



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v7i1.5471>

JURMATEKS

Analisis Perubahan Desain Gedung Pada Tahap Konstruksi Terhadap Perhitungan Volume dan *Bill of Quantity* (BoQ)

D. Rivana^{1*}, S. Farhani², Y. A. Tanne³

^{1*,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,

Universitas Komputer Indonesia, Bandung, Indonesia

Email : ^{1*}dila.13020005@mahasiswa.unikom.ac.id, ²shyva.13020010@mahasiswa.unikom.ac.id,

³yongki@email.unikom.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 02 – 02 – 2024

Artikel revisi : 30 – 03 – 2024

Artikel diterima : 22 – 06 – 2024

Keywords :

Bill of Quantity, Building Information Modelling, Design Changes, Quantity Estimate, Volume.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

D. Rivana, S. Farhani, and Y. A. Tanne, "Analisis Perubahan Desain Gedung Pada Tahap Konstruksi Terhadap Perhitungan Volume dan Bill of Quantity (BoQ)", *Jurmateks*, Vol. 7, no. 1 pp. 44-55, 2024, doi: 10.30737/jurmateks.v7i1.5471

ABSTRACT

Construction design changes are a challenge that requires quick adjustments in project documents, especially in the Bill of Quantity (BoQ). These adjustments reflect major changes in costs and material requirements. The use of digital technology is key to facilitating this process, enabling faster and more accurate revisions. This research aims to compare volume calculations using Revit and manual volume calculations resulting from design changes in the YOGYA Kota Baru Parahyangan Development Project. In the process, the volume of material required for various construction elements is calculated manually and with the help of digital technology. The results of these two methods were then compared to determine significant differences and evaluate each method's efficiency and accuracy. This results show that the volume difference in profile steel profiles is +47.78%; concrete +21.83%; piles +12.06%; and reinforcement +2.00%. These findings show that Revit provides more accurate and detailed results than manual calculations, which are often prone to human error. Using Revit can speed up the design adjustment process, reduce costs and project completion time. This research contributes by providing empirical evidence of the benefits of digital technology in construction and practical guidance for professionals in choosing the right calculation method.

1. Pendahuluan

Provinsi Jawa Barat menjadi salah satu wilayah yang mengalami pembangunan yang cukup masif di Indonesia, khususnya di Kabupaten Bandung Barat yang merupakan bagian dari wilayah Bandung raya [1]. Salah satu wilayah yang menonjol adalah pengembangan Kota Baru

Parahyangan [2]. Proyek *mid-rise building* ini mengadopsi metode *Design and Build* dengan kontrak *unit price*, yang mencirikan fleksibilitas dan dinamika dalam proses desain dan konstruksi [3]. Kondisi ini meningkatkan peluang terjadinya perubahan desain selama proses konstruksi berlangsung. Sebagai contoh, luasan lantai *basement* yang membesar dua kali lipat serta perubahan fungsi lantai *mezzanine* dari ruang terbuka menjadi area ruang kantor menuntut respon tanggap dari kontraktor *design and built*, terutama dalam hal pelaporan kepada para pihak terkait perubahan biaya akibat perubahan volume.

Hal ini menimbulkan masalah dalam proses persetujuan dokumen proyek seperti gambar dan *Bill of Quantity* (BoQ) yang menjadi lambat karena dikerjakan secara manual yang kemudian berpengaruh pada pelaksanaan konstruksi di lapangan. Selain faktor durasi, permasalahan lain yang muncul adalah terkait dengan akurasi perhitungan volume yang berpengaruh pada perubahan biaya proyek. Sehingga, diperlukan perhitungan BoQ yang cepat dan akurat untuk mengamankan kemajuan proyek, menjaga keakuratan estimasi biaya dan kebutuhan material pada desain baru serta mencegah keterlambatan penyelesaian proyek [4]. Pemanfaatan teknologi digital diperlukan untuk menangani permasalahan ini dan berkontribusi pada keberhasilan proyek.

