

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

ANALISIS PERBANDINGAN QUANTITY TAKE OFF BERBASIS BIM DAN BOQ MANUAL PADA PEKERJAAN STRUKTUR GEDUNG

Sarju^{1*}, Zaky Abad Hakim¹, Buddewi Sukindrawati¹

^{1*)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Janabadra, Yogyakarta.

Email Penulis Korespondensi : sarju@janabadra.ac.id

Nomor HP Penulis Korespondensi : 085725544742

ABSTRACT

Quantity take-off (QTO) calculation is an important component in cost estimation and material control in construction projects. Manual methods based on 2D drawings and Bill of Quantities (BOQ) are prone to inconsistencies due to the global volume addition approach and do not always follow the actual geometric cuts. This study compares the results of QTO based on Building Information Modeling (BIM) using Tekla Structures with manual BOQ on the structural work of the Tegal City Public Service Mall Building. The analysis focused on three materials: concrete, formwork, and reinforcement including foundation elements, beams, columns, slabs, and stair slabs. The results show that the total BIM volume produces 1,989.49 m³ of concrete, 6,857.70 m² of formwork, and 302,817.10 kg of reinforcement, while the BOQ recorded 2,025.37 m³, 7,305.17 m², and 303,502.10 kg. The deviations were 1.77%, 6.13%, and 0.23%, respectively. The differences were mainly influenced by automatic geometry truncation in the 3D model, the separation of specific elements such as pitlift walls, and inconsistent reinforcement rules (clear span, overlap, and development length) in manual calculations. These findings confirm that BIM-based QTO and BOQ can produce significant quantity differences in some elements, and identify recurring sources of deviations that can be used as a basis for quantity audits and improve calculation consistency across similar projects.

Keyword: *Bill of Quantity, Building Information Modeling, Quantity Take-Off, Tekla Structures*

1. PENDAHULUAN

Ketelitian *quantity take-off (QTO)* merupakan komponen fundamental dalam estimasi biaya dan pengendalian material pada proyek konstruksi gedung publik. Pada pendekatan konvensional berbasis gambar 2D dan perhitungan manual, QTO kerap dipengaruhi penggunaan *gross volume/area*, potensi *double counting* pada zona pertemuan elemen, serta ketidakkonsistenan interpretasi estimator, yang dapat menurunkan reliabilitas BOQ [1–3].

Penerapan *Building Information Modeling (BIM)* memungkinkan model *based quantity extraction* dengan pemotongan geometri (*clean intersections*), pemisahan objek struktural, dan pembaruan otomatis saat terjadi perubahan desain. Dalam kerangka 5D, kuantitas dapat ditautkan ke harga satuan untuk estimasi dinamis [4–8]. Namun, hasil QTO BIM tidak otomatis “lebih presisi secara absolut”, perbedaan kuantitas bergantung pada aturan pemodelan, standar pengukuran, dan kualitas tata kelola informasi yang diterapkan [4–6,8].

Studi komparatif menunjukkan deviasi QTO antara BIM dan metode manual lazim muncul pada elemen yang saling berinteraksi (balok, pelat, kolom) akibat perbedaan penanganan pemotongan geometri dan asumsi pengukuran. Pada pembesian, deviasi dipengaruhi penerapan *development length*, *lap splice*, kait, serta toleransi pembengkokan [8–10,15]. Temuan-temuan ini menegaskan pentingnya audit deviasi berbasis aturan pengukuran alih alih klaim presisi absolut [8–10].

Di tingkat implementasi, adopsi BIM untuk QTO menghadapi tantangan *upskilling* SDM, standarisasi

klasifikasi/ID elemen, dan integrasi dengan sistem biaya/progres, sehingga otomasi 5D penuh seringkali belum tercapai, konteks organisasi dan kesiapan proses sangat memengaruhi manfaat yang dirasakan [5,8,10,11–14].

Dalam konteks Indonesia, proyek gedung publik beroperasi di bawah prinsip ketertiban, efektivitas, efisiensi, dan akuntabilitas sebagaimana diamanatkan Permen PUPR No. 22/PRT/M/2018; meskipun peraturan ini tidak secara eksplisit mewajibkan BIM, digitalisasi informasi kuantitas relevan untuk mendukung prinsip-prinsip tersebut [5,8–10].

Berdasarkan celah penelitian lokal, masih terbatas kajian komparatif yang menganalisis QTO berbasis BIM terhadap BOQ manual secara menyeluruh pada gedung layanan publik Indonesia untuk tiga material utama (beton, bekisting, pembesian) di seluruh elemen struktur, disertai audit sistematis sumber deviasi. Selain itu, diperlukan kerangka operasional yang memuat kategori/ID objek, aturan pengukuran, dan pemetaan objek-item BOQ/harga satuan agar alur menuju 5D lebih konsisten [5,8–10,17].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) membandingkan volume QTO hasil BIM (Tekla Structures) dengan BOQ manual pada seluruh elemen struktur; dan (2) mengidentifikasi mekanisme deviasi kuantitas pada masing-masing material/elemen [4–8,17].

2. METODE

2.1. Desain, Data, dan Lingkup

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus pada Gedung Mal Pelayanan Publik (MPP) Kota Tegal. Data utama terdiri atas gambar kerja (DED) dan *Bill of Quantity (BOQ)* sebagai acuan dimensi sekaligus pembandingan kuantitas, serta model BIM yang dibangun menggunakan Tekla Structures 2024 (*Student License*). Analisis berfokus pada tiga kelompok material beton, bekisting, dan pembesian pada elemen bored pile, pilecap, sloof, balok, kolom, pelat lantai, pelat tangga, dan dinding pitlift. Untuk menjamin konsistensi ekstraksi kuantitas, penamaan objek dan kategori/ID dinormalisasi sejak tahap pemodelan.

2.2. Aturan Pengukuran (*Measurement Rules*)

a) Beton (satuan: m³)

i) Definisi Volume

Volume beton didefinisikan sebagai volume bersih (NET) yang dihasilkan setelah pemotongan geometri bersih (*clean cut*) pada seluruh zona antarmuka (balok; pelat; kolom/sloof; pelat; dinding; pilecap; *bored pile*) sehingga tidak terjadi *double counting* antareleman. Pada sisi BIM tidak diterapkan *allowance/waste*.

ii) Kebijakan per elemen.

Bored pile dihitung sebagai silinder bersih sesuai profil dan panjang pada DED; pilecap dikurangi penetrasi kolom/*bored pile* (NET); sloof dan balok terpotong bersih oleh pelat/kolom/balok lain; pelat lantai dan pelat tangga dihitung sebagai area efektif (NET) setelah terpotong balok/kolom/bordes; dinding pitlift direkap terpisah dari kolom pitlift untuk mencegah akumulasi ganda.

iii) Catatan komparasi.

