



## Analisis Perhitungan Volume Beton Metode Konvensional dan BIM Autodesk Revit pada Proyek Jembatan Tipe Lengkung terhadap Efektivitas Biaya

Alkhansa Auliya Dzakiyyah<sup>1\*</sup>, Lusiana<sup>2</sup>, Raffie<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Universitas Tanjungpura, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [alkhansauliya22@email.com](mailto:alkhansauliya22@email.com)

**Abstract.** Concrete volume calculation is a crucial factor in preventing cost overruns when preparing the Budget Plan (RAB) for construction projects. In arch bridge projects, the complex structural geometry often makes conventional volume calculation methods complicated and prone to errors, particularly due to the geometric complexity of the arch beams. This study aims to analyze the comparison of concrete volume calculation results between the conventional method and the Building Information Modeling (BIM) method using Autodesk Revit in terms of cost-effectiveness. The case study was conducted on the Short Span II Pulau Balang Bridge Duplication Project in the Nusantara Capital City (IKN), Penajam Paser Utara Regency, East Kalimantan. The research objects include substructures (bore piles, pile caps, abutments, piers, and wing walls) and superstructures in the form of arch beams. The research method employs a quantitative approach by calculating concrete volumes conventionally using AutoCAD and Microsoft Excel, as well as calculating with BIM Autodesk Revit through three-dimensional modeling and Quantity Take-Off (QTO) exports. The results indicate that the BIM Autodesk Revit method generates a larger concrete volume compared to the conventional method, resulting in a higher total cost based on the BIM volume. The total cost for the conventional method amounted to IDR 142,613,245,996.12, while the BIM Autodesk Revit method amounted to IDR 143,127,208,186.60. These differences are influenced by the level of calculation detail, the simplification of shapes in the conventional method, and the precision of modeling in Autodesk Revit.

**Keywords:** Autodesk Revit; Building Information Modeling (BIM); Concrete Volume; Conventional Method; Cost Effectiveness.

**Abstrak.** Perhitungan volume beton merupakan salah satu faktor penting untuk mencegah pemborosan biaya dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek konstruksi. Pada proyek jembatan tipe pelengkung (*arch bridge*), bentuk geometri struktur yang kompleks sering menyebabkan perhitungan volume beton dengan metode konvensional menjadi rumit dan berpotensi menimbulkan kesalahan akibat kompleksitas geometri balok pelengkung. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbandingan hasil perhitungan volume beton antara metode konvensional dan metode *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan Autodesk Revit terhadap efektivitas biaya. Studi kasus dilakukan pada Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek II di Ibu Kota Nusantara (IKN), Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Objek penelitian meliputi struktur bangunan bawah (*borepile*, *pile cap*, *abutment*, *pier/pilar*, dan *wingwall*) serta struktur bangunan atas berupa balok pelengkung. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui perhitungan volume beton secara konvensional dengan bantuan AutoCAD dan Microsoft Excel, serta perhitungan menggunakan BIM Autodesk Revit melalui pemodelan tiga dimensi dan ekspor *Quantity Take-Off* (QTO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode BIM Autodesk Revit menghasilkan volume beton lebih besar dibandingkan metode konvensional, sehingga total biaya berdasarkan volume BIM lebih tinggi. Total biaya metode konvensional

sebesar Rp142.613.245.996,12, metode BIM Autodesk Revit sebesar Rp143.127.208.186,60. Perbedaan hasil dipengaruhi oleh tingkat detail perhitungan, penyederhanaan bentuk pada metode konvensional, serta ketelitian pemodelan pada Autodesk Revit.

**Kata kunci:** Autodesk Revit; *Building Information Modeling* (BIM); Efektivitas Biaya; Metode Konvensional; Volume Beton.

## 1. LATAR BELAKANG

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir mendorong peningkatan pembangunan infrastruktur terintegrasi, seperti jalan dan jembatan, guna mendukung konektivitas antarwilayah serta pertumbuhan ekonomi (Tigauw et al., 2023). Salah satu proyek strategis yang mendukung konektivitas menuju Ibu Kota Nusantara (IKN) adalah Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek II. Jembatan yang menghubungkan Kota Balikpapan dengan Kabupaten Penajam Paser Utara ini merupakan tipe jembatan pelengkung beton (*arch bridge*) dengan karakteristik geometri struktur yang kompleks. Kondisi tersebut memerlukan perhitungan volume beton yang akurat dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), sebab ketidakakuratan perhitungan dapat menyebabkan ketidakefisienan material yang berdampak pada pemborosan biaya maupun keterlambatan pelaksanaan proyek (Juliani & Renaningsih, 2023).

Dalam praktik konstruksi, perhitungan volume pekerjaan masih banyak dilakukan menggunakan metode konvensional berdasarkan gambar kerja dua dimensi dengan bantuan perangkat lunak seperti AutoCAD dan Microsoft Excel. Metode ini memiliki keterbatasan dalam menangani bentuk struktur yang kompleks karena proses perhitungan sering dilakukan melalui penyederhanaan bentuk atau asumsi tertentu. Selain itu, proses perhitungan yang dilakukan secara manual berpotensi menimbulkan kesalahan akibat *human error* serta membutuhkan waktu yang relatif lebih lama karena data tidak dapat terintegrasi secara otomatis antara gambar dan tabel perhitungan.

Perkembangan teknologi dalam industri konstruksi mendorong penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai metode yang mampu mengintegrasikan berbagai informasi proyek ke dalam model tiga dimensi. Melalui pemodelan yang terintegrasi, BIM memungkinkan visualisasi struktur yang lebih detail serta mendukung proses perhitungan kuantitas pekerjaan secara lebih sistematis melalui *Quantity Take Off* (Haider et al., 2020). Salah satu perangkat lunak BIM yang banyak digunakan adalah Autodesk Revit yang mampu menghasilkan model bangunan secara parametrik sehingga proses estimasi volume pekerjaan dapat dilakukan secara lebih cepat dan akurat (Handrawan et al., 2024).

