



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uraian Umum

Gedung X adalah sebuah Gedung Hotel di Kota Semarang. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Pariwisata, Pos dan Telekomunikasi No. KM.37/PW.304/MPPT-86, hotel sebagai jenis akomodasi yang mempergunakan sebagian besar atau seluruh bangunan untuk menyediakan jasa penginapan, makan dan minum serta jasa lainnya bagi umum, yang dikelola secara konvensional. Gedung tersebut sebagai salah satu fasilitas penunjang hunian baru di Kota Semarang hadir untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

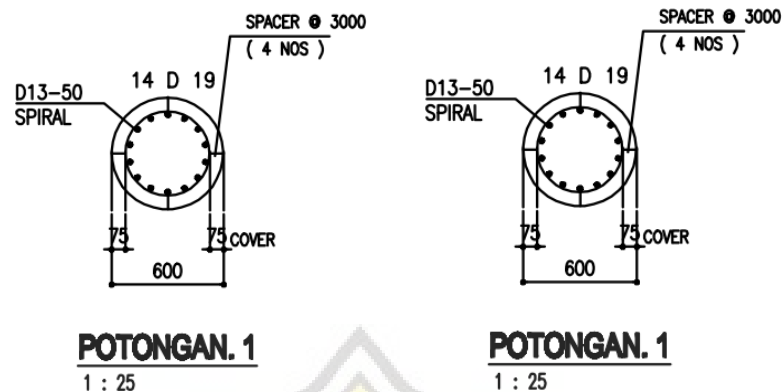
Gedung tersebut dibangun di atas lahan seluas kurang lebih 1.214 m² dengan luas arsitektur bangunan 5.872 m² dan luas struktur bangunan kurang lebih 7.247 m². Gedung tersebut terdiri dari 10 lantai dan 1 *basement*. Gedung X dirancang untuk memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana penunjang bagi hunian masyarakat.

4.2 Data Proyek

Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data sekunder berupa gambar kerja (*for construction drawing*) Proyek Gedung X di Semarang. Variabel dari penelitian ini dibatasi pada pondasi, *tie beam*, pelat lantai, *shear wall*, kolom dan balok. Gambar kerja dan detail perencanaan struktur penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran LB. Data perencanaan setiap variabel yang digunakan dapat diperlihatkan pada uraian di bawah ini.

a. Data perencanaan *bored pile*

Jenis pondasi yang digunakan pada Proyek Pembangunan Gedung X adalah *bored pile* dengan jumlah total keseluruhan *bored pile* adalah 165 buah. *Bored pile* yang digunakan berdiameter sebesar 60 cm. Mutu beton yang digunakan untuk *bored pile* adalah $f_c' = 25$ MPa. Tulangan yang digunakan pada *bored pile* adalah tulangan D19 untuk tulangan longitudinal dan D13 untuk tulangan sengkang spiral. Kedalaman pondasi *bored pile* bervariasi, tergantung elevasi tanah yaitu 30-36 meter. Gambar potongan dan detail pondasi *bored pile* dapat diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Potongan Detail Pondasi *Bored Pile* Tipe A dan Tipe B (Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

Detail dimensi pada setiap tipe *bored pile*, yaitu tipe A dan tipe B, dapat diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi *Bored Pile*

Tipe	Diameter Pile (mm)	Panjang Pile (m)
A	600	30 – 36
B	600	

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

b. Data perencanaan *pile cap*

Tipe, dimensi, serta jumlah *pile cap* diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dimensi *Pile Cap*

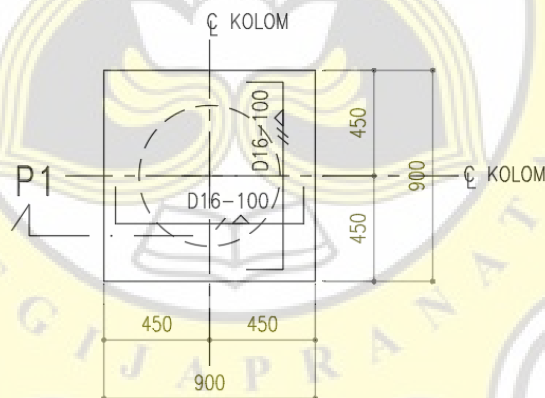
Tipe	Jumlah Bored Pile Pada Pile Cap	Jumlah Pile Cap	Dimensi (mm)	Tebal Pile Cap (mm)
P1	1	1	900 × 900	1000
[P1]	1	2	900 × 900	1000
P1A	1	1	1100 × 1650	1000
<P1A>	1	2	1100 × 1650	1000
((P1A))	1	17	1100 × 1650	1000
<P1B>	1	1	1650 × 1650	1000
((P1B))	1	1	1650 × 1650	1000
P2	2	2	900 × 2700	1000
((P2))	2	1	900 × 2700	1000
(P2-1)	2	1	2350 × 900	1000
(P4)	4	1	2900 × 2400	1000
(P4-1)	4	1	2900 × 3100	1000
P5	5	1	2400 × 3500	1200
(P5-1)	5	1	2900 × 3500	1200
(P5-2)	5	1	2900 × 3750	1200
P6	6	2	2400 × 3900	1200



