



## BAB 5 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Pemodelan Dengan *Revit Structures*

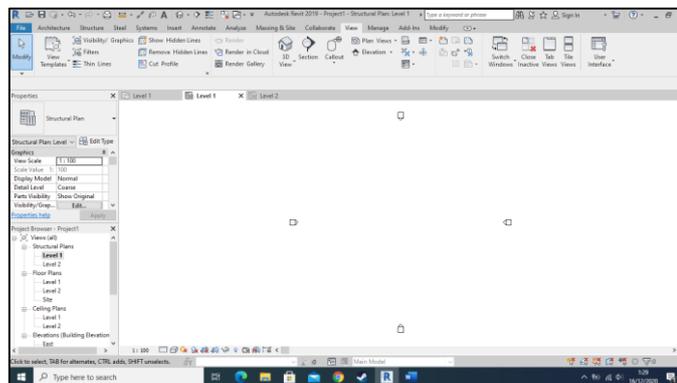
Sebelum melakukan pemodelan dengan *Revit Structure*, data seperti gambar kerja dari proyek Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata dipersiapkan dan dipelajari. Data yang dibutuhkan gambar kerja dari kolom, balok, dan pelat pada Lampiran C. Pemodelan dengan *Revit Structure* 2019 dengan tahapan berikut:

1. Membuka program *Revit Structure* 2019, tampilan awal *software* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Tampilan Awal *Software*

2. Pilih opsi *open new structural template* dan akan menampilkan tampilan lembar kerja dapat diperlihatkan pada Gambar 5.2.



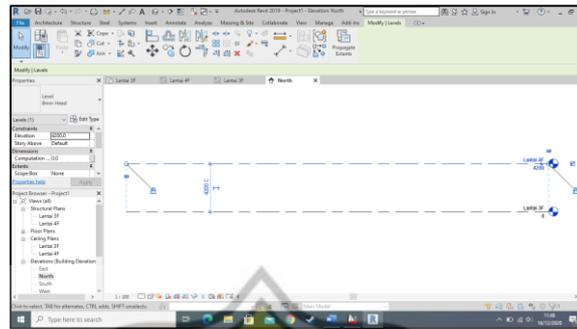
Gambar 5.2 Tampilan Lembar Kerja



## Tugas Akhir

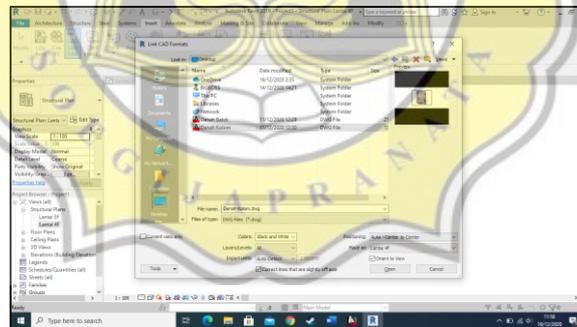
Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

3. Sesudah membuka lembar kerja adalah mengatur elevasi lantai pada lembar kerja sesuai dengan gambar kerja, dengan cara pada *project browser* pilih *elevation* untuk mengubah elevasi. Elevasi lantai yang diperlihatkan pada Gambar 5.3.

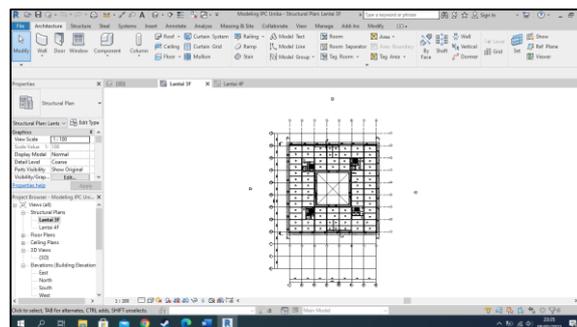


Gambar 5.3 Elevasi Lantai

4. Untuk memulai pemodelan dengan memasukkan denah kolom dengan cara *insert*, pilih *Link CAD*, *open* denah kolom yang sudah dipersiapkan dengan *setting* yang diperlihatkan pada Gambar 5.4. Selanjutnya itu akan muncul denah kolom pada lembar kerja dapat diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.4 Setting Link CAD



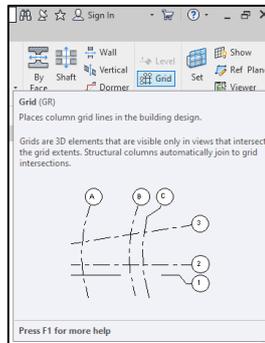
Gambar 5.5 CAD Denah Kolom



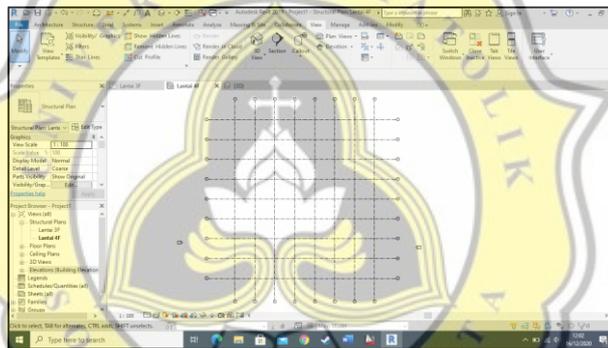
## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

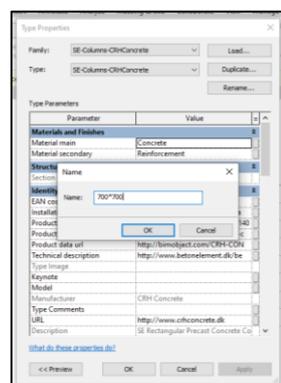
5. Tahap berikutnya adalah membuat *grid* dengan *option grid* yang diperlihatkan pada Gambar 5.6.

Gambar 5.6 *Option Grid*

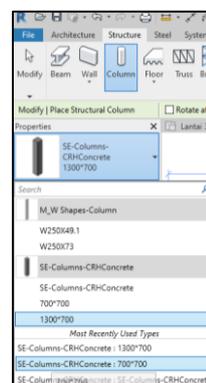
6. *Grid* digambar pada lembar kerja hingga selesai diperlihatkan pada Gambar 5.7.

Gambar 5.7 *Grid Pada Lembar Kerja*

7. Profil kolom dibuat dengan *column* dan berikutnya *edit type* dan *duplicate* dari *family type concrete column* dan masukan ukuran yang diperlukan seperti diperlihatkan pada Gambar 5.8 dan *list* kolom diperlihatkan pada Gambar 5.9.

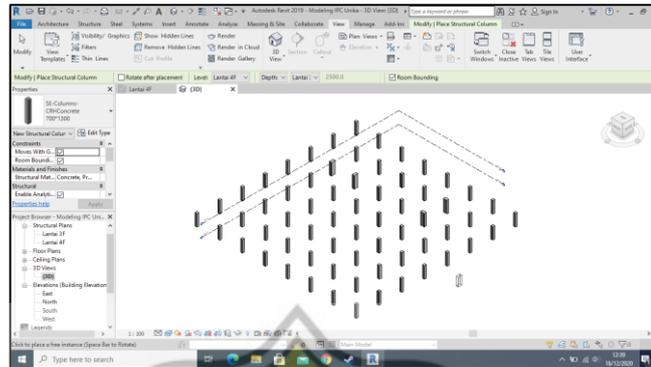


Gambar 5.8 Ukuran Kolom

Gambar 5.9 *List Kolom*

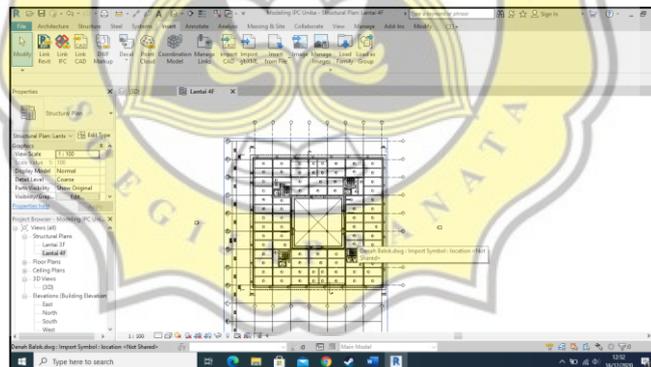


8. Langkah berikutnya adalah menempatkan kolom pada lembar kerja sesuai dengan denah kolom. Hasil dari penempatan kolom yang sudah dibuat dapat diperlihatkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Hasil Penempatan Kolom

9. Langkah berikutnya adalah pembuatan balok dengan cara yang hampir sama, yaitu *Link CAD* denah balok dan atur posisi dari denah balok agar sama dengan denah kolom seperti diperlihatkan pada Gambar 5.11.



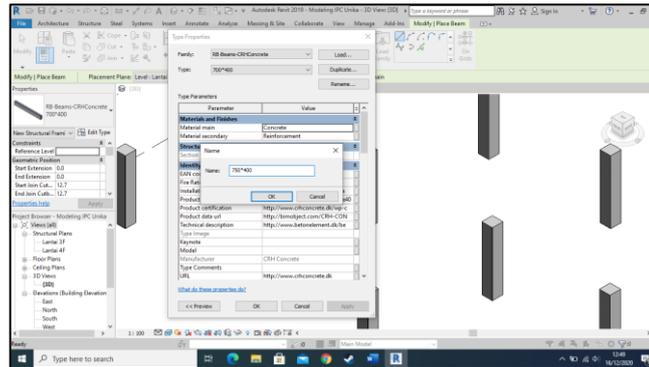
Gambar 5.11 CAD Denah Balok

10. Dengan data ukuran balok yang sudah didapatkan, langkah berikutnya adalah membuat profil balok yang dibutuhkan dengan cara pada opsi *beam* pilih *duplicate family type concrete beams* dan *edit* ukuran balok seperti diperlihatkan pada Gambar 5.12.
- Pilih opsi *main material concrete*,
  - Untuk mengubah ukuran dengan ubah *height* untuk tinggi balok dan *width* untuk lebar balok, buat sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan,
  - Sesudah selesai klik *apply*.



