

PENERAPAN KONSEP *BUILDING INFORMATION MODELLING* (BIM) ESTIMASI *QUANTITY TAKE-OFF* MATERIAL DAN *SCHEDULING* PADA PEKERJAAN STRUKTUR BETON BERTULANG

Mayasari Rahmayuni¹, Risma Apdeni²

^{1,2} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: mayasarirahmayuni2@gmail.com

Abstrak: Pelaku industri konstruksi saat ini dituntut untuk menerapkan *Building Information Modelling* (BIM) dalam setiap tahapan proyek. Di Indonesia, penerapan BIM diatur dalam Pasal 13 Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 22/PRT/M/2018, yang mewajibkan penggunaan BIM pada bangunan gedung negara dengan kriteria tertentu. Tugas akhir ini dilatarbelakangi oleh tingginya potensi kesalahan dalam perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) menggunakan metode konvensional pada pekerjaan struktur gedung. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menerapkan konsep BIM 3D untuk pemodelan bangunan, 4D untuk simulasi *scheduling* proyek, dan 5D untuk perhitungan QTO. Pemodelan dan analisis QTO pada penelitian ini dilakukan dengan *software* Autodesk Revit 2022 dan untuk simulasi *scheduling* proyek menggunakan *software* Autodesk Naviswork 2022. Studi kasus tugas akhir ini adalah Proyek Jasa Konstruksi Lanjutan Tahap II Gedung Program Pascasarjana Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Padang, yang terdiri dari 4 lantai ditambah atap dak dengan luas bangunan sekitar 6.853 m², dan struktur berjenis beton bertulang. Hasil analisis QTO terhadap pekerjaan beton menunjukkan volume yang dihitung menggunakan konsep BIM lebih kecil 8,2% dibandingkan metode konvensional, dan pekerjaan penulangan menunjukkan volume yang dihitung menggunakan konsep BIM lebih besar 6,3%, dibandingkan metode konvensional. Hasil penerapan konsep BIM 4D pada simulasi *scheduling* menunjukkan durasi pekerjaan 183 hari kerja.

Kata Kunci : BIM, QTO, *scheduling*.

Abstract : Actors in the construction industry are currently required to apply *Building Information Modeling* (BIM) in every stage of the project. In Indonesia, the application of BIM is regulated in Article 13 of the Regulation of the Minister of Public Works and Housing of the Republic of Indonesia Number 22/PRT/M/2018, which requires the use of BIM in state buildings with certain criteria. This final project is motivated by the high potential for errors in the calculation of *Quantity Take Off* (QTO) using conventional methods in building structure work. The purpose of this final project is to apply 3D BIM concept for building modeling, 4D for project scheduling simulation, and 5D for QTO calculation. Modeling and QTO analysis in this study were carried out with Autodesk Revit 2022 software and for project scheduling simulation using Autodesk Naviswork 2022 software. The case study of this final project is the Phase II Advanced Construction Services Project of the Postgraduate Program Building of the Faculty of Economics, Padang State University, which consists of 4 floors plus a roof deck with a building area of approximately 6,853 m² and a reinforced concrete type structure. The results of the QTO analysis of concrete work show that the volume calculated using the BIM concept is 8.2% smaller, compared to conventional methods, and reinforcement work shows that the volume calculated using the BIM concept is 6.3% larger, compared to conventional methods. The results of the application of the 4D BIM concept to the scheduling simulation show the 183 duration of workers

.Keyword : BIM, QTO, *scheduling*

PENDAHULUAN

Universitas Negeri Padang (UNP) merupakan sebuah perguruan tinggi yang terletak di Kota Padang, Sumatera Barat. Selain fasilitas gedung

perkuliahan, UNP memiliki fasilitas lain yang lengkap seperti hotel, poliklinik, gedung pertemuan, masjid, dan stadion olahraga. Jumlah mahasiswa UNP terus mengalami peningkatan,

akibatnya gedung yang sudah ada tidak mampu menampung seluruh aktivitas akademik. Untuk itu pada tahun 2024 UNP membangun beberapa gedung perkuliahan baru, salah satunya adalah gedung Program Pascasarjana (PPs) Fakultas Ekonomi.

