

ANALISIS PERBANDINGAN QTO ANTARA METODE KONVENTSIONAL DAN BIM PADA STRUKTUR GEDUNG KULIAH BARU IAKN TARUTUNG

Aulia Imansyah Putra¹, Dina Tri Septiningtiyas², Palghe Tobing³, Lisherly Reginancy Debataraja⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Medan

auliaimansyahputra@students.polmed.ac.id¹, dinatriseptiningtiyas@polmed.ac.id²,
palghetobing@polmed.ac.id³, lisherlyreginancydebataraja@polmed.ac.id⁴

ABSTRAK

Perkembangan teknologi konstruksi menuntut metode perhitungan yang lebih akurat dan efisien dalam penyusunan Quantity Take Off (QTO). Penerapan Building Information Modelling (BIM) dalam industri konstruksi semakin berkembang, khususnya dalam perhitungan volume pekerjaan struktur. Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung yang berlokasi di Jl. Raya Tarutung Siborongborong, Km. 11 Silangkitang, Desa Sipahutar, Kec. Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Proyek ini memiliki luas bangunan 5.627 m² yang terdiri dari dua gedung, yaitu gedung 1 dengan tiga lantai dan gedung 2 dengan dua lantai. Tujuan penelitian ini adalah menghitung perbandingan volume hasil QTO pekerjaan struktur menggunakan metode konvensional dan BIM, serta mengetahui selisih Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan teknik pengumpulan data berupa studi pustaka, pengumpulan data teknis, pemodelan menggunakan software Revit, dan perbandingan hasil perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan adanya selisih yang bervariasi. Perhitungan volume beton pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 1.19%, Perhitungan pembesian pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 10.12%, dan perhitungan bekisting pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 6.29%. Selisih volume bekisting sebesar 8,26% dan 3,61%. Selisih RAB pekerjaan struktur sebesar Rp 262.503.049,54. Dari hasil rekap estimasi biaya, perhitungan menggunakan volume Revit menghasilkan biaya lebih kecil sebesar 5,64%.

Kata Kunci: Kuantitas Lepas Landas, Pemodelan Informasi Bangunan, Revit, RAB.

ABSTRACT

The development of construction technology demands more accurate and efficient calculation methods in the preparation of Quantity Take Off (QTO). The application of Building Information Modeling (BIM) in the construction industry is increasingly developing, especially in calculating the volume of structural work. This research was conducted on the New Lecture Building Construction project of IAKN Tarutung located on

Jl. Raya Tarutung Siborongborong, Km. 11 Silangkitang, Sipahutar Village, Sipoholon District, North Tapanuli Regency, North Sumatra. This project has a building area of 5,627 m² consisting of two buildings, namely building 1 with three floors and building 2 with two floors. The purpose of this study is to calculate the comparison of the volume of QTO results of structural work using conventional and BIM methods, and to determine the difference in the Cost Budget Plan (RAB) of structural work. The research method uses a quantitative approach with data collection techniques in the form of literature studies, technical data collection, modeling using Revit software, and comparison of calculation results. The results of the study show varying differences. The calculation of concrete volume in structural work has a difference of 1.19%, the calculation of reinforcement in structural work has a difference of 10.12%, and the calculation of formwork in structural work has a difference of 6.29%. The difference in formwork volume is 8.26% and 3.61%. The difference in RAB of structural work is Rp 262,503,049.54. From the results of the cost estimation recap, the calculation using Revit volume results in a lower cost of 5.64%.

Keywords: *Quantity Take Off, Building Information Modeling, Revit, RAB.*

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proyek konstruksi adalah serangkaian kegiatan untuk membangun fasilitas atau infrastruktur di suatu wilayah atau daerah. Perkembangan proyek konstruksi saat ini berjalan dengan pesat terutama di Indonesia, karena merupakan bagian terpenting dalam pembangunan suatu daerah. Pengembangan yang kompleks berjalan seiring dengan perencanaan biaya. Dalam industri konstruksi, menghitung *Quantity Take Off* (*QTO*) merupakan langkah penting dalam menentukan efisiensi dan keakuratan biaya proyek. Metode konvensional dalam penyusunan *QTO* yang masih banyak digunakan saat ini sering menghadapi beberapa tantangan, termasuk tingkat kesalahan manusia, ketidakakuratan dalam estimasi material, dan pemrosesan data yang memakan waktu.

Banyak cara yang bisa dilakukan untuk menghitung volume, salah satunya yaitu berdasarkan gambar dari *Autocad* dan perhitungan dibantu dengan *Microsoft Excel*. Dalam metode konvensional, *QTO* dilakukan secara manual dengan membaca gambar desain secara detail untuk menghitung jumlah material yang diperlukan. Proses ini tidak hanya memakan waktu lama tetapi juga rentan terhadap kesalahan manusia. Salah satu teknologi populer dalam industri konstruksi adalah *Building Information Modeling* atau biasa dikenal dengan *BIM*. *BIM* merupakan sebuah teknologi yang memudahkan para profesional konstruksi untuk menciptakan model tiga dimensi (3D) yang dapat menggambarkan seluruh aspek dari pekerjaan konstruksi. Teknologi ini membantu

kolaborasi, visualisasi, dan pengelolaan proyek memudahkan pekerja sehingga dalam penjadwalan, desain, implementasi, dan manajemen fasilitas metode konvensional.