Meskipun penerapan BIM telah banyak digunakan dalam proyek konstruksi, kajian mengenai penerapan BIM dalam perhitungan volume beton pada struktur jembatan tipe pelengkung dengan kompleksitas geometri yang tinggi masih relatif terbatas. Struktur jembatan pelengkung memiliki geometri lengkung yang terbagi dalam beberapa segmen serta elemen struktur lainnya seperti pilar dan *abutment* yang memiliki bentuk tidak sederhana sehingga memerlukan ketelitian dalam proses perhitungan volume beton. Metode konvensional sering kali tidak mampu menangani kompleksitas geometri jembatan pelengkung sehingga menyebabkan kesalahan signifikan dalam estimasi volume. Oleh karena itu, perbandingan antara metode konvensional dan BIM Autodesk Revit dalam perhitungan volume beton dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbedaan hasil perhitungan volume beton serta dampaknya terhadap efektivitas biaya. Berdasarkan permasalahan tersebut penulis ingin menganalisis perbandingan volume pekerjaan beton dengan metode konvensional dan BIM Autodesk Revit pada proyek infrastruktur jembatan tipe lengkung terhadap efektivitas biaya yang bertujuan untuk menghasilkan perhitungan volume beton yang akurat sehingga dapat meminimalisasi pembengkakan biaya dan kesalahan perhitungan yang dilakukan dengan metode konvensional dan BIM Autodesk Revit.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### Struktur Bangunan Jembatan

Struktur jembatan secara umum berfungsi untuk menghubungkan dua ruas jalan yang terputus oleh rintangan fisik seperti lembah, sungai, maupun jalan raya tidak sebidang (Kementrian PUPR, 2019). Secara teknis, struktur jembatan dibagi menjadi tiga komponen utama.

#### ***Bangunan Atas (Superstructures)***

Bagian ini berfungsi menerima beban langsung dari lalu lintas (beban mati, beban hidup, gaya rem, dll). Pada Jembatan Tipe Lengkung (*Arch Bridge*), komponen utamanya meliputi: (1) Struktur Primer. Komponen struktur primer pada jembatan tipe pelengkung yaitu: (a) Batang lengkung: Komponen utama berbentuk busur yang menyalurkan beban vertikal menjadi gaya horizontal. (b) Lantai Jembatan: Area landasan kendaraan. Berdasarkan letaknya, terbagi menjadi *Deck Arch* (lantai di atas busur), *Through Arch* (lantai di garis dasar busur), dan *Half-through Arch* (lantai di tengah busur). (c) Gelagar (Melintang dan Memanjang): Penahan beban lantai kendaraan yang menyalurkan beban ke struktur utama. (d) Batang Penggantung (*Hanger*): Penghubung dek ke rangka busur utama. (2) Struktur Sekunder.

Komponen struktur sekunder meliputi ikatan angin (stabilitas lateral), sambungan (pin, paku keling, baut, las), dan perletakan (*bearing*).

### **Bangunan Bawah (Substructures)**

Bagian ini berfungsi menerima beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke fondasi. Komponen bangunan bawah meliputi: (1) Pilar (*Pier*): Penyangga struktur jembatan yang berada di tengah bentang, terdiri dari kepala pilar (*pier head*) dan kaki pilar (*pier leg*). (2) *Abutment* (Kepala Jembatan): Penopang jembatan pada kedua ujung bentang yang juga berfungsi sebagai dinding penahan tanah. Komponennya meliputi dinding belakang (*back wall*), dinding penahan (*breast wall*), dinding sayap (*wing wall*), dan plat injak.

Fondasi merupakan bagian paling bawah yang menyalurkan seluruh beban ke tanah keras. Pemilihannya bergantung pada kondisi tanah. Jenis – jenis fondasi jembatan meliputi: (1) Fondasi Telapak (*Spread Footing*): Digunakan untuk tanah keras yang dangkal. (2) Fondasi Sumuran (*Caisson*): Digunakan untuk kedalaman menengah. (3) Fondasi Tiang (*Pile Foundation*): Digunakan untuk tanah lunak yang dalam, menggunakan material kayu, baja, beton (*precast* dan *cast in place*), maupun komposit.

### **Perhitungan Volume Pekerjaan**

Volume pekerjaan sering disebut juga *Bill of Quantity* (BoQ) adalah salah satu proses dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) (Diharjo & Sumarman, 2016). *Bill of Quantity* (BoQ) berisi tiga hal pokok yaitu deskripsi pekerjaan, kuantitas atau volume, dan harga satuan pekerjaan. Dalam pembuatan BoQ ini, seorang *Quantity Surveyor* (QS) harus memahami lingkup pekerjaan, *standart measurement*, *standart detail* dan *pricing note* yang mana semua ini merupakan hal mendasar dalam pembuatan BoQ (Diputra et al., 2023).

Perhitungan volume beton adalah proses untuk menentukan jumlah beton yang diperlukan dalam suatu proyek konstruksi, khususnya dalam pembangunan struktur seperti jembatan, gedung, dan jalan. Volume beton dihitung berdasarkan dimensi struktur yang akan dibuat dan menggunakan rumus matematika sesuai dengan bentuk dan ukuran elemen struktur tersebut. Untuk mengetahui volume pekerjaan struktur yaitu perhitungan volume beton dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut (Alfia Magfirona et al., 2023).

### **Volume Beton Pekerjaan Borepile (Bentuk Permukaan Lingkaran)**

$$V = A \times h = \pi \times r^2 \times h \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

V = volume borepile (m<sup>3</sup>)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

H = panjang borepile (m)

$\pi$  = rasio keliling lingkaran (3,14)

r = jari – jari *borepile* (m)

h = panjang *borepile* (m)

#### ***Volume Beton Pekerjaan Pile Cap, Abutment, Pilar, Wingwall (Bentuk Balok)***

$$V = p \times l \times t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

V = volume (m<sup>3</sup>)

P = panjang (m)

l = lebar (m)

t = tinggi (m)

#### ***Volume Beton Pekerjaan Balok Pelengkung (Bentuk Arch)***

$$V_{arch} = A \times s \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

A = luas penampang balok pelengkung (m<sup>2</sup>)

s = panjang busur balok pelengkung (m)

#### ***Building Information Modeling (BIM)***

*Building Information Modeling* (BIM) merupakan sebuah teknologi, proses, kebijakan yang seluruh prosesnya berjalan secara kolaborasi dalam suatu model digital. *Building Information Modeling* (BIM) adalah suatu representasi digital yang komprehensif dari fasilitas yang dibangun dengan kedalaman informasi yang luar biasa. *Building Information Modeling* (BIM) secara konsekuen menggambarkan proses pembuatan model bangunan digital serta proses pemeliharaan, penggunaan, dan pengubahan model selama masa pakai fasilitas yang dibangun (Sabol, 2018).