Perbandingan dilakukan terhadap BOQ (bukan ground truth seperti as-built atau pengadaan aktual); oleh karena itu, interpretasi dibatasi pada perbedaan kuantitas dan sumber deviasi.

b) Bekisting (satuan: m²)

i) Definisi luas.

Luas bekisting didefinisikan sebagai luas permukaan yang memerlukan cetakan saat pengecoran (*NET surface area*) yang berasal langsung dari geometri model; permukaan yang tertutup/terpotong elemen lain tidak dihitung ganda.

ii) Permukaan kontak tanah (kebijakan khusus).

Bored pile tidak direkap sebagai bekisting karena penggunaan casing bersifat kondisional di lapangan; pilecap tidak menghitung sisi yang kontak tanah (yang dihitung hanya permukaan yang memerlukan cetakan); pada sloof yang bersinggungan tanah, sisi bawah tidak dihitung sebagai bekisting, sedangkan sisi samping/atas dihitung sesuai kebutuhan cetakan. Pada balok/kolom/pelat/pelat tangga, seluruh sisi

yang memerlukan cetakan dihitung; pemotongan otomatis pada area antarmuka mengurangi luas secara tepat.

c) Pembesian (satuan: kg)

i) Sumber berat.

Berat tulangan dihitung otomatis dari model Tekla berdasarkan diameter tulangan (*bar size*) dan massa jenis baja tulangan 7.850 kg/m³ (praktik baku industri). Berat diperoleh dari panjang batang 3D × berat nominal per meter sesuai diameter. Tidak digunakan faktor koreksi densitas tambahan.

ii) Parameter pendetailan (dikunci).

- (1) *Lap splice* (tumpang-tindih): 40D untuk tulangan memanjang; bila DED menetapkan nilai berbeda pada elemen tertentu, maka mengikuti DED.
- (2) *Anchorage/development length*: mengikuti ketentuan DED; bila tidak dirinci, digunakan 40D sebagai acuan konservatif.
- (3) *Hook length* dan *bend allowance/deduction*: mengikuti parameter komponen *rebar* Tekla dan ketentuan pada DED sehingga panjang potong merefleksikan radius tekuk aktual.
- (4) *Cover* dan *spacing*: mengikuti DED (misalnya selimut 75 mm untuk pondasi; variasi lain sesuai detail tiap elemen).
- (5) Skema tumpuan–lapangan: pembagian ¼ bentang (tumpuan) dan ½ bentang (lapangan) pada balok/pelat sesuai DED; detail tangga mengikuti komponen tangga (anak tangga & bordes).
- (6) Normalisasi ID tulangan: seluruh *rebar set* diberi penamaan seragam untuk memastikan rekap *Organizer QTO Rebar* konsisten per elemen/material.

2.3. Pembangunan Model dan Ekstraksi QTO

Pemodelan 3D dilaksanakan sesuai dimensi dan detail pada DED. Proses pemeriksaan *clash* dan *part cut* dilakukan untuk menjamin pemotongan bersih pada area antarmuka sebelum ekstraksi. Kuantitas diekstraksi melalui *Organizer* pada tiga modul: *QTO Concrete (parts & assemblies)* untuk beton (m³), *Estimate Formwork (horizontal/vertical)* untuk bekisting (m²), dan *QTO Rebar* untuk pembesian (kg). Seluruh keluaran direkap per elemen kemudian diakumulasikan per material untuk proses perbandingan dengan BOQ.

2.4. Metode Perbandingan

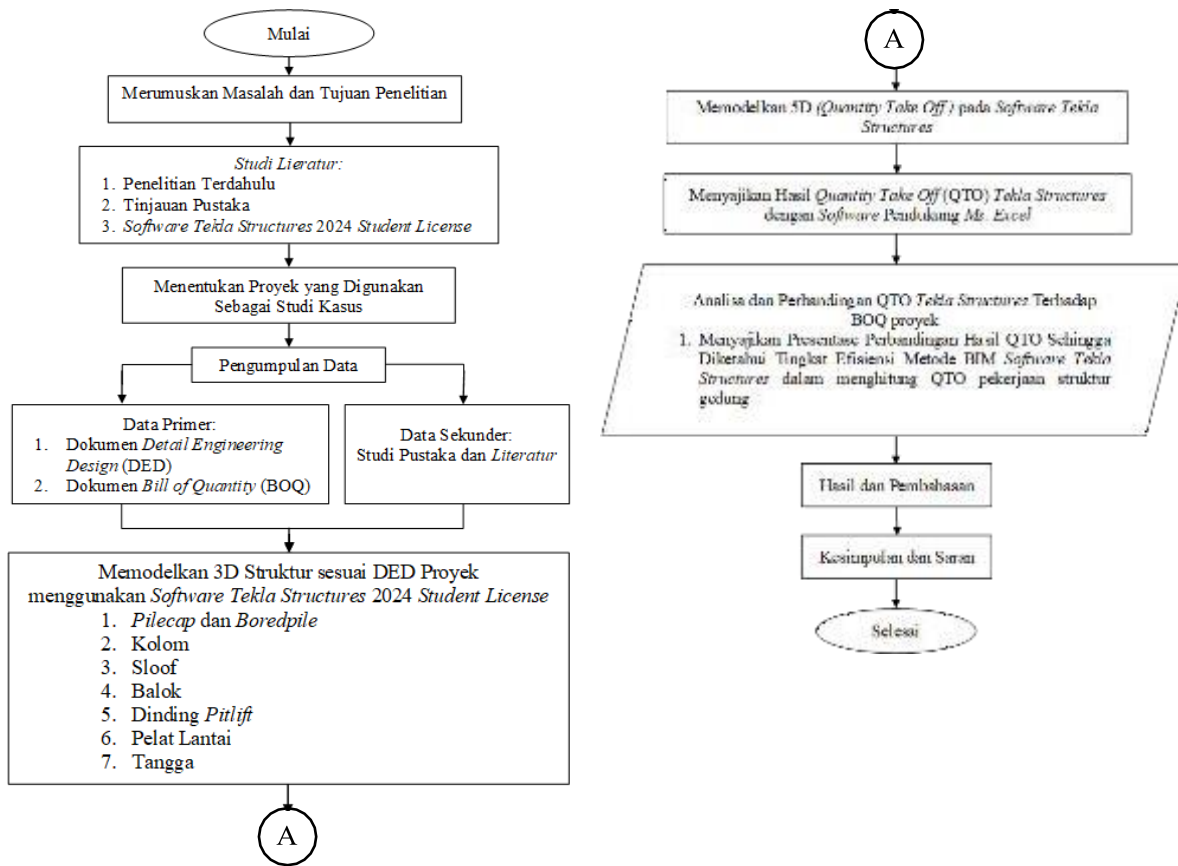
Perbandingan BIM vs BOQ dilaporkan dalam selisih absolut dan deviasi persentase. Tanda deviasi diinterpretasikan sebagai: negatif apabila BIM > BOQ dan positif apabila BIM < BOQ. Secara umum,

$$\text{Deviasi (\%)} = (\text{BIM} - \text{BOQ}) / \text{BOQ} \times 100\% \quad (1)$$