Saat ini para pelaku industri konstruksi dituntut untuk mulai menerapkan *Building Information Modeling* (BIM) dalam setiap tahapan konstruksinya. BIM merupakan konsep atau sistem digital dengan menggunakan perangkat lunak dalam melakukan pemodelan tiga dimensi (3D) yang mencakup beberapa informasi, seperti: pemodelan yang terintegrasi untuk memfasilitasi dalam koordinasi, visualisasi antar *stakeholders*, serta dapat menampilkan simulasi (Tigauw et al., 2023). Di Indonesia sendiri, penerapan BIM diatur dalam Pasal 13 Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, No 22/PRT/M/2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara yang mewajibkan penggunaan BIM pada bangunan gedung negara dengan kriteria tertentu.

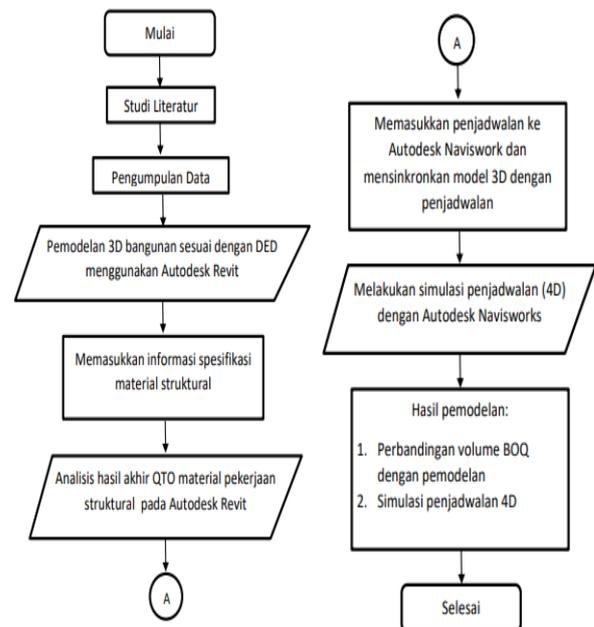
Pada penerapan BIM, salah satu yang bisa dilakukan adalah perhitungan *Quantity Take-Off* (QTO) material. QTO merupakan pekerjaan perhitungan mendetail terkait volume item pekerjaan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek konstruksi (Sadad et al., 2022). BIM juga bisa diterapkan pada *scheduling* dalam bentuk BIM 4D, dengan menghubungkan desain BIM 3D dengan waktu. BIM 4D merupakan proses memasukkan informasi berupa waktu dan item pekerjaan ke dalam model bangunan untuk memperoleh informasi penjadwalan. Informasi yang diperoleh berguna untuk mendapatkan data yang akurat dan visualisasi yang menunjukkan bagaimana proyek berjalan secara berurutan (Saputra dan Abma., 2023).

Dalam perencanaan dan pelaksanaannya, proyek pembangunan gedung PPs Fakultas Ekonomi UNP belum menerapkan BIM, termasuk dalam perhitungan QTO material dan *scheduling*. Perhitungan QTO masih bersifat konvensional menggunakan *software* Microsoft Excel berdasarkan *shop drawing* yang ada. Metode ini terkadang belum dapat menjamin keakuratan pada saat pelaksanaan di lapangan dan juga memerlukan waktu yang cukup lama. Secara keseluruhan, perhitungan QTO konvensional memiliki dampak signifikan terhadap penjadwalan proyek konstruksi, terutama terkait dengan akurasi, efisiensi waktu, adaptabilitas terhadap perubahan desain, dan komunikasi tim.