Type	Jumlah Bored Pile Pada Pile Cap	Jumlah Pile Cap	Dimensi (mm)	Tebal Pile Cap (mm)
(P6-1)	6	1	2400 × 3950	1200
[P6-2]	6	2	3900 × 2400	1200
[P7]	7	1	3900 × 2150 × 1900 × 2020 × 1900 × 2150	1200
(P7-1)	7	1	250 × 1900 × 2020 × 1900 × 250 × 1900 × 2020 × 1900	1200
<<P8>>	8	1	2400 × 6100	1200
{P12}	12	1	4210 × 2400	1500
<<P13>>	13	1	1200 × 2500 × 300 × 1010 × 950 × 120 × 950 × 1010 × 300 × 2500	1500
[P38]	38	1	3700 × 2000 × 1600 × 1800 × 3500 × 1500 × 3600	1500

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

Mutu beton yang digunakan pada seluruh tipe *pile cap* adalah $f_c' = 30$ MPa. Contoh gambar detail pada *pile cap* tipe P1 diperlihatkan pada Gambar 4.2.

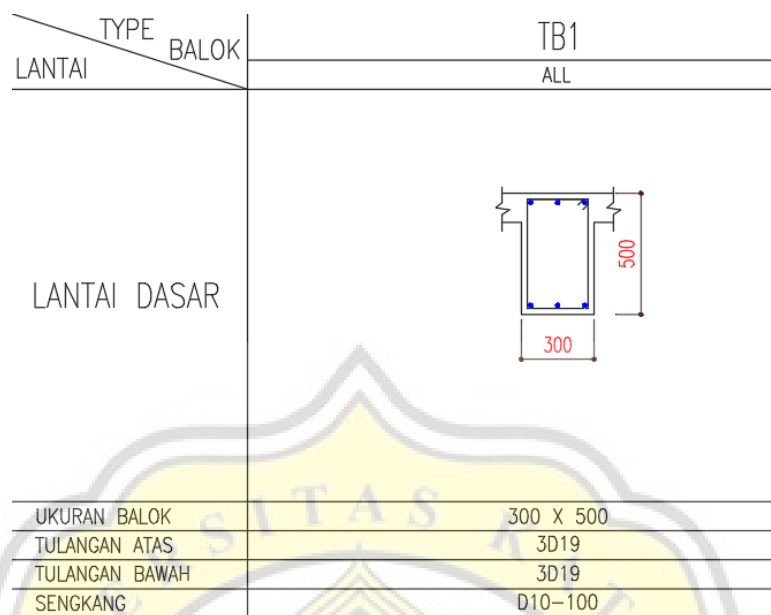


TYPE P1
SKALA 1 : 25

Gambar 4.2. Detail *Pile Cap* Tipe P1 (Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

c. Data perencanaan *tie beam*

Detail penulangan dan potongan *tie beam* dicontohkan pada *tie beam* tipe TB1 yang dapat diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Potongan dan Detail Penulangan *Tie Beam* Tipe TB1 (Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

Dimensi yang digunakan untuk *tie beam* pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Dimensi *Tie Beam*

Tipe	Dimensi (mm)
TB1	300 × 500
TB2	400 × 700
TB3	400 × 700
TB4	600 × 700
TB5	300 × 500
TB6	400 × 700
TB7	500 × 600
TB8	400 × 400
TB9	400 × 600
TB10	800 × 400
TB11	1400 × 600
TB12	600 × 400
TB13	1400 × 600
TB14	900 × 500
TB15	1400 × 600
TB16	200 × 100
TB17	400 × 600
TB18	400 × 600
TB19	300 × 400
TB20	400 × 400
TB21	400 × 700
TB22	1400 × 600

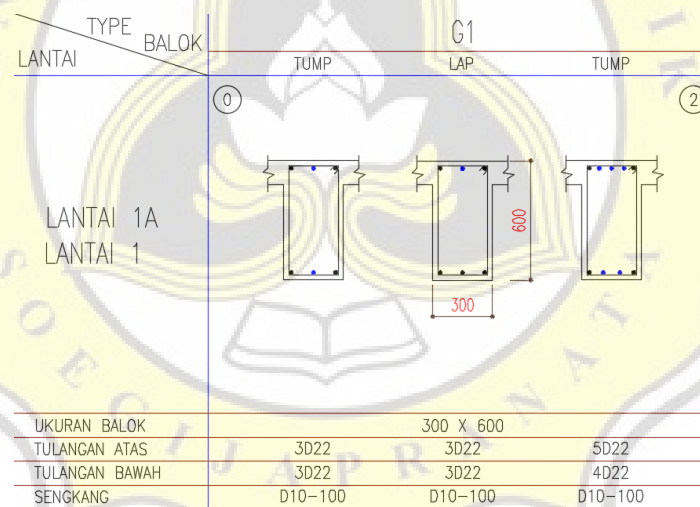


Type	Dimensi (mm)
TB23	1400 × 600
TB24	400 × 700
TB25	400 × 700
TB26	1100 × 600
TB27	400 × 600
TB28	400 × 600
TB29	300 × 600
TB30	300 × 500
TB31	400 × 700
TB32	400 × 700
TB33	500 × 600
TB34	400 × 600
TB35	400 × 600

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

d. Data perencanaan balok

Detail penulangan dan potongan balok menggunakan contoh pada tipe G1 yang dapat diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Potongan dan Detail Penulangan Balok Tipe G1(Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

Dimensi yang digunakan untuk balok pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Dimensi Balok

