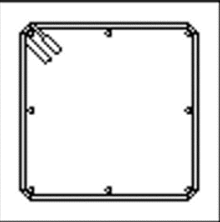
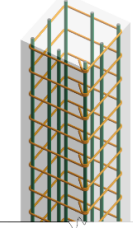

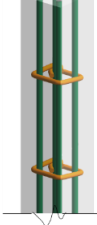


Gambar 1. Pemodelan Struktur Beton dan Tulangan

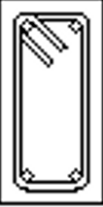
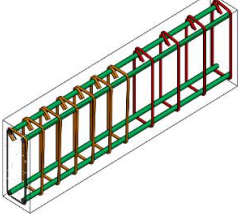

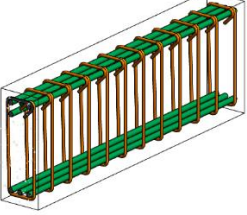
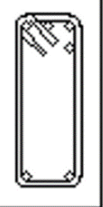
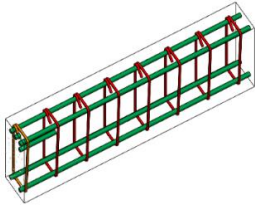
Tabel 1. Hasil Pemodelan Fondasi

Nama	Gambar DED	Hasil Pemodelan
Pilecap PC1		
Pilecap PC2		

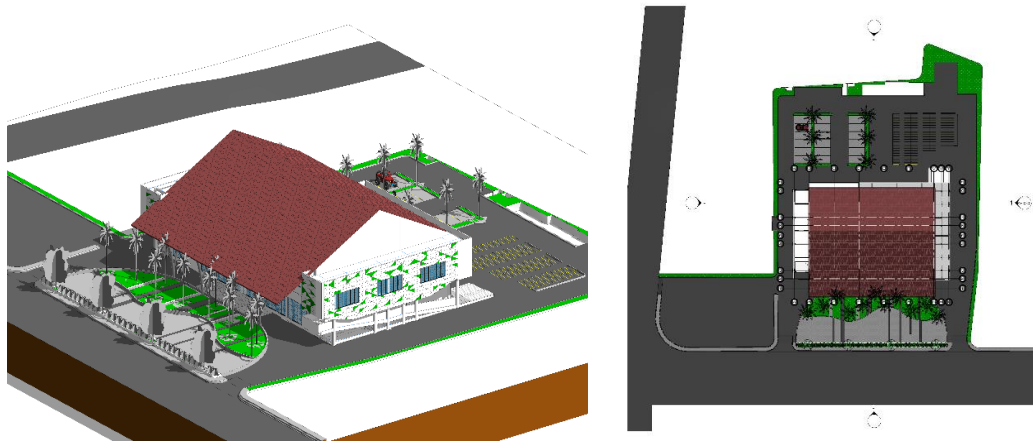
Tabel 2. Hasil Pemodelan Kolom

Nama	Gambar DED	Hasil Pemodelan
Kolom K1		
Kolom K2		
Kolom KP1		

Tabel 3. Hasil Pemodelan Balok

Nama	Gambar DED	Hasil Pemodelan
BL4		
BL2a		
BL2b		

Pemodelan arsitektur terdiri dari pemodelan dinding, *finishing* lantai, pintu, jendela, tangga, dan *ceiling*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Revit 2023 versi *student*. Hasil dari pemodelan arsitektur dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:

