



BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Gedung X merupakan sebuah Gedung Pendidikan di salah satu universitas terkemuka di Kota Yogyakarta. Proyek pembangunan gedung ini merupakan bentuk kerjasama Pemerintah Indonesia dengan pemerintah asing dan melibatkan beberapa perusahaan yang memiliki reputasi baik dalam bidang pembangunan gedung di Indonesia. Gedung X dirancang untuk memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana pendidikan pada universitas tersebut. Gedung X dibangun dengan tingkat berjumlah 9 lantai dan luas bangunan sebesar 8.817,23 m².

4.2 Data Proyek

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa gambar kerja (*shop drawing*), RAB, dan jadwal kerja (*schedule*) Proyek Gedung X di Yogyakarta. Variabel dari penelitian ini terbatas pada pondasi, *tie beam*, pelat lantai, *shear wall*, kolom, dan balok. Gambar denah dan detail perencanaan struktur dapat dilihat pada Lampiran LB. Pada bagian di bawah ini merupakan data perencanaan setiap variabel yang digunakan.

4.2.1 Data perencanaan *bored pile*

Proyek Gedung X menggunakan pondasi dalam jenis *bored pile*. Total seluruh *bored pile* pada proyek Gedung X berjumlah 226 buah. Mutu beton yang digunakan pada *bored pile* Gedung X adalah $f_c' = 25$ MPa. Pada *bored pile* digunakan tulangan D16 sebagai tulangan longitudinal dan D13 sebagai tulangan spiral. Detail dimensi dan tulangan setiap tipe *bored pile* diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi *Bored Pile*

Tipe	Diameter Pile (mm)	Panjang Pile (m)	Tulangan Longitudinal	Tulangan Spiral
P1	800	1900	16 – D16	D13 – 200
P2	800	1300	16 – D16	D13 – 200
P3	800	18800	16 – D16	D13 – 200

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)



4.2.2 Data perencanaan *pile cap*

Mutu beton yang digunakan pada *pile cap* adalah $f_c' = 25$ MPa. Tipe, dimensi ketebalan, dan detail tulangan *pile cap* diperlihatkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Dimensi *Pile Cap*

Tipe	Jumlah Bored Pile Pada Pile Cap	Jumlah Pile Cap	Dimensi (mm)	Tebal Pile Cap (mm)
F-A	3	10	2000 x 2236 x 2236	1000
F-A1	5	12	4800 x 4800	1200
F-A2	6	2	5600 x 3600	1000
F-B	49	1	11200 x 11200	1200
F-B1	57	1	11200 x 8000 x 3200 x 4800 x 6655 x 1600 x 11200	1200
F-C	1	16	1600 x 1600	700
F-D	1	2	1600 x 1925	700

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

Tabel 4.3 Detail Tulangan *Pile Cap*

Tipe	Tulangan Atas	Tulangan Bawah
F-A	D16 - 100	D22 - 100
F-A1	D16 - 75	D22 - 75
F-A2	D16 - 100	D22 - 100
F-B	D16 - 75	D22 - 75
F-B1	D16 - 75	D22 - 75
F-C	D16 - 100	D22 - 100
F-D	D16 - 100	D22 - 100

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

4.2.3 Data perencanaan *tie beam* dan balok

Detail dimensi dan tulangan yang digunakan pada balok dan *tie beam* pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Detail Tulangan Balok

Tipe	Dimensi	Tulangan			
		Atas	Bawah	Pinggang	Geser
B1 (tumpuan)	800 x 400	8 D25	4 D25	4 D16	3 D10 - 100
B1 (lapangan)	800 x 400	4 D25	6 D25	4 D16	2 D10 - 150
B2 (tumpuan)	700 x 400	6 D25	3 D25	4 D16	3 D10 - 75
B2 (lapangan)	700 x 400	3 D25	6 D25	4 D16	2 D10 - 150
B3 (tumpuan)	700 x 250	6 D25	3 D25	4 D16	3 D10 - 75
B3 (lapangan)	700 x 250	2 D25	3 D25	4 D16	2 D10 - 150
B4 (tumpuan)	600 x 250	5 D22	3 D22	-	2 D10 - 100

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)



Tabel 4.4 Detail Tulangan Balok (lanjutan)

Tipe	Dimensi	Tulangan			
		Atas	Bawah	Pinggang	Atas
B4 (lapangan)	600 x 250	3 D22	4 D22	-	2 D10 - 150
BA (tumpuan)	500 x 300	4 D25	2 D25	-	2 D10 - 100
BA (lapangan)	500 x 300	2 D25	3 D25	-	2 D10 - 150
BAC -TP (tumpuan)	500 x 250	4 D22	2 D22	-	2 D10 - 100
BAC	500 x 300	4 D22	2 D22	-	2 D10 - 100
B2-C	700 x 400	6 D25	3 D25	4 D16	3 D10 - 75
BP-1	300 x 150	2 D22	2 D22	-	D8 - 100
BP-2	500 x 150	2 D22	2 D22	-	D8 - 100
B1-SW (tumpuan)	800 x 500	12 D25	6 D22	4 D16	4 D10 - 100
B1-SW(lapangan)	800 x 500	6 D22	10 D22	4 D16	2 D10 - 100
B2-SW (tumpuan)	700 x 400	10 D25	6 D25	4 D16	4 D10 - 75
B2-SW (lapangan)	700 x 400	6 D25	8 D25	4 D16	2 D10 150
BA-SW (tumpuan)	500 x 400	6 D25	4 D25	-	4 D10 - 100
BA-SW (lapangan)	500 x 400	4 D25	4 D25	-	2 D10 - 150
TB1 (tumpuan)	800 x 400	8 D22	8 D22	-	3 D10 - 100

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

4.2.4 Data perencanaan pelat lantai

Pelat lantai pada Gedung X menggunakan beton mutu $f_c' = 30$ MPa. Detail tulangan dan tebal setiap tipe pelat lantai pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Detail Tulangan Pelat Lantai

Tipe	Tebal (mm)	Tulangan	
		Atas	Bawah
S1	130	D10 - 100	D10 - 100
S2	100	M6 - 150	M6 - 150
S3	150	D10 - 100	D10 - 100

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

4.2.5 Data perencanaan *shear wall*

Seluruh tipe *shear wall* menggunakan beton dengan mutu $f_c' = 30$ MPa. Dimensi serta detail tulangan seluruh tipe *shear wall* diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Dimensi *Shear Wall*

Tipe	Tebal (mm)	Panjang (mm)	Tulangan		
			Pokok	Geser vertikal	Geser
SW-1A-A1	400	4600	D22 - 75	2/6 D13 - 100	D10 - 200
SW-1A-A2	400	4600	D22 - 150	2/6 D13 - 100	D10 - 200
SW-1B-B1	400	3600	D22 - 150	2/6 D13 - 100	D10 - 200
SW-1B-B2	400	3600	D22 - 75	2/6 D13 - 100	D10 - 200

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)



Tabel 4.6 Dimensi *Shear Wall* (lanjutan)