Type	Dimensi (mm)
G1	300 × 600
G2	600 × 500
G3	600 × 300
G4	400 × 600



Type	Dimensi (mm)
G5	600 × 500
G6	1100 × 500
G7	600 × 500
G8	300 × 500
G9	600 × 600
G10	600 × 500
G11	400 × 500
G12	400 × 500
G13	400 × 500
G14	300 × 500
G15	300 × 500
G16	300 × 500
G17	400 × 500
G18	400 × 500
G19	400 × 500
G20	500 × 500
G21	300 × 500
G22	300 × 500
G23	300 × 500
G24	400 × 500
G25	400 × 500
G26	400 × 700
G27	400 × 500
G28	500 × 400
G29	400 × 700
G30	400 × 700
G31	400 × 700
G32	400 × 700
G33	400 × 500
G34	500 × 400
G35	400 × 700
G36	800 × 400
G37	300 × 500
G38	300 × 500
G39	400 × 500
G40	400 × 700
G41	400 × 700
G42	400 × 700
G43	300 × 500
G44	500 × 700
G45	300 × 500
G46	400 × 500
G47	300 × 500
G48	300 × 500
G49	300 × 700
G50	300 × 500
G51	300 × 500
G52	300 × 500
G53	600 × 500
G54	600 × 500
G55	400 × 500



Type	Dimensi (mm)
G56	600 × 600
G57	1200 × 500
B1	300 × 500
B2	300 × 500
B3	300 × 400
B4	300 × 400
B5	300 × 500
B6	300 × 400
B7	250 × 400
B8	300 × 600
B9	300 × 600
B10	300 × 500
B11	300 × 600
B12	300 × 600
B13	300 × 600
B14	300 × 500
B15	300 × 500
B16	300 × 400
B17	250 × 500
B18	300 × 500
B19	400 × 500

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

e. Data perencanaan pelat lantai

Dimensi ketebalan pelat lantai pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.5.

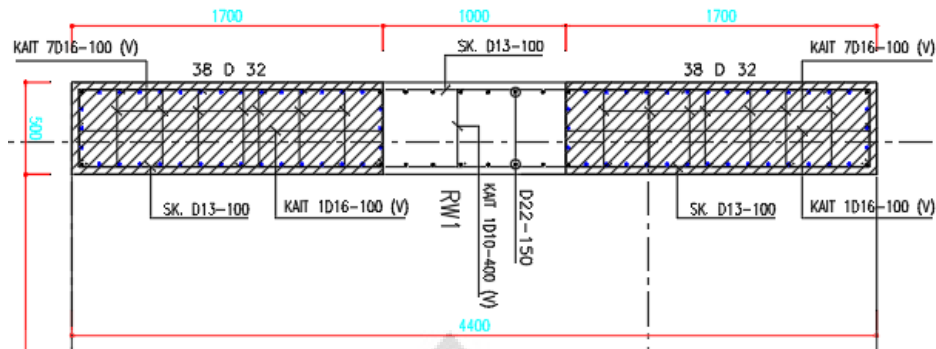
Tabel 4.5 Dimensi Tebal Pelat Lantai

Type	Tebal (mm)
BS1	200
BS2	150
BS3	150
BS4	300
BS5	300
BS6	300
FH.BS2	150
FH.BS3	150

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

f. Data perencanaan *shear wall*

Detail tulangan *shear wall* digunakan contoh detail pada tipe RW1 yang dapat diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Detail tulangan *Shear Wall* Tipe RW1 (Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)

Dimensi *shear wall* serta peletakan setiap tipe *shear wall* diperlihatkan pada Tabel 4.6.

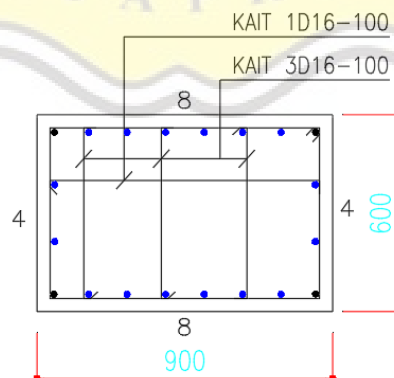
Tabel 4.6 Dimensi *Shear Wall*

Tipe	Lantai	Dimensi (mm)
RW1	Lantai <i>Basement</i>	750 × 7050
	Lantai Dasar	500 × 4400
	Lantai 1	400 × 4400
	Lantai 2 – Lantai 9	300 × 4400
RW2	Lantai <i>Basement</i>	400 × 7050
	Lantai Dasar	400 × 1800
	Lantai 1 – Lantai 8	300 × 1800

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

g. Data perencanaan kolom

Gambar detail penulangan pada kolom dengan menggunakan contoh detail kolom tipe K1 yang dapat diperlihatkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Detail Penulangan Kolom K1 (Sumber : Diolah kembali dari data gambar kerja Proyek Gedung X)



Detail dimensi setiap tipe kolom pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Dimensi Kolom