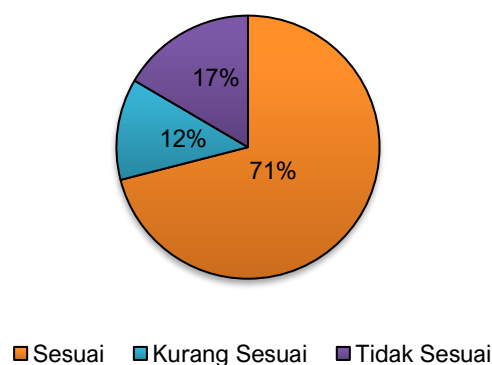


Gambar 2. Pemodelan Arsitektur

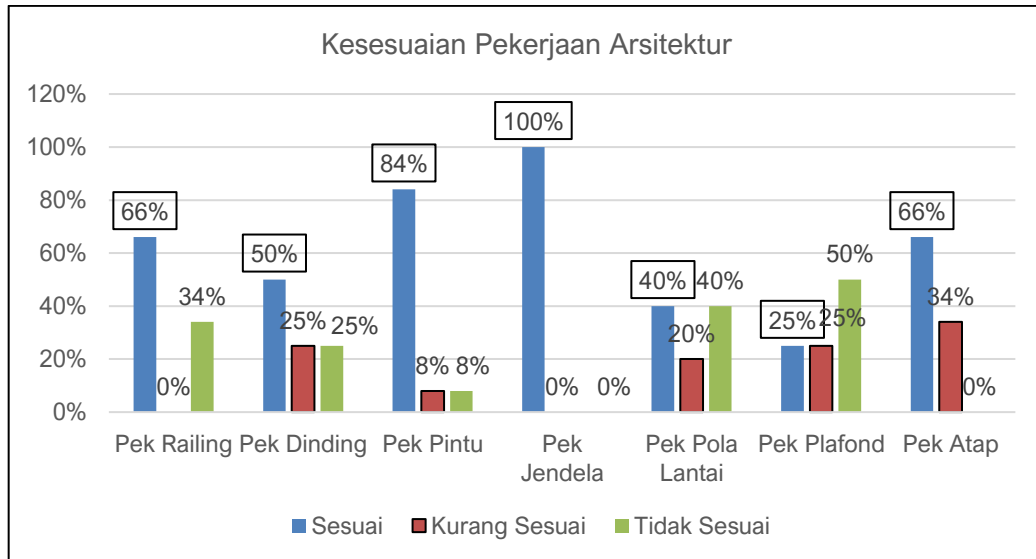
### Kesesuaian Pekerjaan

Seluruh hasil perhitungan perbedaan volume BQ eksisting dan volume Autodesk Revit yang telah dibuat presentase (%) diklasifikasikan menjadi tiga: (1) Sesuai; (2) Kurang Sesuai; (3) Tidak Sesuai. Item pekerjaan diklasifikasikan sesuai jika volume BQ dan volume Autodesk Revit memiliki perbedaan 0% sd 10%. Item pekerjaan diklasifikasikan kurang sesuai jika volume BQ dan volume Autodesk memiliki perbedaan 11% sd 20%. Item pekerjaan diklasifikasikan sesuai jika volume BQ dan volume Autodesk Revit memiliki perbedaan > 20%. Dari seluruh pekerjaan arsitektur dan struktur yang telah dimodelkan terdapat 71% pekerjaan sesuai dengan volume BQ, 12% kurang sesuai, dan 17% tidak sesuai. Diagram kesesuaian seluruh pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan grafik kesesuaian pekerjaan arsitektur pada Gambar 4 dan grafik kesesuaian pekerjaan struktur pada Gambar 5.

### Presentase Kesesuaian



Gambar 3. Diagram Kesesuaian Pekerjaan Arsitektur dan Struktur



Gambar 4. Grafik Kesesuaian Pekerjaan Arsitektur

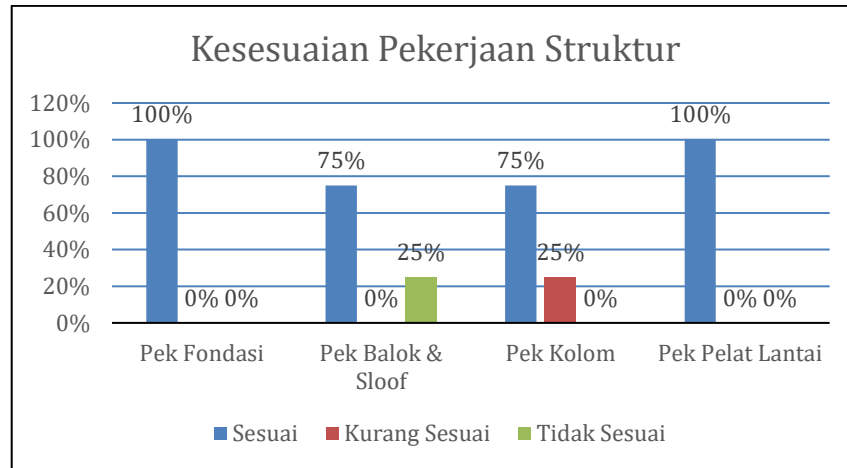
Pada pekerjaan *railing* perbedaan volume terjadi karena pada BQ eksisting panjang *handrail* dan *railing* dihitung dari tampak atas sehingga panjang yang memiliki kemiringan dianggap datar sedangkan pada Autodesk Revit panjangnya dihitung sesuai dengan bentuk aslinya, sehingga bagian yang memiliki kemiringan dihitung sesuai dengan panjang kemiringan tersebut. Pada pekerjaan dinding di BQ eksisting perhitungan volume lantai 1 ketinggiannya adalah mengikuti ketinggian lantai 1 yaitu 4.20 m sedangkan pada revit ketinggiannya adalah di atas level *sloof* yaitu 5.05 m, sehingga perhitungan pada Autodesk Revit lebih besar.