Scheduling/Penjadwalan pada proyek ini juga masih dihitung menggunakan *software* Microsoft Excel dengan *output* berbentuk kurva S. Penggunaan kurva S untuk penjadwalan memiliki beberapa kelemahan yang dapat mempengaruhi efektivitas proyek. Proses ini rentan terhadap kesalahan input data (kesalahan dalam pembacaan dimensi) yang dapat menghasilkan estimasi yang tidak akurat. Keterbatasan visualisasi juga menjadi masalah dalam penggunaan kurva S, karena grafik yang dihasilkan mungkin tidak sejelas grafik dari perangkat lunak manajemen proyek, sehingga menyulitkan *stakeholders* untuk memahami status proyek dengan cepat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data yang dibutuhkan, meliputi DED, AHSP, *time schedule*, BOQ, dan jumlah tenaga kerja. Setelah itu, melakukan pemodelan 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit dan dilanjutkan dengan mengespor model 3D pada Revit ke *software* Autodesk Naviswork. Secara umum berikut langkah-langkah dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

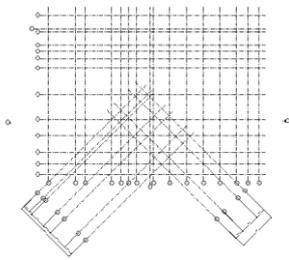
Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan menggunakan *software* Autodesk Revit 2022. Berikut tahapan mengenai proses pemodelan dalam bentuk model 3D.

1. Pembuatan Grid dan Level

Grid dan level (mengacu kepada elevasi setiap lantai) merupakan suatu garis dengan ukuran jarak

tertentu yang telah ditentukan yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemodelan.



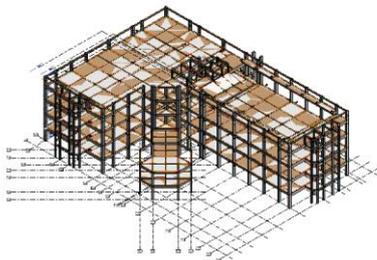
Gambar 2. Pembuatan Grid

2. Membuat Elemen Struktur

Elemen struktur yang dimodelkan pada tugas akhir ini meliputi kolom, balok dan pelat lantai. Elemen dimodelkan sesuai dengan gambar DED yang diperoleh

3. Pemodelan Elemen Struktur

Setelah elemen struktur dibuat, langkah selanjutnya yaitu memodelkan elemen tersebut pada grid yang telah dibuat pada tahap sebelumnya yang sesuai dengan gambar DED.



Gambar 3. Pemodelan Struktur

4. Penulangan Elemen Struktur

Penulangan elemen struktur dilakukan pada elemen kolom, balok dan pelat lantai secara manual.

Quantity Take Off

Quantity Take Off (QTO) yang didapatkan akan dibandingkan dengan perhitungan volume yang dilakukan secara konvensional. Selain itu, QTO yang diperoleh akan digunakan juga untuk perhitungan *scheduling*. Hasil *output* QTO dari pemodelan 3D yang dilakukan dengan konsep BIM dan perbandingan dengan metode konvensional dapat dilihat pada tabel 1 dan table 2 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Output QTO pekerjaan beton Metode BIM dengan Konvensional

No	Pekerjaan	Beton (m3)	
		konvensional	BIM
1	Kolom L1	88,01	88,04
2	Balok L2	165,68	163,53
3	Pelat L2	229,56	188,24
4	Kolom L2	86	86,03

5	Balok L3	157,092	153,65
6	Pelat L3	216,92	171,09
7	Kolom L3	80,97	81
8	Balok L4	151,777	148,46
9	Pelat L4	219,03	173,75
10	Kolom L4	71	71,01
11	Balok L5	110,55	108,25
12	Pelat Mez & Dak	116,67	117,7
13	Kolom LDak	19,1	19,1
14	Balok L Daklift	19,19	17,73
15	Pelat L Dak	10,53	9,08
16	Kolom R Balok	12,73	12,73
17	Balok Ring	16,77	16,46
Jumlah		1771,579	1625,85

Tabel 2. Perbandingan Output QTO pekerjaan penulangan Metode BIM dengan Konvensional

