

Perbandingan *Quantity Take Off* (QTO) Material Berbasis *Building Information Modeling* (BIM) Terhadap Metode Konvensional pada Struktur Pelat

Windi Retno Asih¹⁾

Bayzoni²⁾

Hasti Riakara Husni³⁾

Chatarina Niken⁴⁾

Abstract

This study aims to determine the results of the Quantity Take Off (QTO) based on Building Information Modeling (BIM) and compare them with conventional calculations on slab structures. With a case study of the Integrated Surgical Care Building at RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zone A). Building modeling is done using Autodesk Revit software. Based on the modeling results, the concrete volume for the slab structure is 888.99 m³, which is 1.67% more effective than the conventional method. The value of slab structure reinforcement material is 119,762.03 kg, with a result of 3.32% more effective than conventional methods. BIM-based quantity take off able to estimate material in detail up to the calculation of waste material. The results of the calculation of the Waste Material Ratio (WMR) for the slab structure reinforcement is 2.48% from the total procurement of 122,814.28 kg, with an estimated waste material of 3,049.23 kg. Based on this research, it can be concluded that the BIM-based quantity take-off is able to calculate material volume in detail, and supports the calculation of estimated waste material.

Key words : Building Information Modeling (BIM), Quantity Take Off (QTO), Autodesk Revit, Waste Material Ratio (WMR).

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil *Quantity Take Off* (QTO) berbasis *Building Information Modeling* (BIM) dan membandingkannya dengan perhitungan konvensional pada struktur pelat. Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A). Pemodelan gedung dilakukan menggunakan *software* Autodesk Revit. Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh volume beton untuk struktur pelat sebesar 888,99 m³ dengan hasil 1,67 % lebih efektif daripada metode konvensional. Untuk material tulangan struktur pelat diperoleh nilai 119.762,03 kg, dengan hasil 3,32 % lebih efektif dari metode konvensional. *Quantity take off* berbasis BIM mampu memperhitungkan estimasi material secara detail sampai perhitungan *waste material*. Hasil perhitungan *Waste Material Ratio* (WMR) untuk tulangan struktur pelat sebesar 2,48% dari total pengadaan sebesar 122.814,28 kg dengan estimasi *waste material* sebesar 3.049,23 kg. Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa *quantity take off* berbasis BIM mampu memperhitungkan volume material secara rinci, serta mendukung perhitungan estimasi *waste material*.

Kata kunci : *Building Information Modeling* (BIM), *Quantity Take Off* (QTO), Autodesk Revit, *Waste Material Ratio* (WMR).

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: windiretnoasih@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang pesat terus mendorong perubahan dan inovasi dalam industri konstruksi. Menjadikan penggunaan BIM dalam desain dan konstruksi tidak terbatas. BIM adalah teknologi dan proses. Dengan teknologi BIM, model bangunan yang akurat dalam bentuk virtual dibangun secara digital (Azhar, 2011). Pada awalnya BIM dianggap sebagai alternatif untuk gambar bangunan 3D dengan kemampuan parametrik. Dalam perkembangannya, BIM tidak hanya berguna untuk pemodelan geometri bangunan tetapi juga dapat membantu dalam pengelolaan proyek konstruksi. Manfaat yang paling sering disebutkan terkait implementasi BIM dalam proyek adalah pengurangan biaya, pengendalian melalui proyek, dan penghematan waktu (Azhar *et al.*, 2012).

Aplikasi berbasis BIM seperti Autodesk Revit dapat mengekstrak banyak informasi dari model bangunan untuk memperoleh *Quantity Take Off* (QTO) secara otomatis. Estimasi QTO sebagai komponen penting yang harus dipertimbangkan dalam penyelenggaraan sebuah proyek konstruksi. Merencanakan *quantity take off* material secara detail membutuhkan akurasi dalam menghitung volume pekerjaan. Oleh sebab itu, penggunaan *software* komputer merupakan solusi alternatif untuk meningkatkan akurasi dalam estimasi *quantity take off* material agar lebih efektif dan efisien ((Olsen and Taylor, 2017);(Cepni *et al.*, 2020)). Estimasi *quantity take off* material dengan *software* Autodesk Revit dinilai lebih efektif, cepat, dan minim akan kesalahan (Laily dkk., 2021).