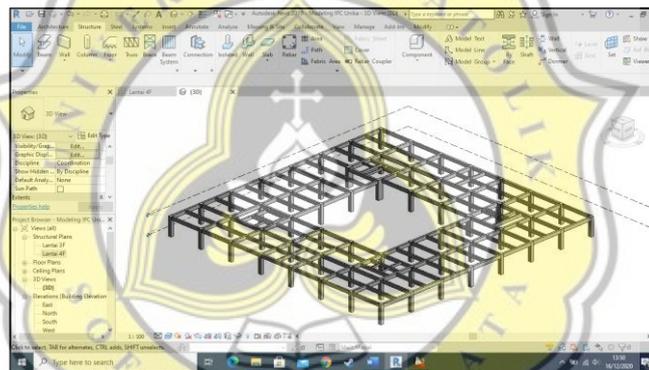
## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*



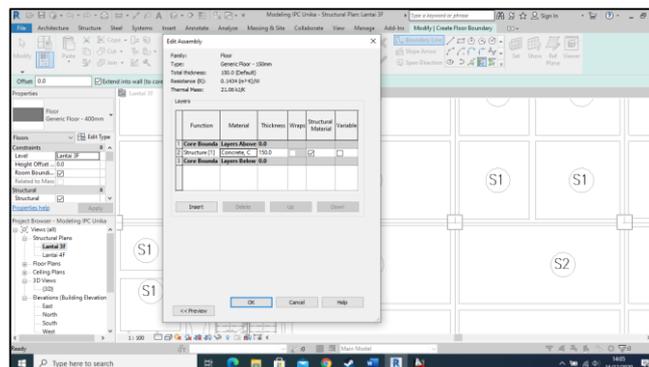
Gambar 5.12 Edit Ukuran Balok

11. Langkah berikutnya adalah peletakan balok pada kolom sesuai dengan denah balok yang sudah di *Link CAD* sebelumnya dan gambar dari balok yang sudah dibuat dapat diperlihatkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Hasil Balok dan Kolom

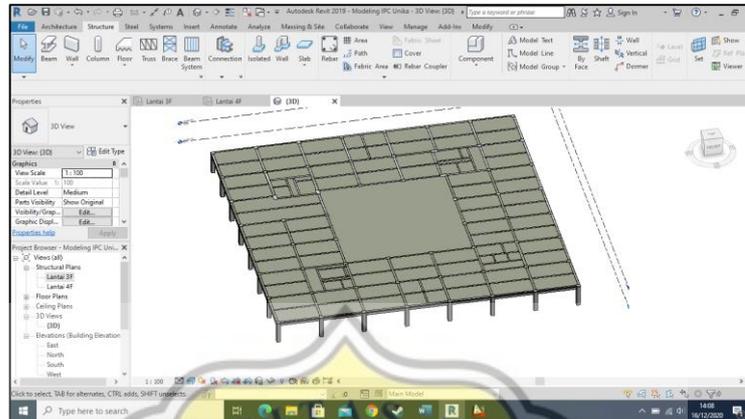
12. Langkah berikutnya adalah membuat pelat lantai dengan membuat profil pelat lantai dari opsi *floor edit* tebal menjadi 150 mm dan material *concrete cast in site* yang diperlihatkan pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Profil Pelat Lantai

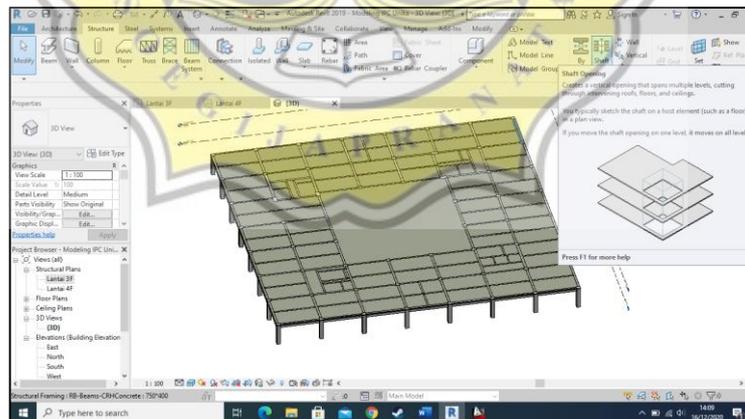


13. Pelat lantai dibuat dengan opsi *boundary line* lalu sesudah selesai klik tanda *check* dan berikut gambar dari pelat D view dapat diperlihatkan pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Hasil Pelat Lantai

14. Langkah selanjutnya buat lubang *void* dengan opsi *shaft* dan buat dengan *boundary line*, buat garis pada *void* hingga menutup titik awal dan klik tanda *check* sesudah selesai. Gambar dari pelat lantai yang sudah diberi *void* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.16.



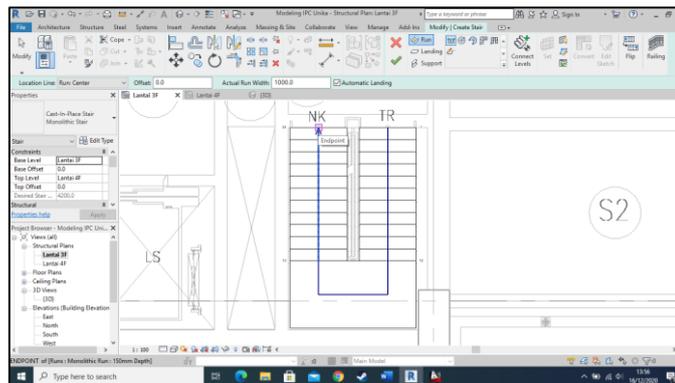
Gambar 5.16 Opsi *Shaft* pada *Revit*

15. Langkah berikutnya adalah pembuatan tangga dengan opsi *stairs* pada *architecture*, buat tangga sesuai dengan posisi tangga pada denah dan mengganti opsi material dari tangga menjadi *concrete stairs cast in place* yang diperlihatkan pada Gambar 5.17.



## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*



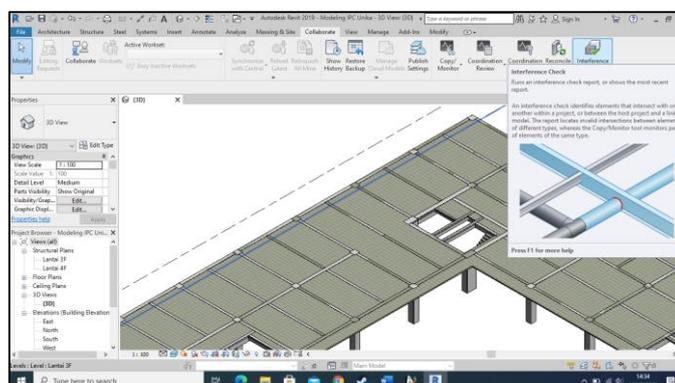
Gambar 5.17 Tangga pada *Revit*

16. Berikut adalah tangga yang sudah selesai dari pemodelan 3D dapat diperlihatkan pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Pemodelan 3D Tangga

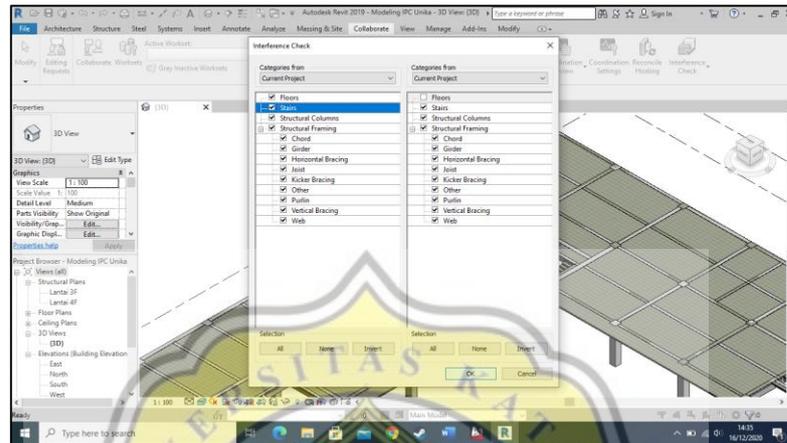
17. Pemodelan yang sudah dibuat akan dicek untuk *clash detection* pada pemodelan dengan menggunakan opsi *Interference Check* yang diperlihatkan pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Cara Mengecek *Clash Detection*

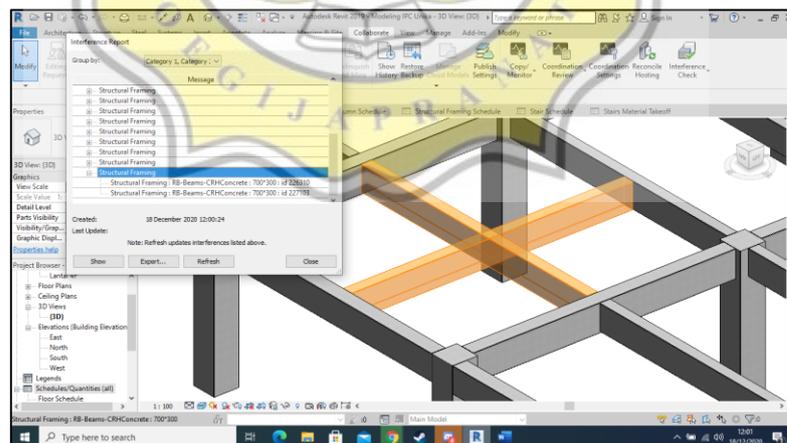


18. Dalam melakukan *interference check* akan muncul tabel berikut yang perlu di *check* untuk bagian mana saja yang ingin diaplikasikan *interferenced check* yang diperlihatkan pada Gambar 5.20 lalu klik OK untuk mengeluarkan hasil *report* dari *interference check*.