2.5. Validasi dan Jaminan Mutu (Melampaui Spot-Check)

Untuk memperkuat keandalan hasil, penelitian menerapkan dua mekanisme validasi eksternal berikut:

- a) Verifikasi manual elemen representatif: satu balok (kasus deviasi beton relatif besar, BIM > BOQ) dan satu pelat lantai (kasus deviasi beton relatif besar, BIM < BOQ). Untuk masing-masing elemen dilakukan perhitungan manual volume beton NET, luas bekisting (hanya permukaan yang memerlukan cetakan), serta berat pembesian (panjang potong yang memasukkan *lap splice*, *anchorage*, *hook*, dan *bend allowance*). Hasil perhitungan manual dicocokkan dengan keluaran Tekla guna menunjukkan bahwa model mengikuti DED.
- b) Konfirmasi asumsi BOQ (klarifikasi tertulis): meliputi basis perhitungan beton (*gross vs net*), kebijakan bekisting untuk permukaan kontak tanah pada pilecap/sloof serta perlakuan sisi bawah sloof, dan faktor *allowance/waste* pada pembesian (bila ada).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan 3D Struktur

Pemodelan pada bangunan Mal Pelayanan Publik (MPP) Kota Tegal yang dirancang sebagai struktur beton bertulang dengan 5 lantai dan 1 lantai atap, tinggi total 19,45 m, dan luas bangunan 3.366,375 m². Sistem pondasi menggunakan *bored pile*, sesuai data proyek dan DED yang menjadi acuan pemodelan. Konfigurasi grid utama disusun pada sumbu huruf A–D dan angka 1–5 dengan jarak antarsumbu A–B = 8.000 mm, B–C = 7.000 mm, C–D = 8.000 mm, 1–2 = 2.500 mm, 2–3 = 3.750 mm, 3–4 = 8.000 mm, dan 4–5 = 6.000 mm. Elevasi vertikal tiap lantai ditetapkan ±3.900 mm (Lantai 01 s.d. Lantai 05 serta Lantai Atap), sedangkan kedalaman *bored pile* dimodelkan 25.200 mm dari permukaan acuan. Informasi global ini penting agar skala model dan potensi deviasi kuantitas terutama pada elemen luas seperti pelat lantai dapat diinterpretasikan secara tepat pada tahap analisis.

Prosedur pemodelan mengikuti DED MPP Kota Tegal (2023) dengan alur umum: penetapan grid dan elevasi, normalisasi identitas/kategori objek, kemudian pemodelan seluruh elemen beton bertulang sebagai *cast in place*. Interaksi antarelemen (balok, pelat, kolom/pilecap) diterapkan melalui pemotongan bersih (*clean intersections/boolean cut*) sehingga volume beton dan luas bekisting yang diekstrak merepresentasikan geometri neto alih alih *gross*. Ekstraksi kuantitas dilaksanakan melalui Tekla Organizer, yang menghasilkan rekap volume beton, luas bekisting, serta berat pembesian per elemen untuk selanjutnya diekspor ke Excel. Pendekatan ini konsisten dengan praktik QTO berbasis model yang telah digunakan dalam studi dan naskah penelitian terkait.

Parameter utama tiap kelompok elemen diturunkan langsung dari DED. Pada pondasi, *bored pile* dimodelkan sebagai penampang lingkaran Ø800 mm dengan panjang 25.200 mm, sedangkan pilecap mengikuti tipe DED, antara lain 4.000 × 4.000 × 800 mm dan 4.000 × 10.000 × 800 mm. Sloof dan balok dimodelkan sesuai ukuran rancangan (misalnya S1 = 300 × 600 mm; S2 = 250 × 400 mm; S3 = 150 × 400 mm; B1 = 350 × 700 mm; B2 = 300 × 600 mm; B3 = 300 × 500 mm), dan dipastikan terpotong bersih pada area pertemuan dengan pelat/kolom agar tidak terjadi *double counting* saat QTO. Kolom menggunakan

dimensi DED, contoh $K1 = 700 \times 700$ mm; $K2 = 650 \times 650$ mm; $K3 = 400 \times 400$ mm; $K5 = 600 \times 400$ mm dengan penulangan dimodelkan sebagai bar 3D sehingga panjang aktual batang (termasuk sambungan) terrepresentasi dalam perhitungan berat.

Pada elemen pelat, tiap panel dimodelkan dengan ketebalan sesuai tipenya, yaitu $A0 = 120$ mm; $A1 = 130$ mm; $A2 = 120$ mm; $A3 = 120$ mm; $A4 = 100$ mm; $A5 = 130$ mm. Pelat dipotong bersih oleh balok/kolom sehingga kuantitas beton pelat yang terekstrak merupakan luas efektif, bukan luasan kotor yang berpotensi menghitung ganda zona tumpang tindih. Untuk pelat tangga, geometri mengikuti bidang aktual dengan 26 anak tangga dan satu bordes pada elevasi setengah tinggi lantai; detail ini penting karena bentuk tangga memengaruhi luasan bekisting dan jumlah pembesian.

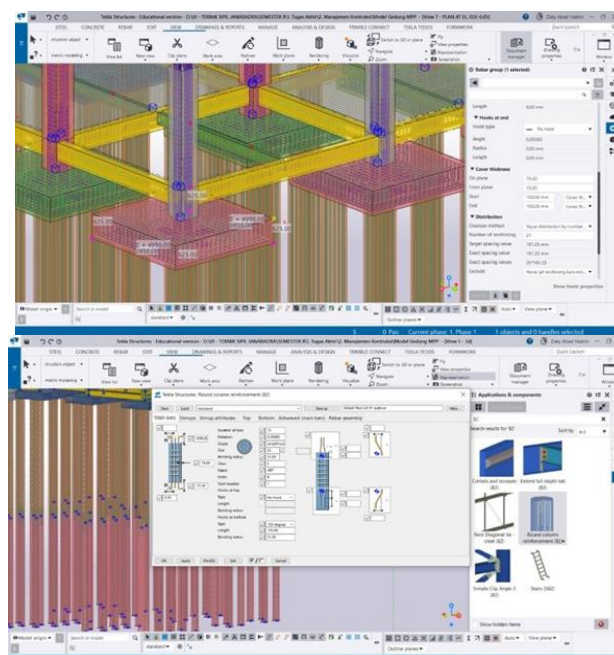
Aturan pemodelan pembesian ditetapkan eksplisit agar berat tulangan yang dihasilkan dari model dapat direplikasi dan diaudit. Selimut beton 75 mm digunakan pada elemen pondasi sesuai DED, sedangkan overlap/penyaluran batang pada kolom diatur 40D. Pada sloof-balok, pembagian daerah tumpuan/lapangan mengikuti DED dan kait 90° diterapkan pada ujung batang sebagaimana disyaratkan dalam detail. Penetapan parameter ini bersama jarak tulangan pada pelat per tipe mencegah bias berat akibat asumsi panjang batang yang tidak konsisten. *Detailing* keseluruhan merujuk pada SNI 2847:2019 sebagaimana tercantum di paket DED proyek.