Pada pemodelan pintu terdapat perbedaan volume yang diperoleh antara *software* Autodesk Revit dan BQ. Pada BQ eksisting terjadi misinterpretasi DED sehingga tidak terdapat item pintu P9 sedangkan pada revit dimodelkan pintu P9 yang jumlahnya 4 buah pintu. Pada Autodesk Revit jumlah P1 hanya terdapat 4 buah pintu, namun di BQ terdapat 5 pintu. Hal ini terjadi karena pada BQ terdapat kelebihan jumlah pintu yang seharusnya 4 buah dihitung 5 buah.

Pada pemodelan jendela tidak terdapat perbedaan volume yang diperoleh antara *software* Autodesk Revit dan volume BQ. Pada pemodelan lantai perbedaan volume terjadi karena perhitungan pada Autodesk Revit setelah dikurangi dengan kolom dan dinding sedangkan pada BQ tidak, sehingga volume pada BQ lebih besar. Pada pemodelan plafond perbedaan volume terjadi karena perhitungan pada Autodesk Revit volumenya adalah hasil pengurangan dengan kolom dan dinding sedangkan pada BQ tidak, sehingga volume pada BQ lebih besar.

Pada pemodelan atap terdapat perbedaan volume yang diperoleh antara *software* Autodesk Revit dan volume BQ pada proyek, hal ini karena dimungkinkan pada BQ panjang *lisplank* dihitung dari tampak atas sehingga panjang yang memiliki kemiringan dianggap datar, sedangkan pada revit panjangnya dihitung sesuai dengan bentuk aslinya, sehingga bagian yang memiliki kemiringan dihitung sesuai dengan panjang kemiringan tersebut.





Gambar 5. Grafik Kesesuaian Pekerjaan Struktur

Pada pemodelan fondasi, terjadi perbedaan volume dikarenakan: (1) pada perhitungan BQ ketinggian *borepile* dianggap sama yaitu setinggi 9,1 m; (2) perbedaan volume terjadi karena misinterpretasi DED sehingga jenis *pile cap* pada BQ terdapat satu tipe sedangkan pada pemodelan *software* Autodesk Revit terdapat dua jenis *pile cap*; (3) ketinggian *borepile* disesuaikan dengan level yang ada pada gambar DED yaitu 7,2 m untuk tipe 2 dan 9,1 m untuk tipe 1. Pada pemodelan kolom, perbedaan volume terjadi karena misinterpretasi DED yang menyebabkan *error* perhitungan pada *software* Autodesk Revit dan volume BQ eksisting. Perbedaan terjadi karena level kolom pada perhitungan BQ berbeda dengan pemodelan di Autodesk Revit, pada BQ level kolom lantai 1 adalah 1+4.20 m, namun 1+4.20 m belum mencapai level fondasi sehingga kolom tidak menempel pada fondasi, sedangkan pada pemodelan Revit level kolom lantai 1 adalah +4.20 m ditambah dengan 0.85 m untuk mencapai fondasi sehingga membuat perhitungan kolom di Revit menjadi lebih besar karena ketinggian kolom level 1 menjadi lebih tinggi, bukan +4.20 m melainkan +5.05 m dan secara otomatis berat tulangan menjadi lebih besar.

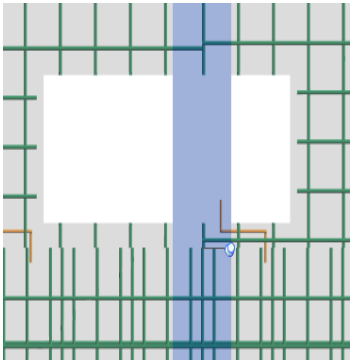
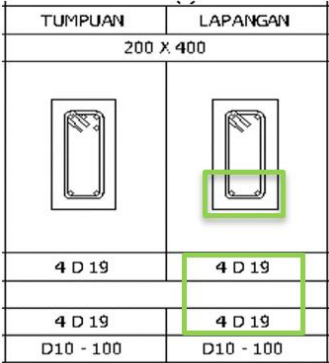
Pada detail balok, terjadi ketidaksesuaian antara penulisan keterangan detail tulangan dan gambar detail balok. Hal ini mengakibatkan berat tulangan pada BQ menjadi lebih besar. Pada BQ perhitungan volume beton dilakukan dari as ke as, sehingga hasilnya akan lebih besar karena jaraknya lebih panjang, sedangkan pada Revit perhitungan volume sesuai dengan panjang balok sehingga tidak ada *double* volume dengan kolom yang membuat hasil volumenya lebih kecil. Pada pemodelan pelat lantai, perbedaan volume terjadi pada pekerjaan penulangan, hal ini karena pada lantai atap yaitu dak beton perhitungan tulangannya tidak terhitung, sehingga berat tulangan pada BQ menjadi lebih kecil.