#### **Autodesk Revit**

Autodesk revit merupakan sebuah perangkat lunak yang terintegrasi dengan *Building Information Modeling* (BIM) yang digunakan untuk merancang, memvisualisasikan, dan mengelola perencanaan model 3D dalam proses perencanaan bangunan dari awal pelaksanaan proyek konstruksi sampai dengan siklus pemeliharaan oleh arsitek, perencana, dan kontraktor (Anjani et al., 2022).

#### **Efektivitas Biaya dalam Proyek Konstruksi**

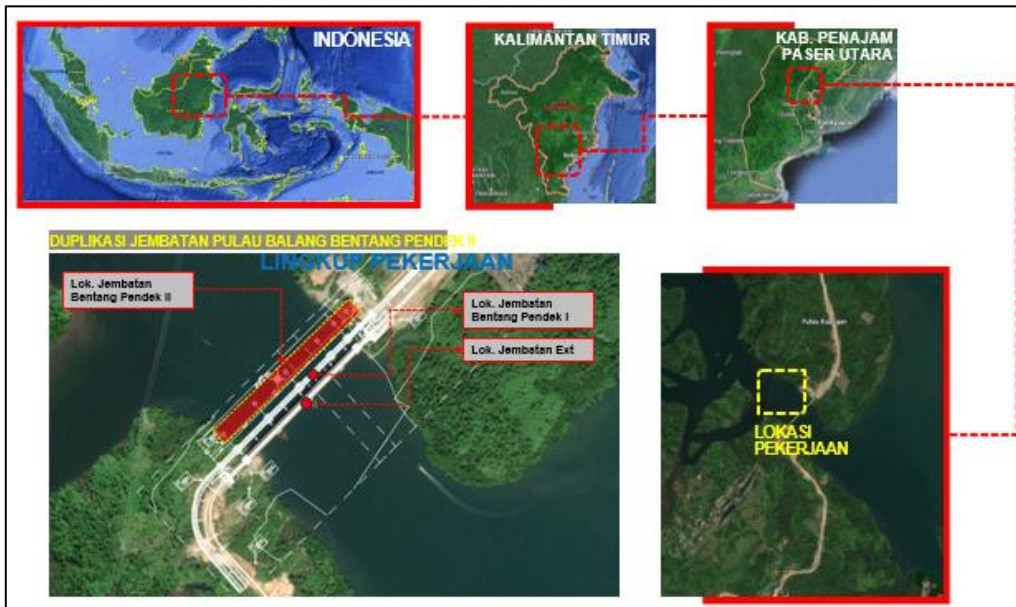
BIM Autodesk Revit menghasilkan penghematan biaya dalam proyek konstruksi melalui perhitungan kuantitas yang lebih akurat, pengurangan limbah material, dan estimasi biaya yang lebih baik. Perhitungan efisiensi biaya pada perbandingan dua metode antara metode

konvensional dan metode BIM Autodesk Revit dapat menggunakan persamaan (Juliani & Renaningsih, 2023) sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi biaya} = \frac{\text{Selisih Biaya Metode Konvensional} - \text{Selisih Biaya Metode BIM Autodesk Revit}}{\text{Total Biaya Metode Konvensional}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

### 3. METODE PENELITIAN

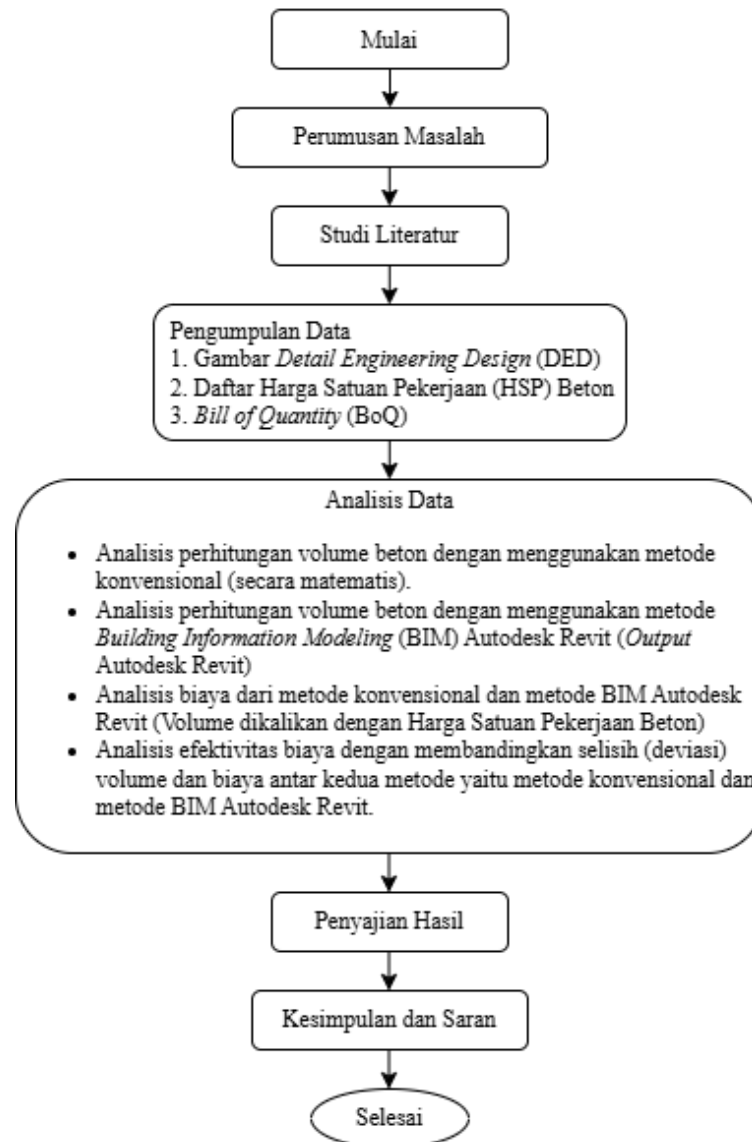
Penelitian ini dilakukan pada proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek II di Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur, Ibu Kota Nusantara (IKN).



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian (Proyek Duplikasi Jembatan Pulau Balang Bentang Pendek II).  
(Sumber : Google Earth)

Penelitian ini dilakukan menggunakan analisis metode kuantitatif. Penelitian dengan metode kuantitatif melibatkan perhitungan volume beton dengan dua metode (konvensional dan BIM Autodesk Revit) dan analisis efektivitas biaya.