Proses mengestimasi volume disebut sebagai *Quantity Take Off* (QTO). Secara umum QTO adalah proses yang mencakup identifikasi item dan hubungan pada gambar, memperoleh dimensi dan menghitung satuan pengukuran seperti panjang, luas, dan volume (Shen and A Issa, 2010). BIM menawarkan kemampuan *quantity take off* yang lebih cepat, lebih akurat, dan lebih andal daripada QTO dengan metode konvensional (Khosakitchalert *et al.*, 2019).

Adapun Penelitian ini akan membahas implementasi *Building Information Modelling* (BIM) dengan pemodelan menggunakan *software* Autodesk Revit pada pekerjaan struktural untuk mendapatkan hasil *quantity take off* yang kemudian dibandingkan antara *quantity take off* dengan metode konvensional yang memfokuskan pada elemen struktur pelat pada Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) merupakan proses dokumentasi yang terdiri dari berbagai informasi tentang fase yang berbeda dari setiap proyek sebagai salah satu proses dokumentasi menyeluruh yang bermanfaat bagi visualisasi operasional, dan aplikasi konstruksi seperti estimasi, penjadwalan, dan koordinasi desain (Khochara and Waghmare, 2018). Menurut Eastman *et al.*, 2011, manfaat penggunaan BIM berupa:

- a) Manfaat pra konstruksi, seperti peningkatan kinerja, kualitas bangunan, dan kolaborasi.
- b) Manfaat desain, meliputi visualisasi dan gambar 2D desain yang akurat, koreksi otomatis saat terjadi perubahan, dan kolaborasi lebih awal.

- c) Manfaat konstruksi dan fabrikasi, meliputi reaksi cepat terhadap perubahan desain, penemuan kesalahan dan kelalaian desain sebelum konstruksi, dan sinkronisasi desain dan perencanaan konstruksi.
- d) Manfaat *pasca* konstruksi, meliputi manajemen dan pengoperasian fasilitas yang lebih baik dan terintegrasi.

2.1. Autodesk Revit

Revit merupakan *software* yang mendukung *Building Information Modelling* (BIM) dari Autodesk. Beberapa kelebihan *software* Autodesk Revit adalah kemudahan untuk bekerja secara tim (*Worksharing*), rencana Anggaran Biaya (RAB)/BoQ (*Schedule*). komponen parametrik (*Family*), material *Take Off*, dan terkoneksi antar *software* Autodesk.

2.2. Quantity Take Off Material

Quantity take off sebagai salah satu tugas utama dalam proses konstruksi yang menjadi dasar untuk beberapa tugas lain. *Quantity take off* dapat berupa pengukuran skema bangunan atau pekerjaan yang dilakukan di lokasi. Informasi ini dikumpulkan dalam apa yang secara tradisional disebut *Bill of Quantity* (BoQ) (Monteiro and Pocas Martins, 2013). Pada tahap awal *quantity take off* memberikan dasar untuk perkiraan biaya awal proyek, dalam tahap tender digunakan untuk membantu dalam perkiraan biaya proyek dan durasi kegiatan konstruksi, sebelum tahap konstruksi digunakan untuk meramalkan dan merencanakan kegiatan konstruksi, dan selama tahap konstruksi digunakan untuk pengendalian biaya proyek.

Quantity dapat diukur secara otomatis dari model BIM dengan mengekstraksi data geometris dan informasi dari setiap elemen bangunan. Metode ini disebut *BIM-based quantity take off* (Rafael Sack *et al.*, 2018). QTO yang akurat diakui sebagai faktor penting dalam meningkatkan nilai proyek. *Quantity take off* berbasis BIM merupakan model parametrik yang menjamin pembaruan secara otomatis pada hasil QTO setelah adanya perubahan. Model BIM mampu memuat banyak informasi terkait geometri, sifat material, biaya, dan karakteristik lainnya, nilai-nilai ini dapat diperoleh dari model dan diperbarui bersama perubahan yang ada (Sampaio, 2017).