No	Pekerjaan	Besi (Kg)	
		konvensional	BIM
1	Kolom L1	19554,35	23746,11
2	Balok L2	39084,44	38977,58
3	Pelat L2	28089,31	29962,4
4	Kolom L2	19223,09	23228,82
5	Balok L3	36089,49	35942,71
6	Pelat L3	23937,418	24177,51
7	Kolom L3	18394,95	22317,95
8	Balok L4	34358,59	34370,38
9	Pelat L4	24292,26	25935,7
10	Kolom L4	16747,49	19158,7
11	Balok L5	25156,21	24924,07
12	Pelat Mez & Dak	17494,44	18978,2
13	Kolom LDak & ring balok	7171,86	7420,37
14	Balok L Daklift	5032,93	5270,05
15	Pelat L Dak	1021,05	1633,49
16	Balok Ring	2894,91	2989,53
Jumlah		318542,84	339033,6

Setelah dilakukan kalkulasi secara keseluruhan, nilai yang sudah didapatkan dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$\text{Hasil} = \frac{(V \text{ BIM} - V \text{ konvensional})}{V \text{ konvensional}} 100\%$$

$$\text{pek beton} = \frac{(1625,85 - 1771,57)}{1771,57} 100\% = -8,2 \%$$

$$\text{pek tulangan} = \frac{(338833,56 - 318542,84)}{318542,84} 100\%$$

$$= 6,3 \%$$

Kalsifikasi Elemen Struktur

Klasifikasi elemen struktur dilakukan untuk mengetahui volume dari masing-masing pekerjaan struktur. Pengelompokan volume pekerjaan struktur dibagi menjadi 4 zona, yaitu volume pekerjaan gedung zona A sampai dengan D, klasifikasi zona elemen struktur dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pembagian Zona Pekerjaan

Scheduling Pekerjaan Struktur

Perhitungan waktu diperlukan untuk menyelesaikan setiap jenis pekerjaan dalam proses penjadwalan. Penghitungan ini dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari proyek yaitu DED, *time schedule*, dan jumlah tenaga kerja yang tersedia. Jumlah kebutuhan tenaga pekerja dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Kebutuhan Tenaga Kerja

Pekerjaan	Kebutuhan Tenaga Kerja		
	Kolom	Balok	Pelat
Pembesian	5 orang	6 orang	12 orang
Bekisting	30 orang	24 orang	30 orang
Pengecoran	3 orang	8 orang	11 orang

Berdasarkan data tersebut, dapat ditentukan durasi setiap pekerjaan dan menyusun jadwal yang efektif menggunakan rumus berikut.

$$N = \frac{k \times V}{T}$$

N = jumlah tenaga kerja

V = volume pekerjaan

K = koefisien tenaga kerja

T = waktu/durasi pekerjaan

Berdasarkan rumus di atas, perhitungan dilakukan pada setiap item pekerjaan dalam satu pekerjaan elemen struktur. Rekapitulasi durasi pekerjaan struktur dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Durasi Pekerjaan

Zona	Item Pekerjaan	k	V	N	kxV/N
1A	pemasangan tulangan kolom	0,007	8068,48	5	11

	pemasangan bekisting kolom	0,66	226,88	30	5
	pengecoran kolom	1	29,04	3	10
1B	pemasangan tulangan kolom	0,007	8737,61	5	12
	pemasangan bekisting kolom	0,66	260	30	6
	pengecoran kolom	1	31,13	3	10
1C	pemasangan tulangan kolom	0,007	4875,15	5	7
	pemasangan bekisting kolom	0,66	130,88	30	3
	pengecoran kolom	1	17,52	3	6
1D	pemasangan tulangan kolom	0,007	2064,87	5	3
	pemasangan bekisting kolom	0,66	80	30	2
	pengecoran kolom	1	10,32	3	3
2A	pemasangan tulangan kolom	0,007	8068,48	5	11
	pemasangan bekisting kolom	0,66	226,88	30	5
	pengecoran kolom	1	29,04	3	10
	pemasangan tulangan balok	0,007	11597,8	6	14
	pemasangan bekisting balok	0,66	435,57	24	12
	pengecoran balok	1	48,74	8	6
	pemasangan tulangan pelat	0,007	9365,88	12	5
	pemasangan bekisting pelat	0,66	570,17	30	13
	pengecoran pelat	1	62,43	11	6
2B	pemasangan tulangan kolom	0,007	8737,61	5	12
	pemasangan bekisting kolom	0,66	260	30	6
	pengecoran kolom	1	31,13	3	10
	pemasangan tulangan balok	0,007	10136,03	6	12
	pemasangan bekisting balok	0,66	527,6	24	15
	pengecoran balok	1	61,3	8	8
	pemasangan tulangan pelat	0,007	11378,91	12	7
	pemasangan bekisting pelat	0,66	543,5	30	12