Tahapan pertama dimulai dengan ekstraksi data dari gambar DED untuk mendapatkan dimensi struktur jembatan pelengkung. Data tersebut diproses secara paralel menggunakan dua metode, yaitu perhitungan manual dengan rumus geometri standar (konvensional) dan ekstraksi otomatis melalui pemodelan objek (BIM). Hasil akhir berupa angka volume dari kedua metode kemudian dikalikan dengan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) untuk mendapatkan estimasi total biaya masing-masing metode. Efektivitas biaya dianalisis berdasarkan selisih (deviasi) hasil perhitungan dan akurasi geometris antara kedua metode, guna menentukan metode yang memberikan nilai ekonomi paling optimal bagi proyek. Berikut ini diagram alur penelitian disajikan pada Gambar 2. berikut ini:



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Perhitungan Metode Konvensional

Penelitian ini menghasilkan perhitungan volume beton menggunakan metode konvensional dan metode BIM Autodesk Revit, yang kemudian dibandingkan dengan data BoQ Proyek. Analisis dilakukan pada elemen struktur bawah (*borepile*, *pile cap*, *abutment*, *pilar*, dan *wingwall*) serta struktur atas berupa balok pelengkung. Berikut ini merupakan hasil perhitungan volume beton dengan metode konvensional:

##### ***Borepile***

Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan *borepile* jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perhitungan Volume Beton Pekerjaan *Borepile* dengan Metode Konvensional.

No	Komponen Struktur	Diameter (d) (m) a	Jari-Jari (r) (m) b = (a/2)	Rasio Keliling Lingkaran ( $\pi$ ) c	Kedalaman (h) (m) d	Luas Penampang (A) $A = \pi \times r^2$ (m <sup>2</sup> ) e = (c x b <sup>2</sup> )	Jumlah Tiang (n) (tiang) f	Volume 1 Tiang Borepile (m <sup>3</sup> ) (m <sup>3</sup> ) g = (e x d)	Total Volume Beton Borepile (m <sup>3</sup> ) (m <sup>3</sup> ) h = (f x g)
1	Borepile Abutment A1	1,5	0,75	3,14	25,15	1,77	15	44,46	666,92
2	Borepile Pilar P1	1,5	0,75	3,14	25,15	1,77	20	44,46	889,23
3	Borepile Pilar P2	1,5	0,75	3,14	35,15	1,77	20	62,14	1242,80
4	Borepile Pilar P3	1,5	0,75	3,14	35,15	1,77	20	62,14	1242,80
5	Borepile Pilar P4	1,5	0,75	3,14	35,15	1,77	20	62,14	1242,80
6	Borepile Pilar P5	1,5	0,75	3,14	35,15	1,77	20	62,14	1242,80
7	Borepile Pilar P6	1,5	0,75	3,14	25,15	1,77	15	44,46	666,92
8	Borepile Abutment A2	1,5	0,75	3,14	25,15	1,77	10	44,46	444,62
Total Volume Beton Pekerjaan Borepile									7638,91

### Pile Cap

Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan *pile cap* jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perhitungan Volume Beton Pekerjaan *Pile Cap* dengan Metode Konvensional.

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Pile Cap (m <sup>3</sup> )
1	<i>Pile Cap Abutment A1</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 18,70 m l = 11,10 m t = 2,300 m	$V = p \times l \times t$	477,41
		Segmen 2	Prisma Trapesium	Luas Penampang A (La) = 207,57 m <sup>2</sup> Luas Penampang B (Lb) = 38,400 m <sup>2</sup> Tebal (t) = 0,5000 m	$V = ((La + Lb) / 2) \times t$	61,49
		<b>Volume Total Pile Cap Abutment A1</b>				
2	<i>Pile Cap Pilar P1 = Pilar P2 = Pilar P3 = Pilar P4</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 18,70 m l = 14,90 m t = 2,300 m	$V = p \times l \times t$	640,85
		Segmen 2	Prisma Trapesium	Luas Penampang A (La) = 278,63 m <sup>2</sup> Luas Penampang B (Lb) = 32,000 m <sup>2</sup> Tebal = 0,7000 m	$V = ((La + Lb) / 2) \times t$	108,72
		<b>Volume Total Pile Cap Pilar P1 = Pilar P2 = Pilar P3 = Pilar P4</b>				
3	<i>Pile Cap Pilar P5</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 18,70 m l = 14,90 m t = 2,300 m	$V = p \times l \times t$	640,85
		Segmen 2	Prisma Trapesium	Luas Penampang A (La) = 278,63 m <sup>2</sup>	$V = ((La + Lb) / 2) \times t$	108,16

No Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton <i>Pile Cap</i> (m <sup>3</sup> )
			Luas Penampang B (Lb) = 30,400 m <sup>2</sup> Tebal = 0,7000 m		
			<b>Volume Total Pile Cap Pilar P5</b>		<b>749,01</b>
3 <i>Pile Cap Pilar P6</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 18,70 m l = 11,10 m t = 2,300 m	$V = p \times l \times t$	477,41
	Segmen 2	Prisma Trapesium	Luas Penampang A (La) = 207,57 m <sup>2</sup> Luas Penampang B (Lb) = 38,400 m <sup>2</sup> Tebal = 0,5000 m	$V = ((La + Lb) / 2) \times t$	61,49
			<b>Volume Total Pile Cap Pilar P6</b>		<b>538,90</b>
4 <i>Pile Cap Abutment A2</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 18,70 m l = 8,500 m t = 1,800 m	$V = p \times l \times t$	286,11
	Segmen 2	Prisma Trapesium	Luas Penampang A (La) = 158,95 m <sup>2</sup> Luas Penampang B (Lb) = 24,400 m <sup>2</sup> Tebal = 0,5000 m	$V = ((La + Lb) / 2) \times t$	45,74
			<b>Volume Total Pile Cap Abutment A2</b>		<b>331,85</b>
			<b>Total Volume Beton Pekerjaan Pile Cap</b>		<b>5156,94</b>

### *Abutment*

Berikut ini merupakan tabel hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan *abutment* jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perhitungan Volume Beton Pekerjaan *Abutment* dengan Metode Konvensional.