Salah satu software yang sudah menganut *BIM* adalah *Autodesk Revit*. *Revit* adalah perangkat lunak *BIM* yang dikembangkan oleh *Autodesk* untuk mendukung perancangan, pemodelan, dan dokumentasi bangunan secara digital. *Revit* memungkinkan arsitek, insinyur, dan profesional konstruksi untuk membuat model 3D yang akurat, mengelola informasi proyek, serta melakukan analisis dan simulasi bangunan sebelum proses konstruksi dimulai (*Autodesk*, 2023). Pekerjaan struktur suatu bangunan merupakan komponen pekerjaan yang membutuhkan ketelitian lebih ketika perencanaan yang dimungkinkan bisa dianalisis dengan menerapkan konsep *BIM* dengan menggunakan software *Autodesk Revit* guna mendapatkan pemodelan dalam bentuk 3D dan mampu menyediakan hasil analisis *QTO* lebih mendetail.

Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung yang terletak di Jl. Raya Tarutung Siborongborong, Km. 11 Silangkitang, Desa Sipahutar, Kec. Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara dengan luas bangunan 5.627 meter persegi terdiri dari 2 gedung, yaitu gedung 1 yang terdiri dari 3 lantai, dan gedung 2 yang terdiri dari 2 lantai. Sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2018 lampiran IV Tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara memerintahkan untuk bangunan gedung negara tidak sederhana lebih dari 2 lantai dan memiliki luas di atas 2.000 meter persegi, diharuskan menggunakan BIM. Penelitian ini belum menerapkan konsep BIM dalam penggerjaannya, maka dari uraian tersebut, penulis tertarik mengambil judul skripsi “Analisis Perbandingan QTO Antara Metode Konvensional Dan *BIM* Pada Struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan Software *Autodesk Revit*

Rumusan Masalah

1. Berapa besar volume hasil QTO pekerjaan struktur pada Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM ?
2. Berapa besar perbandingan volume hasil QTO pekerjaan struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM ?
3. Berapa besar selisih RAB pekerjaan struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM ?

Tujuan Penelitian

1. Untuk menghitung berapa besar volume hasil QTO pekerjaan struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM;
2. Untuk menghitung berapa besar perbandingan perhitungan volume hasil QTO pekerjaan struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM;
3. Untuk menghitung berapa besar selisih RAB pekerjaan struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan cara konvensional dan BIM.

TINJAUAN PUSTAKA

Building Information Modelling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) adalah teknologi di bidang konstruksi, arsitektur, dan rekayasa yang digunakan sebagai sarana untuk membuat 3D model digital yang berisi pembuatan perencanaan, perancangan, pelaksanaan pembangunan, serta pemeliharaan bangunan dan infrastrukturnya. *BIM* adalah seperangkat teknologi, proses, dan kebijakan di mana semua proses bekerja sama dan diintegrasikan ke dalam model digital. Menggunakan *BIM* dalam konstruksi, perencanaan, penyediaan, dan pelaksanaan proses pekerjaan konstruksi dapat dikoneksikan dengan mudah. Selain itu, hal ini memungkinkan para pelaku yang terlibat dalam proyek untuk berkolaborasi (Eastman et al., 2011). Secara menyeluruh *BIM* dapat menceritakan alur hidup dari suatu aset, yang meliputi pembentukan dan pemrosesan informasi digital mengenai aset yang sedang dikerjakan. *BIM* ialah satu kesatuan yang menjadi acuan dunia. Informasi digital ini meliputi informasi grafis dan non-grafis pada repositori umum, *Common Data Environment* (CDE).

Manfaat BIM

Menurut Rayendra dan Soemardi (2014) manfaat dari layanan *BIM* adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kolaborasi antara pemilik/owner, kontraktor, dan konsultan untuk meminimalisir jumlah waktu yang dibutuhkan untuk desain lifecycle.
2. Dokumentasi yang didapatkan akurat dan berkualitas tinggi dari proses konstruksi.
3. Dapat mengurangi limbah bahan konstruksi serta mengurangi biaya proyek.

4. Digunakan dalam seluruh siklus hidup bangunan, termasuk fasilitas operasional dan pemeliharaan.
5. Meningkatkan manajemen konstruksi.

Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah salah satu program berbasis BIM yang dapat digunakan dalam proses perhitungan volume (Fikri dkk., 2022). Karena awalnya dibuat oleh Charles River pada tahun 1997, software Revit dirilis pada tahun 2000 dan memiliki kemampuan banyak cabang ilmu hingga Autodesk mengadopsinya pada tahun 2002. Revit adalah program desain model 3D yang dapat menangani desain mekanikal, elektrikal, dan persiapan. Selain itu, hasil QTO dihasilkan dengan menggunakan software Revit, yang mengurangi pemborosan dan meningkatkan nilai proyek (Apriansyah, 2021).

Quantity Take Off

QTO merupakan sebuah proses yang berfungsi sebagai pengukur suatu kuantitas dari item pekerjaan berdasarkan gambar maupun kondisi aktual di lapangan. *QTO* digunakan untuk menentukan suatu volume dari gambar kerja yang direncanakan lalu nantinya akan dimasukkan kedalam *Bill of Quantity (BOQ)* (Travis, 2021). Keakuratan *QTO* sangat berguna bagi para kontraktor untuk mencari nilai paling ekonomis yang dapat meningkatkan keuntungan (Laorent, et al., 2016).

Metode konvensional yang diterapkan dalam *QTO* kurang efisien terhadap waktu dan kurang akurat karena dalam perhitungan volume pekerjaan dilakukan secara manual. Metode konvensional membutuhkan SDM dan pengeluaran biaya yang lebih banyak dibandingkan metode *BIM* karena dalam perencanaannya dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* sebagai alat bantu dalam perhitungan volume pekerjaan.