Tabel 1. Perbandingan QTO Metode Konvensional dengan Berbasis BIM

Aspek	QTO Konvensional	QTO berbasis BIM
Kualitas informasi	Risiko data usang dan dokumen tidak konsisten; Gambar 2D mungkin mengandung kesalahan	Kolaborasi berbasis BIM membantu bekerja dengan model terkini; pengecekan <i>clash</i>
Kuantitas informasi	Tergantung pada dokumen yang tersedia	Informasi sesuai dengan fase perencanaan terkini
Ketersediaan informasi	Manual (memakan waktu, rawan kesalahan)	Mudah dan cepat
Kualitas QTO	Pengukuran manual mungkin berisi kesalahan	Kesalahan yang disebabkan oleh salah pengukuran dapat dihindari
Penggunaan kembali QTO	Tergantung pada format data QTO (MS Excel, <i>database</i> , dll)	Tautan langsung ke analisis 4D atau 5D; digunakan kembali untuk mengatur pesanan material
Fleksibilitas terhadap perubahan desain	Perlu merevisi QTO secara manual	Revisi efektif QTO

Sumber : Mattern *et al.*, 2018

III. METODE PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

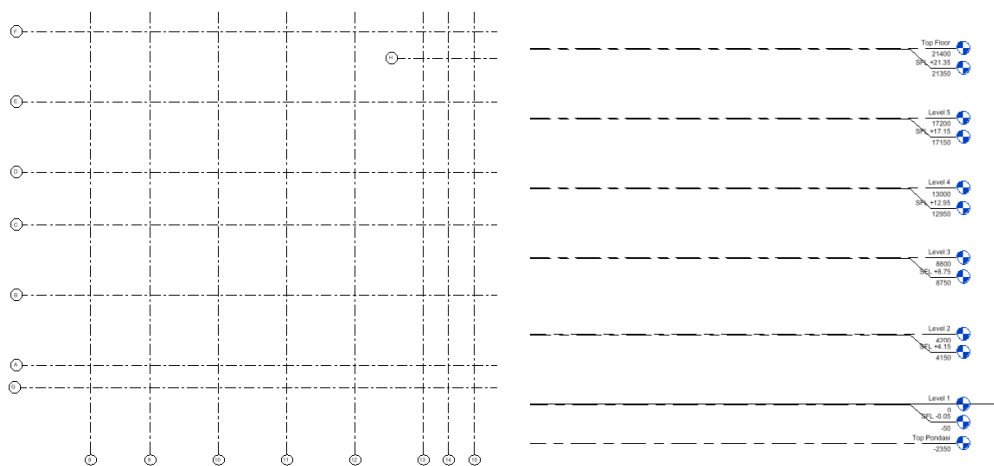
Dalam penelitian ini menggunakan data *as built drawing* dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek pembangunan Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD DR. H. Abdul Moeloek.

3.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil *quantity take off* material struktur pelat pada Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A) dengan mengimplementasikan konsep *Building Information Modelling* (BIM) menggunakan *software* Autodesk Revit 2022 (*student licence*).

1. Tahap persiapan

Persiapan sebagai tahap awal dari proses pemodelan 3D yang akan dilakukan. Tahap ini bertujuan menyiapkan proses pemodelan dengan melakukan *setting* pada *software* Autodesk Revit dengan membuat *new project*, mengatur satuan yang akan digunakan dalam *project unit*, membuat level yang dibutuhkan sesuai dengan data gambar, dan membuat *grid* yang nantinya akan digunakan dalam proses pemodelan gedung. Hasil pemodelan *grid* dan level ditampilkan pada Gambar 1.



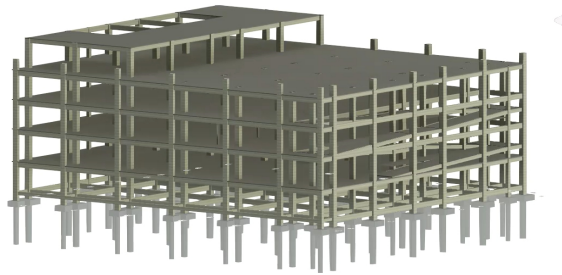
Gambar 1. Pemodelan *Grid* dan Level.

2. Pemodelan *family* elemen struktur

Family struktur dimodelkan untuk tiap lantai agar memudahkan proses klasifikasi pada tahap *quantity take off* guna menampilkan volume sesuai klasifikasi. Dimulai dari pemodelan *family* pondasi, kolom, balok, dan pelat. *Template family* ini dapat diperoleh dari situs resmi Autodesk.