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )
1	<i>Abutment A1</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 3,200 m t = 10,21 m	$V = p \times l \times t$	392,18
		Segmen 2	Prisma Segi Empat (Trapesium)	p = 12,00 m Luas Penampang (Lp) = 0,63 m <sup>2</sup>	$V = lp \times p$	7,56
		Segmen 3	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 1,200 m t = 0,400 m	$V = p \times l \times t$	5,76
		Segmen 4	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 0,900 m t = 0,300 m	$V = p \times l \times t$	3,24
			<b>Total Volume Beton Abutment A1</b>			<b>408,74</b>
2	<i>Abutment A2</i>	Segmen 1	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 2,000 m t = 1,555 m	$V = p \times l \times t$	37,32
		Segmen 2	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 0,800 m t = 0,380 m	$V = p \times l \times t$	3,65
		Segmen 3	Prisma Segi Empat (Trapesium)	p = 12,00 m Luas Penampang (Lp) = 0,57 m <sup>2</sup>	$V = lp \times p$	6,84

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )
		Segmen 4	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 1,100 m t = 0,400 m	$V = p \times l \times t$	5,28
		Segmen 5	Balok (Persegi Panjang)	p = 12,00 m l = 0,800 m t = 0,300 m	$V = p \times l \times t$	2,88
<b>Total Volume Beton Abutment A2</b>						<b>56,00</b>
<b>Total Volume Beton Pekerjaan Abutment</b>						<b>464,74</b>

### Pilar

Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan pilar jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Rekapitulasi Perhitungan Volume Beton Pekerjaan Pilar Metode Konvensional.

No	Tipe Pier/Pilar	Dimensi Pier/Pilar (mm)		Volume Beton Pilar (m <sup>3</sup> )
		Panjang	Lebar	
1.	Pilar P1	8000	4000	358,67
2.	Pilar P2	8000	4000	394,00
3.	Pilar P3	8000	4000	394,00
4.	Pilar P4	8000	4000	358,67
5.	Pilar P5	8000	3800	348,20
6.	Pilar P6	8000	2500	270,61
<b>Total Volume Beton</b>				<b>2124,15</b>

Contoh perhitungan volume beton pilar metode konvensional di sajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Contoh Perhitungan Volume Beton Pilar Metode Konvensional.

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )	
1	Pilar P1 dan P4	Segmen 1	Persegi Panjang	p = 8,000 m; l = 4,000 m; t = 2,749 m	$V = p \times l \times t$	87,97	
		Segmen 2 (area 2)	Segitiga	alas (a) = 0,500 m; tinggi (t) = 0,501 m; panjang (p) = 8,000 m	$V = \frac{1}{2} \times a \times t \times p$	1,002	
		Segmen 2 (area b)	Segitiga	alas (a) = 1,430 m; tinggi (t) = 0,175 m; panjang (p) = 8,000 m	$V = \frac{1}{2} \times a \times t \times p$	1,001	
		Segmen 2 (area c)	Trapesium	p = 8,0 m; Luas Penampang (Lp) = 2,17 m <sup>2</sup>	$V = Lp \times p$	17,35	
		<b>Volume Segmen 2</b>					<b>19,36</b>
		Segmen 3 (area a)	Segitiga	alas (a) = 0,500 m; tinggi (t) = 0,501 m; panjang (p) = 8,000 m	$V = \frac{1}{2} \times a \times t \times p$	1,913	
		Segmen 3 (area b)	Trapesium	p = 8,0 m; Luas Penampang (Lp) = 3,26 m <sup>2</sup>	$V = Lp \times p$	26,07	
		<b>Volume Segmen 3</b>					<b>27,98</b>
		Segmen 4 (area A)	Persegi Panjang	p = 8,000 m; l = 4,000 m; t = 2,749 m; jumlah (n) = 2 buah	$V = p \times l \times t \times n$	69,23	
Segmen 4 (area B)	Persegi Panjang	p = 6,000 m; l = 0,250 m; t = 10,651 m;	$V = p \times l \times t \times n$	31,95			

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )
				jumlah (n) = 2 buah		
		Segmen 4 (area C)	Segitiga	alas (a) = 0,500 m; tinggi (t) = 0,500 m; panjang (p) = 10,651 m; jumlah (n) = 4 buah	$V = \frac{1}{2} \times a \times b \times t \times n$	5,326
		Segmen 4 (area D)	$\frac{1}{4}$ Lingkaran Besar	jari-jari (r) = 0,75 m; tinggi (t) = 10,65 m; jumlah (n) = 4 buah	$V = \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times t \times n$	18,82
		Segmen 4 (area E)	$\frac{1}{4}$ Lingkaran Kecil	jari-jari (r) = 0,25 m; tinggi (t) = 10,65 m; jumlah (n) = 4 buah	$V = \frac{1}{4} \times \pi \times r^2 \times t \times n$	2,09
		Segmen 4 (area F)	Persegi	panjang (p) = 2,000 m; lebar (l) = 0,750 m; tinggi (t) = 10,651 m; jumlah (n) = 2 buah	$V = p \times l \times t \times n$	31,95
				<b>Volume Segmen 4</b>		<b>159,36</b>
		Segmen 5	Persegi Panjang	p = 8,000 m; l = 4,000 m; t = 2,000 m	$V = p \times l \times t$	64,00
				<b>Total Volume Beton Pilar P1 dan Pilar P4</b>		<b>358,67</b>

### Wingwall

Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan *wingwall* jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Perhitungan Volume Beton Pekerjaan *Wingwall* Metode Konvensional.

No	Tipe Wingwall	Dimensi <i>Wingwall</i> (mm)		Volume Beton (m <sup>3</sup> )
		Panjang	Lebar	
1	Wingwall Abt A1	12000	3200	69,88
2	Wingwall Abt A2	12000	2000	19,05
		<b>Total Volume Beton (m<sup>3</sup>)</b>		<b>88,93</b>

Rincian tabel perhitungan volume beton *wingwall* disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Contoh Perhitungan Volume Beton *Wingwall* Metode Konvensional.