Perkembangan digitalisasi, otomatisasi, dan robotika pada industri konstruksi [5] telah memberikan dampak signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas konstruksi [6]. Salah satu aspek penting dari digitalisasi ini adalah penggunaan perangkat lunak canggih yang dapat membantu dalam berbagai aspek manajemen proyek konstruksi. Pemanfaatan perangkat lunak seperti Revit, yang berbasis pada *Building Information Modeling* (BIM), telah menjadi alat penting dalam mengoptimalkan proses konstruksi. Revit memungkinkan pemodelan 3D yang mendetail, membantu tim proyek untuk melakukan kolaborasi yang lebih efisien dan mengurangi kesalahan dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi [7]–[9]. Dengan menggunakan Revit, analisis terkait penjadwalan, biaya, dan keberlanjutan dapat dilakukan dengan lebih akurat dan cepat [10]–[14]. Penggunaan perangkat lunak digital memungkinkan percepatan pembangunan melalui peningkatan efisiensi [15], serta mengakomodasi peningkatan kompleksitas proyek konstruksi untuk penyelesaian proyek tepat waktu [16], [17], [18].

Pada Proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan, perangkat lunak seperti Revit dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan akurasi penyusunan BoQ akibat perubahan desain yang terjadi selama tahap konstruksi. Penggunaan *software Revit* memberikan manfaat signifikan dalam mengatasi masalah perhitungan volume konstruksi.

Dengan demikian, penyusunan BoQ konvensional dengan proses manual yang memiliki risiko kesalahan manusia dan mengakibatkan ketidakakuratan dalam perhitungan biaya konstruksi dan potensi deviasi signifikan dari perkiraan biaya seharusnya dapat dihindari [19]–[21].

Penelitian terdahulu menunjukkan secara konseptual bahwa pemodelan BIM memberikan dampak signifikan pada proses konstruksi, bahkan jika dikombinasikan dengan teknologi lain [4]. Beberapa studi yang relevan dengan perbandingan perhitungan volume antara BIM dan metode manual mencakup berbagai komponen struktur. Penelitian oleh Saputra et al. [4] secara konseptual menyatakan bahwa BIM memiliki dampak besar pada efisiensi dan akurasi dalam konstruksi. Studi lain oleh Fachlevi et al. [20] membandingkan perhitungan volume beton untuk komponen seperti *footplate*, pondasi menerus, *sloof*, dan kolom, menemukan variasi hasil yang signifikan. Selain itu, Ramadhandy et al. [19]. membandingkan volume beton dan tulangan pada kolom, balok, dan plat, juga menunjukkan perbedaan hasil antara metode BIM dan manual. Selanjutnya, penelitian oleh Laily et al [7]. melakukan perhitungan volume untuk beton dan tulangan pada pondasi, balok, kolom, plat, serta rangka atap baja profil, menemukan bahwa hasil perhitungan bervariasi. Penelitian terkait perbandingan perhitungan volume BIM dan manual antara lain: yang melakukan perbandingan perhitungan volume beton (*footplate*, pondasi menerus, *sloof* dan kolom) [20]; melakukan perbandingan volume beton dan tulangan (kolom, balok dan plat) [19]; serta yang melakukan perhitungan volume beton dan tulangan (pondasi, balok, kolom, plat) serta rangka atap baja profil [7], [22].

Para peneliti sebelumnya masih berfokus pada perhitungan volume pada suatu proyek dan belum meninjau dampak dari perubahan desain yang terjadi pada proyek. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan volume dan penyusunan BoQ pada Proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan berdasarkan pemodelan Revit dan manual. Melalui hasil tersebut, diharapkan dapat diidentifikasi perbedaan efisiensi, akurasi, dan efektivitas antara metode pemodelan digital dengan metode manual sehingga dapat memberikan rekomendasi untuk penerapan metode yang lebih optimal dalam proses konstruksi.