3. Pemodelan struktur

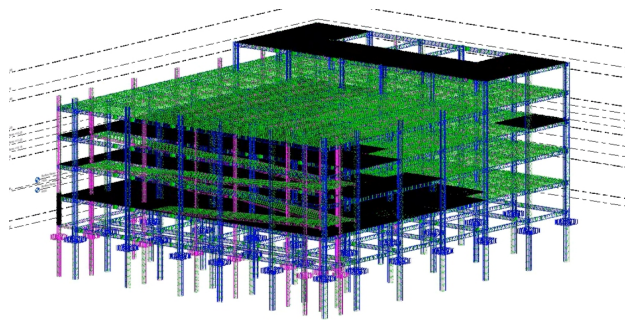
Pemodelan struktur yang dilakukan pada Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (zona A) meliputi struktur bawah dan struktur atas. Mulai dari pemodelan pondasi, *tie beam*, kolom, balok, dan *ramp*. Gambar 2 menampilkan tampak 3D hasil pemodelan struktur Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A).



Gambar 2. Tampilan 3D Model.

4. Pemodelan tulangan

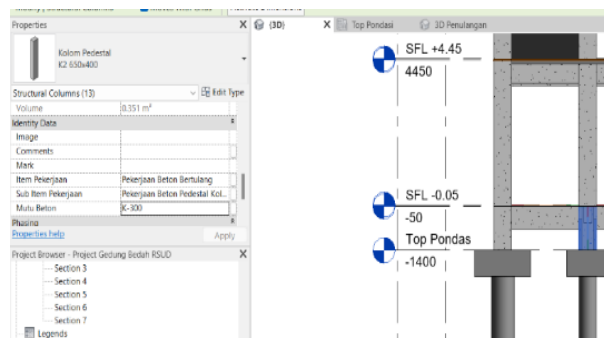
Pemodelan yang dilakukan meliputi pemodelan tulangan pondasi, kolom, balok, pelat, dan *ramp*. Langkah awal pemodelan tulangan adalah dengan membuat potongan dengan memilih ikon “Section”. Pemodelan tulangan dimulai dengan klik kolom dan pilih “Rebar”, pilih jenis tulangan yang sesuai pada *Rebar Shape Browser*, kemudian atur penempatan tulangan. Gambar 3 menampilkan tampak 3D pemodelan tulangan elemen struktur Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A).



Gambar 3. Pemodelan Tulangan Elemen Struktur.

5. Input informasi pada model

Untuk menginput informasi pada model dalam *software* Autodesk Revit, dapat dilakukan dengan membuat *Shared Parameter* atau *Project Parameters*. Fitur *Shared Parameter* merupakan fitur dimana pengguna dapat menambahkan parameter ke dalam *project* yang disimpan tersendiri dan dapat digunakan dalam *project* lain. Selanjutnya input informasi untuk setiap elemen struktur pada “Identity Data” di bagian *Properties*. Gambar 4 menampilkan proses input informasi pada model bangunan.



Gambar 4. Input informasi pada elemen struktur.

6. Clash check detection

Setelah semua proses pemodelan telah dilakukan, akan diperoleh tampilan 3D model lengkap. Langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan pada model apakah terjadi kesalahan pada saat tahap pemodelan dengan melakukan proses *Clash Check Detection*. Langkah untuk melakukan *Clash Check* adalah dengan klik “Collaborate” lalu pilih “Interference Check”.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah seluruh elemen telah dimodelkan dan proses input informasi telah dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah membuat *Schedule Quantities* atau proses *output quantity take off* material. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan hasil pengolahan data QTO struktur pelat dari pemodelan Gedung Perawatan Bedah Terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A).

Tabel 2. *Quantity Take Off* Material Beton pada Pelat

No.	Item Pekerjaan	Volume
1	Pelat Lantai 12 cm elv.+4.45	223.09 m ³
2	Pelat Lantai 12 cm elv.+9.05	195.07 m ³
3	Pelat Lantai 12 cm elv.+13.25	195.16 m ³
4	Pelat Lantai 12 cm elv.+17.45	222.98 m ³
5	Pelat <i>Top Floor</i> 12 cm elv.+21.65	52.58 m ³