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )
1	Wingwall A2	Segmen a	Segitiga	alas (a) = 0,500 m; tinggi (t) = 0,500 m; tebal (T) = 10,651 m; jumlah (n) = 4 buah	$V = \frac{1}{2} \times a \times t \times T \times n$	0,73
		Segmen b	Trapesium	panjang a = 4,25 m; panjang b = 5,00 m; tinggi (t) = 0,375 m; tebal (T) = 0,40 m; jumlah (n) = 2 buah	$V = \frac{1}{2} \times (a+b) \times t \times T \times n$	1,39
		Segmen c	Persegi Panjang	panjang (p) = 5,000 m; lebar (l) = 1,376 m; tebal (t) = 0,40 m; jumlah (n) = 2 bagian	$V = p \times l \times t \times n$	11,01
		Segmen d	Trapesium	panjang a = 4,70 m; panjang b = 5,00 m; tinggi (t) = 0,600 m;	$V = \frac{1}{2} \times (a+b) \times t \times T \times n$	2,328

No	Komponen Struktur	Segmen	Bentuk Geometri	Parameter Dimensi	Rumus Volume	Hasil Volume Beton Abutment (m <sup>3</sup> )
				tebal (T) = 0,400 m; jumlah (n) = 2 buah		
		Segmen e	Persegi Panjang	panjang (p) = 4,700 m; lebar (l) = 0,400 m; tebal (t) = 0,400 m; jumlah (n) = 2 bagian	$V = p \times l \times t \times n$	3,01
		Segmen f	Segitiga	alas (a) = 4,700 m; tinggi (t) = 0,250 m; tebal (T) = 0,400 m; jumlah (n) = 2 buah	$V = \frac{1}{2} \times a \times t \times T \times n$	0,47
		Segmen g	Persegi Panjang	panjang (p) = 0,300 m; lebar (l) = 0,250 m; tebal (t) = 0,400 m; jumlah (n) = 2 bagian	$V = p \times l \times t \times n$	0,12
<b>Total Volume Beton Wingwall A1</b>						<b>19,05</b>

### Balok Pelengkung

Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan volume beton pada pekerjaan balok pelengkung jembatan pelengkung beton yang disajikan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Rekapitulasi Perhitungan Volume Beton Balok Pelengkung Metode Konvensional.

No	Tipe Pelengkung	Volume Beton (m <sup>3</sup> )
1.	Pelengkung A1-P1	366,78
2.	Pelengkung P1-P2	709,87
3.	Pelengkung P2-P3	718,91
4.	Pelengkung P3-P4	709,87
5.	Pelengkung P4-P5	376,61
<b>Total Volume Beton Balok Pelengkung</b>		<b>2882,04</b>

Rincian tabel perhitungan volume beton balok pelengkung disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Contoh Perhitungan Volume Beton Balok Pelengkung Metode Konvensional.

No	Bagian Penampang	Sudut (θ) (°)	Jari-jari luar (r.1) (m)	Jari-jari dalam (r.2) (m)	Lebar Segmen (m)	Luas Juring r.1 (m <sup>2</sup> )	Luas Juring r.2 (m <sup>2</sup> )	Total Luasan (m <sup>2</sup> )	Jumlah Bagian Segmen (h)	Volume (m <sup>3</sup> ) i = (g×d×h) (i)
		(a)	(b)	(c)	(d)	$e = \frac{a}{360} \times \pi(b)^2$ (e)	$f = \frac{a}{360} \times \pi(c)^2$ (f)	$g = (e - f)$ (g)		
<b>Pelengkung P4 - P5</b>										
1	<b>Segmen 1</b>									
	-Bagian A	0,6	338947	338547	6	601232	599814	1418	1	8,51
	-Bagian B	0,6	338547	336947	0,5	599814	594158	5656	2	5,66
	-Bagian C1	0,6	338547	338047	0,5	599814	598043	1770	2	0,89
	-Bagian C2	0,6	337447	336947	0,5	595922	594158	1765	1	0,88
	-Bagian D	0,6	336947	336547	6	594158	592748	1410	1	8,46
										<b>24,39</b>
2	<b>Segmen 2</b>									
	-Bagian A	1,5	184061	183661	6	443243	441319	1924	1	11,55
	-Bagian B	1,5	183661	182061	0,5	441319	433663	7656	2	7,66
	-Bagian C1	1,5	183661	183161	0,5	441319	438919	2400	2	1,2
	-Bagian C2	1,5	182561	182061	0,5	436048	433663	2385	1	1,19
	-Bagian D	1,5	182061	181661	6	433663	431759	1903	1	11,42
										<b>33,02</b>
3	<b>Segmen 3</b>									
	-Bagian A	2,1	133867	133467	6	328242	326283	1959	1	11,75
	-Bagian B	2,1	133467	131867	0,5	326283	318507	7776	2	7,78
	-Bagian C1	2,1	133467	132967	0,5	326283	323843	2440	2	1,22
	-Bagian C2	2,1	132367	131867	0,5	320927	318507	2420	1	1,21
	-Bagian D	2,1	131867	131467	6	318507	316577	1929	1	11,58
										<b>33,53</b>
4	<b>Segmen 4</b>									
	-Bagian A	1,9	141053	140653	6	329720	327853	1867	1	11,2
	-Bagian B	1,9	140653	139053	0,5	327853	320436	7417	2	7,42
	-Bagian C1	1,9	140653	140153	0,5	327853	325526	2327	2	1,16
	-Bagian C2	1,9	139553	139053	0,5	322745	320436	2309	1	1,15
	-Bagian D	1,9	139053	138653	6	320436	318595	1841	1	11,05
										<b>31,98</b>