Tipe	Lantai	Dimensi (mm)
K1	Lantai Dasar – Lantai 2	600 × 900
	Lantai 3 – Lantai 8	400 × 900
K2	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	600 × 1000
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 6	400 × 900
K3	Lantai 7 – Lantai 8	400 × 700
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	700 × 1200
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1200
	Lantai 5 – Lantai 6	400 × 1000
K4	Lantai 7 – Lantai 8	400 × 800
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	700 × 900
	Lantai 3 – Lantai 6	400 × 900
K5	Lantai 7 – Lantai 8	400 × 800
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	700 × 1000
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000
K6	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 900
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	600 × 800
	Lantai 3 – Lantai 5	400 × 800
K7	Lantai 6 – Lantai 8	400 × 700
	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 2	600 × 1000
K8	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 800
	Lantai Dasar – Lantai 2	600 × 900
K9	Lantai 3 – Lantai 5	400 × 900
	Lantai 6 – Lantai 8	400 × 800
	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
K10	Lantai Dasar – Lantai 2	600 × 800
	Lantai 3 – Lantai 8	400 × 800
K11	Lantai Dasar – Lantai 1	600 × 1300
	Lantai 2	500 × 1200
	Lantai 3 – Lantai 5	400 × 1000
	Lantai 6 – Lantai 8	400 × 900
K12	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
	Lantai Dasar – Lantai 1	600 × 1000
	Lantai 2	500 × 900
	Lantai 3 – Lantai 4	500 × 800
K13	Lantai 5 – Lantai 8	500 × 700
	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 1	500 × 1200
	Lantai 2	400 × 1000
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000
K14	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 800
	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000



Tipe	Lantai	Dimensi (mm)
K13	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 1	700 × 1100
	Lantai 2	700 × 1100
	Lantai 3	500 × 1100
	Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 900
K14	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 1	700 × 1100
	Lantai 2	700 × 1100
	Lantai 3	500 × 1100
	Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 900
K15	Lantai Dasar – Lantai 1	600 × 1000
	Lantai 2	600 × 1000
	Lantai 3	400 × 1000
	Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 900
K16	Lantai Dasar – Lantai 2	600 × 1000
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 800
K17	Lantai Dasar – Lantai 1	600 × 800
	Lantai 2	600 × 800
	Lantai 3 – Lantai 8	400 × 700
K18	Lantai Dasar – Lantai 1	600 × 1100
	Lantai 2	600 × 800
	Lantai 3 – Lantai 4	400 × 800
	Lantai 5 – Lantai 6	400 × 700
	Lantai 7 – Lantai 8	400 × 700
	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
K19	Lantai Dasar – Lantai 1	500 × 1200
	Lantai 2	500 × 1200
	Lantai 3	500 × 1200
	Lantai 4	500 × 1200
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 1200
	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
K20	Lantai Dasar – Lantai 2	400 × 700
K21	Lantai 1	300 × 600
K22	Lantai Dasar	400 × 600
K23	Lantai Dasar – Lantai 2	400 × 700
K24	Lantai 9 – Lantai Atap	300 × 600
K25	Lantai <i>Basement</i> – Lantai 1	650 × 1000
	Lantai 2	650 × 1000
	Lantai 3	500 × 1000
	Lantai 4	400 × 1000
	Lantai 5 – Lantai 8	400 × 900
K26	Lantai Dasar – Lantai 1	400 × 600

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



h. Data concrete mix design

Data *concrete mix design* untuk beton dengan mutu f_c' 25 MPa dan 35 MPa diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Concrete Mix Design*

Material	25 MPa	35 MPa
Air (kg)	200	200
Semen (kg)	378	480
Agregat Kasar (kg)	955,3	939,7
Agregat Halus (kg)	777,6	691,1
<i>Fly Ash</i> (kg)	67	85
<i>Admixture</i> (%)	0,8	0,8

(Sumber : Data Proyek Gedung X)

4.3 Asumsi Data

Beberapa data yang tidak tersedia dari Proyek Pembangunan Gedung X, dapat diasumsikan sebagai berikut:

- Beton mutu f_c' 15 MPa (2.175,56 Psi) diasumsikan setara dengan beton struktural dengan mutu 2.500 Psi dengan material *fly ash* 20%.
- Beton mutu f_c' 35 MPa (5.076,320 Psi) diasumsikan setara dengan beton struktural dengan mutu 5.000 Psi dengan material *fly ash* 20%.
- Rasio tulangan pada semua komponen struktur diasumsikan sebanyak 4% dari volume komponen tersebut.

4.4 Analisis Data dan Pembahasan

a. Volume pekerjaan struktur dengan menggunakan *Autodesk Revit*

Berdasarkan pemodelan gedung X yang telah dilakukan dengan menggunakan *Autodesk Revit*, didapatkan keluaran berupa volume pekerjaan struktur. Volume pekerjaan tersebut kemudian diekspor ke dalam format .txt. Volume pekerjaan pengecoran pondasi diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Volume Pekerjaan Pondasi

Tipe	Volume (m ³)	Mutu Beton
BP.A	1.358,38	25 MPa
BP.B	33,79	25 MPa
Total	1.392,17	25 MPa



Volume pekerjaan pengecoran *pile cap* diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Volume Pekerjaan *Pile Cap*