Gambar 5.20 Aplikasi *Interferenced check*

19. Selanjutnya akan tampil *interference report* dilengkapi dengan bagian yang mengalami *clash* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.21 bagian balok mengalami *clash*.



Gambar 5.21 Balok yang Mengalami *Clash*

20. Langkah berikutnya adalah memperbaiki pemodelan yang mengalami *clash* dengan mengatur posisi peletakan dari balok maupun kolom hingga tidak terjadi *clash* antar bagian dengan bantuan *check* menggunakan *interference report* hingga tidak ada yang tersisa seperti diperlihatkan pada Gambar 5.22.

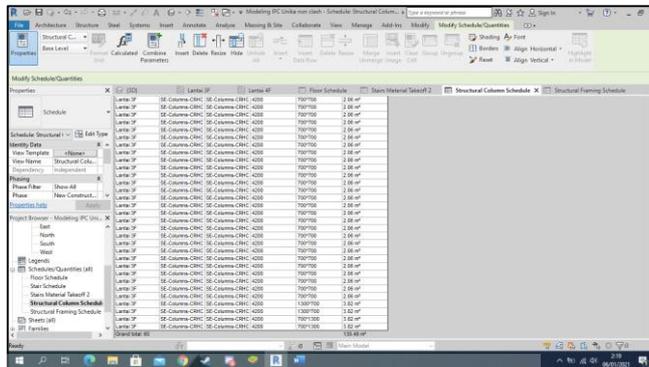




Tugas Akhir

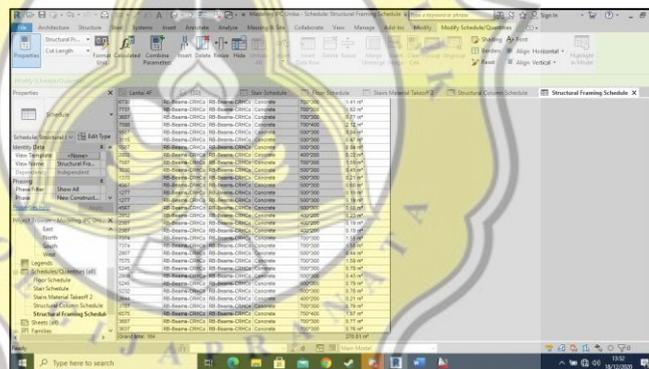
Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

e.2. *Structure column schedule* yang tanpa dilakukan *clash detection* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.24 dengan volume 130,49 m<sup>3</sup>.



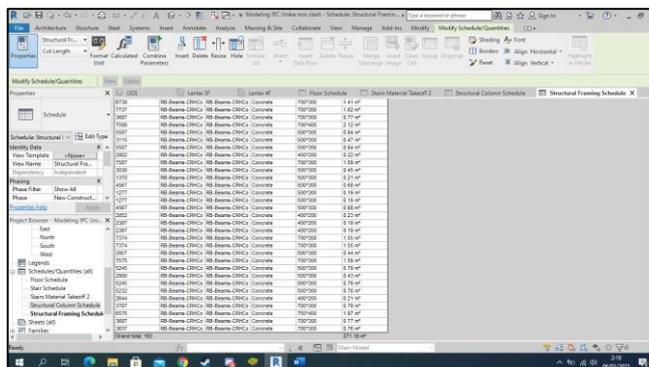
Gambar 5.24 Volume Total Kolom Tanpa *Clash Detection*

e.3. *Structural framing schedule* dengan *clash detection* yang dapat dilihat pada Gambar 5.25 memiliki volume total 270,81 m<sup>3</sup>.



Gambar 5.25 Volume Total Balok Dengan *Clash Detection*

e.4. *Structural framing schedule* tanpa *clash detection* yang dapat dilihat pada Gambar 5.26 memiliki volume total 270,81 m<sup>3</sup>.

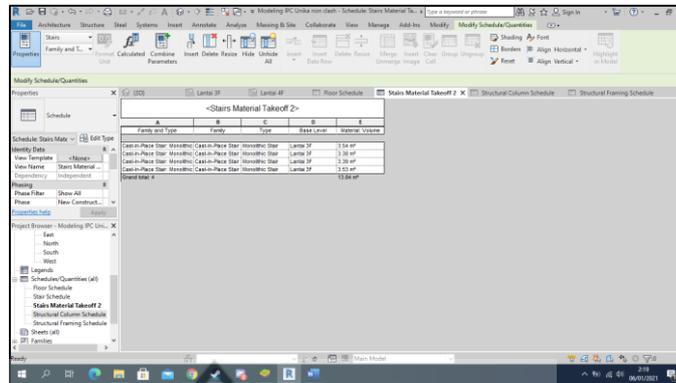


Gambar 5.26 Volume Total Balok Tanpa *Clash Detection*





e.8. *Stairs Material take-off* tanpa *clash detection* yang diperlihatkan pada Gambar 5.30 memiliki volume total 13,84 m<sup>3</sup>



Gambar 5.30 Volume Total Tangga Tanpa *Clash Detection*

## 5.2 Analisis Data

Selanjutnya sesudah mengetahui volume dari pekerjaan adalah menganalisis data. Analisis dilakukan untuk menghitung produktivitas CO<sub>2</sub> dari *truck*, *concrete pump*, dan *tower crane* sehingga dapat diestimasi total produksi CO<sub>2</sub> selama pengecoran balok, kolom, dan pelat lantai yang terdapat pada Lantai 3. Selain mendapatkan total emisi dengan analisis data juga dapat menghitung lama pekerjaan dan biaya yang harus dikeluarkan untuk *tower crane*, *truck*, dan *concrete pump*. Analisis data diestimasi menggunakan formula matematis yang terdapat pada Sub Bab 2.7 untuk estimasi CO<sub>2</sub> dan Sub Bab 2.8 untuk produktivitas.

### 5.2.1 Produktivitas *tower crane*

Berdasarkan data hasil survei pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 maka produktivitas yang dihasilkan dapat diestimasi sebagai berikut. Estimasi produktivitas menggunakan Persamaan 2.14.

Estimasi produktivitas:

$$q = 5,5 \text{ m}^3$$

$$t = 1,175 \text{ jam}$$

$$Q = \frac{q}{CT}$$

$$= \frac{5,5}{1,175}$$

$$= 4,682 \text{ m}^3/\text{jam}$$



Selanjutnya estimasi data akan diestimasi menggunakan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perhitungan Produktivitas Menggunakan *Microsoft Excel*

Siklus	q	Waktu Siklus, CT (jam)	Produktivitas, Q (m <sup>3</sup> /jam)
1	5,5	1,175	4,682
2	5,5	0,586	9,384
3	5,5	0,856	6,424
<b>Rata - rata</b>		0,872	6,830

Berdasarkan data yang diolah mendapatkan hasil produktivitas *tower crane* 6,890 m<sup>3</sup>/ jam dengan waktu yang dibutuhkan untuk 1 siklus *tower crane* selama 0,872 jam atau 52,32 menit. Untuk menghitung waktu yang diperlukan *tower crane* untuk berkerja dengan membagi volume pekerjaan dengan produktivitas *tower crane* pada pengecoran yang menggunakan *tower crane* adalah pengecoran kolom dan tangga, volume dari pekerjaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan Gambar 5.26.

Tabel 5.2 Estimasi Waktu Pengecoran Kolom dan Tangga

Pekerjaan	Volume (m <sup>3</sup> )	Produktivitas (m <sup>3</sup> /jam)	Waktu Clash (jam)	Waktu Non clash (jam)
Kolom	130,49	6,830	19,105	19,105
Tangga	13,84	6,830	2,026	2,026

### 5.2.2 Produktivitas *concrete pump*

Berdasarkan data hasil survei pada Tabel 4.7 hingga Tabel 4.10 maka produktivitas yang dihasilkan dapat diestimasi sebagai berikut. Estimasi produktivitas menggunakan Persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q &= 5 \text{ m}^3 \\
 t &= 0,293 \text{ jam} \\
 Q &= \frac{q}{CT} \\
 &= \frac{5}{0,293} \\
 &= 17,062 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan data akan diestimasi menggunakan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Produktivitas *Concrete Pump*

Siklus	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Waktu Siklus (jam)	Q (m <sup>3</sup> /jam)
1	5	0,293	17,062
2	5	1,239	4,037
3	5	0,196	25,460
4	5	0,284	17,613
5	5	0,182	27,523
6	5	0,237	21,102
7	5	0,478	10,471
8	5	0,188	26,588
9	5	0,206	24,226
10	5	0,256	19,565
11	5	0,224	22,360
12	5	0,324	15,411
13	5	0,473	10,563
14	5	0,125	40,000
15	5	0,157	31,915
16	5	0,144	34,749
17	5	0,244	20,525
18	5	0,524	9,534
19	5	0,807	6,196
20	5	0,300	16,667
21	5	0,449	11,132
22	5	0,521	9,600
23	5	0,355	14,073
24	5	0,128	38,961
25	5	0,100	50,000
26	5	0,111	44,888
27	5	0,113	44,335
28	5	0,259	19,313
29	5	0,170	29,460
30	5	0,087	57,692
31	5	0,104	47,872
32	5	0,154	32,432
33	5	0,130	38,462
34	5	0,143	35,019
35	5	0,176	28,436
36	5	0,417	12,000
37	5	0,276	14,162
38	5	0,353	14,162
39	5	0,420	11,897
40	5	0,249	20,089
41	5	0,258	19,376
42	5	0,223	22,444



## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

Siklus	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Waktu Siklus (jam)	Q (m <sup>3</sup> /jam)
43	5	0,306	16,319
44	5	0,368	13,605
45	5	0,246	20,293
Rata - rata		0,289	23,724

Berdasarkan data yang diolah mendapatkan hasil produktivitas *concrete pump* 23,724 m<sup>3</sup>/ jam dengan waktu yang dibutuhkan untuk 1 siklus *concrete pump* selama 0,289 jam atau 17,34 menit. Untuk menghitung waktu yang diperlukan *concrete pump* untuk berkerja dengan cara membagi volume pekerjaan dengan produktivitas *concrete pump* pada pengecoran yang menggunakan *concrete pump* adalah pengecoran balok dan pelat lantai menjadi satu, volume dari pekerjaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25.