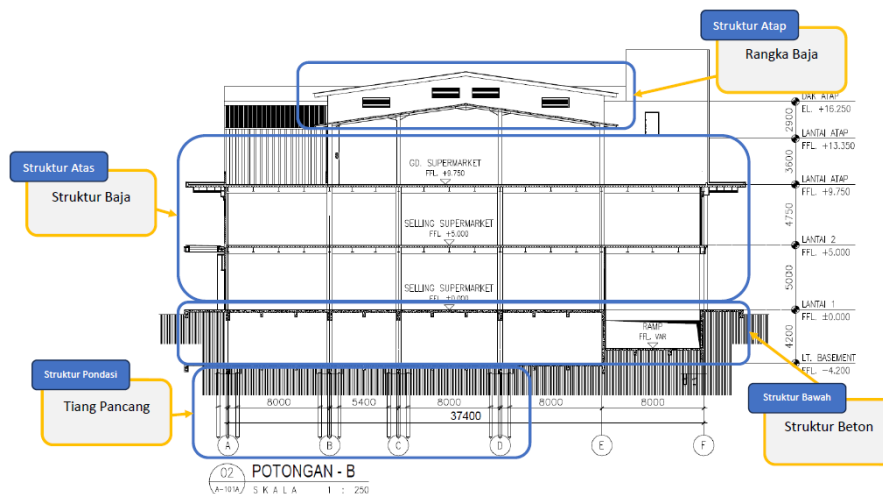
2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian komparatif dan deskriptif. Penelitian ini bersifat komparatif dilakukan membandingkan dua metode perhitungan volume dan penyusunan BoQ, yaitu menggunakan pemodelan Revit dan metode manual akibat dari perubahan desain. Perubahan desain telah terjadi saat awal pelaksanaan proyek pada minggu

ke-1 dan terjadi perubahan desain lagi pada minggu ke-26 sedangkan hingga minggu ke-30 BoQ yang ada belum di perbaharui sesuai dengan perubahan desain dengan alasan yang tidak dapat dijelaskan. Sedangkan penelitian deskriptif dilakukan menggambarkan dan menganalisis data yang diperoleh dari kedua metode tersebut untuk menilai efisiensi, akurasi, dan efektivitas masing-masing metode. Pemodelan Revit dilakukan untuk seluruh komponen pekerjaan struktur (baja dan beton) pada Proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan. Khusus untuk pekerjaan beton, volume tulangan beton yang ditinjau hanya dilakukan berdasarkan *sampling* terhadap beberapa komponen struktur seperti *pile cap*, *sloof*, kolom dan balok yang merupakan komponen struktur utama pada gedung ini. Proses penelitian melibatkan penyusunan, pengolahan, dan analisis data terkait proyek konstruksi.

2.1 Pengumpulan Data

Data primer pada penelitian berupa BoQ proyek dan *Detail Engineering Drawing* (DED). BoQ awal dari proyek dipilah berdasarkan kelompok pekerjaan struktur yang menjadi acuan perhitungan volume sebelum adanya perubahan desain, sedangkan DED digunakan sebagai dasar pemodelan Revit yang kemudian menjadi dasar perhitungan volume pasca perubahan desain. Untuk gambaran struktur dari Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



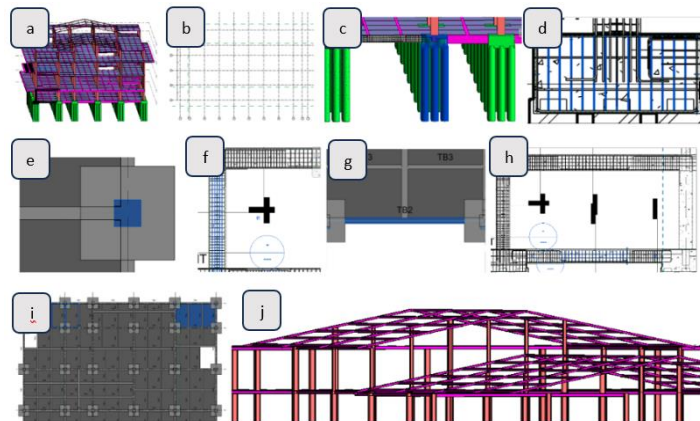
Sumber: Penulis (2024).