	pengecoran pelat	1	60,03	11	5	
2C	pasangan tulang kolom	0,007	4875,15	5	7	
	pasangan bekisting kolom	0,66	130,88	30	3	
	pengecoran kolom	1	17,52	3	6	
	pasangan tulang balok	0,007	11532,31	6	13	
	pasangan bekisting balok	0,66	319,8	24	9	
	pengecoran balok	1	36,07	8	5	
	pasangan tulang pelat	0,007	6184,06	12	4	
	pasangan bekisting pelat	0,66	418,17	30	9	
	pengecoran pelat	1	46,23	11	4	
	2D	pasangan tulang kolom	0,007	1547,58	5	2
		pasangan bekisting kolom	0,66	64	30	1
pengecoran kolom		1	8,31	3	3	
pasangan tulang balok		0,007	5310,35	6	6	
pasangan bekisting balok		0,66	196,6	24	5	
pengecoran balok		1	17,17	8	2	
pasangan tulang pelat		0,007	2989,1	12	2	
pasangan bekisting pelat		0,66	187,5	30	4	
pengecoran pelat		1	19,56	11	2	
3A	pasangan tulang kolom	0,007	8068,48	5	11	
	pasangan bekisting kolom	0,66	226,88	30	5	
	pengecoran kolom	1	29,04	3	10	
	pasangan tulang balok	0,007	11597,8	6	14	
	pasangan bekisting balok	0,66	435,57	24	12	
	pengecoran balok	1	48,74	8	6	
	pasangan tulang pelat	0,007	9365,88	12	5	
	pasangan bekisting pelat	0,66	570,17	30	13	
	pengecoran pelat	1	62,28	11	6	

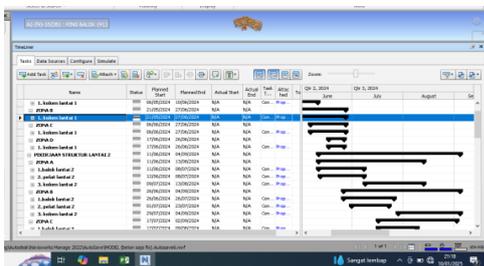
3B	pasangan tulang kolom	0,007	8737,61	5	12	
	pasangan bekisting kolom	0,66	260	30	6	
	pengecoran kolom	1	31,13	3	10	
	pasangan tulang balok	0,007	10136,03	6	12	
	pasangan bekisting balok	0,66	514,25	24	14	
	pengecoran balok	1	60,04	8	8	
	pasangan tulang pelat	0,007	11378,91	12	7	
	pasangan bekisting pelat	0,66	543,5	30	12	
	pengecoran pelat	1	58,94	11	5	
	3C	pasangan tulang kolom	0,007	4875,15	5	7
		pasangan bekisting kolom	0,66	142,88	30	3
pengecoran kolom		1	20,8	3	7	
pasangan tulang balok		0,007	11532,31	6	13	
pasangan bekisting balok		0,66	319,8	24	9	
pengecoran balok		1	36,11	8	5	
pasangan tulang pelat		0,007	6184,06	12	4	
pasangan bekisting pelat		0,66	418,17	30	9	
pengecoran pelat		1	46,23	11	4	
3D	pasangan tulang balok	0,007	2452,88	6	3	
	pasangan bekisting balok	0,66	98,82	24	3	
	pengecoran balok	1	8,96	8	1	
	pasangan tulang pelat	0,007	526,09	12	0,3	
	pasangan bekisting pelat	0,66	30	30	1	
	pengecoran pelat	1	3,65	11	0,3	
4A	pasangan tulang kolom	0,007	5223,45	5	7	
	pasangan bekisting kolom	0,66	146,88	30	3	
	pengecoran kolom	1	19,44	3	6	
	pasangan tulang balok	0,007	11597,8	6	14	