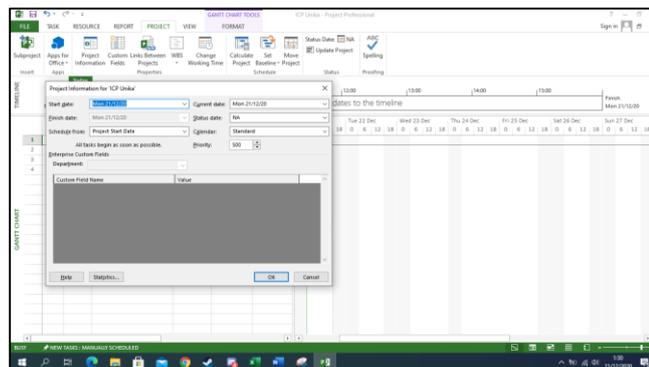
Tabel 5.4 Estimasi Waktu Pengecoran Balok dan Pelat Lantai

Pekerjaan	Volume clash (m <sup>3</sup> )	Volume Non clash (m <sup>3</sup> )	Produktivitas (m <sup>3</sup> /jam)	Waktu clash (jam)	Waktu Non clash (jam)
Balok dan pelat lantai	587,77	672,84	23,724	24,775	28,361

### 5.3 Scheduling

*Scheduling* dilakukan untuk mendapatkan jadwal dan urutan pekerjaan berdasarkan data yang didapat selama survei. Jadwal pekerjaan berdasarkan dari volume pekerjaan yang dikerjakan dan tingkat produktivitas pekerjaan tersebut, sehingga mendapatkan lama waktu yang dibutuhkan untuk suatu pekerjaan selesai.

- Langkah pertama adalah membuka *Microsoft Project* dan memasukkan waktu *project* dengan *project information* yang diperlihatkan pada Gambar 5.31.

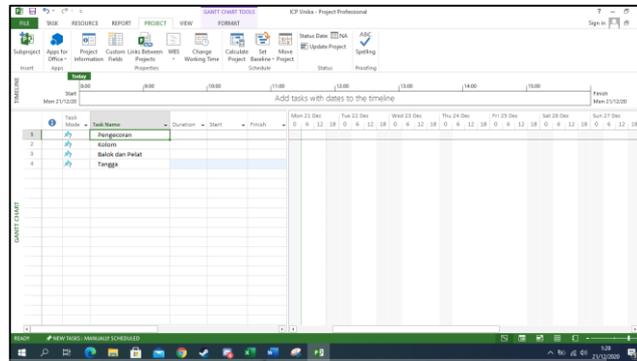
Gambar 5.31 *Project Information*



## Tugas Akhir

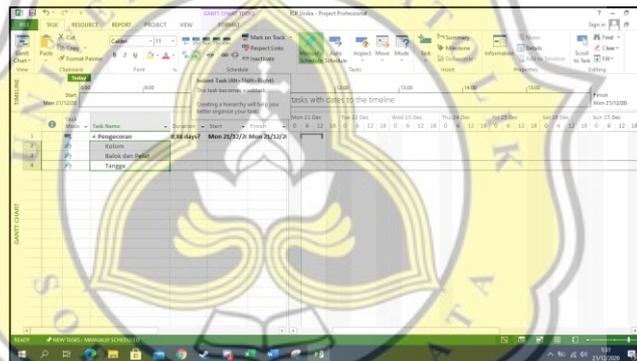
Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

2. *Task* pekerjaan yang dikerjakan diketik pada kolom *task name* seperti diperlihatkan pada Gambar 5.32.



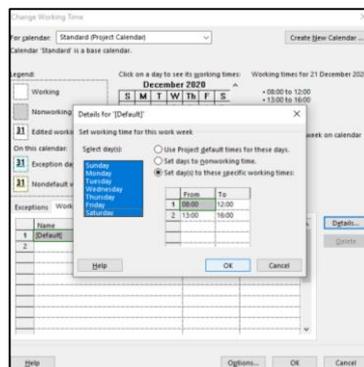
Gambar 5.32 *Task* Pekerjaan

3. *Indent task* dibuat pada *subtask* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.33.



Gambar 5.33 Membuat *Subtask*

4. Waktu kerja disetting menggunakan *project* dan *change working time* untuk, mengubah *working weeks* dengan cara *block* hari kerja, waktu masuk, dan jam istirahat hingga waktu selesai yang diperlihatkan pada Gambar 5.34.



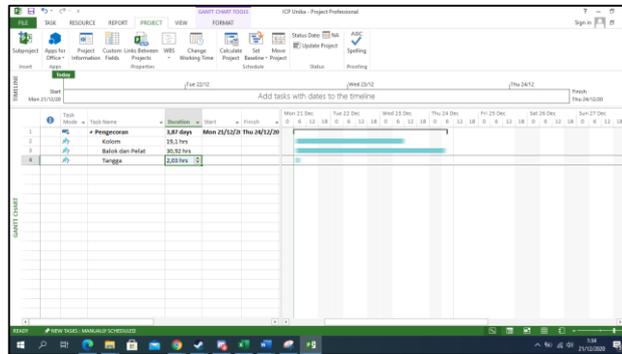
Gambar 5.34 *Setting* Waktu Kerja



## Tugas Akhir

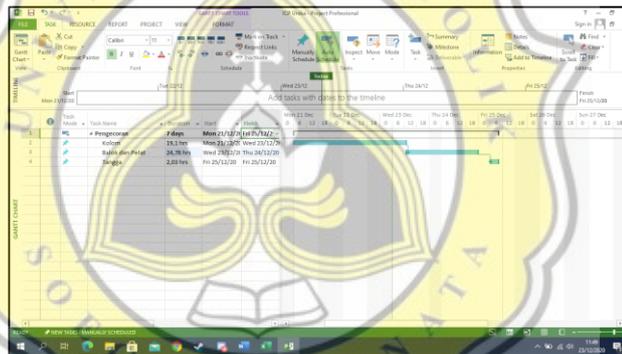
Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

5. Langkah berikutnya menginput waktu yang diperlukan dalam setiap pekerjaan dalam satuan jam (*hours*) seperti diperlihatkan pada Gambar 5.35.



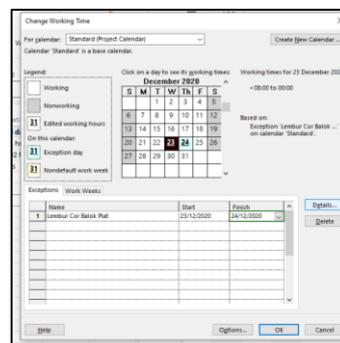
Gambar 5.35 Input Waktu

6. *Link project* diatur dengan cara *drag* waktu untuk menyambungkan ke waktu berikutnya dapat diperlihatkan pada Gambar 5.36.



Gambar 5.36 Link Project

7. Waktu diatur untuk membuat pekerjaan lembur dengan menggunakan *change working time* dan tambah tanggal dan waktu lembur pada tabel *exception* yang diperlihatkan pada Gambar 5.37.



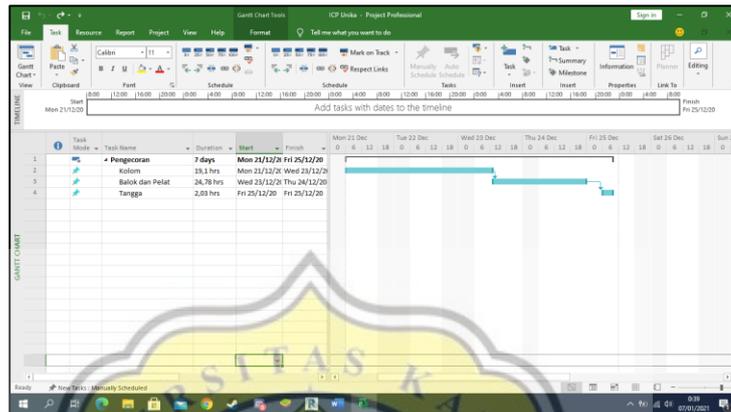
Gambar 5.37 Change Working Time



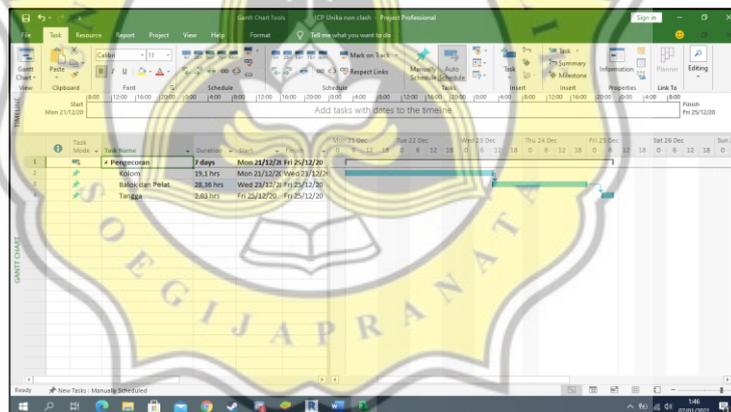
## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

8. *Schedule* yang sudah diatur waktunya dapat diperlihatkan pada Gambar 5.38 dan Gambar 5.39. Gambar 5.38 merupakan *schedule* dari pemodelan BIM yang menggunakan *clash detection*. Gambar 5.39 merupakan *schedule* dari pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection*.