Tipe	Volume (m ³)	Luas (m ²)	Mutu Beton
ADD.P38	14,52	0,00	30 MPa
F1	2,40	8,00	30 MPa
P1	1,24	0,81	30 MPa
P1'	1,62	1,62	30 MPa
P1A"	40,88	30,86	30 MPa
P1A'	3,63	3,63	30 MPa
P1A.A	3,55	1,82	30 MPa
P1B	3,61	2,72	30 MPa
P1B'	2,72	2,72	30 MPa
P2	7,41	4,86	30 MPa
P2'.A	5,75	2,43	30 MPa
P2-1	2,12	2,12	30 MPa
P4	6,96	6,96	30 MPa
P4-1	9,28	9,28	30 MPa
P5	12,81	8,40	30 MPa
P5-1	12,18	10,15	30 MPa
P5-2	13,05	10,88	30 MPa
P6	28,55	18,72	30 MPa
P6-1	11,38	9,48	30 MPa
P6-2	11,23	9,36	30 MPa
P7	15,71	13,09	30 MPa
P7-1	12,70	10,59	30 MPa
P8	25,20	14,64	30 MPa
P12	30,31	20,21	30 MPa
P13	37,65	21,83	30 MPa
P38	149,14	99,43	30 MPa
PON.BLOWER	0,38	2,50	30 MPa
PON.GST	1,19	7,95	30 MPa
PON.PUMP	0,26	1,72	30 MPa
PON.PUMP 2	1,51	7,56	30 MPa
PON.TRAVO	0,37	1,87	30 MPa
Total	469,31	346,18	30 MPa

Volume pekerjaan pengecoran *tie beam* dan balok diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Volume Pekerjaan *Tie Beam* dan Balok

Tipe	Jumlah (Buah)	Volume (m ³)	Mutu Beton
ADD.B14	1	0,00	30 MPa
ADD.B17	1	0,02	30 MPa
ADD.TB4	1	0,82	30 MPa
ADD.TB13	1	3,66	30 MPa
ADD.TB22	1	2,04	30 MPa
ADD.TB23	1	1,57	30 MPa
ADD.TB24	1	0,35	30 MPa
B1	21	9,81	30 MPa



Tipe	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
B1.LA	10	1,91	30 MPa
B2.2	1	0,17	30 MPa
B2.9	9	1,84	30 MPa
B2.LA	3	1,28	30 MPa
B3.2	4	0,54	30 MPa
B3.3	2	0,26	30 MPa
B3.4	4	0,50	30 MPa
B3.6	6	0,78	30 MPa
B3.9	1	0,20	30 MPa
B3.L	1	0,38	30 MPa
B3.LA	2	0,43	30 MPa
B4.2	1	0,19	30 MPa
B4.3	1	0,19	30 MPa
B4.4	2	0,39	30 MPa
B4.6	3	0,60	30 MPa
B4.9	4	1,54	30 MPa
B4.LA	3	0,68	30 MPa
B5.3	2	0,83	30 MPa
B5.4	4	1,66	30 MPa
B5.6	6	2,50	30 MPa
B5.9	2	0,86	30 MPa
B5.LA	1	0,31	30 MPa
B6	4	0,80	30 MPa
B6.2	2	0,85	30 MPa
B6.3	2	1,28	30 MPa
B6.4	4	2,56	30 MPa
B6.6	6	3,83	30 MPa
B7	9	1,46	30 MPa
B7.3	6	2,97	30 MPa
B7.4	4	1,78	30 MPa
B7.6	6	2,62	30 MPa
B8	2	1,08	30 MPa
B8.3	2	0,29	30 MPa
B8.4	8	4,22	30 MPa
B8.6	12	6,36	30 MPa
B8.9	3	0,56	30 MPa
B9	1	0,54	30 MPa
B9.2	1	0,55	30 MPa
B9.3	1	0,55	30 MPa
B9.4	4	0,65	30 MPa
B9.6	6	0,88	30 MPa
B10	3	0,47	30 MPa
B10.2	3	0,79	30 MPa
B10.3	1	0,36	30 MPa
B10.4	2	0,72	30 MPa
B10.6	3	1,11	30 MPa
B10.9	4	1,21	30 MPa
B11	1	0,15	30 MPa
B11.2	3	0,47	30 MPa
B11.4	2	0,72	30 MPa
B11.6	3	1,07	30 MPa



Type	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
B11.9	1	0,57	30 MPa
B12	2	2,66	30 MPa
B12.2	8	3,59	30 MPa
B12.3	1	0,67	30 MPa
B12.4	2	1,03	30 MPa
B12.6	3	1,86	30 MPa
B12.9	1	0,89	30 MPa
B13	2	1,41	30 MPa
B13.2	2	1,10	30 MPa
B13.3	1	0,54	30 MPa
B13.4	13	5,35	30 MPa
B13.6	24	7,35	30 MPa
B14	1	0,34	30 MPa
B14.2	2	1,00	30 MPa
B14.3	7	4,17	30 MPa
B14.4	2	0,84	30 MPa
B14.6	3	1,28	30 MPa
B14.9	2	2,27	30 MPa
B15	1	0,27	30 MPa
B15.2	3	1,54	30 MPa
B15.3	2	0,72	30 MPa
B15.9	4	2,84	30 MPa
B16	1	0,59	30 MPa
B16.2	1	0,54	30 MPa
B16.9	4	1,98	30 MPa
B17	4	1,97	30 MPa
B17.2	2	0,53	30 MPa
B17.9	2	0,35	30 MPa
B18	2	0,27	30 MPa
B18.2	6	1,79	30 MPa
B18.9	2	0,54	30 MPa
B19	1	0,63	30 MPa
B19.2	1	0,52	30 MPa
B19.9	1	0,55	30 MPa
B20.2	4	4,60	30 MPa
B20.9	2	0,86	30 MPa
B21.2	2	0,36	30 MPa
B21.9	8	8,55	30 MPa
B22.2	2	0,37	30 MPa
B23.2	1	0,45	30 MPa
B24.2	4	0,83	30 MPa
G1	1	0,80	30 MPa
G1.2	1	0,25	30 MPa
G1.3	1	1,19	30 MPa
G1.4	2	1,66	30 MPa
G1.6	3	2,49	30 MPa
G1.9	1	0,18	30 MPa
G1.LA	11	3,69	30 MPa
G2	1	1,51	30 MPa
G2.2	1	3,02	30 MPa
G2.3	1	0,16	30 MPa