Gambar 1. Lingkup Struktur Gedung Yogya Kota Baru Parahyangan

2.2 Pengolahan Data

Proses pemodelan dilakukan berdasarkan data DED proyek yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Proses pemodelan pada Revit dimulai dengan pembuatan *grid* untuk menempatkan komponen struktur. Mulai dari pemodelan pondasi tiang pancang, *pile cap*, *tie beam*, kolom,

balok, plat lantai hingga pemodelan atap sesuai dengan jenis dan ukuran masing-masing. Dari pemodelan dihasilkan volume dan kemudian dibandingkan dengan BoQ proyek.



Sumber: Pemodelan Struktur Gedung (3D Revit).

Gambar 2. (a) Hasil Pemodelan Gedung, (b) Grid, (c) Pondasi, (d) Penulangan Tie Beam, (e) Kolom, (f) Penulangan Kolom, (g) Balok & Tie Beam, (h) Penulangan Balok & Tie Beam, (i) Plat lantai, (j) Kuda-Kuda

Setelah pemodelan struktur bangunan menggunakan Revit, volume pekerjaan dapat diakses melalui menu *schedule*. Menu ini memungkinkan data disusun dan diurutkan berdasarkan level dan jenis. Kemampuan revit untuk mengorganisir dan menyajikan data secara terstruktur memudahkan analisis volume pekerjaan dan meningkatkan efisiensi manajemen proyek. Fitur *sorting* yang memudahkan akses informasi spesifik dan relevan untuk setiap level dan jenis pekerjaan.

<Kolom>		
A	B	C
Base Level	Family and Type	Volume
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K3	1.50 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.50 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.50 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.50 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.51 m³
LANTAI BASEMENT	Concrete-Rectangular-Column: K2	1.50 m³

Sumber: 3D Revit (2024).

Gambar 3. Tampilan Hasil Perhitungan Volume Menggunakan Revit

Perhitungan volume menggunakan metode manual didasarkan pada gambar model struktur DED dan diolah dengan microsoft excel. Perhitungan manual dilakukan karena pada pemodelan tulangan di Revit, tulangan hanya dimodelkan dengan satu *sample* per komponen struktur. Sehingga perhitungan manual diperlukan untuk membandingkan hasil dengan

Analisis Perubahan Desain Gedung Pada Tahap Konstruksi Terhadap Perhitungan Volume dan *Bill of Quantity* (BoQ)

mempertimbangkan hal yang serupa. Hasil dan item pekerjaan yang dihitung secara manual dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Tulangan Manual.

Pile Cap 2100x2100x1000	Volume	Satuan
Tulangan Utama D16	185,2982	Kg
Tulangan Utama D19	261,5285	Kg
Tulangan Sengkang D16	13,2215	Kg
Tulangan Sengkang D19	18,7142	Kg
Kolom K3	Volume	Satuan
Tulangan Utama D19	271,3464	Kg
Tulangan Sengkang D10	84,9979	Kg
Tie beam TB1	Volume	Satuan
Tulangan Samping D10	17,112	Kg
Tulangan Sengkang D10	98,9086	Kg
Tulangan Atas dan Bawah D16	214,248	Kg
Balok BB1	Volume	Satuan
Tulangan Samping D10	54,288	Kg
Tulangan sengkang D10	141,5816	Kg
Tulangan Atas dan Bawah D16	256,908	Kg

Sumber: Peneliti (2024)

3. Hasil dan Diskusi

Perbandingan volume dari model *Revit* dan metode manual dikelompokkan berdasarkan jenis dan komponen struktur yang ditinjau. Hasil ini dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**. Berdasarkan pemodelan *Revit* yang didasarkan pada DED terbaru dari proyek pasca perubahan desain, diperoleh perhitungan volume untuk BoQ. Volume ini kemudian dibandingkan dengan volume berdasarkan perhitungan manual dari proyek.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Volume dan BoQ *Revit*