Gambar 5.38 *Schedule* Dari Pemodelan Menggunakan *Clash Detection*



Gambar 5.39 *Schedule* Dari Pemodelan Tanpa *Clash Detection*

### 5.4 Analisis Data Emisi CO<sub>2</sub>

Kegiatan konstruksi meliputi rantai pasok konstruksi dan pekerjaan konstruksi akan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Salah satu kegiatan yang berkontribusi dalam menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> adalah pengecoran. Berdasarkan data observasi pada survei yang telah dilakukan, emisi CO<sub>2</sub> pada pekerjaan beton dapat diestimasi menggunakan formula matematis sesuai dengan Sub Bab 2.7. Estimasi dilakukan untuk mengetahui total estimasi CO<sub>2</sub> sehingga dapat melakukan evaluasi terhadap emisi yang dihasilkan.



### 5.4.1 Emisi pada rantai pasok

Berdasarkan data hasil survei pada Tabel 4.1 maka emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dapat diestimasi sebagai berikut yang diperlihatkan pada Tabel 5.5. Estimasi emisi CO<sub>2</sub> menggunakan Persamaan 2.2.

Estimasi emisi CO<sub>2</sub> *truck ready mix*:

$$\begin{aligned}
 E_{RPBM} &= P_k \cdot t_k \cdot M \cdot FE_{BB} \\
 &= 256 \text{ HP} \times 1 \text{ Hr} \times 0,04 \text{ gal/Hp.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal} \\
 &= 111,104 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Selanjutnya data diestimasi menggunakan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Estimasi CO<sub>2</sub> Pada *Truck Ready Mix*

No.	Nomor Truck	Engine Power (HP)	Lama Waktu Perjalanan	CO <sub>2</sub> (kg.CO <sub>2</sub> )
1	922	256	01:00:00	111,104
2	1302	256	01:05:00	120,363
3	1334	256	00:53:00	98,142
4	938	256	00:55:00	101,845
5	893	256	00:55:00	101,845
6	938	256	00:55:00	101,845
7	850	256	01:05:00	120,363
8	922	256	01:07:00	124,066
9	930	256	01:10:00	129,621
10	965	256	01:06:00	122,214
11	893	256	00:55:00	101,845
12	1356	256	00:55:00	101,845
13	1323	256	00:49:00	90,735
14	1324	256	01:03:00	116,659
15	938	256	01:01:00	112,956
16	930	256	00:59:00	109,252
17	1302	256	00:53:00	98,142
18	1324	256	00:54:00	99,994
19	965	256	01:10:00	129,621
20	906	256	00:57:00	105,549
21	893	256	00:55:00	101,845
22	938	256	00:55:00	101,845
23	963	256	01:00:00	111,104
24	1334	256	01:00:00	111,104
25	1323	256	00:48:00	88,883
26	965	256	00:44:00	81,476
27	848	256	01:00:00	111,104
28	1324	256	01:02:00	114,807
29	1302	256	01:06:00	122,214
30	1300	256	01:01:00	112,956
31	840	256	00:56:00	103,697
32	906	256	01:00:00	111,104
		Rata-rata	00:58:33	108,442



Estimasi jumlah *truck* yang dibutuhkan dalam pekerjaan pengecoran dengan membagi volume pengecoran dan kapasitas dari *truck*. Kebutuhan *truck ready mix* pada pekerjaan dapat diperlihatkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Kebutuhan *Truck Ready Mix*

No.	Area	Kapasitas TRM (m <sup>3</sup> )	Volume Dengan <i>Clash Detection</i> (m <sup>3</sup> )	Jumlah <i>Truck</i> Dengan <i>Clash Detection</i>	Volume Tanpa <i>Clash Detection</i> (m <sup>3</sup> )	Jumlah <i>Truck</i> Tanpa <i>Clash Detection</i>
1	Kolom	5,5	130,49	24	130,49	24
2	Balok dan Pelat	5	587,77	118	672,84	135
3	Tangga	5,5	13,84	3	13,84	3
		Total	732,1	145	817,17	162

Estimasi total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh *truck ready mix* tanpa *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 &= \text{Jumlah } \textit{truck} \times \text{rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 145 \times 108,442 \\
 &= 15.724,108 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Estimasi total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh *truck ready mix* dengan *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 &= \text{Jumlah } \textit{truck} \times \text{rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 162 \times 108,442 \\
 &= 17.567,604 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

#### 5.4.2. Emisi pada pekerjaan konstruksi

Berdasarkan data survei pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.6 untuk *tower crane* dan Tabel 4.7 hingga Tabel 4.10 untuk *concrete pump*. Estimasi emisi CO<sub>2</sub> untuk *tower crane* menggunakan Persamaan 2.5, sedangkan estimasi untuk *concrete pump* menggunakan Persamaan 2.3.

Estimasi emisi CO<sub>2</sub> pada *tower crane*:

$$\begin{aligned}
 E_{TM.1} &= (P_t \cdot t_t \cdot M \cdot FE_{BB}) \cdot k_t \\
 &= (256 \text{ HP} \times (1620/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/Hp.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal}) \times 0,3 \\
 &= 14,999 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TM.2} &= P_t \cdot t_m \cdot M \cdot FE_{BB} \\
 &= 256 \text{ HP} \times (60/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/Hp.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal} \\
 &= 1,852 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$



## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

$$\begin{aligned}
 E_{TM.3} &= P_1 \cdot t_b \cdot M \cdot FE_{BB} \\
 &= 256 \text{ HP} \times (52/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/HP.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal} \\
 &= 1,605 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TC.1} &= P_{TC} \cdot t_{TC.1} \cdot FE_L \\
 &= 37 \text{ HP} \times (30/3600) \text{ jam} \times 0,842 \text{ kg.CO}_2/\text{kW jam} \\
 &= 0,26 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TC.2} &= P_{TC} \cdot t_{TC.2} \cdot FE_L \\
 &= 37 \text{ HP} \times ((72+76)/3600) \text{ jam} \times 0,842 \text{ kg.CO}_2/\text{kW jam} \\
 &= 1,281 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TC.3} &= P_{TC} \cdot t_{TC.3} \cdot FE_L \\
 &= 37 \text{ HP} \times (724/3600) \text{ jam} \times 0,842 \text{ kg.CO}_2/\text{kW jam} \\
 &= 6,265 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TC.4} &= P_{TC} \cdot t_{TC.4} \cdot FE_L \\
 &= 37 \text{ HP} \times ((51+34)/3600) \text{ jam} \times 0,842 \text{ kg.CO}_2/\text{kW jam} \\
 &= 0,736 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TC.5} &= P_{TC} \cdot t_{TC.5} \cdot FE_L \\
 &= 37 \text{ HP} \times (32/3600) \text{ jam} \times 0,842 \text{ kg.CO}_2/\text{kW jam} \\
 &= 0,277 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{TTC} &= E_{TM.1} + E_{TM.2} + E_{TM.3} + E_{TC.1} + E_{TC.2} + E_{TC.3} + E_{TC.4} + E_{TC.5} \\
 &= 14,999 + 1,852 + 1,605 + 0,26 + 1,281 + 6,265 + 0,736 + 0,277 \\
 &= 110,35 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Selanjutnya data akan dihitung menggunakan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 5.7.



## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

Tabel 5.7 Hasil Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> Tower Crane

Siklus	ETM1 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETM2 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETM3 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETC1 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETC2 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETC3 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETC4 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETC5 (kg.CO <sub>2</sub> )	TOTAL (kg.CO <sub>2</sub> )
1	14,999	1,852	1,605	0,260	1,281	6,265	0,736	0,277	27,274
2	11,110	0,000	1,204	0,312	0,987	5,253	0,519	0,268	19,653
3	19,443	0,000	0,926	0,242	0,701	10,229	0,779	0,260	32,580
4	22,776	0,000	1,234	0,294	0,718	4,915	0,666	0,242	30,847
<b>Total</b>									110,3535
1	0,556	1,852	2,407	0,173	0,658	1,411	0,519	0,190	7,765
2	8,333	0,000	1,389	0,216	0,658	3,366	0,381	0,225	14,568
3	4,722	0,000	1,296	0,208	0,554	0,839	0,485	0,190	8,294
4	5,555	0,000	1,697	0,225	0,727	1,402	0,485	0,208	10,299
5	6,666	0,000	2,006	0,242	0,649	1,038	0,519	0,225	11,346
<b>Total</b>									52,27249
1	5,000	1,852	0,926	0,182	0,355	1,558	0,346	0,173	10,391
2	11,110	0,000	0,802	0,138	0,476	2,163	0,459	0,173	15,322
3	6,666	0,000	0,833	0,277	0,476	3,115	0,242	0,277	11,887
4	8,888	0,000	0,957	0,242	0,563	2,908	0,372	0,303	14,233
5	8,333	0,000	0,617	0,173	0,519	2,648	0,415	0,268	12,974
6	6,111	0,000	0,833	0,294	0,623	2,068	0,355	0,121	10,406
7	0,556	0,000	0,864	0,173	0,502	1,471	0,286	0,320	4,172
<b>Total</b>									79,38407