	pemasangan bekisting balok	0,66	435,57	24	12
	pengecoran balok	1	48,74	8	6
	pemasangan tulangan pelat	0,007	9365,88	12	5
	pemasangan bekisting pelat	0,66	570,17	30	13
	pengecoran pelat	1	62,28	11	6
4B	pemasangan tulangan kolom	0,007	8737,61	5	12
	pemasangan bekisting kolom	0,66	260	30	6
	pengecoran kolom	1	28,95	3	10
	pemasangan tulangan balok	0,007	10136,03	6	12
	pemasangan bekisting balok	0,66	527,6	24	15
	pengecoran balok	1	61,42	8	8
	pemasangan tulangan pelat	0,007	11378,91	12	7
	pemasangan bekisting pelat	0,66	543,5	30	12
	pengecoran pelat	1	60,03	11	5
4C	pemasangan tulangan kolom	0,007	11378,91	5	16
	pemasangan bekisting kolom	0,66	142,88	30	3
	pengecoran kolom	1	20,83	3	7
	pemasangan tulangan balok	0,007	8281,18	6	10
	pemasangan bekisting balok	0,66	319,8	24	9
	pengecoran balok	1	38,47	8	5
	pemasangan tulangan pelat	0,007	7007,65	12	4
	pemasangan bekisting pelat	0,66	462,9	30	10
	pengecoran pelat	1	51,4	11	5
4D	pemasangan tulangan balok	0,007	1534,23	6	2
	pemasangan bekisting balok mezzanin	0,66	59,89	24	2
	pengecoran balok mezzanin	1	4,98	8	1
	pemasangan tulangan pelat	0,007	1221	12	1

	pemasangan bekisting pelat	0,66	149,5	30	3
	pengecoran pelat	1	8,62	11	1
DAKA	pemasangan tulangan kolom	0,007	2577,485	5	4
	pemasangan bekisting kolom	0,66	74,46	30	2
	pengecoran kolom	1	9,93	3	3
DAK B	pemasangan tulangan kolom	0,007	2273,64456	5	3
	pemasangan bekisting kolom	0,66	111,05	30	2
	pengecoran kolom	1	9,43	3	3
	pemasangan tulangan balok	0,007	10538,51	6	12
	pemasangan bekisting balok	0,66	554,72	24	15
	pengecoran balok	1	65,06	8	8
	pemasangan tulangan pelat	0,007	12645,74	12	7
	pemasangan bekisting pelat	0,66	619,67	30	14
	pengecoran pelat	1	58,66	11	5
DAK C	pemasangan tulangan kolom	0,007	2017,39	5	3
	pemasangan bekisting kolom	0,66	43,86	30	1
	pengecoran kolom	1	8,356	3	3
	pemasangan tulangan balok	0,007	10116,94	6	12
	pemasangan bekisting balok	0,66	344,3	24	9
	pengecoran balok	1	38,43	8	5
	pemasangan tulangan pelat	0,007	7007,65	12	4
	pemasangan bekisting pelat	0,66	462,9	30	10
	pengecoran pelat	1	50,42	11	5
DAK D	pemasangan tulangan balok	0,007	3735,77	6	4
	pemasangan bekisting balok	0,66	161,288	24	4
	pengecoran balok dak elevasi 16,95	1	12,73	8	2
	pemasangan tulangan pelat	0,007	1633,49	12	1

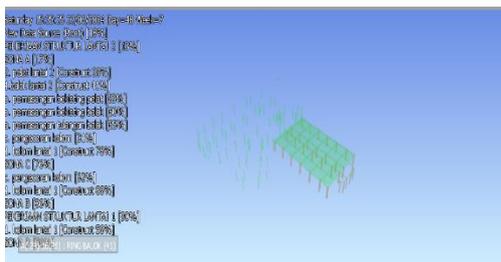
	pemasangan bekisting pelat	0,66	60	30	1
	pegecoran pelat el 16,95	1	9,08	11	1
Ring Balok	pemasangan tulangan balok	0,007	2788,69	6	3
	pemasangan bekisting balok	0,66	178,13	24	5
	pegecoran balok ring	1	16,46	8	2