Lantai	Tiang Pancang (m')	Beton (m3)				Besi Tulangan (kg)*				Baja Profil (kg)
		Pile Cap	Sloof	Kolom	Balok	Plat Lantai	Pile Cap	Sloof	Kolom	
Lantai Basement	2904,60	233,75	213,61	81,09		179,43	496,74	325,45	361,72	
Lantai 1			40,74	6,71	235,39	278,02				467,78
Lantai 2						258,94				212107,00
Lantai Mezzanine						319,31				191461,50
Lantai Atap						145,72				88391,00
Struktur Atap						40,20				30936,92
Total	2904,60			2032,91			1651,69			575569,92

Sumber: Peneliti (2024)

Analisis Perubahan Desain Gedung Pada Tahap Konstruksi Terhadap Perhitungan Volume dan *Bill of Quantity* (BoQ)

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v7i1.5471>



Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan volume pekerjaan struktur menggunakan pemodelan Revit. Volume pekerjaan meliputi tiang pancang (2904,60 m'), beton (2032,91 m³), besi tulangan (1651,69 kg), dan baja profil (575569,92 kg). Penggunaan Revit memungkinkan pemodelan yang detail, meningkatkan akurasi perhitungan dibandingkan metode manual. Volume besar pada komponen seperti tiang pancang dan baja profil menunjukkan kebutuhan material yang signifikan untuk stabilitas dan distribusi beban. Khusus untuk pemodelan besi tulangan pada struktur beton, hanya dilakukan *sampling* per as atau jenis dari empat komponen struktur tinjauan yaitu *pile cap*, *sloof*, kolom dan balok sehingga volumenya relatif kecil dibandingkan dengan volume beton yang dihitung secara keseluruhan.

Tabel 3. Rekapitulasi Volume dan BoQ Manual dari Proyek

Lantai	Tiang Pancang (m')	Beton (m ³)				Besi Tulangan (kg)*				Baja Profil (kg)
		Pile Cap	Sloof	Kolom	Balok	Plat Lantai	Pile Cap	Sloof	Kolom	
Lantai Basement	2592,00	238,32	88,95	47,16		276,58	478,76	330,27	357,55	
Lantai 1			64,29	4,22	92,83	203,46				452,78
Lantai 2						319,15				
Lantai						272,42				
Lantai Atap						0,00				
Struktur Atap						61,25				
Total	2592,00			1668,63				1619,36		389468,55

Sumber: Peneliti (2024).

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan volume pekerjaan struktur secara manual dari proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan. Volume pekerjaan meliputi tiang pancang (2592,00 m'), beton (1668,63 m³), besi tulangan (1619,36 kg), dan baja profil (389468,55 kg). Perhitungan manual ini menunjukkan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil pemodelan Revit, yang mencerminkan keterbatasan akurasi metode manual dalam menangkap detail dan kompleksitas struktur. Untuk menyamakan perbandingan volume besi tulangan, maka yang digunakan pada perbandingan adalah hasil perhitungan *sampling* per komponen seperti berdasarkan perhitungan manual peneliti pada **Tabel 1**.

Tabel 4. Perbandingan Perhitungan Volume Manual dan Revit

	Tiang Pancang	Beton	Besi Tulangan	Baja Profil
Revit	2904,60 m	2032,9 m ³	1651,69 kg	575569,92 kg
Manual	2592,00 m	1668,63 m ³	1619,36 kg	389468,55 kg
Selisih (Revit ke Manual)	312,60 m	364,28 m ³	32,33 kg	186101,37 kg
% Selisih (Revit ke Manual)	+12,06%	+21,83%	+2,00%	+47,78%

Sumber: Peneliti (2024)

Analisis Perubahan Desain Gedung Pada Tahap Konstruksi Terhadap Perhitungan Volume dan *Bill of Quantity* (BoQ)

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v7i1.5471>



Dari hasil perbandingan (**Tabel 4**), diperoleh gambaran secara umum bahwa pada analisis perbandingan ini, volume dari komponen struktur tinjauan bernilai lebih besar pada pemodelan Revit dibandingkan dengan data hasil perhitungan manual. Selisih terkecil ditunjukkan pada volume besi tulangan yang memang tidak menggunakan volume keseluruhan melainkan sampling per satuan komponen. Hal ini menunjukkan perhitungan manual yang dilakukan oleh penulis sudah cukup akurat. Namun jika akan dilakukan pemodelan secara utuh, perlu diperhatikan pada bagian sambungan antara komponen struktur khususnya untuk perhitungan manual.