Tabel 3. *Quantity Take Off* Material Tulangan pada Pelat

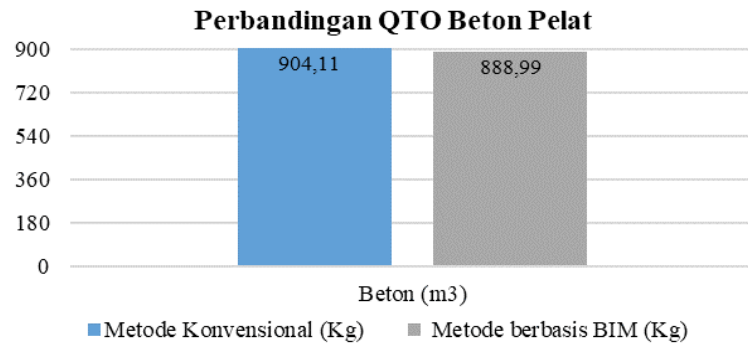
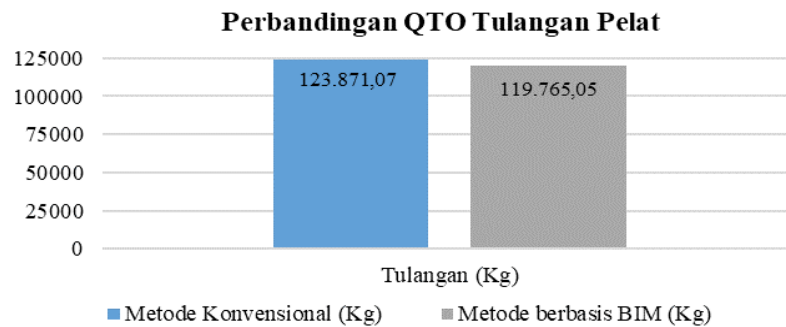
No.	Level	Diameter	Jumlah	Panjang (mm)	Massa Tulangan (kg)
1	SFL +4.45	10 mm	3328	12000	24622,04
		10 mm	520	10370	3324,62
		10 mm	594	5670	2076,49
2	SFL+9.05	10 mm	3096	12000	22905,6
		10 mm	32	10370	204,59
		10 mm	514	5670	1796,82
		10 mm	488	4420	1329,85
		10 mm	80	2980	146,98
		10 mm	3096	12000	22905,6
3	SFL+13.25	10 mm	32	10370	204,59
		10 mm	514	5670	1796,82
		10 mm	488	4420	1329,85
		10 mm	80	2980	146,98
		10 mm	3328	12000	24622,04
		10 mm	520	10370	3324,62
4	SFL +17.45	10 mm	594	5670	2076,49
		10 mm	518	12000	3832,4
		10 mm	466	8530	2450,72
5	SFL +21.65	10 mm	204	3720	467,88
		10 mm	104	3120	200,05
		10 mm	104	3120	200,05

4.1. Analisis *Quantity Take Off* Material

BIM-based *quantity take off* merupakan perhitungan volume material yang diperoleh dari pemodelan menggunakan *software* berbasis BIM. *Quantity take off* berbasis BIM mampu melakukan perhitungan volume material secara otomatis. Data volume material yang telah diperoleh dari *Software* Autodesk Revit, kemudian dibandingkan dengan volume material hasil dari perhitungan metode konvensional. Berikut Tabel 4 perbandingan QTO berbasis BIM terhadap metode konvensional.

Tabel 4. Perbandingan Selisih Perhitungan Volume Material pada Struktur Pelat

Material	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM	Selisih	Selisih (%)
Beton (m ³)	904,11	888,99	15,12	1,67
Tulangan (kg)	123871,07	119765,05	4106,02	3,31

Gambar 5. Grafik Perbandingan *Quantity Take Off* Beton pada Struktur Pelat.Gambar 6. Grafik Perbandingan *Quantity Take Off* Beton pada Struktur Pelat.

4.2. Pembahasan

Berdasarkan data yang telah disajikan, *quantity take off* berbasis BIM mampu memperkirakan volume material secara lebih detail. BIM-based *quantity take off* mampu menghasilkan volume dengan lebih cepat dan tepat dari pada metode konvensional. QTO berbasis BIM lebih menghemat waktu dan tidak dipengaruhi *human error* jika proses pemodelan dilakukan dengan benar. Hasil rekapitulasi kebutuhan tulangan berdasarkan panjangnya untuk QTO berbasis BIM disajikan pada Tabel 5.