Type	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
G2.4	2	0,38	30 MPa
G2.6	3	0,47	30 MPa
G2.9	1	2,00	30 MPa
G2.LA	5	2,05	30 MPa
G3	1	0,24	30 MPa
G3.2	1	0,59	30 MPa
G3.3	1	0,80	30 MPa
G3.4	2	1,46	30 MPa
G3.6	3	2,37	30 MPa
G3.9	1	0,20	30 MPa
G3.LA	2	1,20	30 MPa
G4	1	1,06	30 MPa
G4.2	1	1,40	30 MPa
G4.3	1	2,83	30 MPa
G4.4	2	3,26	30 MPa
G4.6	3	4,97	30 MPa
G4.9	6	1,10	30 MPa
G4.LA	6	10,72	30 MPa
G5	1	0,69	30 MPa
G5.2	1	0,82	30 MPa
G5.3	2	0,60	30 MPa
G5.4	2	0,97	30 MPa
G5.6	3	1,47	30 MPa
G5.9	1	0,35	30 MPa
G5.LA	1	1,79	30 MPa
G6	1	1,37	30 MPa
G6.2	1	0,31	30 MPa
G6.3	1	0,63	30 MPa
G6.4	2	1,50	30 MPa
G6.6	3	2,30	30 MPa
G6.9	1	1,94	30 MPa
G6.LA	2	3,56	30 MPa
G7	1	0,73	30 MPa
G7.2	1	0,74	30 MPa
G7.3	1	1,23	30 MPa
G7.4	4	1,99	30 MPa
G7.6	6	3,06	30 MPa
G7.9	1	1,60	30 MPa
G7.LA	3	1,05	30 MPa
G8	1	0,61	30 MPa
G8.2	1	1,21	30 MPa
G8.3	1	0,26	30 MPa
G8.4	4	3,05	30 MPa
G8.6	6	4,67	30 MPa
G8.9	1	0,37	30 MPa
G8.LA	1	0,31	30 MPa
G9	1	1,65	30 MPa
G9.2	1	0,72	30 MPa
G9.3	1	0,74	30 MPa
G9.4	2	0,22	30 MPa
G9.6	3	0,40	30 MPa



Type	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
G9.9	2	3,45	30 MPa
G9.LA	2	0,92	30 MPa
G10	1	0,74	30 MPa
G10.2	1	0,27	30 MPa
G10.3	2	2,50	30 MPa
G10.4	4	1,69	30 MPa
G10.6	7	2,99	30 MPa
G10.9	1	0,16	30 MPa
G10.LA	2	0,57	30 MPa
G11	1	0,20	30 MPa
G11.2	1	0,85	30 MPa
G11.3	4	1,10	30 MPa
G11.4	2	1,57	30 MPa
G11.6	3	2,39	30 MPa
G11.9	1	0,51	30 MPa
G12	1	0,50	30 MPa
G12.2	1	1,24	30 MPa
G12.3	1	0,75	30 MPa
G12.4	2	1,67	30 MPa
G12.6	3	2,50	30 MPa
G13: 3	3	1,72	30 MPa
G13.2	1	0,72	30 MPa
G13.3	1	0,13	30 MPa
G13.4	2	0,84	30 MPa
G13.6	3	1,26	30 MPa
G13.9	1	0,42	30 MPa
G14	1	0,62	30 MPa
G14.2	3	0,30	30 MPa
G14.3	1	0,51	30 MPa
G14.4	8	13,33	30 MPa
G14.6	13	21,73	30 MPa
G14.9	1	0,83	30 MPa
G15	2	0,22	30 MPa
G15.2	1	0,40	30 MPa
G15.3	1	1,29	30 MPa
G15.4	4	6,55	30 MPa
G15.6	7	11,55	30 MPa
G15.9	1	0,70	30 MPa
G16	2	0,79	30 MPa
G16.2	1	1,27	30 MPa
G16.4	2	3,31	30 MPa
G16.6	3	4,95	30 MPa
G16.9	3	5,58	30 MPa
G17	2	1,06	30 MPa
G17.2	1	0,72	30 MPa
G17.3	1	0,43	30 MPa
G17.9	1	1,82	30 MPa
G18	1	0,19	30 MPa
G18.2	2	1,26	30 MPa
G18.3	1	1,43	30 MPa
G18.4	2	0,65	30 MPa