Dengan konfigurasi tersebut, QTO berbasis model merefleksikan praktik pengukuran neto untuk beton dan bekisting, serta geometri aktual bar untuk pembesian. Implikasinya, elemen seperti pelat lantai cenderung menghasilkan volume lebih kecil dibanding BOQ berbasis pendekatan gross area, sementara perbedaan asumsi bidang bekisting (misalnya perlakuan soffit sloof/balok) dapat menimbulkan deviasi luas yang bermakna; pada pembesian, penetapan overlap/kait/anchorage yang seragam pada model menjadikan berat tulangan lebih tertelusur (traceable) dalam perbandingan terhadap BOQ.

3.2. Pemodelan Tulangan Struktur

3.2.1. Pemodelan tulangan *pilecap* dan pondasi *boredpile*

Pemodelan tulangan pada pondasi *pilecap* menggunakan *tool bar group* pada *tab rebar*. Penyesuaian ukuran tulangan menggunakan *task properties*. *Pilecap* pada gedung ini memiliki 4 tipe dengan masing-masing menggunakan tulangan atas D16-200 dan tulangan bawah D22-190 serta tebal selimut beton 75 mm.

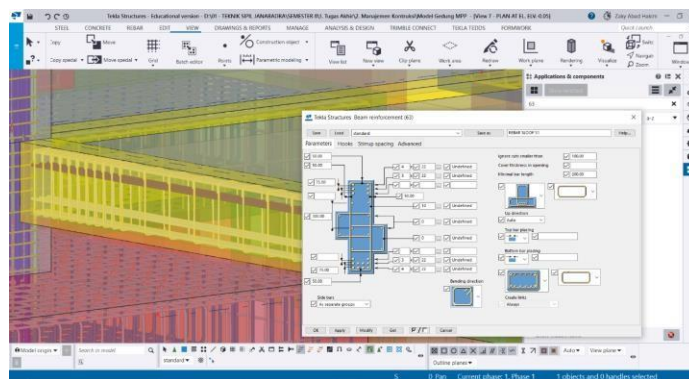


Gambar 2. Model Tulangan *Pilecap* dan Pondasi *Boredpile*

Selanjutnya penulangan pada pondasi *boredpile* dimodelkan menggunakan *tool macro components* yang terdapat pada program *Tekla Structures*, *components round column reinforcement* (82). Penyesuaian dilakukan terhadap masing-masing tipe pondasi *boredpile*. Dalam hal ini, *boredpile* menggunakan tulangan tumpuan 14 D22 dan tulangan sengkang *spiral* D10-100 serta tulangan lapangan 10 D22 dan tulangan sengkang *spiral* D10-200 dengan selimut beton 75 mm.

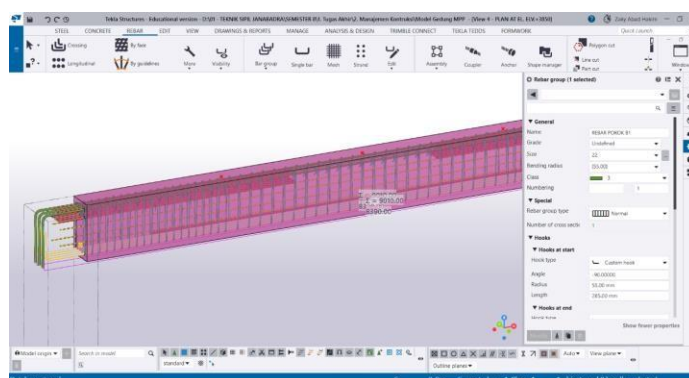
3.2.2. Pemodelan tulangan *sloof* dan balok

Pemodelan tulangan pada *sloof* ini menggunakan *tool macro components* yang terdapat pada program *Tekla Structures*, *components beam reinforcement* (63).



Gambar 3. Model Tulangan *Sloof*

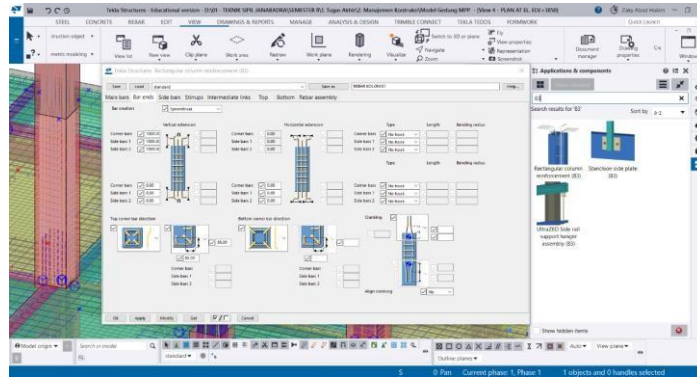
Pemodelan tulangan pada balok menggunakan *tool bar group* pada *tab rebar*. Modifikasi dan penyesuaian ukuran tulangan menggunakan *task properties*. Proses penulangan *sloof* dan balok memiliki ukuran tumpuan $\frac{1}{4}$ bentang dan lapangan $\frac{1}{2}$ bentang serta ujung kait tulangan menggunakan bengkokan 90° .



Gambar 4. Model Tulangan Balok

3.2.3. Pemodelan tulangan kolom

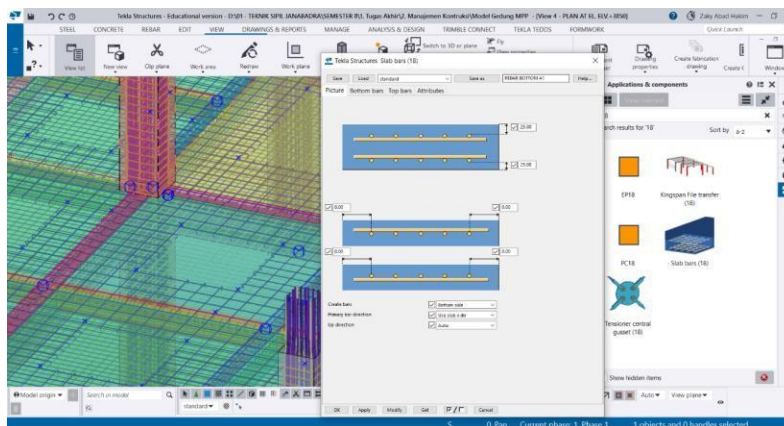
Pemodelan tulangan pada kolom ini menggunakan *tool macro components* yang terdapat pada program *Tekla Structures*, *components rectangular column reinforcement* (83). Penyesuaian dilakukan terhadap masing-masing jenis kolom. Penulangan kolom memiliki ukuran memiliki ukuran tumpuan $\frac{1}{4}$ bentang dan lapangan $\frac{1}{2}$ bentang serta *overlapping* tulangan pokok sebesar 40D sesuai informasi yang terdapat pada DED MPP Kota Tegal.