### Hasil Kolaborasi

Setelah gambar 2D dimodelkan kembali menjadi 3D pada *software* Revit, terdapat beberapa bentrokan dan perbedaan yang terjadi pada Tabel 4 berikut ini:



Tabel 4 Hasil kolaborasi pekerjaan arsitektur dan struktur

No	Gambar	Error	Keterangan
1		Pada lantai 2 terdapat balok yang saling bersinggungan dengan <i>shaft</i> .	Pada penelitian ini tidak dilakukan pemodelan MEP (Mekanikal, Elektrikal, Plumbing) sehingga tidak diketahui isi dari shaft tersebut apakah perlu dilakukan review desain atau tidak, karena jika pada shaft tersebut terdapat pipa ataupun alat ME yang lain maka dalam pelaksanaan dilapangan pipa tersebut perlu di bengkokkan atau diubah desain baloknya.
2		Pada detail tulangan, tulangan atas dan bawah dianggap sama yaitu 4D19, namun pada gambar tulangan hanya ada 2 tulangan bukan 4 tulangan. Hal ini sering terjadi karena pada gambar 2D cad tidak ada <i>warning</i> apabila terdapat ketidaksesuaian, namun pada Revit setiap terdapat ketidaksesuaian langsung muncul <i>warning error</i> sehingga kesalahan dapat diketahui.	Pada saat melakukan penggambaran dan penulisan keterangan harus teliti, karena estimator cenderung melihat keterangan untuk memperoleh volume, sehingga perlu diketahui bahwa keterangan yang dituliskan tidak selalu benar dan tetap harus melihat gambar.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Dari seluruh pekerjaan yang dihitung terdapat 71% pekerjaan sesuai BQ, 12% kurang sesuai, dan 17% pekerjaan tidak sesuai.
- 2) Rata-rata perbedaan pada pekerjaan arsitektural adalah 6%, sedangkan rata-rata perbedaan pada pekerjaan struktur adalah 5%.
- 3) Rata-rata perbedaan pada pekerjaan fondasi adalah 2%, pekerjaan *sloof* dan balok 0%, pekerjaan kolom 1%, pekerjaan pelat lantai 3%, pekerjaan *railing* 15%, pekerjaan dinding 7%, pekerjaan pintu 7%, pekerjaan jendela 0%, pekerjaan pola lantai 5%, pekerjaan plafond 17%, dan pekerjaan atap 6%.
- 4) *Software* Autodesk Revit mampu meminimalisir kesalahan perhitungan volume pekerjaan seperti item pekerjaan yang dapat terhitung dua kali.
- 5) Kolaborasi antara bagian arsitektur dan struktur pada RSB Berau menggunakan *software* Autodesk Revit mampu meminimalisir terjadinya *clash* seperti *sloof* yang selevel dengan lantai.

Sedangkan saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut.

- 1) Pemodelan yang dilakukan harus benar dan sesuai agar volume material yang diperoleh akurat.
- 2) *Software Autodesk Revit 2023* yang digunakan saat ini masih berat untuk penulisan dimungkinkan masih dalam tahap pengembangan sebelum *launching* tahun 2023, sehingga untuk penelitian lanjutan mungkin dapat menggunakan *software* lain selain Revit yang berbasis *open BIM*.
- 3) Saat melakukan perhitungan volume harus teliti dalam penggunaan satuan, karena saat satuan berbeda volume dapat berbeda.
- 4) Penelitian selanjutnya dapat dilakukan secara menyeluruh untuk semua bidang, baik arsitektur, struktur, dan MEP.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. Sangadji, S. Kristiawan dan I. Saputra, "Pengaplikasian Building Information Modeling (BIM) Dalam Desain Bangunan Gedung," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no. 4, pp. 381-386, 2019.
- [2] R. Apriansyah, *Implementasi Konsep Building Information Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural*, 2015.
- [3] A. Nugraha, *Implementasi Konsep Building Information Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Plumbing*, 2020.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 22/PRT/M/2018 Tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara*, 2018.
- [5] BIM PUPR, "Implementasi BIM di Indonesia untuk Proyek Bangunan Gedung," 31 Agustus 2019. [Online]. Available: <http://bim.pu.go.id/berita/baca/42/implementasi-bim-di-indonesia-untuk-proyek-bangunan-gedung.html>.
- [6] N. Nelson dan J. Sekarsari, "Faktor yang Mempengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 2, no. 4, pp. 241-248, 2019.
- [7] A. Fikri, *Efektivitas Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur dengan Menggunakan Bantuan Building Information Modeling (BIM)*, 2022.
- [8] S. B. Rayendra, "Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling untuk Pra-Konstruksi," dalam *Simposium Nasional RAPI XIII - 2014 FT UMS*, 2014.
- [9] R. Ferial, B. Hidayat, R. Pesela dan D. Daoed, "Quantity Take-Off Berbasis Building Information Modeling (BIM) Studi Kasus: Gedung BAPPEDA Padang," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 17, no. 3, pp. 228-238, 2021.
- [10] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 1 Tahun 2022, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, 2022.