Type	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
G18.6	3	1,06	30 MPa
G18.9	1	1,86	30 MPa
G19	3	1,80	30 MPa
G19.2	3	1,09	30 MPa
G19.3	1	0,39	30 MPa
G19.4	2	1,35	30 MPa
G19.6	3	2,00	30 MPa
G19.9	1	0,27	30 MPa
G20	1	0,68	30 MPa
G20.3	1	1,50	30 MPa
G20.4	5	8,62	30 MPa
G20.9	1	1,38	30 MPa
G21	1	0,46	30 MPa
G21.2	1	2,11	30 MPa
G21.3	1	1,47	30 MPa
G21.4	4	1,03	30 MPa
G21.6	7	1,77	30 MPa
G21.9	1	1,72	30 MPa
G22	2	0,73	30 MPa
G22.2	1	1,78	30 MPa
G22.3	1	1,46	30 MPa
G22.4	8	11,97	30 MPa
G22.6	13	19,98	30 MPa
G22.9	1	0,43	30 MPa
G23	7	2,68	30 MPa
G23.2	3	0,75	30 MPa
G23.3	1	1,58	30 MPa
G23.4	4	0,77	30 MPa
G23.6	6	1,12	30 MPa
G23.9	1	0,13	30 MPa
G24.2	1	0,24	30 MPa
G24.4	4	0,95	30 MPa
G24.6	6	1,49	30 MPa
G24.9	1	0,21	30 MPa
G25	1	0,55	30 MPa
G25.2	1	0,53	30 MPa
G25.3	1	0,33	30 MPa
G25.9	1	0,39	30 MPa
G26	2	3,48	30 MPa
G26.2	1	1,69	30 MPa
G26.3	1	0,77	30 MPa
G26.9	1	0,17	30 MPa
G27.2	1	2,13	30 MPa
G27.3	1	1,69	30 MPa
G27.9	1	1,59	30 MPa
G28	1	0,50	30 MPa
G28.2	1	1,66	30 MPa
G28.3	2	3,38	30 MPa
G28.9	1	0,66	30 MPa
G29	1	1,71	30 MPa
G29.2	1	0,52	30 MPa



Type	Jumlah (Buah)	Volume (m³)	Mutu Beton
G29.3	1	1,78	30 MPa
G30	1	1,71	30 MPa
G30.2	1	1,69	30 MPa
G30.3	1	0,60	30 MPa
G30.9	1	0,62	30 MPa
G31	1	1,71	30 MPa
G31.2	2	1,12	30 MPa
G31.3	4	5,88	30 MPa
G31.9	3	0,65	30 MPa
G32	3	5,14	30 MPa
G32.2	4	7,30	30 MPa
G32.3	1	0,25	30 MPa
G32.9	2	4,07	30 MPa
G33.2	1	0,63	30 MPa
G33.3	1	0,12	30 MPa
G34	1	0,46	30 MPa
G34.2	1	0,21	30 MPa
G35	2	3,40	30 MPa
G35.2	1	0,46	30 MPa
G36	1	0,59	30 MPa
G36.2	1	0,16	30 MPa
G36.3	1	0,18	30 MPa
G37	1	0,48	30 MPa
G37.2	2	0,80	30 MPa
G37.3	1	0,08	30 MPa
G38	1	0,51	30 MPa
G38.2	2	1,27	30 MPa
G38.3	1	0,36	30 MPa
G39	2	0,58	30 MPa
G39.2	1	0,65	30 MPa
G40	4	6,87	30 MPa
G40.2	1	0,83	30 MPa
G41	5	9,93	30 MPa
G41.2	1	0,87	30 MPa
G42	1	0,63	30 MPa
G42.2	1	0,53	30 MPa
G43	2	0,78	30 MPa
G43.2	1	1,78	30 MPa
G44	1	1,57	30 MPa
G44	3	5,13	30 MPa
G45	2	0,30	30 MPa
G46	1	0,22	30 MPa
G47	2	1,01	30 MPa
G48	2	1,31	30 MPa
G49	1	0,82	30 MPa
G50	1	0,52	30 MPa
G51	1	0,24	30 MPa
G52	2	1,00	30 MPa
G53	1	0,71	30 MPa
G54	1	0,72	30 MPa
G55	1	0,49	30 MPa



Typ	Jumlah (Buah)	Volume (m ³)	Mutu Beton
G56	1	1,63	30 MPa
G57	1	1,96	30 MPa
TB1:	16	5,78	30 MPa
TB2	2	2,79	30 MPa
TB3	1	0,63	30 MPa
TB4	3	4,73	30 MPa
TB5	3	1,50	30 MPa
TB6	3	2,70	30 MPa
TB7	1	0,76	30 MPa
TB8	8	1,26	30 MPa
TB9	3	3,21	30 MPa
TB10	1	0,35	30 MPa
TB11	1	1,10	30 MPa
TB12	1	0,61	30 MPa
TB13	1	1,12	30 MPa
TB14	2	2,30	30 MPa
TB15	1	2,16	30 MPa
TB16	2	1,56	30 MPa
TB17	1	0,59	30 MPa
TB18	9	10,65	30 MPa
TB19	2	0,23	30 MPa
TB20	1	0,34	30 MPa
TB21	5	7,46	30 MPa
TB22	2	2,66	30 MPa
TB23	1	3,05	30 MPa
TB24	1	1,16	30 MPa
TB25	1	0,96	30 MPa
TB26	2	2,28	30 MPa
TB27	3	1,93	30 MPa
TB28	1	0,43	30 MPa
TB29	1	0,56	30 MPa
TB30	1	0,21	30 MPa
TB31	1	0,69	30 MPa
TB32	1	1,04	30 MPa
TB33	1	1,61	30 MPa
TB34	3	0,55	30 MPa
TB36	1	0,55	30 MPa
Total		608,74	30 MPa

Volume pekerjaan pengecoran kolom dan *shear wall* diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Volume Pekerjaan Kolom dan *Shear Wall*