Tipe	Tebal (mm)	Panjang (mm)	Tulangan		
			Pokok	Geser vertikal	Geser
SW-2-A1 (section A)	400	3350	2 D25 - 100	2/17 D13 - 100	D13 - 100
SW-2-A2 (section A)	400	3350	D25 - 100	2/6 D13 - 100	D13 - 100
SW-2-B1 (section B)	400	4248	2 D25 - 100	2/21 D13 - 100	D13 - 100
SW-2-B2 (section B)	400	4248	D25 - 100	2/6 D13 - 100	D13 - 100
SW-2-C1 (section C)	500	7225	2 D25 - 100	2/15 D13 - 100	D13 - 100
SW-2-C2 (section C)	500	7225	D25 - 100	2/6 D13 - 100	D13 - 100
SW-3-A1 (section A)	400	7825	2 D25 - 100	2/12 D13 - 100	D13 - 100
SW-3-A2 (section A)	400	7825	D25 - 100	2/8 D13 - 100	D13 - 100
SW-3-B1 (section B)	400	6100	2 D25 - 100	2 D13 - 100	D13 - 100
SW-3-B2 (section B)	400	6100	D25 - 100	2/8 D13 - 100	D13 - 100
SW-3-C1 C2 (section C)	500	7625	3 D25 - 100	2/12 D13 - 100	D16 - 100
SW-3-C3 (section C)	500	7625	D25 - 100	2/8 D13 - 100	D16 - 100
SW-4-B1	250	2861	D22 - 50	2/5 D13 - 100	D13 - 100
SW-4-B2	250	2861	D22 - 100	2/5 D13 - 100	D13 - 100
SW-5-B1	250	2400	D22 - 50	2/5 D13 - 100	D13 - 100
SW-5-B2	250	2400	D22 - 100	2/5 D13 - 100	D13 - 100
SW-6-A1	250	5356	D22 - 50	2/5 D13 - 100	D13 - 100
SW-6-A2	250	5356	D22 - 100	2/5 D13 - 100	D13 - 100

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

4.2.6 Data perencanaan kolom

Mutu beton kolom Gedung X direncanakan adalah $f_c' = 30$ MPa. Detail dimensi serta tulangan setiap tipe kolom pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Detail Tulangan Kolom

Tipe	Dimensi	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
			Tumpuan	Lapangan
C1	900 x 900	24 D 25	5 D13 - 100	5 D13 - 150
C2	500 x 500	12 D22	3 D10 - 100	3 D10 - 150
C3	ø500	6 D22	D10 - 100	D10 - 100
C5	1200 x 750	28 D22	D10 - 100	D10 - 150

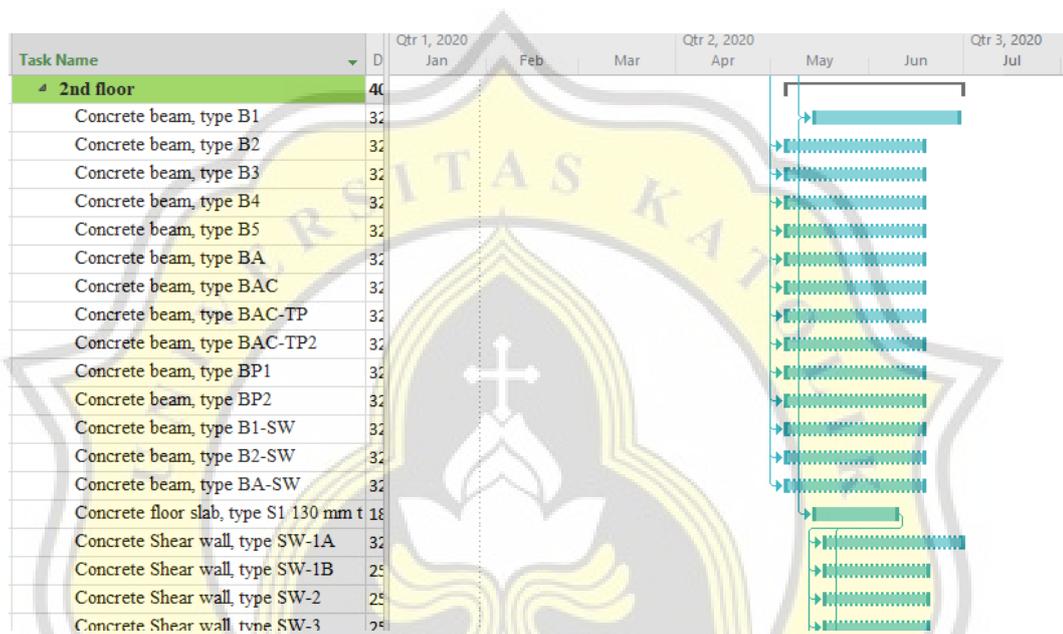
(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

4.2.7 Data jadwal kerja proyek

Berdasarkan data yang diperoleh dari kontraktor Proyek Gedung X, pekerjaan struktur proyek Gedung X direncanakan selesai dalam kurun waktu 263 hari. Pekerjaan pondasi dimulai pada tanggal 30 Januari 2020 dan seluruh pekerjaan struktur direncanakan selesai pada tanggal 19 Oktober 2020. Data jadwal kerja (*schedule*) dari proyek Gedung X disajikan dalam *software Microsoft Project*. Pada



data jadwal tersebut terdapat diagram batang dari jadwal pekerjaan Proyek Gedung X. Pada diagram batang tersebut diperlihatkan jadwal pekerjaan secara keseluruhan dan hubungan antar pekerjaan dalam satu diagram. Data durasi seluruh pekerjaan struktur Gedung X diperlihatkan pada Lampiran LA. Salah satu diagram batang pekerjaan struktur Proyek Gedung X lantai 2 diperlihatkan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Diagram Batang Penjadwalan Struktur Proyek Gedung X (Sumber: Diperoleh dari data jadwal Proyek Gedung X)

4.3 Hasil Penelitian

Implementasi BIM 4D pada Gedung X dengan menggunakan *Tekla Structures* menghasilkan bentuk 3 dimensi gedung dari gambar kerja yang terintegrasi dengan jadwal. Berdasarkan bentuk 3 dimensi yang telah dimodelkan, kolaborasi antar aplikasi *Tekla Structures* dan *Cubicost* menghasilkan *output* berupa volume. Hasil pemodelan diuraikan di bawah ini.

4.3.1 Visualisasi penjadwalan dengan *Tekla Structures*

Pada proses pemodelan menggunakan *Tekla Structures*, penelitian ini menggunakan dua *hardware* berupa laptop dengan spesifikasi yang diperlihatkan pada Tabel 4.8.



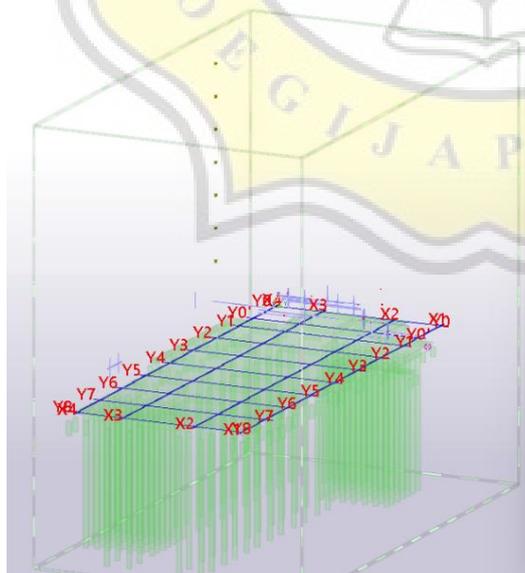
Tabel 4.8 Spesifikasi *Hardware* Yang Digunakan

Spesifikasi	Laptop A	Laptop B
<i>Processor</i>	AMD Ryzen 5 4600 H	Intel Core i5-8250U
RAM	8 GB	8 GB
<i>Graphics card</i>	VGA NVIDIA GeForce GTX 1650	VGA NVIDIA GeForce 930MX