Tabel 4 menyajikan perbandingan volume antara metode Revit dan manual untuk proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan. Hasilnya menunjukkan bahwa volume yang dihitung menggunakan Revit cenderung lebih besar dibandingkan metode manual: tiang pancang (+12.06%), beton (+21.83%), besi tulangan (+2.00%), dan baja profil (+47.78%). Perbedaan terbesar terdapat pada baja profil, menunjukkan Revit lebih mampu mengakomodasi kompleksitas desain dan perubahan yang terjadi. Selisih yang lebih kecil pada besi tulangan mengindikasikan bahwa meskipun menggunakan sampling, Revit tetap memberikan hasil yang lebih akurat. Perbandingan ini menyoroti keunggulan Revit dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi perhitungan volume dan BoQ serta peran Revit yang potensial menghadapi dinamika proyek [22]. khususnya dalam konteks pembaharuan BoQ.

Hal ini tentu berdampak pada perubahan biaya yang tidak diantisipasi oleh pemilik proyek [23]. Penelitian sebelumnya menyebutkan volume beton yang dihasilkan Revit memiliki rentang antara -7,06% s/d +5,17% dari volume manual yang dihasilkan. Untuk volume tulangan, rentang variasinya semakin lebar dengan hasil yang diperoleh Revit berada antara -17,05% s/d 12,28% terhadap volume manual. Sedangkan untuk baja profil hanya ditunjukkan oleh satu penelitian dengan nilai yang dihasilkan Revit lebih kecil 18,45% dibandingkan manual [19]–[21]. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk volume beton pada proyek tinjauan berada diluar rentang penelitian terdahulu. Hal ini dapat dipahami mengingat perubahan desain yang terjadi. Pada segi volume besi tulangan, hasil perhitungan manual yang dilakukan dinilai telah cukup akurat (+1,96%) dan sejalan dengan penelitian terdahulu. Sedangkan untuk volume baja profil, hasil perhitungan pada penelitian ini berkebalikan dengan penelitian sebelumnya, namun dengan catatan bahwa pada penelitian ini telah terjadi perubahan desain yang belum terakomodasi pada BoQ manual dari proyek tinjauan.

Perbedaan signifikan antara metode manual dan Revit pada proyek ini dikarenakan pemodelan Revit didasarkan pada DED yang sudah diperbaharui dengan perubahan desain yang

terjadi di lapangan. Sebaliknya, BoQ proyek yang dibandingkan tidak mengalami pembaruan yang mencerminkan perubahan desain yang terjadi di lapangan. Kondisi ini perlu menjadi perhatian mengingat proyek perlu melakukan *updating* data proyek secara cepat terhadap perubahan desain yang terjadi untuk pelaksanaan yang sesuai rencana [24].

Dengan demikian, pembaruan desain yang terintegrasi dalam pemodelan Revit memungkinkan representasi yang lebih akurat terhadap kondisi aktual proyek [25]. Sebaliknya, BoQ yang tidak mengikuti perubahan desain tersebut dapat mengakibatkan perbedaan signifikan dalam volume pekerjaan yang dihasilkan oleh dua metode tersebut. Oleh karena itu, ketidaksesuaian antara BoQ yang tidak diperbaharui dan pemodelan Revit yang mengikuti perubahan desain di lapangan menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan perbedaan besar dalam hasil antara kedua metode tersebut pada penelitian ini lebih lagi jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan desain berdampak secara signifikan pada seluruh volume komponen struktur yang ditinjau pada penelitian ini (tiang pancang, beton, tulangan dan profil baja). Hal ini dapat dilihat dari hasil perbandingan volume yang dilakukan tiang pancang (+12.06%), beton (+21.83%), besi tulangan (+2.00%), dan baja profil (+47.78%). Analisis menggunakan *software Revit* yang mampu menunjukkan hasil volume dan perubahan BoQ dengan lebih cepat dan akurat. Temuan ini berdampak positif pada pengembangan sektor konstruksi Indonesia khususnya bagi pada *stakeholder* proyek dalam mengantisipasi perubahan yang terjadi pada suatu proyek konstruksi serta meningkatkan efektifitas dan efisiensi pengelolaan proyek.