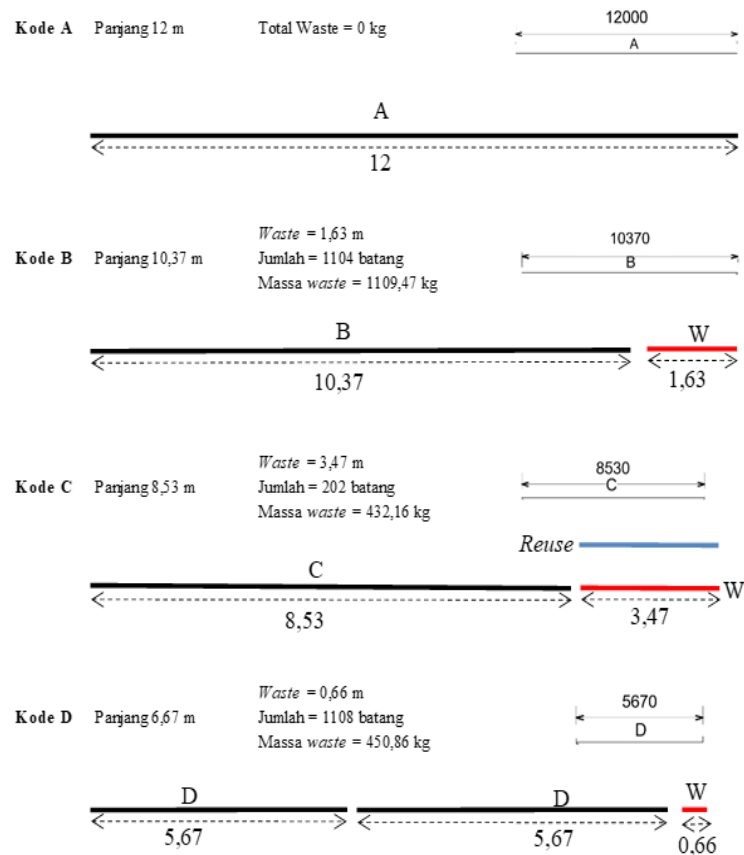
Tabel 5. Rekapitulasi QTO berbasis BIM untuk Tulangan Pelat

Kode	Panjang (m)	Diameter (mm)	Jumlah	Massa Tulangan (kg)
A	12	10	13366	98887,68
B	10,37	10	1104	7058,42
C	8,53	10	466	2450,72
D	5,67	10	2216	7746,62
E	4,42	10	976	2659,7
F	3,72	10	204	467,88
G	3,12	10	104	200,05
H	2,98	10	160	293,96
Total				119765

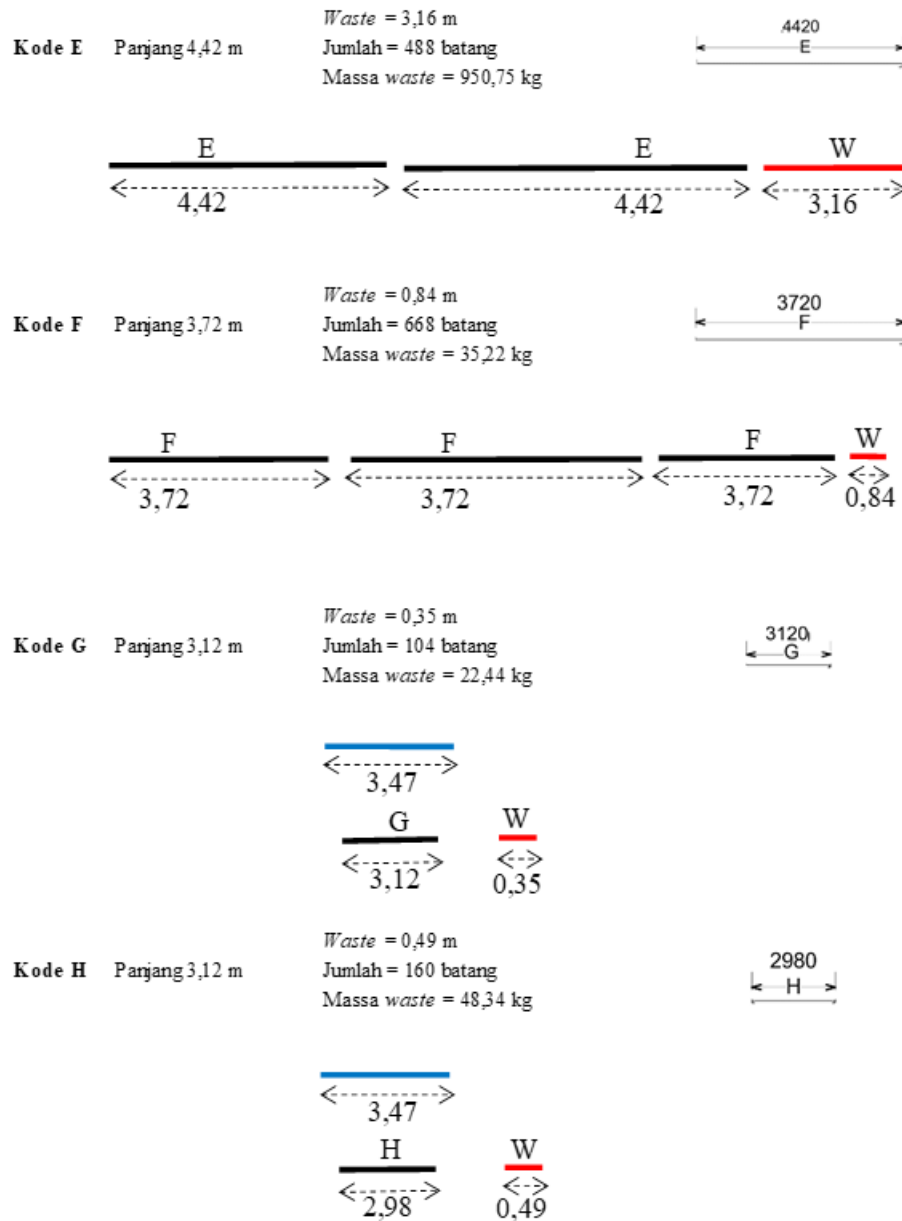
Pemodelan menggunakan *software* Autodesk Revit pada penulangan pelat mampu sampai ke tahap rencana pemotongan tulangan (*rebar cutting plan*) dan perhitungan *Waste Material Ratio* (WMR). WMR digunakan untuk menghitung jumlah *waste* material yang dihasilkan dalam setiap pengadaan material. MWR menunjukkan persentase perbandingan antara jumlah *waste* material dengan jumlah pengadaan material. Berikut Tabel 6 menampilkan hasil perhitungan WMR serta Gambar 7 dan Gambar 8 menampilkan skema *cutting plan* tulangan pelat.