<b>5</b>	<b>Segmen 5</b>										
	-Bagian A	1,8	152177	151777	6	363578	361669	1909	1	11,45	
	-Bagian B	1,8	151777	150177	0,5	361669	354084	7585	2	7,59	
	-Bagian C1	1,8	151777	151277	0,5	361669	359290	2379	2	1,19	
	-Bagian C2	1,8	150677	150177	0,5	356446	354084	2362	1	1,18	
	-Bagian D	1,8	150177	149777	6	354084	352200	1884	1	11,3	
			<b>Total Volume Segmen 5</b>								<b>32,71</b>
<b>6</b>	<b>Segmen 6</b>										
	-Bagian A	1,8	155578	155178	6	380011	378059	1952	1	11,71	
	-Bagian B	1,8	155178	153578	0,5	378059	370303	7756	2	7,76	
	-Bagian C1	1,8	155178	154678	0,5	378059	375627	2432	2	1,22	
	-Bagian C2	1,8	154078	153578	0,5	372718	370303	2415	1	1,21	
	-Bagian D	1,8	153578	153178	6	370303	368377	1926	1	11,56	
			<b>Total Volume Segmen 6</b>								<b>33,45</b>
<b>7</b>	<b>Segmen 7</b>										
	-Bagian A	1,8	152588	152188	6	365545	363631	1914	1	11,48	
	-Bagian B	1,8	152188	150588	0,5	363631	356025	7606	2	7,61	
	-Bagian C1	1,8	152188	151688	0,5	363631	361245	2385	2	1,19	
	-Bagian C2	1,8	151088	150588	0,5	358393	356025	2368	1	1,18	
	-Bagian D	1,8	150588	150188	6	356025	354136	1889	1	11,33	
			<b>Total Volume Segmen 7</b>								<b>32,8</b>
<b>8</b>	<b>Segmen 8</b>										
	-Bagian A	1,9	147815	147415	6	362091	360134	1957	1	11,74	
	-Bagian B	1,9	147415	145815	0,5	360134	352359	7775	2	7,78	
	-Bagian C1	1,9	147415	146915	0,5	360134	357695	2439	2	1,22	
	-Bagian C2	1,9	146315	145815	0,5	354779	352359	2421	1	1,21	
	-Bagian D	1,9	145815	145415	6	352359	350428	1931	1	11,58	
			<b>Total Volume Segmen 8</b>								<b>33,53</b>
<b>9</b>	<b>Segmen 9</b>										
	-Bagian A	2,1	133548	133148	6	326679	324725	1954	1	11,72	
	-Bagian B	2,1	133148	131548	0,5	324725	316968	7757	2	7,76	
	-Bagian C1	2,1	133148	132648	0,5	324725	322291	2434	2	1,22	
	-Bagian C2	2,1	132048	131548	0,5	319382	316968	2414	1	1,21	
	-Bagian D	2,1	131548	131148	6	316968	315043	1925	1	11,55	
			<b>Total Volume Segmen 9</b>								<b>33,45</b>
<b>10</b>	<b>Segmen 10</b>										
	-Bagian A	2,3	120325	119925	6	290447	288519	1928	1	11,57	
	-Bagian B	2,3	119925	118325	0,5	288519	280872	7647	2	7,65	
	-Bagian C1	2,3	119925	119425	0,5	288519	286118	2401	2	1,2	
	-Bagian C2	2,3	118825	118325	0,5	283250	280872	2379	1	1,19	
	-Bagian D	2,3	118325	117925	6	280872	278976	1896	1	11,37	
			<b>Total Volume Segmen 10</b>								<b>32,98</b>
<b>11</b>	<b>Segmen 11</b>										
	-Bagian A	1,8	155123	154723	6	377791	375846	1946	1	11,67	
	-Bagian B	1,8	154723	153123	0,5	375846	368112	7733	2	7,73	
	-Bagian C1	1,8	154723	154223	0,5	375846	373420	2425	2	1,21	
	-Bagian C2	1,8	153623	153123	0,5	370520	368112	2408	1	1,2	
	-Bagian D	1,8	153123	152723	6	368112	366192	1921	1	11,52	
			<b>Total Volume Segmen 11</b>								<b>33,35</b>
<b>12</b>	<b>Segmen 12</b>										
	-Bagian A	0,9	198908	198508	6	310580	309333	1248	1	7,49	
	-Bagian B	0,9	198508	196908	0,5	309333	304366	4966	2	4,97	
	-Bagian C1	0,9	198508	198008	0,5	309333	307776	1556	2	0,78	
	-Bagian C2	0,9	197408	196908	0,5	305914	304366	1548	1	0,77	
	-Bagian D	0,9	196908	196508	6	304366	303131	1235	1	7,41	
			<b>Total Volume Segmen 12</b>								<b>21,42</b>
			<b>Total Volume Beton Balok Pelengkung P4 - P5</b>								<b>376,61</b>

Berdasarkan hasil perhitungan volume beton pada struktur bawah dan struktur atas jembatan maka diperoleh tabel rekapitulasi perhitungan volume beton yang disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Rekapitulasi Volume Beton.

No	Uraian Pekerjaan	Unit	Volume Beton Konvensional (m <sup>3</sup> )	Volume Beton BIM Revit (m <sup>3</sup> )
<b>Struktur Bawah (Substructures)</b>				
1	Borepile	m <sup>3</sup>	7638,91	7635,81
2	Wingwall	m <sup>3</sup>	88,93	79,75
3	Pilecap	m <sup>3</sup>	5156,94	5080,48
4	Abutment	m <sup>3</sup>	464,74	465,38
5	Pilar	m <sup>3</sup>	2124,15	2123,44
<b>Struktur Atas (Superstructures)</b>				
6	Balok Pelengkung	m <sup>3</sup>	2882,04	3010,44

### Analisis Efektivitas Biaya

Analisis efektivitas biaya dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan total estimasi biaya yang dihasilkan dari perhitungan volume metode konvensional dan metode BIM Autodesk Revit. Perbedaan kuantitas beton pada elemen-elemen struktur, baik struktur bawah (*substructures*) maupun struktur atas (*superstructures*), dikalikan dengan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) yang berlaku pada proyek untuk melihat sejauh mana akurasi pemodelan digital dapat memengaruhi efisiensi anggaran biaya pelaksanaan.

**Tabel 11.** Hasil Perbandingan Volume dan Biaya Pekerjaan Beton.

No	Uraian Pekerjaan	Unit	Volume Beton (m <sup>3</sup> )		Harga Satuan Proyek	Total Biaya	
			Konvensional	BIM Revit		Konvensional	Total Biaya BIM Revit
<b>Struktur Bawah (<i>Substructures</i>)</b>							
1.	<i>Borepile</i>	m <sup>3</sup>	7638,91	7635,81	Rp 3.640.200	Rp 27.807.162.782,14	Rp 27.795.875.562,00
2.	<i>Wingwall</i>	m <sup>3</sup>	88,93	79,75		Rp 323.717.434,70	Rp 290.305.950
3.	<i>Pilecap</i>	m <sup>3</sup>	5156,94	5080,48		Rp 55.550.063.529,80	Rp 54.726.400.968,20
4.	<i>Abutment</i>	m <sup>3</sup>	464,74	465,38	Rp 10.771.900	Rp 5.006.124.188,48	Rp 5.013.026.822,00
5.	Pilar	m <sup>3</sup>	2124,15	2123,44		Rp 22.881.131.385,00	Rp 22.873.440.248,40
<b>Struktur Atas (<i>Superstructures</i>)</b>							
6.	Balok Pelengkung	m <sup>3</sup>	2882,04	3010,44	Rp 10.771.900	Rp 31.045.046.676,00	Rp 32.428.158.636,00
<b>Total Biaya</b>						Rp 142.613.245.996,12	Rp 143.127.208.186,60