Berdasarkan hasil estimasi CO<sub>2</sub> yang diestimasi pada Tabel 5.7 akan didapatkan perhitungan rata-rata produktivitas dari CO<sub>2</sub> yang diperlihatkan pada Tabel 5.8

Tabel 5.8 Hasil Estimasi Produktivitas CO<sub>2</sub> Pada *Tower Crane*

Siklus	Total emisi (kg.CO <sub>2</sub> )	Waktu (jam)	Produktivitas (kg.CO <sub>2</sub> /jam)
1	110,354	1,175	93,940
2	52,272	0,586	89,185
3	79,384	0,856	92,726
<b>Rata-rata</b>	80,670	0,872	91,951

Estimasi Total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan *tower crane* dengan *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ Kolom} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 19,105 \times 91,951 \\
 &= 1756,733 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ Tangga} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 2,026 \times 91,951 \\
 &= 186,322 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ TC} &= \text{Total CO}_2 \text{ Kolom} + \text{Total CO}_2 \text{ Tangga} \\
 &= 1756,7 + 186,32 \\
 &= 1.943,056 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Estimasi Total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan *tower crane* tanpa *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ Kolom} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 19,105 \times 91,951 \\
 &= 1756,733 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ Tangga} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 2,026 \times 91,951 \\
 &= 186,322 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ TC} &= \text{Total CO}_2 \text{ Kolom} + \text{Total CO}_2 \text{ Tangga} \\
 &= 1756,7 + 186,32 \\
 &= 1.943,056 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$



Estimasi emisi CO<sub>2</sub> pada *concrete pump*:

$$ETM.1 = (Pt . tt . M . FEBB) . kt$$

$$= (256 \text{ HP} \times (568/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/HP.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal}) \times 0,3$$

$$= 9,240 \text{ kg.CO}_2$$

$$ETM.2 = Pt . tm . M . FEBB$$

$$= 256 \text{ HP} \times (180/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/HP.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal}$$

$$= 5,555 \text{ kg.CO}_2$$

$$ETCP.1 = PCP . tCP.1 . M . FEBB$$

$$= 174,333 \text{ HP} \times (487/3600) \text{ jam} \times 0,04 \text{ gal/HP.Hr} \times 10,85 \text{ kg.CO}_2/\text{gal}$$

$$= 10,235 \text{ kg.CO}_2$$

$$ETCP = ETM.1 + ETM.2 + ETCP.1$$

$$= 4,8978 + 2,6233 + 10,7849$$

$$= 18,306 \text{ kg.CO}_2$$

Selanjutnya perhitungan data akan dihitung menggunakan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Estimasi CO<sub>2</sub> Pada *Concrete Pump*

Siklus	ETM1 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETM2 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETCP1 (kg.CO <sub>2</sub> )	TOTAL (kg.CO <sub>2</sub> )	Waktu (jam)	Produktivitas (kg.CO <sub>2</sub> /jam)
1	9,24	5,555	10,235	25,031	0,293	85,414
2	49,969	5,555	14,439	69,963	1,239	56,485
3	7	5,555	11,727	24,282	0,196	123,642
4	2,231	4,969	16,414	23,614	0,284	83,180
5	0,5	6,358	12,61	19,468	0,182	107,163
6	1,722	9,876	14,018	25,616	0,237	108,110
7	9,49	8,117	14,586	32,193	0,478	67,420
8	0,278	7,654	13,598	21,529	0,188	114,482
9	0,694	6,203	14,039	20,937	0,206	101,444
10	2,102	6,512	14,565	23,178	0,256	90,697
11	20,434	7,253	8,365	36,051	0,224	161,222
12	29,785	5,71	7,377	42,872	0,324	132,140
13	17,23	6,08	9,31	32,621	0,473	68,918
14	1,037	6,049	7,104	14,19	0,125	113,520
15	25,915	2,315	9,773	38,002	0,157	242,566
16	36,081	3,024	4,645	43,75	0,144	304,054
17	7,851	9,783	12,946	30,581	0,244	125,532
18	16,61	7,87	4,498	28,978	0,524	55,255
19	24,582	6,049	12,82	43,451	0,807	53,846



## Tugas Akhir

Penggunaan *Building Information Modeling* Terhadap *Life Cycle Assessment* Pada Pekerjaan Pembetonan Struktur Atas Proyek X di Semarang Untuk Estimasi CO<sub>2</sub> dan *Costing*

Siklus	ETM1 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETM2 (kg.CO <sub>2</sub> )	ETCP1 (kg.CO <sub>2</sub> )	TOTAL (kg.CO <sub>2</sub> )	Waktu (jam)	Produktivitas (kg.CO <sub>2</sub> /jam)
20	8,342	6,388	7,965	22,696	0,300	75,653
21	14,851	5,926	7,839	28,616	0,449	63,709
22	56,311	0,802	8,68	65,794	0,521	126,324
23	70,616	1,605	4,035	76,256	0,355	214,638
24	102,355	0,957	4,35	107,662	0,128	838,925
25	67,736	1,018	5,128	73,883	0,100	738,830
26	30,637	0,864	8,239	39,74	0,111	356,768
27	33,516	1,358	8,112	42,987	0,113	381,166
28	23,971	1,173	15,615	40,759	0,259	157,438
29	30,22	0,617	3,51	34,347	0,170	202,372
30	63,959	1,173	3,867	68,999	0,087	796,142
31	67,459	1,481	6,095	75,035	0,104	718,420
32	62,265	0	7,776	70,041	0,154	454,320
33	68,542	1,481	5,569	75,593	0,130	581,485
34	71,875	1,142	5,275	78,292	0,143	548,349
35	29,757	0	12,589	42,346	0,176	240,830
36	45,692	2,068	9,773	57,532	0,417	138,077
37	35,998	8,888	8,512	53,398	0,276	193,588
38	43,062	9,567	5,569	58,199	0,353	164,844
39	75,949	8,641	10,719	95,309	0,420	226,776
40	74,81	8,95	10,424	94,184	0,249	378,418
41	75,217	7,87	15,237	98,324	0,258	381,019
42	84,18	8,611	11,139	103,929	0,223	466,514
43	80,995	0	9,563	90,557	0,306	295,562
44	8,879	8,641	7,65	25,171	0,368	68,493
45	17,249	0	4,708	21,957	0,246	89,115
			<b>Rata-rata</b>	49,7314	0,289	246,508

Estimasi Total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan *concrete pump* dengan *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ CP} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 24,775 \times 246,508 \\
 &= 6.107,261 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Estimasi total CO<sub>2</sub> yang dihasilkan *concrete pump* tanpa *clash detection* :

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 \text{ CP} &= \text{Total waktu} \times \text{Rata-rata emisi yang dihasilkan} \\
 &= 28,361 \times 246,508 \\
 &= 6.881,213 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

Total estimasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama pengecoran dengan *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 &= \text{Truck} + \text{TC} + \text{CP} \\
 &= 15.724,108 + 1.943,056 + 6.107,261 \\
 &= 23.774,425 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$



Total estimasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama pengecoran tanpa *clash detection*:

$$\begin{aligned}
 \text{Total CO}_2 &= \text{Truck} + \text{TC} + \text{CP} \\
 &= 17.567,604 + 1.943,056 + 6.881,213 \\
 &= 26.391,873 \text{ kg.CO}_2
 \end{aligned}$$

### 5.5 Analisis *Costing*

Besar estimasi biaya yang dihasilkan dalam proses pengecoran struktur atas beton pada Lantai 3 Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata dapat diestimasi menggunakan harga 1 liter solar non subsidi sebesar Rp 9.400/liter (<https://www.pertamina.com/id/news-room/announcement/Daftar-Harga-BBK-Tmt-01-Januari-2021>) yang digunakan untuk kebutuhan *concrete pump*, sedangkan harga 1 liter bio solar sebesar Rp 5.150/liter (<https://otomotif.kompas.com/read/2020/02/13/120038515/harga-bio-solar-b30-disubsidi-hanya-rp-5150-per-liter>) untuk kebutuhan *truck ready mix*. Kemudian untuk tarif listrik bisnis menengah sebesar Rp 1.444,70/kWh (<https://web.pln.co.id/pelanggan/tarif-tenaga-listrik/tariff-adjustment>).

#### 1. Rantai pasok beton *ready mix*

Estimasi besar biaya pada rantai pasok beton *ready mix* menggunakan 145 *truck ready mix* pada pemodelan dengan *clash detection* sedangkan 162 *truck ready mix* pada pemodelan tanpa *clash detection*. Estimasi konsumsi bahan bakar *truck mixer* menggunakan data survei yang diperlihatkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Survei Konsumsi Bahan Bakar Solar *Truck Mixer* PT. Jokotole Transport

No	Bulan	Tahun	Total Konsumsi BBM (ℓ)	Jarak Tempuh (km)
1	Juli	2013	36.875	125.375
2	Agustus	2013	15.680	48.717,77
3	September	2013	27.715	85.850,89
4	Oktober	2013	20.179	58.930,37
5	November	2013	22.276	78.461,93
6	Desember	2013	17.033	65.754,38
7	Januari	2014	20.809	59.826,39
8	Februari	2014	18.165	50.856,19
9	Maret	2014	19.981	65.072,63
10	April	2014	11.507	36.015,67
11	Mei	2014	10.637	33.435,8
12	Juni	2014	14.008	43.654,58
Total			234.865	626.701,975

(Sumber: Hadi A. F. dan Utomo T. S., 2015)



Berdasarkan Tabel 5.10 dapat dihitung rata – rata konsumsi bahan bakar dari *truck mixer* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi bahan bakar rata-rata} &= \text{Jarak tempuh} : \text{Total konsumsi bahan bakar} \\ &= 626.701,975 \text{ km} : 234.865 \text{ l} \\ &= 2,668 \text{ km/l} \end{aligned}$$

Estimasi bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan oleh *truck* bermesin *diesel* bertenaga 256 HP menggunakan dengan konsumsi bahan bakar sebesar 2,668 km/l.