Gambar 5. Model Tulangan Kolom

3.2.4. Pemodelan tulangan pelat lantai

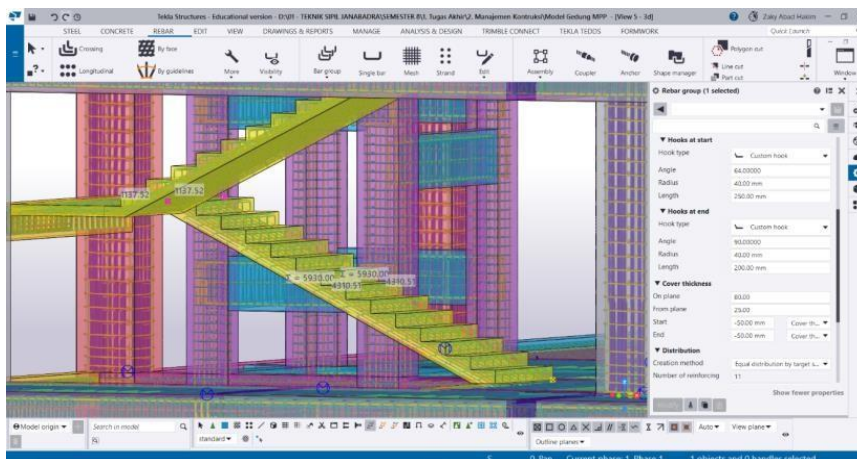
Model tulangan pelat lantai dibuat menggunakan *tool macro components* pada program *Tekla Structures*, yaitu *components slab bars* (18). Penyesuaian dilakukan untuk setiap jenis pelat lantai, dengan ukuran tumpuan $\frac{1}{4}$ bentang dan lapangan $\frac{1}{2}$ bentang.



Gambar 6. Model Tulangan Pelat Lantai

3.2.5. Pemodelan tulangan pelat tangga

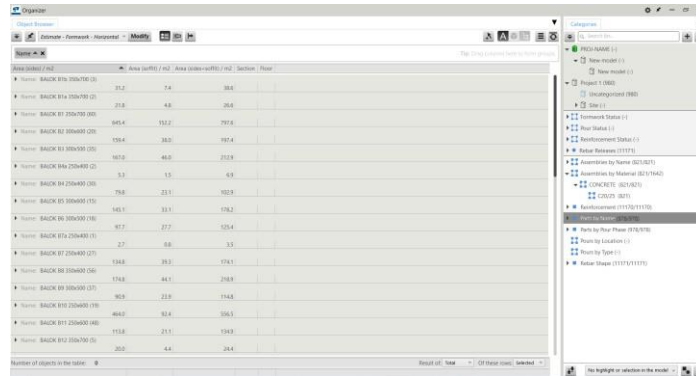
Pemodelan detail tulangan pada pelat tangga menggunakan *tool bar group* pada *tab rebar*. Modifikasi dan penyesuaian ukuran tulangan menggunakan *task properties*.



Gambar 7. Model Tulangan Pelat Tangga

3.5. Volume pekerjaan bekisting

Volume bekisting didapatkan dengan memilih *category* elemen beton yang terdapat di menu *organizer estimate formwork horizontal*. Sehingga muncul volume material bekisting beton sesuai yang dimodelkan.

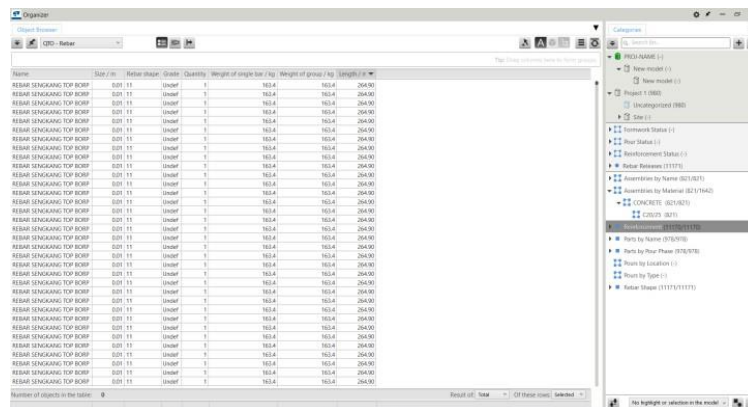


Gambar 10. Tampilan *Quantity Take Off* Pekerjaan Bekisting

Pemodelan beton menghasilkan *output* volume bekisting mulai dari pekerjaan *boredpile*, *pilecap*, *sloof*, kolom, balok, pelat lantai, dan pelat tangga. Namun untuk kebutuhan bekisting pekerjaan *boredpile* tidak dicantumkan pada hasil rekapitulasi karena dalam pelaksanaan hanya memakai *cassing* jika dibutuhkan. Setelah diolah didapatkan total luasan bekisting sebanyak 6.857,70 m².

3.6. Volume pekerjaan pembersian

Pembersian yang dimodelkan menggunakan *Tekla Structures* harus dilakukan dengan cermat dan sesuai dengan standar penulangan beton struktural yang tercantum pada gambar DED. Detail penulangan harus mengikuti standar penyaluran kait tulangan pokok, kait tulangan sengkang, dan sambungan tulangan longitudinal. Tujuannya adalah agar hasil perhitungan volume pembersian lebih tepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Volume besi dihitung dengan memilih kategori *reinforcement* pada menu *organizer qto rebar*, maka muncul volume besi untuk setiap jenis tulangan yang telah dimodelkan. Hasil *output* volume besi dalam *Tekla Structures* dikelompokkan berdasarkan penamaan model.



Gambar 11. Tampilan *Quantity Take Off* Pekerjaan Pembersian

Pemodelan penulangan struktur beton dihasilkan *output* volume besi mulai dari pekerjaan *boredpile*, *pilecap*, *sloof*, kolom, balok, pelat lantai, pelat tangga, dan *pitlift*. Setelah diolah didapatkan total volume besi sebanyak 302.817,10 kg.