QTO dapat pula dikerjakan menggunakan metode *BIM*. Data geometrik yang terdapat dalam model dapat dilakukan perhitungan volume dengan menggunakan *software* yang berbasis *BIM*. Salah satu *software* yang berbasis *BIM* adalah *Autodesk Revit*. *Autodesk Revit* merupakan *software* yang digunakan untuk membuat desain bangunan, kuantitas, fase proyek dan lain-lain dalam suatu proyek konstruksi. *QTO* adalah suatu pengukuran kuantitas material dalam suatu proyek konstruksi secara detail dengan beberapa metode. *QTO* memerlukan standar pengukuran yang harus diperhatikan seperti ketepatan pengukuran volume pekerjaan dan deskripsi item pekerjaan.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Menurut Ibrahim (1993) RAB merupakan suatu perhitungan yang menentukan jumlah anggaran yang dibutuhkan untuk upah, bahan, dan biaya lainnya terkait dengan proyek yang sedang dibangun. Menurut Djojowirono (1984) RAB proyek merupakan suatu perhitungan biaya yang dibutuhkan tiap pekerjaan pada sebuah proyek konstruksi untuk mendapatkan total biaya yang dibutuhkan dalam penyelesaian proyek.

Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, dikarenakan perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja. Biaya adalah jumlah masing-masing hasil perkiraan volume dengan harga satuan pekerjaan yang bersangkutan.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data yang terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder

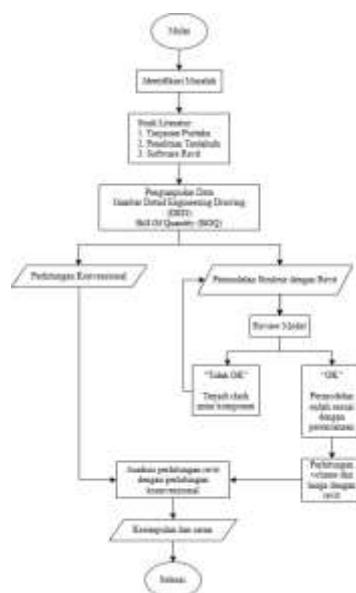
1. Data *primer*

Data primer pada penelitian ini berupa data kelebihan dan kekurangan BIM *Autodesk Revit* dibandingkan dengan metode konvensional yang diperoleh dari hasil pengkajian studi-studi literatur penelitian sebelumnya;

2. Data *sekunder*

Data sekunder berupa data yang diperoleh dari penyedia jasa pada pekerjaan tersebut berupa gambar DED dan volume pekerjaan Pembangunan Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung.

Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alur penelitian berikut



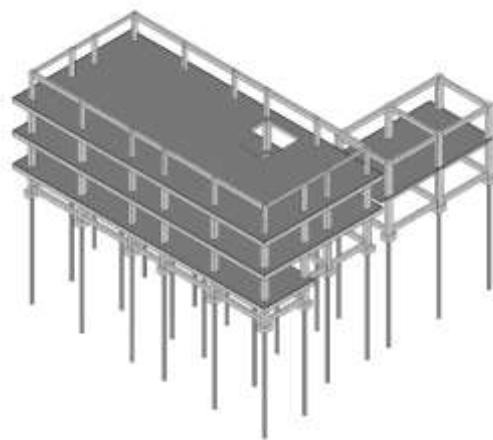
Gambar 1 Diagram Alur Penelitian
Sumber : Pribadi

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian yaitu hasil analisis, perancangan dan keluaran dari penelitian (Aplikasi) yang dapat dilengkap dengan tabel, grafik atau gambar. Bagian dari pembahasan memaparkan hasil pengolahan data dan interpretasi hasil penelitian yang diperoleh serta mengaitkan dengan sumber rujukan yang relevan.

A. Pemodelan Struktur Bangunan

Pemodelan struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan software Autodesk Revit 2024.



Gambar 2. Pemodelan 3D Struktur Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung

Sumber : Autodesk Revit 2024.1, Pribadi

B. Analisa Hasil Perhitungan

Seluruh hasil perhitungan volume pekerjaan struktur pada proyek Pembangunan Gedung Kuliah Baru IAKN Tarutung menggunakan Software Autodesk Revit 2024. Volume yang didapatkan dari Autodesk Revit 2024 yang berbasis BIM akan dibandingkan dengan volume dari proyek hasil perhitungan secara konvensional. Untuk mempermudah perbandingan, hasil dari perbandingan diubah menjadi bentuk persentase (%) dengan rumus:

$$\text{Persentase volume} = \left(\frac{\text{Volume BIM} - \text{Volume BOQ}}{\text{Volume BOQ}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Tampilan rekapitulasi hasil perbandingan volume dan harga yang didapat dari Autodesk Revit 2024 berbasis BIM dan volume yang didapat dari proyek hasil perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel

Tabel 1 Rekapitulasi Perbandingan Volume

| No | ITEM PEKERJAAN | VOLUME | BIM | SAT | PERSEN (%) |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|---------|-----|------------|
| B PEKERJAAN STRUKTUR GEDUNG 1 | | | | | |
| B1 PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH | | | | | |
| 1 | Pekerjaan Cuttingan Tanah | | | | |
| 2 | Pekerjaan Pondasi Bor Pile Ø 40 cm | | | | |
| a. | Pengeboran Pondasi Bor Pile Ø 40cm | | | | |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 D14 mm | 4279,46 | 4002,00 | KG | 6,48 |
| c. | Pekerjaan Pembesian Beugel Spiral BJTP 280 Ø 8 mm | 776,27 | 870,48 | KG | -12,14 |
| d. | Pekerjaan Pengecoran FC 30 Pondasi Bor Pile | 39,19 | 40,84 | M3 | -4,20 |
| 3 | Pekerjaan Pile Cup 120 x 100 x 70 | | | | |
| a. | Pekerjaan Galian Tanah Pile Cup | 0,00 | - | | |
| b. | Pekerjaan Pembesian Pile BJTS 420 B D 14 mm | 2148,78 | 2253,84 | KG | -4,89 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Pile Cup | 73,92 | 76,12 | M2 | -2,97 |
| d. | Pekerjaan Pengecoran FC 30 Mpa Pile Cup | 20,16 | 20,76 | M3 | -3,00 |
| 4 | Pekerjaan Balok Sloof 30 x 60 | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 1536,13 | 1396,82 | KG | 9,07 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 636,30 | 403,33 | KG | 36,61 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Sloof | 145,99 | 137,75 | M2 | 5,64 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 17,70 | 16,53 | M3 | 6,63 |
| 5 | Pekerjaan Kolom Kantilever K1 (50 X 70) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 1660,42 | 1644,76 | KG | 0,94 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 230,26 | 227,01 | KG | 1,41 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K1 50 x 70 | 87,36 | 79,23 | M2 | 9,31 |
| d | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K1 50 x 70 | 12,74 | 12,76 | M3 | -0,17 |
| B2 PEKERJAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG 1 | | | | | |
| B2.1 STRUKTUR LANTAI 1 | | | | | |
| 1 | Pekerjaan Kolom Struktur K1 (50 x 70) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 4015,94 | 3754,84 | KG | 6,50 |