Dengan jarak tempuh rata-rata 23,8 km, sehingga kebutuhan BBM sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM per truck} &= \text{Jarak tempuh} \times \text{Konsumsi bahan bakar rata-rata} \\ &= 23,8 \text{ km} : 2,668 \text{ km/l} \\ &= 8,921 \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya per truck} &= 8,921 \text{ l} \times \text{Rp } 5.150/\text{l} \\ &= \text{Rp } 45.943,12/\text{truck} \end{aligned}$$

Estimasi biaya *truck ready mix* dengan menggunakan *clash detection*:

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Jumlah truck} \times \text{Rp } 45.943,12 \\ &= 145 \times \text{Rp } 45.943,12 \\ &= \text{Rp } 6.661.756,75 \end{aligned}$$

Estimasi biaya *truck ready mix* tanpa menggunakan *clash detection*:

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Jumlah truck} \times \text{Rp } 45.943,12 \\ &= 162 \times \text{Rp } 45.943,12 \\ &= \text{Rp } 7.442.790,3 \end{aligned}$$

## 2. Pekerjaan konstruksi

Pada pekerjaan pengecoran menggunakan *tower crane* dan *concrete pump*. *Tower crane* digunakan untuk mengecor bagian kolom dan tangga sedangkan *concrete pump* untuk mengecor balok dan pelat lantai. Sumber daya *tower crane* dari listrik PLN dan *concrete pump* bermesin *diesel* menggunakan solar non subsidi. Kapasitas *tower crane* 37 kW. Pada bagian di bawah ini dijabarkan perhitungan estimasi biaya pekerjaan konstruksi menggunakan *tower crane* dengan rincian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Total waktu} \times \text{kapasitas TC} \times \text{biaya per KWh} \\ &= 21,131 \times 37 \times \text{Rp } 1.444,7 \\ &= \text{Rp } 1.129.534,36 \end{aligned}$$



Sehingga untuk 1 m<sup>3</sup> pengecoran menggunakan *tower crane* menghabiskan biaya Rp 7.826,-

Untuk pengecoran menggunakan *concrete pump* dengan waktu yang dibutuhkan selama 24,775 jam untuk pemodelan dengan *clash detection* dan 28,361 jam untuk pemodelan tanpa *clash detection*. Bahan bakar dari *concrete pump* menggunakan solar non subsidi. Estimasi BBM yang digunakan oleh *concrete pump* bermesin *diesel* bertenaga 174,33 HP menggunakan Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM} &= 0,04 \times \text{HP} \times \text{eff} \\ &= 0,04 \times 174,33 \times 60\% \\ &= 4,184 \text{ gal/hr} \\ &= 15,838 \text{ l/jam} \end{aligned}$$

Estimasi biaya *concrete pump* dengan *clash detection*:

$$\begin{aligned} \text{BBM yang digunakan} &= 15,838 \text{ l/jam} \times \text{Waktu } \textit{concrete pump} \text{ dengan } \textit{clash} \\ &= 15,838 \text{ l/jam} \times 24,775 \text{ jam} \\ &= 392,386 \text{ l} \\ \text{Biaya} &= \text{BBM yang digunakan} \times \text{Rp } 9.400/\text{l} \\ &= 392,386 \text{ l} \times \text{Rp } 9.400/\text{l} \\ &= \text{Rp } 3.688.428,4 \end{aligned}$$

Estimasi biaya *concrete pump* tanpa *clash detection*:

$$\begin{aligned} \text{BBM yang digunakan} &= 15,838 \text{ l/jam} \times \text{Waktu } \textit{concrete pump} \text{ dengan } \textit{clash} \\ &= 15,838 \text{ l/jam} \times 28,361 \text{ jam} \\ &= 449,182 \text{ l} \\ \text{Biaya} &= \text{BBM yang digunakan} \times \text{Rp } 9.400/\text{l} \\ &= 449,182 \times \text{Rp } 9.400/\text{l} \\ &= \text{Rp } 4.222.310,8 \end{aligned}$$

Sehingga untuk 1 m<sup>3</sup> pengecoran menggunakan *concrete pump* menghabiskan biaya Rp 6.275,-

## 5.6. Pembahasan *Building Information Modeling* (BIM)

Pembahasan berikut merupakan analisis dari penggunaan BIM yang berada pada pada Sub Bab 5.1 hingga Sub Bab 5.4 yang menghasilkan pemodelan 3 dimensi



dari struktur Lantai 3 dari proyek Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata dan analisis penggunaan BIM terhadap estimasi CO<sub>2</sub> dan biaya.

Pemodelan 3 dimensi menggunakan *Revit Structure* memberi kemudahan dan waktu yang sangat cepat untuk mengubah pemodelan, contoh pemodelan dapat diperlihatkan pada Gambar 5.40.



Gambar 5.40 Pemodelan 3D Dengan *Revit Structure*

1. Jika terjadi revisi terhadap pekerjaan struktur maupun arsitektur dengan adanya pemodelan dapat memproyeksikan bentuk dari struktur sudah sesuai desain yang dibuat.
2. Penggunaan *Revit Structure* dapat mengestimasi banyaknya jumlah material yang akan digunakan dalam proyek sesuai pemodelan 3 dimensi yang dikerjakan seperti pada Gambar 5.40.
3. Berdasarkan Gambar 5.24 hingga Gambar 5.30 dapat dianalisis bahwa volume perhitungan beton *ready mix* yang digunakan pada proyek Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata yang diperlihatkan pada Tabel 5.11

Tabel 5.11 Volume Beton

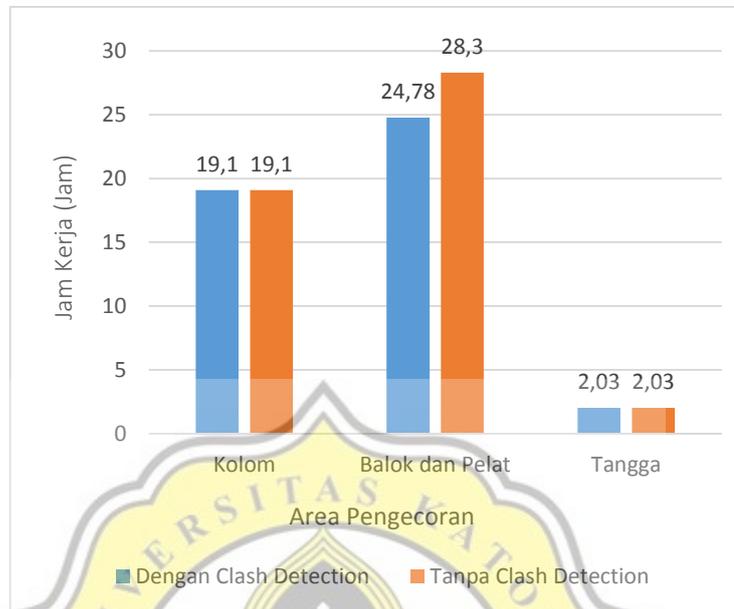
Area	Volume Beton dengan <i>Clash Detection</i> (m <sup>3</sup> )	Volume Beton Tanpa <i>Clash Detection</i> (m <sup>3</sup> )
Pelat Lantai	316,96	401,66
Kolom	130,49	130,49
Balok	270,81	271,18
Tangga	13,84	13,84
Total	732,1	817,17



- a. *Clash detection* pada pemodelan memberi keuntungan dalam meminimalisir terjadinya kesalahan saat pelaksanaan dan tidak adanya pekerjaan berulang dalam menghitung volume dan pekerjaan yang akan dikerjakan pada saat tahap pembangunan.
  - b. Estimasi dari volume beton menggunakan BIM pada pemodelan yang menggunakan *clash detection* dan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* memiliki perbedaan volume. Estimasi beton yang dilakukan dengan menggunakan *clash detection* dapat mengestimasi dengan mengurangi pekerjaan dengan proses pekerjaan ulang dengan perbedaan volume beton 85,07 m<sup>3</sup> atau memiliki perbedaan 10,41% dari pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection*.
  - c. Menurut Kementerian PUPR (2018), manfaat lain dari sistem teknologi BIM ini yakni mampu mengurangi kesalahan dan kelalaian, mengurangi proses pengerjaan berulang, dan mampu mengurangi durasi proyek dan meningkatkan *benefit* bagi yang berada di industri konstruksi. Pemodelan yang menggunakan *clash detection* terbukti memiliki volume yang lebih sedikit karena tidak adanya *clash* atau pekerjaan ulang pada bagian *item* pekerjaan pada pemodelan dibandingkan dengan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* pada proses perencanaannya. Volume beton yang lebih sedikit pada pemodelan yang menggunakan *clash detection* merupakan salah satu fungsi dari BIM yang dapat mengurangi proses pengerjaan ulang.
  - d. Perbedaan volume beton yang hingga 10,41% akan mempengaruhi dalam perhitungan estimasi dari CO<sub>2</sub> yang akan dihasilkan dalam pelaksanaan proyek, karena semakin banyak volume beton maka semakin banyak *truck* yang dibutuhkan dan semakin tinggi jam kerja *tower crane* dan *concrete pump*.
4. *Micorsoft Project* digunakan untuk membuat jadwal dari pekerjaan yang telah diestimasi dengan integrasi *Revit Structure*. Hal ini untuk mendapatkan volume pekerjaan dan dilanjutkan perhitungan produktivitas untuk mengestimasi waktu



yang dibutuhkan yang diperlihatkan pada Gambar 5.41 untuk *schedule* dengan *clash detection* dan *schedule* tanpa *clash detection*.