5. Ucapan Terima Kasih

Para peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi terhadap penelitian ini, khususnya pihak Proyek Pembangunan YOGYA Kota Baru Parahyangan.

Daftar Pustaka

- [1] Regional.Kontan.co.id, “Bandung Barat jadi area yang prospektif bagi para pencari hunian, ini alasannya,” *Regional.Kontan.co.id*, 2021. <https://regional.kontan.co.id/news/bandung-barat-jadi-area-yang-prospektif-bagi-para-pencari-hunian-ini-alasannya?page=all>
- [2] Kotabaruparahyangan.com, “Kota Baru Parahyangan,” 2024. <https://www.kotabaruparahyangan.com/>
- [3] T. Yuristanti, “Analisis Kinerja Proyek Design and Build Pada Proyek Jalan Di Direktorat Jenderal Bina Marga,” pp. 1–127, 2020, [Online]. Available: https://repository.its.ac.id/76474/1/03111850077011-Master_Thesis.pdf
- [4] A. Saputra, H. Riakara Husni, Bayzoni, and A. M. Siregar, “Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Menggunakan Software Autodesk Revit (Studi Kasus: Gedung 5 RSPTN Universitas Lampung),” *J. Rekayasa Sipil Dan Desain*, vol. 10, no. 1, pp. 15–26, 2022, [Online]. Available: <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/2321>
- [5] A. Seyfar, A. Hossein, and I. Osma, “Robotics and Automation in Construction (RAC): Priorities and Barriers Toward Productivity Improvement in Civil Infrastructure Projects,” *Autom. Robot. Archit. Eng. Constr. Ind.*, pp. 59–71, 2022, [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77163-8_3
- [6] Y. A. Tanne and N. L. A. Indrayani, “Review of Construction Automation and Robotics Practices in Indonesian Construction State-Owned Enterprises: Position in Project Life Cycle, Gap to Best Practice and Potential Uses,” *Archit. Struct. Constr.*, vol. 3, pp. 373–389, 2023, [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44150-023-00098-5>
- [7] F. N. Laily, H. R. Husni, and B. Bayzoni, “Perbandingan Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Revit 2019 Terhadap Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus: Gedung G Fakultas Pertanian Universitas Lampung),” *REKAYASA J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 25, no. 2, pp. 27–31, 2021, doi: 10.23960/rekrjits.v25i2.30.
- [8] R. Y. Putra, “Perbandingan Estimasi Anggaran Biaya Antara Metode SNI, BOW DAN Kontraktor (Studi Kasus : Proyek Lanjutan Pembangunan Eks Gedung Kantor Koperasi Samarinda),” *J. Keilmuan dan Apl. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 229–250, 2021, [Online]. Available: <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEK/article/view/6370>