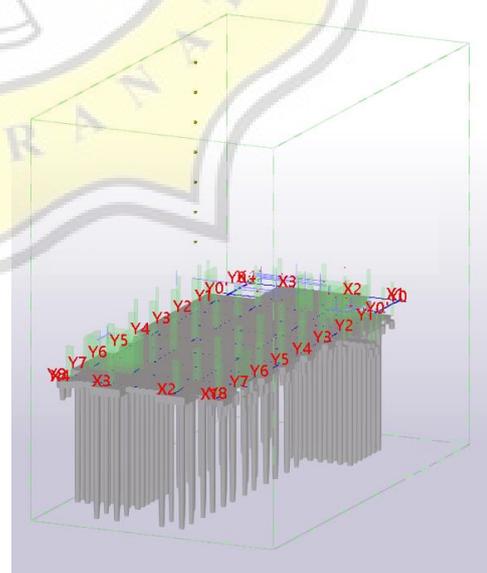
(Sumber: Spesifikasi produk *hardware*)

Dalam prosesnya, pemodelan beberapa tulangan seperti tulangan ikat balok yang hanya terdapat pada area tumpuan masih harus dilakukan secara semi-otomatis menggunakan fitur *rebar group* dengan mengatur jarak dan panjangnya. Banyak tulangan yang bervariasi berbanding lurus dengan tingkat kompleksitas pemodelannya.

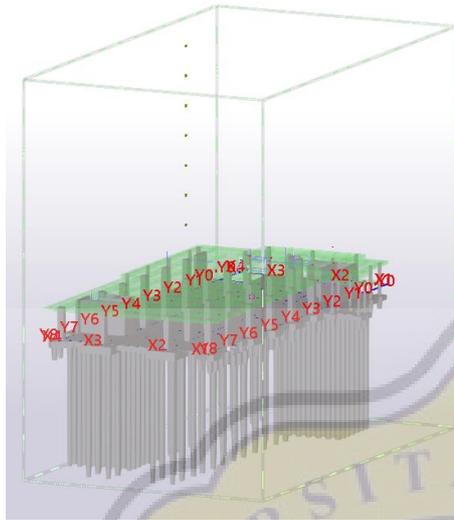
Visualisasi penjadwalan pada *Tekla Structures* ditunjukkan dengan dua kondisi gambar yaitu gambar berwarna hijau dan gambar berwarna abu – abu. Gambar berwarna hijau menunjukkan pekerjaan sedang dalam tahap pelaksanaan dan gambar berwarna abu – abu menunjukkan pekerjaan telah selesai dilaksanakan. Warna yang menunjukkan kondisi pekerjaan ini dapat diubah sesuai dengan preferensi dari pengguna. Bentuk visualisasi penjadwalan dari proyek Gedung X diperlihatkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.5.



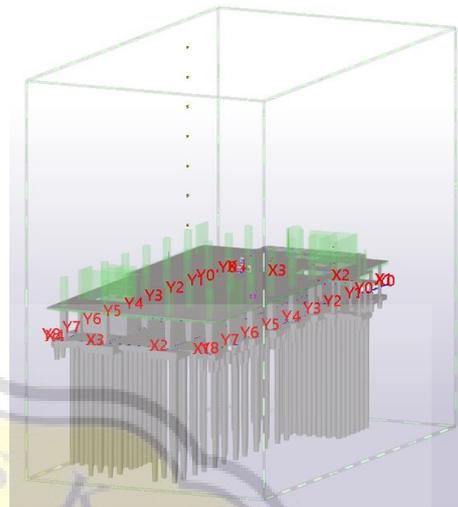
Gambar 4.2 Visualisasi 04 Februari 2020



Gambar 4.3 Visualisasi 18 April 2020

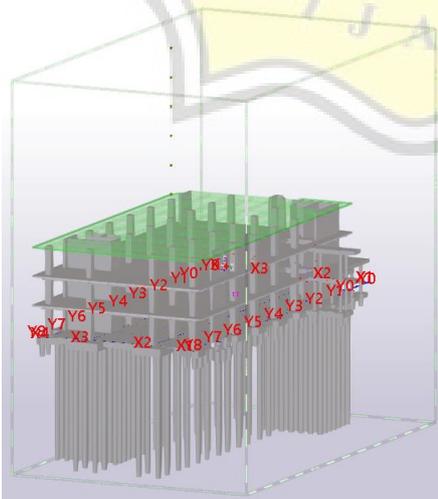


Gambar 4.4 Visualisasi 16 Mei 2020

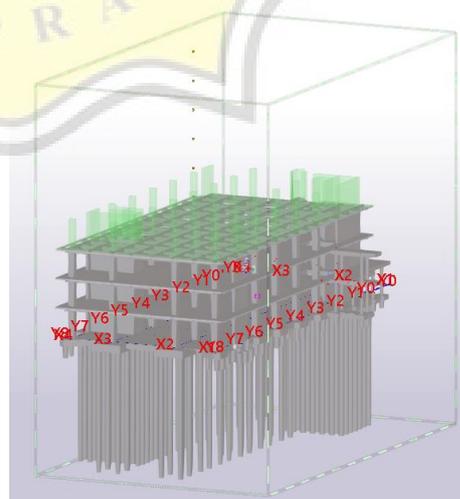


Gambar 4.5 Visualisasi 03 Juni 2020

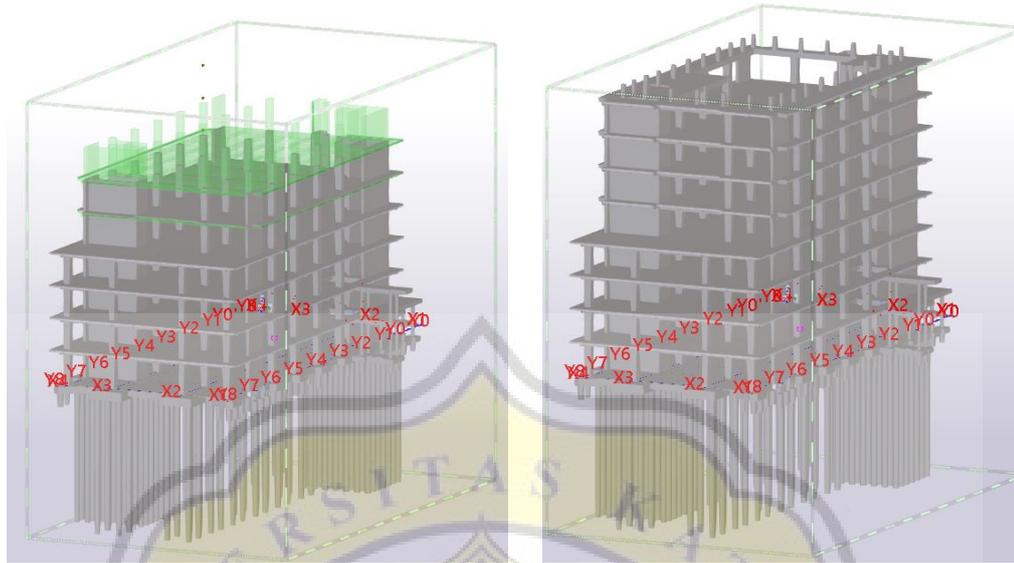
Seperti terlihat pada Gambar 4.2, seluruh pekerjaan pondasi pada tanggal 4 Februari 2020 sedang dalam tahap pelaksanaan yang ditandai dengan gambar 3 dimensi struktur berwarna hijau. Kemudian terlihat pada Gambar 4.3, seluruh pekerjaan pondasi berwarna abu – abu. Hal ini memperlihatkan bahwa pekerjaan tersebut telah selesai dikerjakan. Pada Gambar 4.4 diperlihatkan gambar balok dan pelat lantai pada lantai dua berwarna hijau yang memperlihatkan elemen tersebut sedang dalam tahap pengerjaan. Gambar visualisasi penjadwalan pada tanggal yang dipilih secara acak diperlihatkan pada Gambar 4.6 hingga Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.6 Visualisasi 03 Juli 2020



Gambar 4.7 Visualisasi 09 Juli 2020



Gambar 4.8 Visualisasi 16
September 2021

Gambar 4.9 Visualisasi 20 Oktober
2021

Hasil visualisasi penjadwalan secara lengkap berupa video animasi dapat dilihat pada tautan <https://bit.ly/VisualisasiPenjadwalan>. Selain melalui tautan di atas, hasil visualisasi penjadwalan Proyek Gedung X juga dapat diakses dengan melakukan pemindaian pada *QR code* di bawah ini.