Gambar 5.41 Durasi Waktu Pekerjaan

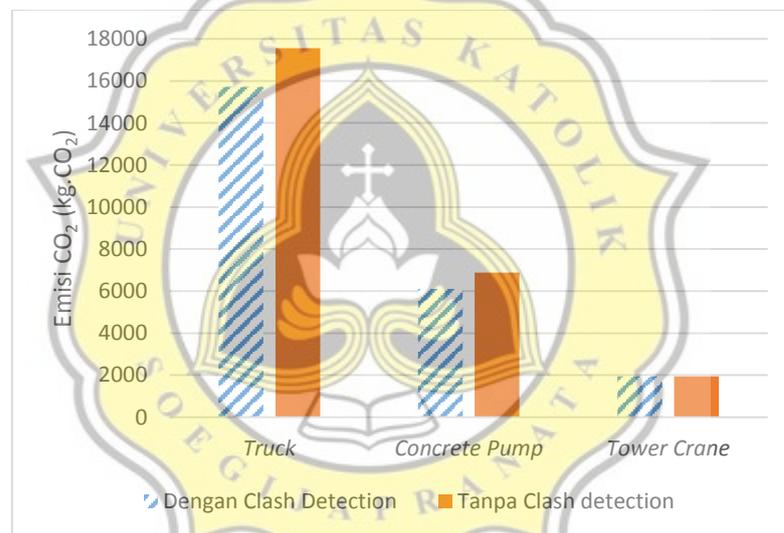
- Hasil estimasi waktu yang dibuat pada pekerjaan kolom membutuhkan waktu selama 19,1 jam untuk kedua pemodelan baik yang menggunakan *clash detection* maupun yang tidak menggunakan *clash detection*,
- Pekerjaan pengecoran balok dan pelat lantai pada pemodelan menggunakan *clash detection* memiliki durasi yang lebih singkat yaitu 24,78 jam dibandingkan dengan waktu pekerjaan pada pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection*,
- Pekerjaan pengecoran balok dan pelat lantai pada pemodelan tanpa *clash detection* memiliki durasi pengecoran lebih lama yaitu 28,36 jam,
- Total waktu pekerjaan pada pemodelan yang menggunakan *clash detection* selama 45,83 jam dan waktu pekerjaan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* selama 49,43 jam selisih waktu kerja 3,6 jam.
- Poin (d) sesuai dengan Kementerian PUPR (2018), yang menyatakan waktu pekerjaan yang lebih singkat pada pemodelan yang menggunakan *clash detection* merupakan salah satu fungsi dari BIM yang dapat mengurangi durasi proyek. Pemodelan yang menggunakan *clash detection* memiliki waktu pekerjaan yang lebih sedikit. Hal ini disebabkan tidak adanya



pekerjaan ulang pada bagian *item* pekerjaan sehingga estimasi waktu pekerjaan lebih sedikit dibandingkan dengan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* pada proses perencanaannya.

### 5.7. Pembahasan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Total emisi akan diestimasi menggunakan persamaan matematis berdasarkan jadwal pekerjaan, lama waktu pekerjaan, dan produktivitas CO<sub>2</sub>. Berdasarkan analisis CO<sub>2</sub> pada Sub Bab 5.4, perbandingan produktivitas CO<sub>2</sub> pada *truck ready mix*, *concrete pump*, dan *tower crane* antara pemodelan yang menggunakan *clash detection* dan tidak menggunakan *clash detection* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.42.



Gambar 5.42 Perbandingan Emisi CO<sub>2</sub>

1. Berdasarkan Gambar 5.42 dapat indikasi estimasi emisi CO<sub>2</sub> pada pembangunan Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata dapat dijabarkan sebagai berikut :
  - a. Estimasi total emisi pada *truck mixer* menghasilkan emisi paling besar yang diikuti dengan *concrete pump* , dan *tower crane* menghasilkan total emisi CO<sub>2</sub> paling sedikit selama pekerjaan pengecoran disebabkan kebutuhan penggunaan dan produktivitas CO<sub>2</sub> per jam dari *tower crane* paling sedikit yang diperlihatkan pada Tabel 5.8,
  - b. Estimasi emisi CO<sub>2</sub> pada rantai pasok konstruksi mempunyai nilai yang signifikan. Salah satu faktor yang diindikasikan sebagai penentu besar emisi

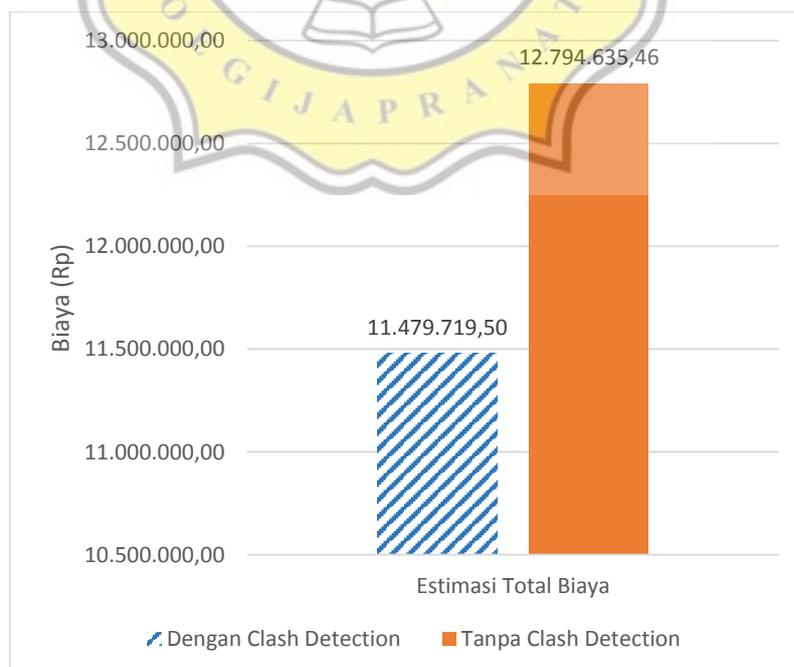


CO<sub>2</sub> adalah jarak dari sumber pasokan beton *ready mix* dari *batching plant* ke lokasi proyek sejauh 23,8 km,

- c. Pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan bantuan BIM dengan melakukan *clash detection* untuk mengidentifikasi pekerjaan yang paling besar menimbulkan emisi CO<sub>2</sub>.
- d. Pemodelan yang menggunakan *clash detection* memiliki estimasi emisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* pada proses perencanaannya. Hal ini sesuai dengan Kementerian PUPR (2018), yang menyatakan *clash detection* merupakan proses untuk menemukan *clash* dalam pemodelan BIM. Hal ini juga didukung oleh Berlian, dkk., (2016), yang menyatakan *Building Information Modeling* (BIM) dapat mendeteksi kesalahan dengan adanya deteksi *clash* dari perangkat lunak BIM dan mengurangi dalam pelaksanaan pekerjaan proyek.

### 5.8. Pembahasan *Costing*

Biaya yang sudah diestimasi pada Sub Bab 5.5 didapatkan total estimasi biaya pada pemodelan yang menggunakan *clash detection* dan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* dapat diperlihatkan pada Gambar 5.43.



Gambar 5.43 Perbandingan Estimasi Total Biaya Pekerjaan



1. Berdasarkan Gambar 5.43 dapat diindikasikan total estimasi biaya pada pembangunan Gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Kampus Universitas Katolik Soegijapranata dijabarkan sebagai berikut :
  - a. Pada penggunaan BIM dengan *clash detection* pada pemodelan sangat mempengaruhi biaya yang ditimbulkan dari pekerjaan pengecoran tersebut, pada saat menggunakan *clash detection* biaya yang ditimbulkan lebih rendah dari pada estimasi biaya yang tidak menggunakan *clash detection*.
  - b. Penggunaan BIM dengan *clash detection* untuk estimasi biaya menghasilkan angka yang lebih rendah hingga selisih biaya 11,45% dari estimasi biaya yang tidak menggunakan *clash detection*. Pemodelan yang menggunakan *clash detection* memiliki estimasi biaya yang lebih sedikit karena tidak adanya *clash* atau pekerjaan ulang pada bagian *item* pekerjaan pada pemodelan dibandingkan dengan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection* pada proses perencanaannya.
  - c. Hal ini sesuai dengan Berlian, dkk., (2016), yang menyatakan salah satu fungsi dari BIM yang dapat menghemat biaya pada perencanaan sehingga estimasi biaya yang lebih sedikit pada pemodelan yang menggunakan *clash detection*.
  - d. Hal ini juga didukung oleh salah satu dari kelebihan BIM menurut Kementrian PUPR (2018), yang menyatakan dengan *clash detection* dapat mengurangi pekerjaan berulang sehingga mengurangi estimasi biaya dengan pemodelan yang tidak menggunakan *clash detection*.
  - e. Hasil penelitian ini berbanding lurus dengan Smith., D (2007) yang menyatakan menggunakan BIM dapat menurunkan biaya pada *life cycle cost*. Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan BIM biaya yang semula sebesar Rp 12.794.635,45 dapat berkurang menjadi Rp 11.479.719,5.