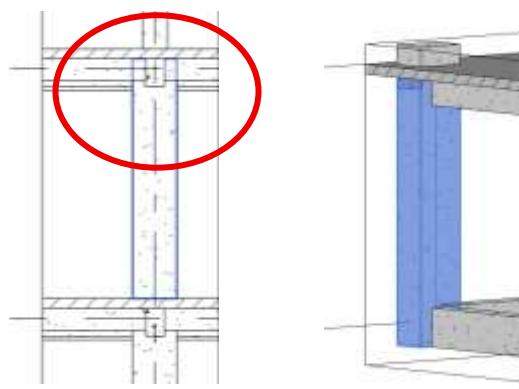
| | | | | | |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|-----------|-------------|--------|
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 1196,56 | 752,60 | KG | 37,10 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K1 50 x 70 | 268,80 | 224,87 | M2 | 16,34 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K1 50 x 70 | 33,60 | 35,26 | M3 | -4,93 |
| 2 | Pekerjaan Balok Struktur Induk B1 (30 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 3293,13 | 2998,45 | KG | 8,95 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 1309,98 | 882,76 | KG | 32,61 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Sloof | 258,96 | 268,99 | M2 | -3,88 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 29,13 | 31,69 | M3 | -8,79 |
| 3 | Pekerjaan Balok Struktur Anak B2 (20 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 525,22 | 576,05 | KG | -9,68 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 166,11 | 183,26 | KG | -10,33 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B2 20 x 40 | 155,84 | 151,64 | M2 | 2,70 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok B2 20 x 40 | 11,24 | 11,04 | M3 | 1,80 |
| 4 | Pekerjaan Plat Lantai t=15 cm | | | | |
| a. | Pekerjaan Bekisting Plat lantai | 240,40 | 228,86 | KG | 4,80 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Plat Lantai 2 Lapis Ø 10 -150 mm | 3676,75 | 4022,92 | KG | -9,42 |
| c. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Plat Lantai t = 15 cm | 36,75 | 40,64 | M3 | -10,60 |
| B2.1 | STRUKTUR LANTAI 2 | | | | |
| 1 | Pekerjaan Kolom Struktur K1 (50 x 70) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 4015,94 | 3381,21 | KG | 15,81 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 1196,56 | 663,77 | KG | 44,53 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K1 50 x 70 | 268,80 | 224,87 | M2 | 16,34 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K1 50 x 70 | 33,60 | 33,31 | M3 | 0,86 |
| 2 | Pekerjaan Balok Struktur Induk B1 (30 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 3293,13 | 3081,12 | KG | 6,44 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 1309,98 | 904,50 | KG | 30,95 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok | 258,96 | 236,43 | M2 | 8,70 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 29,13 | 27,26 | M3 | 6,42 |
| 3 | Pekerjaan Balok Struktur Anak B2 (20 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 1189,14 | 1168,13 | KG | 1,77 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 675,09 | 658,84 | KG | 2,41 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B2 20 x 40 | 320,81 | 305,63 | M2 | 4,73 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok B2 20 x 40 | 23,85 | 22,75 | M3 | 4,60 |
| 4 | Pekerjaan Balok Janggut (15 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 570,04 | 560,42 | KG | 1,69 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 387,49 | 375,02 | KG | 3,22 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Janggut 15 x 60 | 120,38 | 118,37 | M2 | 1,67 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Janggut 15 x 60 | 7,50 | 7,88 | M3 | -5,13 |
| 5 | Pekerjaan Plat Lantai t=15 cm | | | | |
| a. | Pekerjaan Bekisting Plat lantai | 552,87 | 514,22 | M2 | 6,99 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Plat Lantai 2 Lapis Ø 10 -150 mm | 10820,09 | 9021,42 | KG | 16,62 |
| c. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Plat Lantai t = 15 cm | 96,03 | 91,49 | M3 | 4,72 |
| B2.1 | STRUKTUR LANTAI 3 | | | | |
| 1 | Pekerjaan Kolom Struktur K2 (40 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 972,17 | 923,45 | KG | 5,01 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 181,23 | 150,07 | KG | 17,19 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K2 40 x 40 | 80,58 | 78,95 | M2 | 2,02 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K2 40 x 40 | 9,04 | 8,60 | M3 | 4,86 |
| 2 | Pekerjaan Balok Struktur Induk B1 (30 x 60) | | | | |
| a. Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 3293,13 | 3081,12 | KG | 6,44 | |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 1309,98 | 904,50 | KG | 30,95 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok | 258,96 | 236,43 | M2 | 8,70 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 29,13 | 27,26 | M3 | 6,42 |
| 3 | Pekerjaan Balok Struktur Anak B2 (20 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 1189,14 | 1168,13 | KG | 1,77 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 675,09 | 658,84 | KG | 2,41 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok | 320,81 | 305,63 | M2 | 4,73 |

| | | | | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------|---------|----|--------|
| | d. Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 23,85 | 22,75 | M3 | 4,60 |
| 4 | Pekerjaan Balok Janggut (15 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 570,04 | 560,42 | KG | 1,69 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 387,49 | 375,02 | M2 | 3,22 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Janggut 15 x 60 | 120,38 | 118,37 | M3 | 1,67 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Janggut 15 x 60 | 7,50 | 7,88 | M3 | -5,13 |
| 5 | Pekerjaan Plat Lantai t=15 cm | | | | |
| a. | Pekerjaan Bekisting Plat lantai | 552,87 | 514,22 | M2 | 6,99 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Plat Lantai 2 Lapis Ø 10 -150 mm | 10820,09 | 9021,42 | KG | 16,62 |
| c. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Plat Lantai t = 15 cm | 96,03 | 91,49 | M3 | 4,72 |
| 6 | Pekerjaan Balok Dudukan Kuda2 (30 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 1201,52 | 1119,52 | KG | 6,82 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 286,78 | 280,88 | KG | 2,06 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B2 30 x 60 | 98,52 | 94,25 | M2 | 4,34 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok KUDA2 30 x 60 | 11,24 | 11,31 | M3 | -0,62 |
| 7 | Pekerjaan Balok Dudukan Kuda2 (20 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 221,46 | 204,98 | KG | 7,44 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 74,64 | 72,48 | KG | 2,90 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B2 20 x 40 | 26,24 | 26,99 | M2 | -2,86 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok KUDA2 20 x 40 | 2,11 | 2,16 | M3 | -2,61 |
| E. PEKERJAAN STRUKTUR GEDUNG 2 | | | | | |
| E1 PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH | | | | | |
| 1 | Pekerjaan Pondasi Bor Pile Ø 40 cm | | | | |
| a. | Pengeboran Pondasi Bor Pile Ø 40cm | - | - | | |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B Ø 14 mm | 1054,86 | 1000,50 | KG | 5,15 |
| c. | Pekerjaan Pembesian Beugel Spiral BJTP 280 Ø 8 mm | 214,07 | 217,62 | KG | -1,66 |
| d. | Pekerjaan Pengecoran FC 30 Pondasi Bor Pile | 9,92 | 10,21 | M3 | -2,90 |
| 2 | Pekerjaan Pile Cup 120 x 100 x 50 | | | | |
| a. | Pekerjaan Galian Tanah Pile Cup | - | - | | |
| b. | Pekerjaan Pembesian Pile BJTS 420 B D 14 mm | 614,51 | 552,74 | KG | 10,05 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Pile Cup | 18,48 | 19,03 | M2 | -3,00 |
| d. | Pekerjaan Pengecoran FC 30 Mpa Pile Cup | 5,04 | 5,19 | M3 | -3,00 |
| 3 | Pekerjaan Balok Sloof 30 x 60 | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 879,12 | 684,32 | KG | 22,16 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 232,06 | 198,12 | KG | 14,63 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Sloof | 68,74 | 69,06 | M2 | -0,47 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Sloof | 8,13 | 8,29 | M3 | -2,05 |
| E2 PEKERJAAN STRUKTUR ATAS | | | | | |
| E2.1 PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 1 | | | | | |
| 1 | Pekerjaan Kolom Struktur K1 (50 x 70) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 1018,03 | 1065,53 | KG | -4,67 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 183,98 | 198,85 | KG | -8,08 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K1 50 x 70 | 62,68 | 56,65 | M2 | 9,63 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K1 50 x 70 | 9,55 | 9,01 | M3 | 5,63 |
| 2 | Pekerjaan Balok Struktur Induk B1 (30 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 559,44 | 684,92 | KG | -22,43 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 166,94 | 182,92 | KG | -9,57 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B1 30 x 60 | 50,66 | 47,81 | M2 | 5,61 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok B1 30 x 60 | 8,13 | 6,26 | M3 | 22,92 |
| 3 | Pekerjaan Balok Struktur Anak B2 (20 x 40) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 252,74 | 254,12 | KG | -0,54 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 70,61 | 72,22 | KG | -2,28 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B2 20 x 40 | 23,50 | 23,72 | M2 | -0,94 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok B2 20 x 40 | 1,70 | 1,69 | M3 | 0,64 |
| 4 | Pekerjaan Plat Lantai t=15 cm | | | | |
| a. | Pekerjaan Bekisting Plat lantai | 139,87 | 124,17 | M2 | 11,23 |