3.7. Rekapitulasi *Quantity Take Off* hasil modelling

Setelah pemodelan 3D dan *output* volume pekerjaan untuk *Quantity Take Off* selesai, dilakukan analisis perbandingan selisih volume antara metode BIM *Tekla Structures* dan BOQ proyek. Data volume dari kedua metode diolah menggunakan *Ms. Excel*, dan hasil perbandingannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan Volume Pekerjaan Beton

No.	Uraian Pekerjaan	Volume Beton		Selisih	
		BOQ (m ³)	BIM (m ³)	m ³	%
1	Pekerjaan <i>Boredpile</i>	861,35	858,89	2,46	0,29
2	Pekerjaan <i>Pilecap</i>	230,40	230,40	0,00	0,00
3	Pekerjaan <i>Sloof</i>	23,67	32,74	-9,07	-38,32
4	Pekerjaan Balok	263,98	332,80	-68,82	-26,07
5	Pekerjaan Kolom	174,15	175,98	-1,83	-1,05
6	Pekerjaan Dinding <i>Pitlift</i>	5,43	4,75	0,68	12,52
7	Pekerjaan Pelat Lantai	450,62	339,84	110,78	24,58
8	Pekerjaan Pelat Tangga	15,77	14,08	1,69	10,72
	Total	2.025,37	1.989,49	35,88	1,77

Tabel 2. Perbandingan Volume Pekerjaan Bekisting

No.	Uraian Pekerjaan	Volume Bekisting		Selisih	
		BOQ (m ²)	BIM (m ²)	m ²	%
1	Pekerjaan <i>Boredpile</i>	-	-	-	-
2	Pekerjaan <i>Pilecap</i>	192,00	192,00	0,00	0,00
3	Pekerjaan <i>Sloof</i>	170,84	249,90	-79,06	-46,28
4	Pekerjaan Balok	2.932,19	2.374,00	558,19	19,04
5	Pekerjaan Kolom	1.107,40	1.150,70	-43,30	-3,91
6	Pekerjaan Dinding <i>Pitlift</i>	28,14	27,70	0,44	1,56
7	Pekerjaan Pelat Lantai	2.640,08	2.732,20	-92,12	-3,49
8	Pekerjaan Pelat Tangga	234,52	131,20	103,32	44,06
	Total	7.305,17	6.857,70	447,47	6,13

Tabel 3. Perbandingan Volume Pekerjaan Pembesian

No.	Uraian Pekerjaan	Volume pembesian		Selisih	
		BOQ (kg)	BIM (kg)	kg	%
1	Pekerjaan <i>Boredpile</i>	83.384,43	86.314,50	-2.930,07	-3,51
2	Pekerjaan <i>Pilecap</i>	19.781,05	18.912,00	869,05	4,39
3	Pekerjaan <i>Sloof</i>	10.070,55	7.660,30	2.409,15	23,92
4	Pekerjaan Balok	71.573,04	74.971,30	-3.398,26	-4,75
5	Pekerjaan Kolom	69.378,43	74.098,40	-4.719,97	-6,80
6	Pekerjaan Dinding <i>Pitlift</i>	765,70	801,00	-35,30	-4,61
7	Pekerjaan Pelat Lantai	42.326,62	37.041,60	5.285,02	12,49
8	Pekerjaan Pelat Tangga	6.222,28	3.018,00	3.204,28	51,50
	Total	303.502,10	302.817,10	685,00	0,23

Hasil perbandingan volume yang terdapat pada tabel di atas artinya dengan deviasi negatif menunjukkan bahwa hasil volume BIM *Tekla Structures* lebih besar dari volume yang ditentukan dalam *Bill of Quantity* (BOQ) proyek, sedangkan deviasi positif menunjukkan volume BIM memiliki nilai lebih kecil.

3.8. Audit Kuantitatif Deviasi Ekstrem: Pembesian Pelat Tangga (Manual vs BIM)

Audit ini difokuskan pada elemen pelat tangga yang terdiri atas 26 anak tangga dan satu bordes di pertengahan elevasi, sesuai dimensi pada DED proyek. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai pada BOQ mencapai 6.222,28 kg, sedangkan ekstraksi BIM dari Tekla Organizer menghasilkan 3.018,00 kg, sehingga terdapat selisih 3.204,28 kg atau +51,50% terhadap BOQ. Temuan ini dipilih sebagai kasus uji karena mewakili deviasi terbesar pada kategori pembesian dan karenanya relevan untuk menguji konsistensi aturan pengukuran dan akurasi prosedur perhitungan.

Penelusuran terhadap perhitungan manual (sebagaimana tertuang dalam BOQ) memperlihatkan bahwa struktur logika yang diadopsi mengikuti praktik umum, penentuan jumlah batang per lapisan berdasarkan lebar efektif dan *spacing*, estimasi panjang batang sebagai penjumlahan panjang lari, panjang jangkar/penyaluran, serta panjang kait sesuai detail, lalu konversi panjang menjadi berat menggunakan berat jenis nominal per meter menurut diameter. Namun, audit menemukan dua sumber penyimpangan utama: (i) misinterpretasi jarak tulangan pada salah satu lapisan yang menyebabkan jumlah batang (*n*) terhitung lebih besar dari seharusnya; dan (ii) redundansi perhitungan pada segmen yang sejatinya telah ditangani elemen bersebelahan (balok bordes), sehingga panjang efektif yang dipakai dalam akumulasi berat seharusnya lebih pendek. Kedua faktor ini secara simultan mendorong pembengkakan estimasi berat pada BOQ.

Sebaliknya, perhitungan berbasis BIM mengekstrak kuantitas langsung dari objek 3D yang telah dimodelkan mengikuti DED (jumlah anak tangga, geometri bordes, ketebalan, selimut, serta detail penulangan), sehingga panjang batang yang dipakai merupakan panjang aktual setelah pemotongan geometri pada zona pertemuan elemen. Selain itu, komponen rebar pada Tekla merekam parameter diameter, *anchorage/hook*, dan *lap splice* secara eksplisit, yang kemudian diakumulasikan menjadi berat tiap *rebar set*. Dengan pendekatan ini, kuantitas yang diperoleh adalah 3.018,00 kg, yang secara konsisten lebih rendah dibandingkan BOQ dan sejalan dengan diagnosis bahwa pembengkakan nilai manual bersumber dari *spacing* yang tidak konsisten dan *double-count* lokal.