- [9] A. A. P. Putra, N. I. W. Oei, Hermawan, and B. Hasiholan, “Comparative Study in Bill of Quantity Estimates on Reinforcement Works of Pile Cap, Single Pier and Double Pier of Flyover between Conventional Methods and BIM (Building Information Modelling),” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1065, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1065/1/012041.
- [10] S. Mansoori, J. Harkonen, and H. Haapasalo, “Productization and product structure enabling BIM implementation in construction,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 30, no. 5, pp. 2155–2184, 2023, doi: 10.1108/ECAM-09-2021-0848.
- [11] B. Schiavi, V. Havard, K. Beddiar, and D. Baudry, “BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction,” *Autom. Constr.*, vol. 134, 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.104054.
- [12] L. Stojanovska-Georgievska *et al.*, “BIM in the Center of Digital Transformation of the Construction Sector—The Status of BIM Adoption in North Macedonia†,” *Buildings*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.3390/buildings12020218.
- [13] M. Gerges, S. Austin, M. Mayouf, O. Ahiakwo, and M. Jaeger, “An Investigation Into The Implementation Of Building Information Modeling In The Middle East Amr Saad BIM Implementation Consultant, BIM PROJECTS, Egypt; amrsaad@bimprojects.net Tamer-El Gohary Senior BIM and planning engineer,” *pg. 1 Middle East. J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 22, no. 2, pp. 1–15, 2017, [Online]. Available: <http://www.itcon.org/2017/1>
- [14] Y. Y. Al-Ashmori *et al.*, “BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 1013–1019, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2020.02.002.
- [15] C. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Y. Rezgui, “Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research,” *Autom. Constr.*, vol. 114, no. November 2019, p. 103179, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103179.
- [16] M. N. Mohd Nawi, N. Baluch, and A. Y. Bahauddin, “Impact of fragmentation issue in construction industry: An overview,” *MATEC Web Conf.*, vol. 15, pp. 1–8, 2014, doi: 10.1051/mateconf/20141501009.
- [17] S. Huzaini, “Penerapan Konsep Building Information Modelling (Bim) 3d Dalam Mendukung Pengestimasian Biaya Pekerjaan Struktur,” 2021, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/34227/16511230> Syahrul Huzaini.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [18] I. Sadad, F. Hendi Jaya, and I. W. Januar, "Implementasi BIM Take Off Quantity Material Struktur Abutment Jembatan Terhadap Volume Rencana Implementation of BIM Take Off Quantity Material of Bridge Abutment Structure on Planned Volume," *J. Tek. Sains*, vol. 07, p. 2022, 2022.
- [19] M. D. Ramadhandy, N. K. Handyani, and D. S. Dwiyanto, "Analisis Perbandingan Bill of Quantity (BOQ) dengan Menggunakan BIM Revit 2022 terhadap Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur Rumah Tinggal (Studi Kasus Rumah Mewah 3 Lantai Scandinavian Luxury House)," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil*, 2023.
- [20] S. R. Fachlevi, R. Maulana, O. H. Ardian, and S. N. Sari, "Analisis Perbandingan Perhitungan Volume Pada Bill of Quantity Menggunakan Software Autodesk Revit 2022 Dengan Perhitungan Manual Berdasarkan Sni 2847 Tahun 2019 Pada Gedung Serbaguna Di Desa Towangsan," *STORAGE J. Ilm. Tek. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 3, pp. 150–164, 2023, doi: 10.55123/storage.v2i3.2370.
- [21] O. Bastian and T. H. Setiawan, "Penerapan Building Information Modeling dalam Proses Quantity Take-Off pada Proyek Gudang X," *J. Sustain. Constr.*, vol. 2, no. 2, pp. 12–21, 2023, doi: 10.26593/josc.v2i2.6466.
- [22] S. Heryanto *et al.*, "Kajian Penerapan Building Information Modeling (BIM) di Industri Jasa Konstruksi Penerapan teknologi informasi dalam proses bangunan gedung (building delivery menggunakan software Information Modelling penting dalam industry jasa konstruksi BIM telah," *J. Archit. Innov.*, vol. 4, no. 2, 2020.
- [23] G. P. Arianie and N. B. Puspitasari, "Perencanaan Manajemen Proyek Dalam Meningkatkan Efisiensi dan Efektifitas Sumber Daya Perusahaan(Studi Kasus : Qiscus Pte Ltd)," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 3, p. 189, 2017, doi: 10.14710/jati.12.3.189-196.
- [24] N. A. Sheik, P. Veelaert, and G. Deruyter, "Exchanging Progress Information Using IFC-Based BIM for Automated Progress Monitoring," *Buildings*, vol. 13, no. 9, 2023, doi: 10.3390/buildings13092390.
- [25] M. Valinejadshoubi, O. Moselhi, I. Iordanova, F. Valdivieso, and A. Bagchi, "Automated system for high-accuracy quantity takeoff using BIM," *Autom. Constr.*, vol. 157, no. November 2023, p. 105155, 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105155.