| | | | | | |
|-------------|----------------------------------------------------------|----------|----------|----|-------|
| b. | Pekerjaan Pembesian Plat Lantai 2 Lapis Ø 10 -150 mm | 2291,08 | 2101,74 | KG | 8,26 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Plat Lantai t = 15 cm | 20,47 | 21,00 | M3 | -2,60 |
| 4 | Pekerjaan Balok Janggutans (15 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 12 mm | 124,75 | 126,85 | KG | -1,68 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTP 280 Ø 8 mm | 76,49 | 79,16 | KG | -3,49 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok Janggutans | 24,85 | 25,16 | M2 | -1,25 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok Janggutans 15 x 60 | 1,53 | 1,63 | M3 | -6,54 |
| E2.2 | PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 2 | | | | |
| 1 | Pekerjaan Kolom Struktur K1 (50 x 70) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 420 B D 14 mm | 625,95 | 656,87 | KG | -4,94 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 148,85 | 154,43 | KG | -3,75 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Kolom K1 50 x 70 | 62,68 | 56,65 | M2 | 9,63 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa kolom K1 50 x 70 | 9,55 | 8,65 | M3 | 9,40 |
| 2 | Pekerjaan Balok Struktur Induk B1 (30 x 60) | | | | |
| a. | Pekerjaan Pembesian Besi Longitudinal BJTS 280 Ø 12 mm | 659,44 | 686,06 | KG | -4,04 |
| b. | Pekerjaan Pembesian Besi Beugel BJTP 280 Ø 8 mm | 196,94 | 201,14 | KG | -2,13 |
| c. | Pekerjaan Bekisting Balok B1 30 x 60 | 67,86 | 69,06 | M2 | -1,78 |
| d. | Pekerjaan Cor Beton Fc 30 Mpa Balok B1 30 x 60 | 8,13 | 8,29 | M3 | -2,05 |
| | BETON | 651,66 | 643,93 | | 1,19 |
| | BEKISTING | 5693,18 | 5350,01 | | 6,03 |
| | PEMBESIAN | 77597,16 | 69595,50 | | 10,31 |

Pada tabel 1 perbandingan di atas, total hasil perbandingan yang didapatkan dengan menggunakan Autodesk Revit berbasis BIM untuk pembetonan sebesar 1.19% yang artinya volume menggunakan BIM lebih kecil dibandingkan dengan volume yang didapat dari perencanaan, untuk bekisting didapat sebesar 6.03% yang artinya volume menggunakan BIM lebih kecil dibandingkan dengan volume yang didapat dari perencanaan, dan untuk pembesian didapat sebesar 10.31% yang artinya volume menggunakan BIM lebih kecil dibandingkan dengan volume yang didapat dari perencanaan.

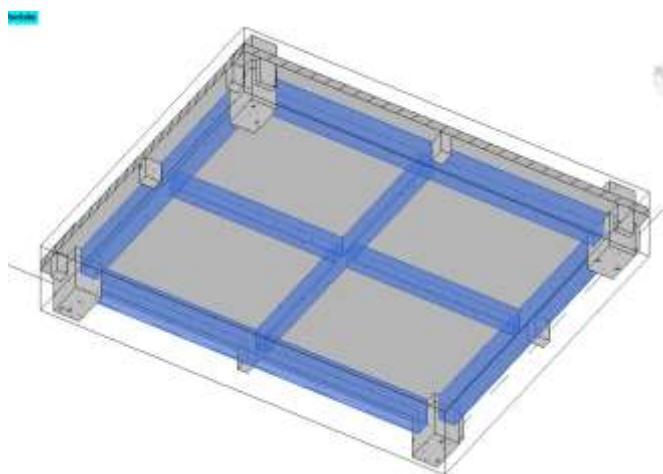
Perbedaan yang terjadi pada *BIM* disebabkan perbedaan tinggi kolom, pada BIM tinggi kolom secara otomatis menyesuaikan dengan penggambaran yang dilakukan dan juga terdapat bagian yang bertabrakan atau titik pertemuan dengan item plat lantai, bagian yang bertabrakan tersebut tidak terhitung dalam perhitungan volume kolom. Karena perhitungan volumenya sudah terhitung pada plat lantai. Sedangkan pada metode Konvensional perhitungan volume kolom dihitung penuh. Tanpa adanya pengurangan pada setiap titik pertemuan dengan item yang lain.



Gambar 3 Selisih volume kolom akibat adanya pelat lantai

Sumber : Autodesk Revit 2024.1, Pribadi

Pada pekerjaan bekisting perbedaan yang terjadi karena pada kolom *BIM* secara otomatis menghitung luas permukaan real dari kolom, termasuk potongan chamfer/slope pada tepi, Interupsi dari sambungan balok atau pelat, dan Bagian kolom yang tertutup elemen struktur lain (tidak perlu dibekisting). Pada balok, perhitungan volume bekisting sudah dikurangi dari bekisting pelat lantai dan bekisting dari kolom, sehingga hasil yang didapatkan menjadi lebih sedikit. Sementara pada proyek, penulis berasumsi bahwa perencana menghitung bekisting menurut luasannya langsung tanpa dikurangi dari volume bekisting kolom sehingga memiliki hasil yang lebih besar.

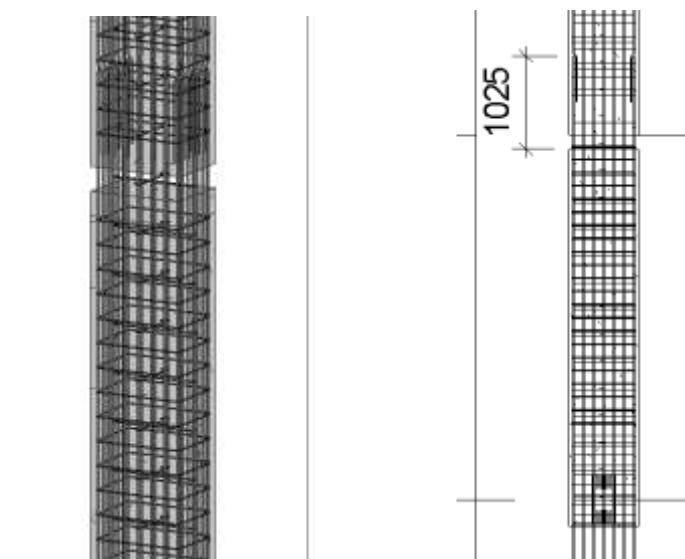


Gambar 4 Perhitungan volume bersih balok

Sumber : Autodesk Revit 2024.1, Pribadi

Hasil perbandingan pekerjaan pembesian yang didapat dari Autodesk Revit rata-rata memiliki selisih lebih banyak dibandingkan dengan hasil perhitungan konvensional

dari proyek. Perbedaan tersebut didapatkan karena perbedaan cara perhitungan pemasangan yang dilakukan penulis dengan perhitungan pemasangan yang didapat dari proyek. Penulis mengasumsikan bahwa perencana menghitung pekerjaan pemasangan tidak menghitung sambungan lewatan dan tekukan pada balok serta tidak menghitung overlap tulangan kolom, sementara pemodelan pemasangan penulis memperhatikan sambungan lewatan, tekukan, dan overlap tulangan.