Berdasarkan delta kuantitatif $6.222,28 - 3.018,00 = 3.204,28$ kg, koreksi yang disarankan pada BOQ meliputi: (1) konsolidasi *spacing* sesuai DED agar jumlah batang tidak terestimasi berlebih; (2) penghapusan segmen tumpang-tindih yang sudah diakomodasi oleh elemen lain (khususnya di sekitar bordes); dan (3) penyelarasan aturan *anchorage/hook* dengan detail DED agar panjang efektif batang konsisten dengan kebutuhan desain dan bukan asumsi konservatif yang berulang. Langkah-langkah tersebut diharapkan mengembalikan perhitungan manual ke kisaran nilai yang sepadan dengan hasil ekstraksi model, sekaligus memperkuat *traceability* dan konsistensi antar-elemen pada audit kuantitas berikutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan selisih volume antara pemodelan BIM *Tekla Structures 2024* dan metode manual pada BOQ proyek menunjukkan variasi dalam volume material, dengan beberapa nilai lebih kecil pada perhitungan manual dan beberapa pada BIM. Menurut penelitian Hardian Wibisono, perbedaan ini terjadi karena BOQ menggunakan perhitungan kasar yang tidak terlalu rinci dan mempertimbangkan *waste* material, sedangkan BIM menghitung volume berdasarkan visualisasi yang lebih akurat sesuai model dalam *software*, tanpa memperhitungkan *waste* material. Selain itu, jika ada perubahan desain dalam perencanaan atau pelaksanaan proyek, *software Tekla Structures* secara otomatis akan memperbarui perhitungan volume material sesuai dengan desain terbaru.

4.1. Volume beton

Berikut untuk perbandingan volume beton pemodelan dan BOQ proyek dengan cara melihat dari persentase selisih.



Gambar 12. Grafik Persentase Selisih Volume Beton

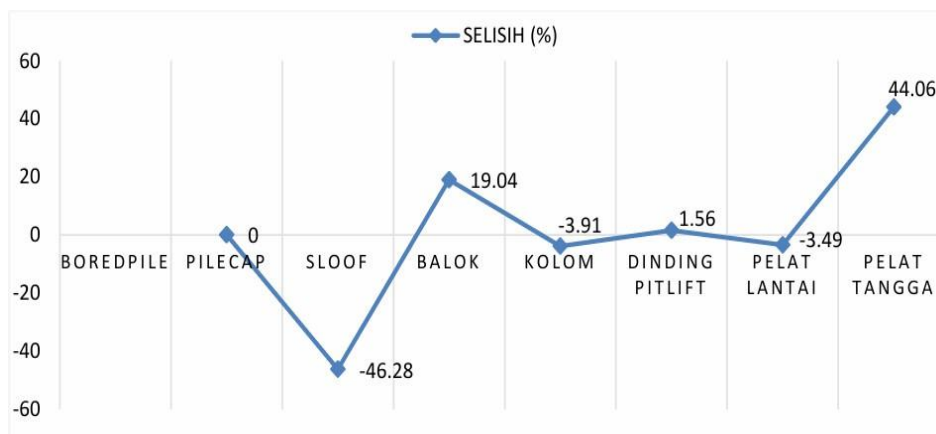
Hasil perbandingan volume beton menunjukkan selisih signifikan pada beberapa pekerjaan. Pada pekerjaan *sloof*, volume BIM lebih besar dengan selisih -38,32% dibandingkan BOQ, karena model sloof dimodelkan utuh tanpa terpotong pelat lantai, sementara perhitungan BOQ mengurangi tebal pelat lantai. Untuk pekerjaan balok, volume BIM lebih besar dengan selisih -26,07% dari BOQ, karena balok dimodelkan utuh, sedangkan BOQ mengurangi tebal pelat lantai.

Pada pekerjaan dinding *pitlift*, volume BIM lebih kecil sebesar 12,52% dibandingkan BOQ, karena model dinding *pitlift* dipisahkan dari kolom *pitlift*, sementara perhitungan BOQ menghitung volume kolom yang bersinggungan dengan dinding. Untuk pelat lantai, volume BIM lebih kecil 24,58% dibandingkan BOQ, karena model pelat lantai dihitung terpotong bersih dari balok dan kolom, sementara BOQ menghitung pelat lantai secara menyeluruh tanpa pengurangan tersebut.

Pada pekerjaan pelat tangga, volume BIM lebih kecil 10,72% dibandingkan BOQ, karena pelat tangga dimodelkan bersih dari balok bordes dan balok lainnya, sedangkan BOQ menghitung pelat tangga secara keseluruhan tanpa mengurangi volume balok yang bersinggungan.

4.2. Volume bekisting

Berikut untuk perbandingan volume bekisting pemodelan dan BOQ proyek dengan cara melihat dari persentase selisih.



Gambar 13. Grafik Persentase Selisih Volume Bekisting

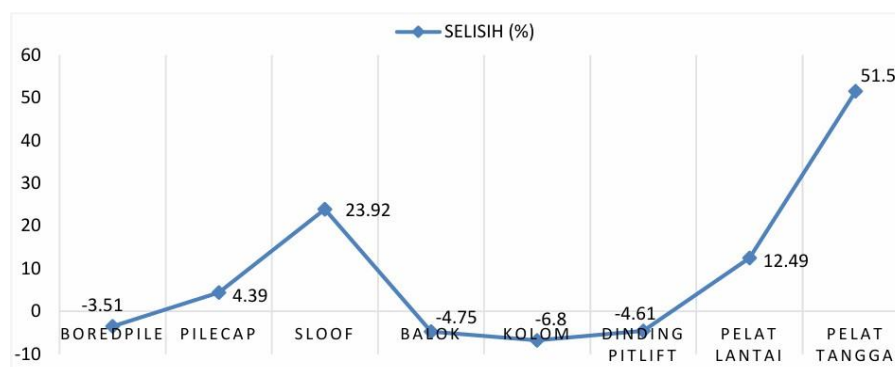
Hasil perbandingan volume bekisting menunjukkan selisih signifikan pada beberapa pekerjaan. Pada pekerjaan *sloof*, volume BIM lebih besar 46,28% dibandingkan BOQ, karena bekisting *sloof* pada model dihitung tanpa pelat lantai dan hanya pada sisi bawah *sloof* (*bottom*), sementara perhitungan BOQ tidak menghitung sisi bawah *sloof*, sehingga volume lebih kecil.

Untuk pekerjaan balok, volume BIM lebih kecil 19,04% dibandingkan BOQ. Hal ini disebabkan oleh pemodelan bekisting balok yang terpotong otomatis pada pertemuan objek seperti kolom, pelat lantai, dan balok anak, sementara BOQ menghitung bekisting secara menyeluruh tanpa mengurangi luasan yang bersinggungan dengan struktur lain.

Pada pekerjaan pelat tangga, volume BIM lebih kecil 44,06% dibandingkan BOQ, karena bekisting pelat tangga mengikuti bentuk model tangga yang lebih akurat, sementara pada perhitungan BOQ, estimator menghitung bentuk pelat tangga secara keseluruhan dan terjadi perhitungan ganda pada salah satu sisi tangga, sehingga volume lebih besar.

4.3. Volume pembesian

Berikut untuk perbandingan volume pembesian pemodelan dan BOQ proyek dengan cara melihat dari persentase selisih.