Gambar 4.10 *QR Code* Visualisasi Penjadwalan Proyek Gedung X (Sumber: Diolah dari tautan video penjadwalan menggunakan *QR Code Generator*)

Visualisasi penjadwalan menghasilkan jadwal kerja yang lebih mudah dipahami. Pada saat proses pemodelan, meskipun spesifikasi *hardware* yang digunakan oleh penulis telah memenuhi kriteria spesifikasi minimum, proses visualisasi tulangan masih belum dapat divisualisasikan secara maksimal serta proses *rendering*



pemodelan menjadi lambat. Hal ini disebabkan tulangan pada proyek Gedung X memiliki banyak detail yang dalam proses pemodelannya memerlukan spesifikasi *hardware* yang juga berbanding lurus dengan tingkat kerumitan bangunan tersebut.

4.3.2 Volume pekerjaan struktur dengan *Cubicost*

Berdasarkan pemodelan Gedung X yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Cubicost*, diperoleh *output* berupa volume yang secara lengkap diperlihatkan pada Lampiran LC dan Lampiran LD. Hasil volume dari aplikasi *Cubicost* di-import pada *Microsoft Excel* untuk dapat dilakukan perhitungan estimasi biaya. *Output* berupa volume pekerjaan yang terhitung otomatis antara lain volume beton, bekisting (*formwork*), dan tulangan (*rebar*) yang diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 *Output* Volume Struktur dengan *Cubicost*

Name	Volume (m3)	Area of formwork (m2)	Weight of rebar (kg)
Bored pile	1620,84	113,811	6931.909
F-A	93,6	117,246	4680
F-A1	331,776	272,72	16588,8
F-A2	40,32	35,28	2016
F-B	150,825	53,333	7541,271
F-B1	175,349	64,656	8767,44
F-C	28,672	67,28	1433,6
F-D	4,312	9,23	215,6
TB1	139,107	572,492	6955,374
B1	99,269	644,514	14890,484
B2	281,959	1910,266	42293,924
B3	26,574	261,067	3986,299
B4	17,28	172,525	2592,032
BA	225,932	2119,134	9952,332
BAC -TP	48,289	494,116	7243,378
BAC	4,053	40,816	607,991
B2-C	6,657	50,093	998,486
BP-1	32,591	576,596	4888,595
BP-2	6,886	103,978	1032,85
B1-SW	49,744	283,17	7461,649
B2-SW	115,365	788,096	17304,835
BA-SW	17,658	136,01	2648,638
C1	638,927	2850,674	95838,602
C2	6,254	50,915	938,16

(Sumber: Diolah dari data pemodelan menggunakan *Cubicost* C-III 2021)



Tabel 4.9 *Output* Volume Struktur dengan *Cubicost* (lanjutan)

Name	Volume (m3)	Area of formwork (m2)	Weight of rebar (kg)
C3	17,862	145,788	2679,273
C5	15,457	141,958	2318,635
SW-1A	59,571	322,642	5934,181
SW-1B	47,518	264,711	5559,022
SW-2	241,208	1075,802	16364,703
SW-3	86,61	616,261	6731,771
SW-4	43,339	362,196	1300,139
SW-5	52,166	415,222	1565,033
SW-6	99,276	782,192	2978,255
S1	1286,569	9896,689	244249,924
S2	124,587	1245,871	3689,648
S3	7,687	51,248	1264,802

(Sumber: Diolah dari data pemodelan menggunakan *Cubicost* C-III 2021)

Hasil volume yang diperoleh pada *Cubicost* TAS seharusnya dapat diimport ke *Cubicost* TBQ untuk selanjutnya secara otomatis dilakukan perhitungan estimasi biaya. Namun hingga saat ini, produk *Cubicost* TBQ belum menyediakan lisensi versi bebas biaya. Berbeda dengan *Tekla Structures*, pada *Cubicost* belum terdapat lisensi untuk siswa (*student license*). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perhitungan biaya secara semi-otomatis menggunakan *Microsoft Excel* dengan mengkalkulasi volume dari *Cubicost* dan data harga satuan yang ada. Harga satuan diperoleh dari proyek dengan harga kubikasi yaitu harga yang didasarkan pada volume struktur yang mencakup harga tenaga dan material seluruh elemen pekerjaan yaitu pekerjaan pembesian, beton, dan bekisting. Perbandingan estimasi biaya struktur proyek Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
	Harga (Rp)		Harga (Rp)	
Pondasi				
Pondasi <i>bored pile</i>	Rp	223.212.400	Rp	222.262.560
Pondasi pile cap F-A	Rp	753.804.160	Rp	753.795.072
Pondasi pile cap F-A1	Rp	85.389.696	Rp	85.389.696
Pondasi pile cap F-A2	Rp	306.343.603	Rp	306.943.958
Pondasi pile cap F-B	Rp	353.516.084	Rp	353.433.444
Pondasi pile cap F-B1	Rp	99.267.246	Rp	88.226.611
Pondasi pile cap F-C	Rp	13.116.623	Rp	13.122.710
Pondasi pile cap F-D	Rp	223.212.400	Rp	222.262.560

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)



Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya (lanjutan)

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
		Harga (Rp)		Harga (Rp)
Lantai 1				
Tie beam TB1	Rp	759.702.798	Rp	725.276.077
Plat Lantai S1 130 mm	Rp	64.951.124	Rp	42.806.543
Plat Lantai S2 100 mm	Rp	301.379.217	Rp	309.112.806
Shear wall SW-1A	Rp	44.511.808	Rp	45.615.806
Shear wall SW-1B	Rp	32.602.680	Rp	30.075.149
Shear wall SW-2	Rp	220.396.080	Rp	176.559.164
Shear wall SW-3	Rp	272.230.338	Rp	213.786.572
Shear wall SW-4	Rp	41.635.300	Rp	27.617.125
Shear wall SW-5	Rp	46.567.548	Rp	37.147.181
Shear wall SW-6	Rp	112.908.141	Rp	88.846.267
Kolom C1	Rp	401.930.712	Rp	352.040.198
Kolom C2	Rp	36.507.550	Rp	24.033.497
Kolom C3	Rp	70.460.307	Rp	62.885.059
Kolom C5	Rp	7.611.300	Rp	5.563.860
Balok B4	Rp	33.786.493	Rp	33.526.597
Balok BP-2	Rp	10.424.255	Rp	8.783.890
Balok BP-3	Rp	34.075.392	Rp	36.604.425
Lantai 2				
Balok B1	Rp	72.305.184	Rp	60.539.735
Balok B2	Rp	191.290.714	Rp	161.227.197
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.204.449
Balok B4	Rp	61.802.919	Rp	45.449.975
Balok BA	Rp	224.644.875	Rp	177.128.738
Balok BAC	Rp	17.030.221	Rp	10.855.072
Balok BAC-TP	Rp	10.641.343	Rp	20.515.413
Balok BP1	Rp	24.799.608	Rp	24.508.748
Balok BP2	Rp	37.837.800	Rp	25.560.535
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	108.970.232	Rp	86.852.783
Balok BA-SW	Rp	12.427.276	Rp	13.863.737
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	549.650.072	Rp	741.374.131
Shear wall SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.147.497
Shear wall SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.534.470
Shear wall SW-2	Rp	141.686.721	Rp	144.224.685
Shear wall SW-3	Rp	175.151.986	Rp	173.466.332
Shear wall SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.744.048
Shear wall SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
Shear wall SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	322.700.443	Rp	313.465.254
Kolom C3	Rp	15.713.795	Rp	15.509.026
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.917.090