Gambar 5 . Overlap tulangan utama kolom

Sumber : Autodesk Revit 2024.1, Pribadi

Hasil perbandingan yang didapat pada tabel di atas menunjukkan selisih antara perhitungan volume berbasis BIM dan perhitungan volume konvensional proyek tidak 100% sama. Namun hasil perhitungan BIM dianggap lebih akurat karena dapat dipertanggungjawabkan. Selain itu Model 3D yang dibuat dengan BIM terintegrasi satu sama lain dan mencakup semua informasi bangunan tersebut seperti volume, elevasi, dan lain-lain. Jika terjadi perubahan pada satu model 3D, maka BIM dengan otomatis akan melakukan perubahan informasi, sehingga hasil perhitungan volume dengan menggunakan BIM lebih akurat. Sementara itu perhitungan konvensional hanya berdasarkan gambar 2D dari Autocad dan Microsoft Excel yang mana lebih rentan terhadap human error.

Tabel 2 Rekapitulasi Perbandingan Harga

| No | Item Pekerjaan | Harga Satuan | Jumlah Harga | | BIM |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | | BOQ | | |
| I Struktur Gedung 1 | | | | | |
| | PEKERJAAN PONDASI BOR PILE | Rp 4.222.722,01 | Rp 405.279.796,24 | Rp 404.205.789,18 | |
| | PEKERJAAN SLOOF BETON BERTULANG | Rp 2.216.553,11 | Rp 131.973.885,27 | Rp 119.648.316,92 | |
| | PEKERJAAN KOLOM BETON BERTULANG | Rp 9.054.697,03 | Rp 819.198.282,44 | Rp 745.420.516,26 | |
| | PEKERJAAN BALOK BETON BERTULANG | Rp 22.659.941,41 | Rp 1.506.819.981,14 | Rp 1.433.937.068,23 | |
| | PEKERJAAN PLAT LANTAI | Rp 6.764.048,15 | Rp 1.213.679.463,60 | Rp 1.128.144.459,09 | |
| II Struktur Gedung 2 | | | | | |
| | PEKERJAAN PONDASI BOR PILE | Rp 4.222.722,01 | Rp 104.380.996,18 | Rp 100.610.903,94 | |
| | PEKERJAAN SLOOF BETON BERTULANG | Rp 4.708.002,35 | Rp 67.037.062,48 | Rp 59.310.350,97 | |
| | PEKERJAAN KOLOM BETON BERTULANG | Rp 4.527.348,52 | Rp 139.640.174,95 | Rp 137.393.632,30 | |
| | PEKERJAAN BALOK BETON BERTULANG | Rp 9.063.976,56 | Rp 148.611.408,17 | Rp 151.626.169,16 | |
| | PEKERJAAN PLAT LANTAI | Rp 2.254.682,72 | Rp 114.233.330,22 | Rp 108.054.125,11 | |
| | Total | | Rp 4.650.854.380,69 | Rp 4.388.351.331,15 | |
| | Selisih | | | Rp 262.503.049,54 | |
| | Persentase | | | | 5,64 |

Dari tabel 2 dapat dilihat selisih estimasi biaya antara menggunakan perhitungan volume dari Revit dan perhitungan volume dari proyek. Total estimasi harga yang diperoleh menggunakan perhitungan volume yang dihasilkan Revit adalah sebesar Rp 4.388.351.331,15, sedangkan total estimasi harga yang diperoleh menggunakan perhitungan volume dari proyek adalah sebesar Rp 4.650.854.380,69, terdapat pengehematan sebesar Rp 262.503.049,54. Dari hasil rekap estimasi biaya tersebut, perhitungan estimasi biaya menggunakan volume dari Revit lebih kecil 5,64% dari perhitungan estimasi biaya menggunakan volume dari proyek.

Estimasi biaya menggunakan BIM diperoleh lebih kecil karena volume pekerjaan yang dihasilkan lebih kecil dari volume pekerjaan dari proyek hal ini disebabkan karena dalam metode konvensional, sering kali terjadi perhitungan ganda pada area pertemuan antar elemen (misal, plat lantai yang bertemu balok), karena biasanya panjang atau tinggi elemen dihitung penuh tanpa memperhitungkan overlap atau pengurangan volume pada titik pertemuan. BIM secara otomatis mengurangi volume pada area yang saling beririsan, sehingga total volume menjadi lebih kecil dan lebih realistik. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi Building Information Modelling dapat mengefisiensikan biaya proyek. Dikarenakan apabila terjadi perubahan desain atau material pada model bangunan, maka

volume atau materialnya akan berubah secara otomatis karena setiap model yang di buat terdapat informasi yang terhubung dengan quantity take off.

C. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Volume hasil QTO pekerjaan struktur dengan menggunakan cara *BIM* didapat volume beton sebesar 643,93 m³, berat besi tulangan sebesar 71.422,47 kg, dan luas bekisting sebesar 4.433,12 m², dan volume pekerjaan struktur dengan menggunakan cara konvensional didapat volume beton sebesar 651,66 m³, berat besi tulangan sebesar 79.461,39 kg, dan luas bekisting sebesar 4.730,75 m². Perhitungan volume pekerjaan menggunakan cara *BIM* menghasilkan selisih dengan perhitungan konvensional, terdapat selisih yang cukup beragam. Perhitungan beton pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 1.19%, Perhitungan pembesian pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 10.31%, dan perhitungan bekisting pada pekerjaan struktur terdapat selisih sebesar 6.03%. Adanya perbedaan yang terjadi akibat pengurangan pada komponen setiap struktur yang berpotongan, sehingga software akan membaca secara tepat komponen yang termasuk kedalam struktur tersebut. Total estimasi harga yang diperoleh menggunakan metode *BIM* adalah sebesar Rp 4.388.351.331,15, sedangkan total estimasi harga yang diperoleh menggunakan perhitungan volume dari proyek adalah sebesar Rp 4.650.854.380,69, terdapat pengehematan sebesar Rp 262.503.049,54. Dari hasil rekap estimasi biaya tersebut, perhitungan estimasi biaya menggunakan volume dari *Revit* lebih kecil 5.64% dari perhitungan estimasi biaya menggunakan volume dari proyek, dimana estimasi biaya yang di hasilkan dari implementasi *BIM* menggunakan software *Revit* 2024 lebih kecil dari pada estimasi biaya secara konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa dalam implementasi *BIM* pada pelaksanaan konstruksi dapat meminimalisir waste pada proyek.

Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dalam implementasi *BIM*, diharapkan mengimplementasikan *BIM* bukan hanya untuk memperoleh volume saja tapi keseluruhan aspek pada konstruksi seperti pekerjaan arsitektural dan MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing), serta penerapan *BIM* pada tahap konstruksi dan

- manajemen fasilitas. Selain itu, dapat dikaji juga pengaruh penggunaan *BIM* terhadap kolaborasi tim proyek dan pengambilan keputusan di lapangan;
2. Metode *BIM* menggunakan software seperti *Autodesk Revit* dan yang lainnya diharapkan menjadi bahan pembelajaran bagi para mahasiswa teknik sipil khususnya mahasiswa teknik sipil politeknik negeri medan;
 3. Memperhatikan data yang diperoleh dan digunakan dalam proses pemodelan; Modeler juga harus mengetahui beberapa *plug in* untuk membantu proses pemodelan seperti *BIMTOOLS*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, N. R., Andardi, F. R., & Septiropa, Z. (2022). *Penggunaan BIM pada proyek pembangunan Ditreskrimsus Polda Jawa Timur untuk merencanakan biaya dan waktu*.
- ASC Technology Solutions LLC, 2022. *BIM Dimensions Explained | 3D - 10D*. [Online] Available at: https://www.linkedin.com/pulse/BIM-dimensions-explained_3d-10d-ascBIMservices/?trk=public_post-content_share-article.
- Autodesk. (2023). *Revit: BIM Software for Architects, Engineers, and Contractors*. Autodesk. <https://www.autodesk.com>.
- BIM* PUPR, 2018. Panduan Adopsi *BIM* dalam Organisasi. Jakarta Selatan: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi.
- BINUS. (2022). 2 JENIS STRUKTUR BANGUNAN YANG PERLU KAMU KETAHUI. <https://student-activity.binus.ac.id/himtes/2022/07/30/2-jenis-struktur-bangunan-yang-perlu-kamu-ketahui/>.
- Djojowirono, M. (1984). *Estimasi Biaya dalam Proyek Konstruksi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons.
- Franz, B., & Messner, J. (2019). *Evaluating the Impact of Building Information Modeling on Project Performance*. *Automation in Construction*, 100, 69-80.
- Gegana, G. (2020). *Implementasi BIM pada Proyek Konstruksi di Indonesia*. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 8(2), 45-56.
- Huzaini, S., 2021. *Penerapan Konsep Building Information Modelling (BIM) 3D dalam Mendukung Pengestimasian Biaya Pekerjaan Struktur*. Yogyakarta: s.n.
- Ibrahim, R. (1993). *Rencana Anggaran Biaya Konstruksi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

- Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2012). *Roadmap for the Adoption of BIM in the UK Construction Industry. Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(2), 155-172.
- Laorent, D., Nugraha, P., & Budiman, J. (2016). *Analisa Quantity Take-Off Dengan Menggunakan Autodesk Revit*. Jurnal Dimensi Utama Teknik Sipil, 6(1), 1-8.
- O. L. Sari and T. Y. Nugroho, "Analisis Take Off Quantity dengan Pendekatan BIM dan Diagram Pareto pada Pekerjaan Struktur Gedung Kejaksaan Kota Balikpapan.
- Rani, N. (2016). *Pengaruh Pengelolaan Proyek terhadap Keberhasilan Konstruksi*. Jurnal Manajemen Proyek, 10(2), 75-89.
- Rayendra, R., & Soemardi, B. (2014). *Evaluasi Efektivitas BIM dalam Proyek Konstruksi*. Jurnal Teknik Sipil, 10(2), 120-135.
- Rizaldi, R. I., Farni, I., & Mulyani, R. (2021). *Analisis Potensi Penggunaan BIM dalam Perhitungan RAB pada Perancangan Gedung di Indonesia*. Jurnal Rekayasa Konstruksi, 9(1), 55-67.
- Rugas, Z., Waluyo, R., & Purwantoro, A. (2024). *Analisis Quantity Take Off Menggunakan Building Information Modeling Pada Pekerjaan Struktur Gedung Poltekkes Palangka Raya*. J. Saintis,
- Shaw, J. (2003). *Epidemiology and Prevention of Type 3 Diabetes and Metabolic Syndrome*. Medical Journal of Australia, 379-383.
- Wheelen, T. L., & Hunger, J. D. (2012). *Strategic Management and Business Policy: Toward Global Sustainability*. New Jersey: Pearson Education