Gambar 14. Grafik Persentase Selisih Volume Pembesian

Hasil perbandingan volume pembesian menunjukkan selisih signifikan pada beberapa pekerjaan. Pada pekerjaan *sloof*, volume BIM lebih kecil 23,92% dibandingkan BOQ, dengan hasil 7.660,30 kg untuk BIM dan 10.070,55 kg untuk BOQ. Hal ini karena pemodelan tulangan *sloof* memperhatikan bentang bersih dan panjang *overlapping* sesuai gambar DED, sementara pada perhitungan BOQ terjadi kesalahan pada bentang *sloof* dan bengkokan tulangan, yang mengakibatkan panjang tulangan lebih besar.

Pada pekerjaan pelat lantai, volume BIM lebih kecil 12,49% dibandingkan BOQ, dengan hasil 37.041,60 kg untuk BIM dan 42.326,62 kg untuk BOQ. Pemodelan pembesian pelat lantai memperhatikan jarak antar tulangan, sementara pada BOQ terjadi kesalahan dalam perhitungan jarak tulangan untuk semua tipe pelat lantai, serta perhitungan ganda pada tulangan lapisan atas, yang menyebabkan volume lebih besar.

Untuk pembesian pelat tangga, volume BIM lebih kecil 51,50% dibandingkan BOQ, dengan hasil 3.018 kg untuk BIM dan 6.222,28 kg untuk BOQ. Volume BIM lebih kecil karena pemodelan memperhatikan jarak antar tulangan sesuai gambar detail, sedangkan pada BOQ terdapat ketidaksesuaian jarak tulangan yang menyebabkan volume lebih besar.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah:

1. Hasil QTO yang dilakukan menggunakan *Tekla Structures*, ditemukan bahwa volume beton memiliki selisih sebesar 35,88 m³ atau 1,77% lebih kecil dibandingkan dengan nilai yang tercantum dalam BOQ proyek. Untuk material bekisting, terdapat selisih luasan sebesar 447,47 m² atau 6,13% lebih kecil dari BOQ proyek. Sedangkan untuk material besi tulangan, selisihnya adalah 685,00 kg atau 0,23% lebih kecil dari nilai BOQ proyek.
2. Hasil ini menunjukkan bahwa perhitungan menggunakan BIM *Tekla Structures* lebih efisien dan dapat mengurangi kesalahan perhitungan dibandingkan dengan metode BOQ manual. Hal ini terlihat dari volume yang dihasilkan oleh pemodelan yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai BOQ proyek. Visualisasi objek dalam bentuk 3D mempermudah pengaturan detail elemen struktur, memungkinkan perhitungan volume yang lebih tepat dan mengurangi kemungkinan kesalahan perhitungan (*human error*). Selisih hasil volume setiap pekerjaan memberikan dampak besar terhadap estimasi kebutuhan material proyek, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya pemborosan material (*waste material*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Olsen and J. M. Taylor, "Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors," *Procedia Eng.*, vol. 196, pp. 1098–1105, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.067.
- [2] Z. Shen and R. R. A. Issa, "Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates," *Electron. J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 15, no. March, pp. 234–257, 2010.
- [3] A. Monteiro and J. Poças Martins, "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design," *Autom. Constr.*, vol. 35, pp. 238–253, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.005.
- [4] M. A. Vigneault, C. Botton, H. Y. Chong, and B. Cooper-Cooke, "An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review," *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 1013–1030, 2020, doi: 10.1007/s11831-019-09341-z.
- [5] P. Pishdad and I. O. Onungwa, "Analysis of 5D Bim for Cost Estimation, Cost Control, and Payments," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 29, no. June, pp. 525–548, 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.024.
- [6] S. Banihashemi, S. Khalili, M. Sheikhhoshkar, and A. Fazeli, "Machine learning-integrated 5D BIM informatics: building materials costs data classification and prototype development," *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 7, no. 3, p. 215, 2022, doi: 10.1007/s41062-022-00822-y.
- [7] J. Cassandro, A. Farina, C. Mirarchi, and A. Pavan, "Cost estimation practices: a comparative analysis of traditional 5D BIM and IFC methods," *Proc. CIB W78 Conf.*, p. 10, 2024, [Online]. Available: <https://re.public.polimi.it/handle/11311/1280790>
- [8] S. Alathamneh, W. Collins, and S. Azhar, "BIM-based quantity takeoff: Current state and future opportunities," *Autom. Constr.*, vol. 165, p. 105549, 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105549.
- [9] D. G. R. Tanaya, I. N. D. P. Putra, and A. R. Nauli, "A Comparative Analysis of Material Quantity Calculation between Manual Method and BIM Method in High-rise Building," *J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkungan.*, vol. 6, no. 2, pp. 353–364, 2024, doi: 10.52005/teslink.v6i2.410.
- [10] R. Saavedra, W. Meléndez, and G. Garcés, "Comparative Analysis of Quantity Take-Off in Concrete, Steel Bars and Formwork in Apartment Buildings Based on Cad and Bim Methodologies," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 30, no. October 2023, pp. 159–184, 2025, doi: 10.36680/j.itcon.2025.008.
- [11] A. Mishra, A. Hasan, and K. N. Jha, "A Holistic Evaluation of BIM Implementation Barriers in the Indian Construction Industry: Pre- and Post-Adoption Perspectives," *Int. J. Constr. Educ. Res.*, vol. 20, no. 3, pp. 358–380, Jul. 2024, doi: 10.1080/15578771.2024.2320108.
- [12] K. Das, S. Khursheed, and V. K. Paul, "The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies," *Discov. Mater.*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.1007/s43939-025-00200-2.

- [13] X. Hu and Y. Chen, “Impact of Bim on Project Performance,” *Proc. Eur. Conf. Comput. Constr.*, 2023, doi: 10.35490/EC3.2023.293.
- [14] C. S. T. do Carmo and E. D. Sotelino, “a Framework for Architecture and Structural Engineering Collaboration in Bim Projects Through Structural Optimization,” *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 27, no. April 2021, pp. 223–239, 2022, doi: 10.36680/j.itcon.2022.011.
- [15] M. A. Rizki, A. Wahyuni, H. Hermawan, J. T. Sipil, F. Sains, and U. M. Sidoarjo, “Effectiveness of Quantity Take Off In Self Managed Projects Through Building Information Modeling (BIM) Integration,” vol. 10, no. 2, pp. 1358–1363, 2025.
- [16] Sapitri, R. Subagja, and B. Annisa, “Estimasi Quantity Take Off dan Simulasi Progress Pekerjaan Struktur dengan Pendekatan Building Information Modeling,” *Cantilever J. Penelit. dan Kaji. Bid. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, pp. 103–112, 2024, doi: 10.35139/cantilever.v13i2.366.
- [17] Q. Zeng and P. Pishdad, “The evolution of sustainable building rating tools: a systematic literature review,” *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 14, no. 4, pp. 1230–1263, Jan. 2024, doi: 10.1108/SASBE-12-2023-0381.