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)



Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya (lanjutan)

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
		Harga (Rp)		Harga (Rp)
Lantai 3				
Balok B1	Rp	72.305.184	Rp	60.539.735
Balok B2	Rp	198.036.795	Rp	161.326.526
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.885.335
Balok B4	Rp	6.643.227	Rp	5.730.381
Balok BA	Rp	205.403.185	Rp	159.995.063
Balok BAC	Rp	2.906.757	Rp	2.440.753
Balok BAC-TP	Rp	16.715.586	Rp	30.024.115
Balok BP1	Rp	43.935.108	Rp	33.816.256
Balok BP2	Rp	4.304.300	Rp	595.595
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	26.047.660
Balok B2-SW	Rp	109.189.488	Rp	87.236.481
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	13.863.737
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	517.101.926	Rp	658.335.987
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.147.497
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.376.725
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.511.559
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.742.671
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.744.048
<i>Shear wall</i> SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	322.700.443	Rp	313.362.562
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.855.370
Lantai 4				
Balok B1	Rp	72.305.184	Rp	60.539.735
Balok B2	Rp	198.036.795	Rp	161.223.059
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.191.840
Balok BA	Rp	201.277.305	Rp	155.536.299
Balok BAC-TP	Rp	16.715.586	Rp	30.823.358
Balok BP1	Rp	44.700.528	Rp	34.512.788
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	109.189.488	Rp	85.455.026
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	13.863.737
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	586.896.656	Rp	755.447.830
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.147.497
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.376.725
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.511.559
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.742.671
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.744.048
<i>Shear wall</i> SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	271.071.205	Rp	313.362.562
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.855.370

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)



Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya (lanjutan)

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
	Harga (Rp)		Harga (Rp)	
Lantai 5				
Balok B1	Rp	60.254.320	Rp	60.539.735
Balok B2	Rp	177.343.295	Rp	161.223.059
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.191.840
Balok BA	Rp	171.552.215	Rp	155.536.299
Balok BAC-TP	Rp	14.797.404	Rp	30.823.358
Balok BP1	Rp	38.730.252	Rp	34.512.788
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	83.920.234	Rp	85.455.026
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	13.863.737
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	442.857.239	Rp	669.191.377
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.191.828
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.376.725
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.560.366
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.742.671
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	100.077.855
<i>Shear wall</i> SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	322.700.443	Rp	263.224.127
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.855.370
Lantai 6				
Balok B1	Rp	60.254.320	Rp	50.451.101
Balok B2	Rp	155.449.572	Rp	144.366.133
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.191.840
Balok BA	Rp	180.741.675	Rp	133.533.169
Balok BAC-TP	Rp	14.797.404	Rp	27.069.202
Balok BP1	Rp	38.730.252	Rp	30.509.641
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	83.975.048	Rp	64.998.441
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	9.327.545
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	442.881.325	Rp	573.237.668
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.191.828
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.376.725
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.560.366
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.742.671
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.744.048
<i>Shear wall</i> SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	271.071.205	Rp	263.224.127
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.855.370

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)



Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya (lanjutan)

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
		Harga (Rp)		Harga (Rp)
Lantai 7				
Balok B1	Rp	60.254.320	Rp	50.451.101
Balok B2	Rp	155.449.572	Rp	144.366.133
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.191.840
Balok BA	Rp	180.741.675	Rp	133.533.169
Balok BAC-TP	Rp	14.797.404	Rp	27.069.202
Balok BP1	Rp	38.730.252	Rp	30.509.641
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	83.975.048	Rp	64.998.441
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	9.327.545
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	442.881.325	Rp	573.222.958
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.191.828
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.376.725
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.560.366
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.742.671
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.738.270
<i>Shear wall</i> . SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	271.071.205	Rp	263.224.127
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.855.370
Lantai 8				
Balok B1	Rp	60.254.320	Rp	50.451.101
Balok B2	Rp	155.449.572	Rp	144.366.133
Balok B3	Rp	28.937.655	Rp	22.191.840
Balok BA	Rp	180.741.675	Rp	133.533.169
Balok BAC-TP	Rp	14.797.404	Rp	27.069.202
Balok BP1	Rp	38.730.252	Rp	30.509.641
Balok B1-SW	Rp	30.840.040	Rp	24.960.143
Balok B2-SW	Rp	83.975.048	Rp	68.665.498
Balok BA-SW	Rp	18.759.044	Rp	9.327.545
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	442.881.325	Rp	573.237.668
<i>Shear wall</i> SW-1A	Rp	36.706.068	Rp	36.191.828
<i>Shear wall</i> SW-1B	Rp	26.899.776	Rp	26.434.842
<i>Shear wall</i> SW-2	Rp	141.686.721	Rp	142.511.559
<i>Shear wall</i> SW-3	Rp	175.151.986	Rp	172.387.341
<i>Shear wall</i> SW-4	Rp	26.692.050	Rp	26.738.270
<i>Shear wall</i> SW-5	Rp	29.935.052	Rp	30.025.593
<i>Shear wall</i> SW-6	Rp	72.546.574	Rp	72.520.155
Kolom C1	Rp	193.649.220	Rp	175.548.614
Kolom C5	Rp	4.911.947	Rp	4.917.090

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)



Tabel 4.10 Perbandingan Estimasi Biaya (lanjutan)

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>	
	Harga (Rp)		Harga (Rp)	
Lantai Atap				
Balok B2	Rp	109.076.868	Rp	88.796.099
Balok B2-C	Rp	44.860.185	Rp	29.714.851
Balok BA	Rp	11.696.514	Rp	10.074.763
Balok BA-C	Rp	10.673.820	Rp	6.997.282
Balok BAC-TP	Rp	12.078.072	Rp	22.158.043
Balok BP1	Rp	13.730.310	Rp	10.840.433
Balok BP3	Rp	16.422.554	Rp	15.267.651
Balok B1-SW	Rp	16.035.240	Rp	13.543.448
Balok B2-SW	Rp	27.658.386	Rp	21.971.920
Pelat Lantai S1 130 mm	Rp	141.807.108	Rp	235.383.461
Pelat Lantai S3 150 mm	Rp	32.588.725	Rp	25.432.440
Kolom C2	Rp	14.211.200	Rp	56.844.800
Total RAB	Rp	20,005,869,057	Rp	19,814,542,603

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)