Tabel 6. Perhitungan Nilai *Waste Material Ratio* (WMR)

Kode	Panjang (m)	Diameter (mm)	Jumlah	Massa Tulangan (kg)	Jumlah Batang	Waste (m)	Massa Waste (kg)
A	12	10	13366	98887,68		0	0
B	10,37	10	1104	7058,42	1104	1,63	1109,47
C	8,53	10	466	2450,72	202	3,47	432,16
D	5,67	10	2216	7746,62	1108	0,66	450,86
E	4,42	10	976	2659,70	488	3,16	950,75
F	3,72	10	204	467,88	68	0,84	35,22
G	3,12	10	104	200,05	104	0,35	22,44
H	2,98	10	160	293,96	160	0,49	48,34
Total				119765,03			3049,23
Jumlah Pengadaan (Batang)				16600			
Massa Tulangan Pengadaan (Kg)				122814,28	Material Waste Ratio (%)		2,48

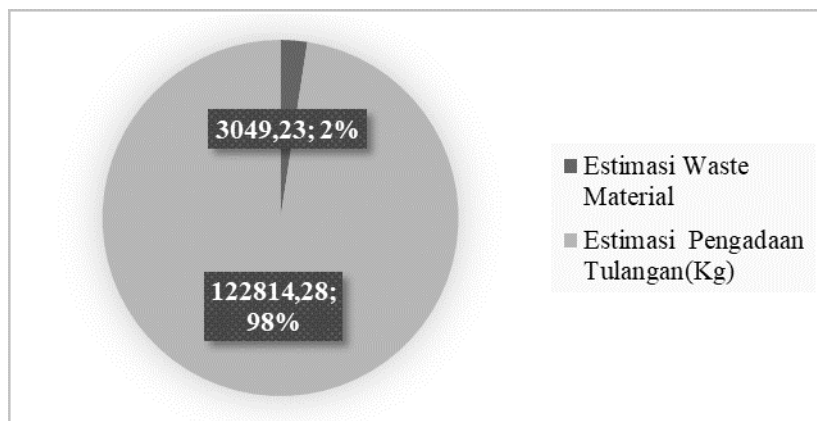


Gambar 7. Skema *Cutting Plan* Tulangan Pelat.