Setelah menentukan waktu yang dibutuhkan untuk setiap pekerjaan, selanjutnya adalah membuat jadwal untuk pekerjaan struktur menerapkan BIM 4D pada *software* Autodesk Navisworks Manage. Sebelum menerapkan BIM 4D, terlebih dahulu dilakukan penyusunan jadwal dengan bantuan *software* Microsoft Project untuk merincikan durasi setiap pekerjaan dan menghitung total waktu yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dan file di import kedalam *software* Autodesk Navisworks Manage.

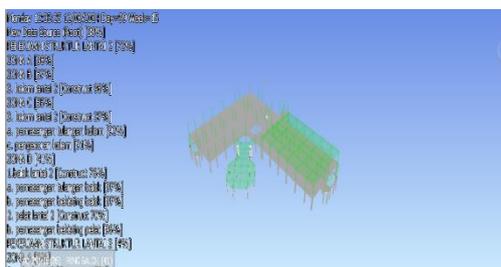


Gambar 5. Import File Microsoft Project

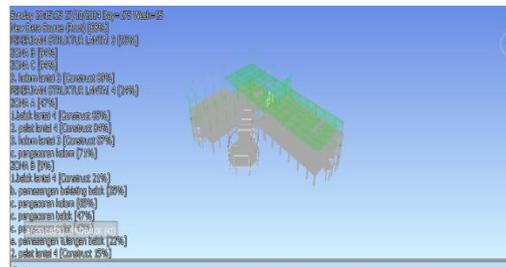
Setelah dilakukan simulasi, berdasarkan hasil simulasi dari penjadwalan tersebut bisa dilihat progres masing-masing pekerjaan dalam waktu minggu tertentu.



Gambar 6. Progres Minggu ke 7



Gambar 7. Progres Minggu ke 15



Gambar 8. Progres Minggu ke 25

KESIMPULAN

Dari analisis *Quantity Take Off*, volume pekerjaan beton yang dihitung dengan metode BIM lebih kecil 8,2% dibandingkan metode konvensional, sementara volume pekerjaan penulangan yang dihitung dengan metode BIM lebih besar 6,3% dibandingkan metode konvensional. Analisis menunjukkan perbedaan volume pekerjaan pengecoran disebabkan oleh metode konvensional tidak menghitung dari bentang bersih (jarak yang tidak terhalang antara dua penyangga atau tumpuan dalam suatu struktur) terutama pada pelat lantai, sementara metode BIM langsung melakukan kalkulasi berdasarkan bentang bersih. Selanjutnya perbedaan volume pekerjaan penulangan terjadi karena metode konvensional tidak dilakukan perhitungan pada tulangan *overlap* sedangkan pada metode BIM langsung dilakukan perhitungan tulangan *overlap*. Penerapan BIM 4D untuk penjadwalan proyek menggunakan *Software* Autodesk Navisworks menghasilkan simulasi penjadwalan dengan estimasi durasi pekerjaan selama 183 hari kerja.

DAFTAR PUSTAKA

Peraturan Menteri PUPR. (2018). Nomor 22/Prt/2018 Tentang Pedoman Pembangunan Gedung Negara. Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian PUPR.

Sadad, I., Jaya, FH., & Januar, IC.,(2022). Implementasi BIM *Take Off Quantity Material* Struktur Abutment Jembatan terhadap Volume Rencana. *Jurnal Teknik Sains*, 7(2), 91-97.

Saputra, G. S., & Abma, V. (2023). Penerapan BIM 4D dalam perencanaan penjadwalan pada pekerjaan struktur jembatan. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3(1), 120-128.

Tigauw, F., Aprilianto, F., & Santoso, HT.(2023). “Analisa Perhitungan *Quantity Material Take-Off* (QMTO) Struktur Bawah Jembatan Tipe Skew dengan Menggunakan BIM Autodesk Revit”. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 2(20), 57-65.