Estimasi biaya pekerjaan struktur proyek Gedung X berdasarkan model *Cubicost* adalah Rp 19,814,542,603. Estimasi biaya pada tiap lantai di atas dapat direkapitulasi dalam satu kesatuan sesuai elemen pekerjaan strukturnya. Rekapitulasi perbandingan estimasi biaya setiap elemen pekerjaan struktur diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Perbandingan Estimasi Biaya

Nama Pekerjaan	RAB Asli		RAB <i>Cubicost</i>		Selisih (%)
Pondasi	Rp	3.302.954.637	Rp	2.950.468.271	10,67%
Tie Beam	Rp	759.702.798	Rp	725.276.077	4,53%
Pelat Lantai	Rp	3.965.876.042	Rp	5.156.782.866	-30,03%
Kolom	Rp	2.555.782.657	Rp	2.456.398.843	3,89%
Shear wall	Rp	4.338.179.484	Rp	4.245.068.316	2,15%
Balok	Rp	5.083.373.439	Rp	4.280.548.231	15,79%
Total RAB	Rp	20.005.869.057	Rp	19.814.542.603	0,956%

(Sumber: Diolah dari *output* volume pemodelan menggunakan *Microsoft Excel*)

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas, Estimasi biaya berdasarkan volume model *Cubicost* memiliki selisih dengan RAB asli berkisar sebesar 0,956 %. Apabila dilihat dari selisih tiap elemennya, RAB berdasarkan model *Cubicost* pada elemen pelat lantai memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan RAB asli proyek. Selisih



antara kedua RAB tersebut adalah berkisar sebesar -30,03%. Rekapitulasi di atas kemudian dapat digunakan sebagai acuan pembuatan diagram batang seperti pada Gambar 4.11 di bawah ini.

Rekapitulasi Perbandingan Estimasi Biaya



Gambar 4.11 Rekapitulasi Perbandingan Estimasi Biaya (Sumber: Diolah dari data Tabel 4.11 Rekapitulasi Perbandingan Biaya)

Apabila diuraikan selisih estimasi biaya tiap elemen seperti pada Gambar 4.11, estimasi biaya berdasarkan model *Cubicost* pada elemen pelat lantai lebih tinggi dibandingkan estimasi biaya asli proyek yaitu berkisar sebesar 30,03%. Namun total selisih dari seluruh elemen hanya berkisar sebesar 0,956%. Berdasarkan hasil tersebut, pada penelitian ini diperoleh hipotesa bahwa hasil selisih tersebut diakibatkan oleh reduksi perhitungan yang berbeda antara program *Cubicost* dan estimasi asli milik proyek. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perhitungan kembali secara konvensional pada setiap elemen. Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada pengaturan reduksi elemen pada *Cubicost* yang diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Pengaturan Reduksi Elemen

Kondisi	Elemen Tereduksi
Perhitungan volume balok pada pertemuan balok dan kolom	Balok
Perhitungan volume balok pada pertemuan balok dan pelat	Balok
Perhitungan volume kolom pada pertemuan kolom dan pelat	Kolom

(Sumber: Diolah dari pengaturan pada *Cubicost* TAS C-III 2021)



Dengan menggunakan acuan sesuai pengaturan pada Tabel 4.12, kemudian dilakukan perhitungan estimasi biaya dan diperoleh hasil perbandingan estimasi biaya antara perhitungan konvensional dan perhitungan RAB dari model *Cubicost*. Hasil perbandingan tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.13.

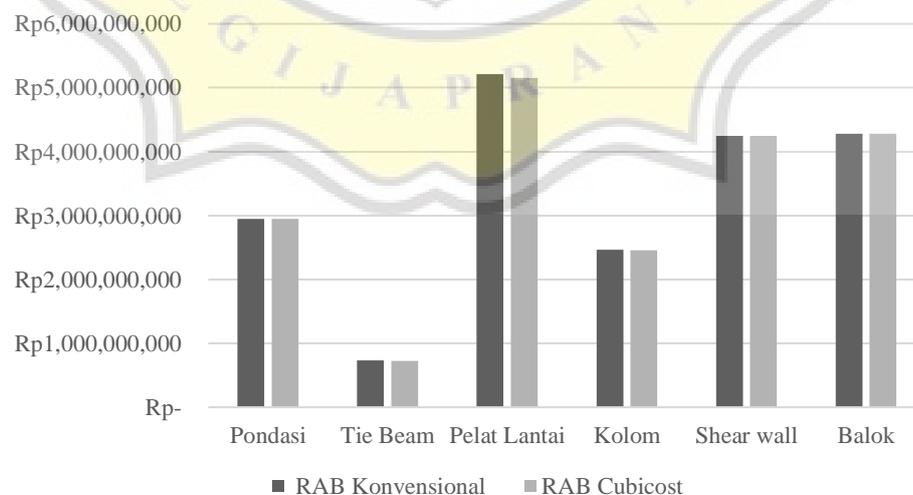
Tabel 4.13 Perbandingan Estimasi Biaya Konvensional dan *Cubicost*

Nama Pekerjaan	RAB konvensional	RAB <i>Cubicost</i>	Selisih (%)
Pondasi	Rp 2.951.631.347	Rp 2.950.468.271	0,04%
Tie Beam	Rp 729.259.420	Rp 725.276.077	0,55%
Pelat Lantai	Rp 5.215.898.453	Rp 5.156.782.866	1,13%
Kolom	Rp 2.460.875.784	Rp 2.456.398.843	0,18%
Shear wall	Rp 4.246.360.025	Rp 4.245.068.316	0,03%
Balok	Rp 4.281.629.864	Rp 4.280.548.231	0,03%
Total RAB	Rp 19.885.654.893	Rp 19.814.542.603	0,358%

(Sumber: Diolah dari gambar kerja Gedung X menggunakan *Microsoft Excel*)

Berdasarkan perhitungan konvensional yang mengacu pada gambar kerja dan acuan perhitungan sesuai pengaturan pada Tabel 4.12, diperoleh selisih estimasi biaya pada elemen pelat lantai berubah menjadi berkisar sebesar 1,13%. Selain itu, diperlihatkan pada Tabel 4.13 terdapat perubahan selisih estimasi biaya pada seluruh elemen dengan selisih total berkisar sebesar 0,358%. Tabel di atas dapat diolah menjadi diagram batang yang diperlihatkan pada Gambar 4.12.