Gambar 8. Skema *Cutting Plan* Tulangan Pelat.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai *Waste Material Ratio* (WMR) untuk penulangan pelat pada gedung perawatan bedah terpadu RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (Zona A) bernilai 2,48 %. Gambar 9 menampilkan persentase nilai *Waste Material Ratio* (WMR). Dari hasil perhitungan diketahui total waste material tulangan Ø10 untuk pelat sebesar 3049,23 kg, dari total estimasi pengadaan sebesar 122.814,28 kg. QTO berbasis BIM mampu membantu estimasi *quantity take off* material secara lebih detail dan mudah, sekaligus mampu merencanakan estimasi waste material.



Gambar 9. Persentase nilai *Waste Material Ratio* (WMR).

Hasil yang diperoleh sejalan dengan penelitian Whang and Park Min, 2016 yang menyebutkan bahwa *Quantity Take Off* (QTO) berbasis BIM menunjukkan tingkat akurasi lebih tinggi dari pendekatan metode konvensional. BIM diterapkan untuk mengatasi kompleksitas dan meningkatkan nilai proyek. QTO yang akurat diakui sebagai faktor penting dalam meningkatkan nilai proyek.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa *quantity take off* berbasis BIM mampu melakukan perhitungan volume material secara rinci dengan lebih cepat dan tepat. *Quantity take off* berbasis BIM memperkirakan volume material secara detail dari pada perhitungan metode konvensional. *Quantity take off* berbasis BIM mampu mendukung estimasi *waste material*, sehingga akan mempermudah pelaksanaan pekerjaan dan memiliki potensi untuk meminimalisir *waste material* sejak tahap awal.

Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh volume beton untuk struktur pelat sebesar 888,99 m³ dengan hasil 1,67 % lebih efektif daripada metode konvensional. Untuk material tulangan struktur pelat diperoleh nilai 119.762,03 kg, dengan hasil 3,32 % lebih efektif dari metode konvensional. *Quantity take off* berbasis BIM mampu memperhitungkan estimasi material secara detail sampai perhitungan *waste material*. Hasil perhitungan *Waste Material Ratio* (WMR) untuk tulangan struktur pelat sebesar 2,48% dari total pengadaan sebesar 122.814,28 kg dengan estimasi *waste material* sebesar 3.049,23 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, S., 2011. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11 (3), 241–252.
- Azhar, S., Khalfan, M., and Maqsood, T., 2012. Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12 (4), 15–28.
- Cepni, Y., Akcamete, A., and Klein, R., 2020. Automated BIM-Based Formwork Quantity Take-Off. *Enabling The Development And Implementation of Digital Twins - Proceedings of the 20th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality - (30th Sep - 2nd Oct 2020)*, (October), 220–227.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sack, R., and Liston, K., 2011. *BIM Handbook, a Guide to Building Information Modelling 2nd ed.* Second Edi. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Khochare, S.D. and Waghmare, A.P., 2018. 3D, 4D and 5D Building Information Modeling for Commercial Building Projects. *Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education*, 05 (01), 293–298.
- Khosakitchalert, C., Yabuki, N., and Fukuda, T., 2019. Improving the Accuracy of BIM-Based Quantity Takeoff for Compound Elements. *Automation in Construction*, 106 (October), 102891.
- Laily, F.N., Husni, H.R., and Bayzoni, B., 2021. 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: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25 (2), 27–31.
- Mattern, H., Scheffer, M., and Konig, M., 2018. *Building Information Modeling*. Springer. Swizerland: Springer Nature.
- Monteiro, A. and Pocas Martins, J., 2013. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238–253.
- Olsen, D. and Taylor, J.M., 2017. Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors. *Procedia Engineering*, 196 (June), 1098–1105.
- Rafael Sack, Charles Eastmen, Ghang Lee, and Paul Teicholz, 2018. *A Guide to Building Information Modelling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Manager*. Third Edit. Wiley and Sons. Canada: Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Sampaio, A.Z., 2017. BIM as a Computer-Aided Design Methodology in Civil Engineering. *Journal of Software Engineering and Applications*, 10, 194–210.
- Shen, Z. and A Issa, R.R., 2010. Quantitative Evaluation of the BIM-Assisted Construction Detailed Cost Estimates. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 15 (March), 234–257.
- Whang, S.W. and Park Min, S., 2016. Building Information Modeling (BIM) for Project Value: Quantity Take-Off of Building Frame Approach. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11 (12), 7749–7757.