Hasil Perhitungan Efisiensi Biaya:

Total Biaya Konvensional : Rp. 142.613.245.996,12

Total Biaya BIM Revit : Rp. 143.127.208.186,60

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Biaya Konvensional} - \text{Biaya BIM Autodesk Revit}}{\text{Biaya Konvensional}} \times 100\% \dots (1)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Rp.142.613.245.996,12} - \text{Rp.143.127.208.186,60}}{\text{Rp.142.602.366.377,12}} \times 100\% \dots (2)$$

$$= -0,36\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi biaya, diperoleh nilai efisiensi sebesar  $-0,36\%$ , yang menunjukkan bahwa total estimasi biaya menggunakan metode BIM Autodesk Revit lebih besar dibandingkan metode konvensional. Hal ini disebabkan karena hasil perhitungan volume beton menggunakan metode Autodesk Revit pada pekerjaan *wingwall* dan balok pelengkung lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode konvensional. Perbedaan tersebut menghasilkan biaya dengan menggunakan metode BIM Autodesk Revit lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional. Hal tersebut disebabkan oleh keterbatasan data DED dari proyek dan bentuk geometri jembatan pelengkung yang kompleks.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, perhitungan volume beton metode BIM Autodesk Revit lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional. Namun, pengecualian terjadi pada *wingwall* dan balok pelengkung yang disebabkan oleh keterbatasan data DED dan kompleksitas geometri yang menyebabkan perhitungan konvensional tidak presisi. BIM Autodesk Revit menghitung volume secara otomatis berdasarkan model 3D, sehingga detail geometri seperti lengkungan dan pertemuan antar elemen dapat menghasilkan volume yang lebih presisi. penggunaan BIM Autodesk Revit belum menunjukkan efisiensi biaya, ditunjukkan oleh nilai efisiensi sebesar  $-0,36\%$ , di mana estimasi biaya BIM sedikit lebih besar dibandingkan metode konvensional.

## DAFTAR REFERENSI

- Alfia Magfirona, Amar, T. I. K., & Abdul Aziz Muhammad Habib Failasufa. (2023). Analisis Komparasi Quantity Take Off Pekerjaan Struktur Berdasarkan Metode Konvensional Dan Metode BIM Studi Kasus : Perencanaan Omah DW. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 61–67. <https://doi.org/10.52005/teslink.v5i2.272>
- Anggaraini, N. L., Yuwana, A. Y. D. S., & Rafi'ud Darajat, A. (2022). Perbandingan Volume pada Pekerjaan Struktural antara Perhitungan dengan Building Information Modeling. *Journal Review In Civil Engineering*, 6(2), 78–84.
- Anjani, A., Riakara Husni, H., & Niken, C. (2022). Penerapan Building Information Modeling (BIM) Menggunakan *Software Autodesk Revit* Pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Peguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 10(1), 87–098.
- Diharjo, T. S., & Sumarman. (2016). Analisis Manajemen Konstruksi Pembangunan Ruko Grand Orchard Cirebon. *CIREBON Jurnal Konstruksi*, 1(1), 2085–8744.
- Diputra, G. A., Wiranata, A. A., & Kharisma, A. (2023). Perbandingan Bill of Quantity (BOQ) Antara Dokumen Kontrak Dengan Hasil Perhitungan Tekla Structures (Studi Kasus: Proyek Gedung Mall Di Pulau Jawa). *Jurnal Spektran*, 11(1), 55–61. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/>
- Fernando, R., Kusumo Friatmojo, E., Caesar Ricardo, K., Pengajar Prodi Teknik Konstruksi Bangunan Gedung, S., Pekerjaan Umum Jl Soedarto, P. H., & Tembalang Semarang, S. (2024). *Perbandingan Quantity Takeoff Antara Metoda Konvensional Terhadap Metoda BIM 5D Cubicost pada Struktur Gedung Fasilitas Perkeretaapian Manggarai*. 20(1), 25-34.
- Haider, U., Khan, U., Nazir, A., & Humayon, M. (2020). Cost comparison of a building project by manual and BIM. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 6(1), 34–49. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091451>
- Handrawan, E. H., Purnomo, A., & Berliana, R. (2024). Penggunaan Building Information Modelling (BIM) Studi Kasus: Siswa SMKN 4 Jakarta. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 2747–2753. <https://www.jptam.org/index.php/jptam/article/view/12800%0A>

- Juliani, M. P., & Renaningsih, R. (2023). Analisa Perbandingan Volume Beton Metode Konvensional pada Hasil Bill of Quantity (BQ) dan BIM *Autodesk Revit 2020* terhadap Efektivitas Biaya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 631–637.
- Kementrian PUPR. (2019). Kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat direktorat jenderal cipta karya 2019. *Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan*, 1–34.
- Pesiwarissa, R. M., Siahaya, V. T., & Hukom, E. (2022). Analisis Rencana Anggaran Biaya Pada Penggantian Jembatan Wai-Wei Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Simetrik*, 12(1), 549–552. <https://doi.org/10.31959/js.v12i1.1065>
- Maulina, E. E., Wiryasuta, I. K. H., & Rodiyani, M. (2023). *Perhitungan Quantity Take Off Pekerjaan Beton Pada Proyek X dengan Aplikasi Tekla Structures*. 15(2), 1–11.
- Sabol, L. A. (2018). Building information modeling. *Technology for Facility Managers: The Impact of Cutting-Edge Technology on Facility Management*, 21–40. <https://doi.org/10.1002/9781119572626.ch2>
- Saksena, H. T., & Sastrawiria, R. P. P. (2023). Implementation of Laser Scanning Technology for Digital Asset Management of Bridges in Indonesia: A Case Study of Pulau Balang Bridge in East Kalimantan. *Asia Australia Road Conference*, December, 1–16. <https://doi.org/10.58674/phpji.v16i1.384>
- Tigauw, F. M., Aprilianto, F., & Santoso, H. T. (2023). Analisa Perhitungan Quantity Material Take-Off (QMTO) Struktur Bawah Jembatan Tipe Skew dengan Menggunakan BIM *Autodesk Revit*. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 2(2), 58–65. <https://doi.org/10.56911/jik.v2i2.44>