Perbandingan Estimasi Biaya Konvensional - *Cubicost*

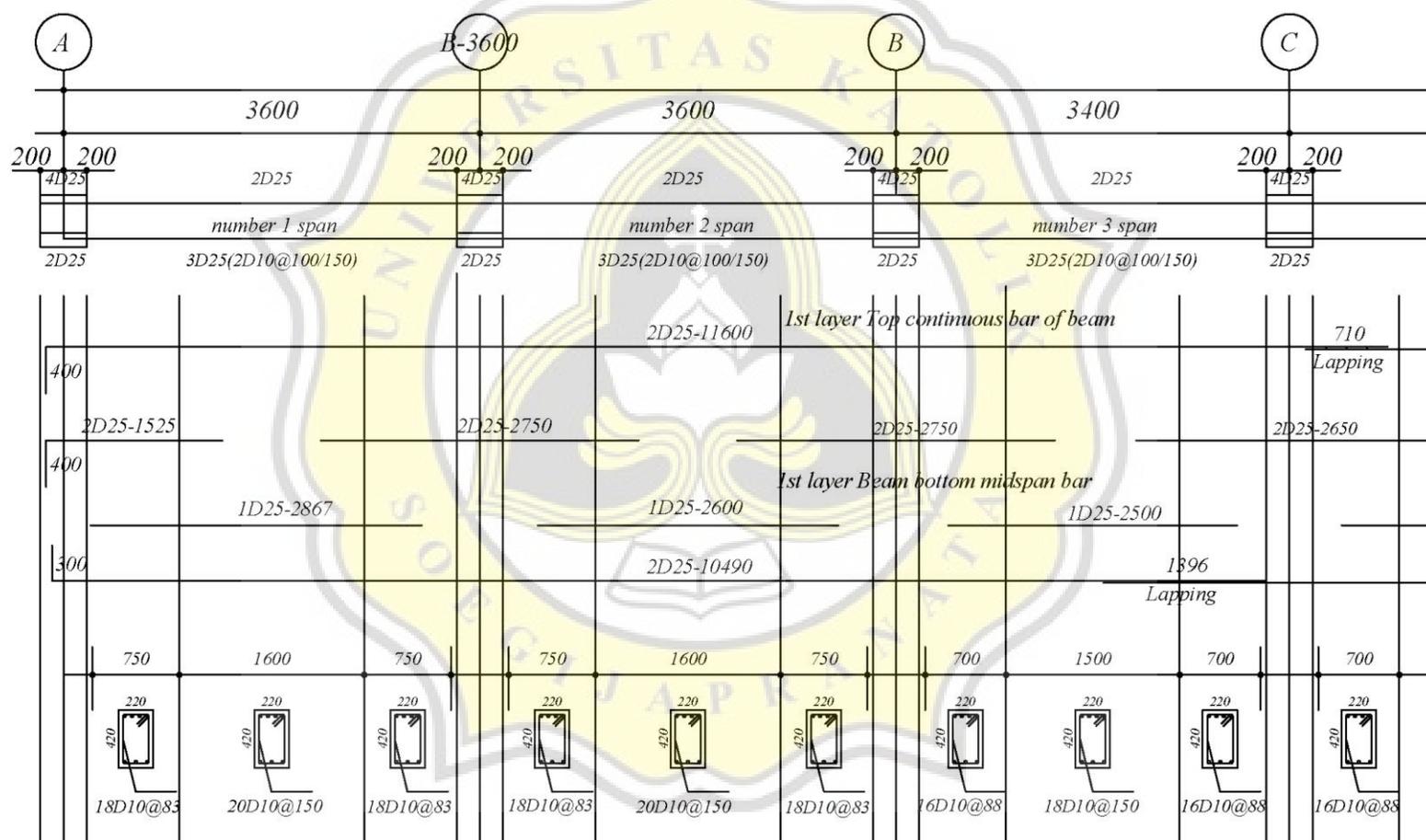


Gambar 4.12 Perbandingan Estimasi Biaya Konvensional dan *Cubicost* (Sumber: Diolah dari Tabel 4.13)



4.3.3 Diagram pembesian pada *Cubicost*

Gambar diagram pembesian pada salah satu tipe balok pada *Cubicost* diperlihatkan pada Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13 Diagram Pembesian Balok BA Pada Aplikasi *Cubicost* TRB (Sumber: Diperoleh dari data *Cubicost* TRB)



Gambar 4.13 merupakan diagram pembesian yang diperoleh dari aplikasi *Cubicost*. Pada gambar di atas diperlihatkan tulangan tarik, tulangan tekan, panjang penyaluran dan sambungan lewatan pada tulangan balok. Panjang penyaluran dan sambungan lewatan (*overlapping*) secara otomatis terkalkulasi pada aplikasi *Cubicost*.

4.4 Pembahasan

Setelah diperoleh hasil penelitian, diperlukan pembahasan terkait hasil penelitian yang memiliki keterkaitan dengan kajian pada bab - bab sebelumnya. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan program *Tekla Structures* dan program *Cubicost*, pada penelitian ini diuraikan hal - hal terkait dengan proses pemodelan hingga diperolehnya hasil pemodelan pada pembahasan di bawah ini.

4.4.1 Pemodelan BIM 4D pada aplikasi *Tekla Structures*

Berdasarkan proses pemodelan menggunakan *hardware* yang telah disebutkan, pemodelan struktur Gedung X masih memiliki beberapa kendala antara lain:

1. Hingga saat ini, proses pemodelan tulangan masih menggunakan standar yang paling mendekati standar Indonesia yaitu *rebar* SD400 pada menu *ware house Tekla Structures*. Selain itu, pada *rebar* tersebut belum tersedia tulangan diameter 8 sesuai dengan standar yang digunakan di Indonesia. Meskipun demikian, penggunaan standar tulangan tidak memiliki pengaruh terhadap penjadwalan pekerjaan karena basis yang digunakan adalah tampak visual dari pekerjaan atau bentuk 3 dimensi dari pekerjaan. Hal ini akan berbeda apabila pemodelan digunakan untuk analisis beban struktur.
2. Pada beberapa detail tulangan pemodelan masih perlu dilakukan secara semi-otomatis dengan mengatur panjang tulangan dan jaraknya. Seperti pada kondisi tulangan pinggang bagian tumpuan atau lapangan, pemodelan panjang tulangan masih harus dilakukan secara semi-otomatis dengan membuat garis panjang (*line*) pada *tool construction object*. Hasil tulangan yang dibuat pun tidak secara otomatis menyesuaikan panjang balok apabila dilakukan *copy object*. Pada tulangan geser tambahan (tulangan ikat), penulangan masih



- dilakukan secara semi-otomatis menggunakan *rebar group* dengan mengatur panjang tulangan dan letak tulangan. Hal – hal ini menyebabkan perlunya waktu lebih untuk memodelkan tulangan tersebut. Keadaan ini bertentangan dengan pernyataan Lu, dkk., (2019) yang menyatakan tidak diperlukannya banyak waktu untuk menghasilkan informasi yang sama dari beberapa desain.
3. Tulangan yang tervisualisasi pada program *Tekla Structures* tidak dapat dibedakan antara tulangan ulir maupun polos. Meski demikian, perbedaan tekstur tulangan baik ulir maupun polos, hanya menambah kesan realistik dari visualisasi struktur bangunan sehingga tidak menjadi kendala yang berarti.
 4. Meskipun *hardware* yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi kriteria minimum *hardware* untuk menjalankan program *Tekla Structures*, pemodelan tulangan Gedung X tidak dapat dilakukan secara maksimal dan proses *rendering* menjadi sangat lambat. Namun demikian, hal ini akan bergantung pada struktur yang akan dimodelkan sehingga hal ini tidak dapat dijadikan kesimpulan bahwa *hardware* dengan spesifikasi serupa tidak dapat digunakan untuk melakukan pemodelan di aplikasi *Tekla Structures*.

Terlepas dari kendala atau kelemahan di atas, hasil visualisasi penjadwalan dengan *Tekla Structures* sesuai dengan pernyataan Lu, dkk., (2019) yaitu mempermudah pemahaman terhadap jadwal pekerjaan. Dengan adanya visualisasi penjadwalan seperti pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.9 maka jadwal dapat lebih mudah dan cepat dipahami terutama bagi pihak – pihak yang kurang awam terhadap jadwal pekerjaan di *Microsoft Project*.

4.4.2 Kolaborasi aplikasi *Tekla Structures* dan *Cubicost*

Seperti penjelasan pada bab kajian teori, aplikasi BIM umumnya mendukung kolaborasi antar aplikasi sehingga memudahkan proses perencanaan hingga pelaksanaan suatu proyek. Aplikasi BIM yang mendukung kolaborasi salah satunya adalah *Tekla Structures* yang mendukung *output* format berupa IFC. Format IFC memungkinkan model BIM dapat diintegrasikan dengan aplikasi BIM lain untuk meningkatkan level BIM pada suatu model. Setelah pemodelan dilakukan pada *Tekla Structures*, pada penelitian ini dilakukan *export* model ke format IFC untuk



selanjutnya dapat dilakukan *import* model ke aplikasi *Cubicost*. Kolaborasi antar aplikasi berdampak pada waktu pemodelan yang semakin efisien karena tidak diperlukan pemodelan ulang pada aplikasi *Cubicost*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Shin, dkk., (2017) yang menyatakan bahwa pemanfaatan kolaborasi program BIM dapat memaksimalkan efisiensi kerja.

Dalam prosesnya, penelitian ini hanya dapat melakukan *import* format *IFC* terbatas pada *Cubicost* TAS. Hal ini disebabkan *Cubicost* TRB belum mendukung *import* format *IFC* model tulangan dari aplikasi lain. Proses pemodelan tulangan perlu dilakukan kembali pada *Cubicost* TRB sesuai dengan data gambar kerja yang ada. Menurut Utomo (2019), beberapa *supplier software* BIM membuat serangkaian aplikasi yang mencakup seluruh tahapan siklus hidup bangunan mulai desain hingga operasi. Dengan aplikasi – aplikasi tersebut, model yang dibuat pada satu aplikasi dapat diimpor atau ekspor ke aplikasi lain dengan cepat dan mudah. Hal ini serupa dengan *Cubicost* TRB yang dapat mengimpor model dari *Cubicost* TAS.

4.4.3 Pemodelan BIM 5D pada *Cubicost*

Pemodelan BIM 5D pada *Cubicost* memanfaatkan kolaborasi antar aplikasi yaitu *IFC* pada *Cubicost* TAS sehingga pemodelan dapat lebih cepat dilakukan. Proses pembuatan tulangan pada *Cubicost* TRB juga dapat menghasilkan diagram pembesian seperti pada Gambar 4.13. Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa panjang penyaluran dan sambungan lewatan dapat dikalkulasi secara otomatis. Oleh karena itu pelaksana proyek tidak perlu melakukan pembuatan diagram pembesian karena diagram pembesian dari *Cubicost* dapat digunakan sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan penulangan. Setelah seluruh elemen dimodelkan pada aplikasi *Cubicost* TAS dan *Cubicost* TRB, volume yang diperoleh dari aplikasi tersebut dapat diolah kembali pada *Microsoft Excel* dan diperoleh hasil berupa estimasi biaya proyek. Namun analisis estimasi biaya pada BIM 5D menggunakan *Cubicost* TAS dan *Cubicost* TRB memiliki kekurangan sebagai berikut:

1. *Output* nilai volume yang diekspor pada *Microsoft Excel* hanya berupa angka sehingga tidak dapat diketahui formula yang digunakan dalam perhitungan *Cubicost*. Meski formula perhitungan tidak dapat dikeluarkan sebagai *output*,



pada aplikasi *Cubicost* dapat diketahui formula perhitungan volume dengan fitur *calculation formula*.

2. Apabila terdapat perubahan pada pemodelan yang telah dilakukan dan diperoleh estimasi biaya, maka volume yang diperoleh dari perubahan terbaru tidak dapat langsung terkakulasi pada perhitungan estimasi biaya menggunakan *Microsoft Excel*. Hal ini menyebabkan perlunya analisis estimasi biaya kembali menggunakan data volume terbaru dan harga satuan. Meski demikian, hal ini dapat diatasi apabila perhitungan estimasi biaya difasilitasi menggunakan aplikasi *Cubicost TBQ*.

4.4.4 Perbedaan estimasi biaya

Berdasarkan hasil estimasi biaya pada Tabel 4.11, diperoleh selisih biaya setiap elemen. Elemen dengan selisih terbesar terdapat pada elemen pelat lantai dengan selisih berkisar sebesar -30,03%. Pada elemen ini pula nilai estimasi biaya model *Cubicost* lebih besar dibandingkan estimasi asli milik proyek. Selisih yang cukup besar pada elemen pelat lantai tereduksi akibat adanya elemen lain yang memiliki selisih cukup besar seperti balok berkisar sebesar 15,79 %, pondasi 10,67%, dan *tie beam* 4,53%, *shear wall* 2,15% dan kolom 3,89%. Hal ini menyebabkan selisih total estimasi biaya menjadi cukup rendah yaitu berkisar sebesar 0,956%.

Penyebab terjadinya selisih antara estimasi milik proyek dan pengolahan dari data *Cubicost* dapat disebabkan oleh perbedaan acuan reduksi elemen pada saat perhitungan volume antara estimator proyek dan pengaturan pemodelan *Cubicost* pada penelitian ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan metode konvensional. Selisih estimasi dari perhitungan tersebut antara lain pondasi berkisar sebesar 0,04%, *tie beam* 0,55%, pelat lantai 1,13%, kolom 0,18%, *shear wall* 0,03 % dan balok berkisar sebesar 0,03%. Total perbedaan estimasi biaya antara model *Cubicost* dan perhitungan konvensional yang dilakukan pada penelitian ini berkisar sebesar 0,358 %.

Meskipun terdapat perbedaan biaya antara perhitungan konvensional dan model *Cubicost*, hasil estimasi biaya berdasarkan model *Cubicost* tidak dapat digunakan



sebagai tolak ukur estimasi yang benar. Masih terdapatnya perbedaan estimasi biaya pada kedua metode ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor yang memungkinkan terjadinya perbedaan estimasi biaya antara lain:

1. Adanya kesalahan *input* detail atau dimensi pada proses pemodelan *Cubicost* dan kesalahan pada proses perhitungan konvensional. Hal ini dapat terjadi pada kedua perhitungan yakni baik pada perhitungan oleh estimator proyek maupun perhitungan konvensional pada penelitian ini.
2. Adanya perbedaan acuan perhitungan, misalnya pada pemodelan *Cubicost*, hasil volume yang dihitung didasarkan pada volume bersih, sedangkan pada perhitungan konvensional tidak memperhitungkan pengurangan elemen yang tumpang tindih, contohnya pada pertemuan antar balok, pertemuan antar pelat balok dan sebagainya. Hal ini terjadi pada perhitungan selisih estimasi biaya milik proyek dan pengolahan data *Cubicost* pada penelitian ini.

Faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan estimasi menggunakan volume dari aplikasi *Cubicost* juga memiliki kesamaan dengan aplikasi *Revit*. Menurut Apriansyah (2021), Sebagian besar proyek melakukan perhitungan dari as ke as atau perhitungan lain yang menjadi rahasia proyek. Sedangkan pada aplikasi *Revit* perhitungan dilakukan dari tepi ke tepi sehingga tidak terjadi perhitungan yang bertumpang tindih antara elemen satu dengan yang lain. Meski demikian, ketidak validan pemodelan pada aplikasi *Cubicost* dapat lebih mudah dideteksi karena dimensi atau detail elemen struktur pada aplikasi dapat dilihat melalui fitur *rebar 3D*. Selain itu, aplikasi *Cubicost* memiliki fitur *check modelling* pada tahap *calculate* untuk mengantisipasi adanya elemen ganda atau elemen yang bertabrakan pada gambar pemodelan sebelum hasil volume diterbitkan.