Typ	Jumlah (Buah)	Volume Total (m ³)	Mutu Beton
K1 (L3.L9)	6	7,50	35 MPa
K1 (LB.L3)	4	8,96	35 MPa
K2 (L3.L5)	2	2,73	35 MPa
K2 (L5.L7)	2	2,46	35 MPa
K2 (L7.L9)	2	2,16	35 MPa
K2 (LB.L3)	4	9,90	35 MPa



Tipe	Jumlah (Buah)	Volume Total (m³)	Mutu Beton
K3 (L3.L5)	2	3,34	35 MPa
K3 (L5.L7)	2	2,78	35 MPa
K3 (L7.L9)	2	2,54	35 MPa
K3 (LB.L3)	5	14,90	35 MPa
K4 (L3.L7)	4	4,92	35 MPa
K4 (L7.L9)	2	2,47	35 MPa
K4 (LB.L3)	4	10,33	35 MPa
K5 (L3.L5)	2	2,78	35 MPa
K5 (L5.L9)	4	5,37	35 MPa
K5 (LB.L3)	5	12,51	35 MPa
K6 (L3.L6)	3	3,27	35 MPa
K6 (L6.L9)	3	3,13	35 MPa
K6 (L9.LA)	1	1,08	35 MPa
K6 (LB.L3)	4	7,81	35 MPa
K7 (L3.L5)	2	2,78	35 MPa
K7 (L5.L9)	4	4,77	35 MPa
K7 (LB.L3)	5	10,73	35 MPa
K8 (L3.L6)	3	3,69	35 MPa
K8 (L6.L9)	3	3,60	35 MPa
K8 (L9.LA)	1	1,08	35 MPa
K8 (LD.L3)	3	7,00	35 MPa
K9 (L3.L9)	6	7,00	35 MPa
K9 (LD.L3)	3	6,26	35 MPa
K10 (L2.L3)	1	2,57	35 MPa
K10 (L3.L6)	3	4,18	35 MPa
K10 (L6.L9)	3	4,12	35 MPa
K10 (L9.LA)	1	1,08	35 MPa
K10 (LB.L2)	3	8,12	35 MPa
K11 (L2.L3)	1	2,14	35 MPa
K11 (L3.L5)	2	2,78	35 MPa
K11 (L5.L9)	4	5,22	35 MPa
K11 (LB.L1)	3	5,73	35 MPa
K12 (L2.L5)	3	4,50	35 MPa
K12 (L6.L9)	4	4,77	35 MPa
K12 (L9.LA)	1	1,08	35 MPa
K12 (LB.L2)	3	5,68	35 MPa
K13 (L3)	1	1,87	35 MPa
K13 (L4)	1	1,36	35 MPa
K13 (L5.L9)	4	5,28	35 MPa
K13 (LB.L3)	3	12,37	35 MPa
K14 (L3)	1	1,87	35 MPa
K14 (L4)	1	1,36	35 MPa
K14 (L5.L9)	4	5,09	35 MPa
K14 (LB.L3)	3	12,70	35 MPa
K15 (L3.L5)	2	2,72	35 MPa
K15 (L5.L9)	4	5,09	35 MPa
K15 (LD.L3)	2	7,91	35 MPa
K16 (L3.L5)	2	2,72	35 MPa
K16 (L5.L9)	4	4,53	35 MPa
K16 (LD.L3)	2	7,79	35 MPa
K17 (L3.L9)	6	5,96	35 MPa



Typ	Jumlah (Buah)	Volume Total (m ³)	Mutu Beton
K17 (LD.L3)	2	6,23	35 MPa
K18 (L2.L3)	1	2,07	35 MPa
K18 (L3.L5)	2	2,30	35 MPa
K18 (L5.L9)	4	4,31	35 MPa
K18 (LD.L2)	2	5,63	35 MPa
K19 (L5.L9)	4	7,24	35 MPa
K19 (L9.LA)	1	1,08	35 MPa
K19 (LD.L5)	5	11,81	35 MPa
K20 (LD.L3)	18	22,51	35 MPa
K22 (LD.L1)	4	3,05	35 MPa
K23 (LD.L2A)	18	18,52	35 MPa
K24 (L9.LA)	16	17,32	35 MPa
K25 (L3)	1	1,70	35 MPa
K25 (L4)	1	1,36	35 MPa
K25 (L5.L9)	4	5,08	35 MPa
K25 (LB.L3)	3	10,74	35 MPa
K26 (LD.L1A)	4	3,11	35 MPa
KB1	2	0,15	35 MPa
KH1	27	4,36	35 MPa
KP1	4	0,61	35 MPa
KP (L1.L2)	2	1,46	35 MPa
KP (L1A.L2)	1	0,37	35 MPa
KP (L1A.L2A)	1	0,34	35 MPa
RW1 (L1.L2)	1	9,29	35 MPa
RW1 (L2.L9)	7	35,60	35 MPa
RW1 (LB.LD)	1	17,94	35 MPa
RW1 (LD.L1)	1	7,98	35 MPa
RW2 (L1.L9)	8	16,98	35 MPa
RW2 (LB.LD)	1	9,69	35 MPa
RW2 (LD.L1)	1	2,59	35 MPa
Total	312	519,88	35 MPa

Volume pekerjaan pengecoran pondasi diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Volume Pekerjaan Pelat

Typ	Volume (m ³)	Mutu Beton
ADD.30	0,17	30 MPa
ADD.50	0,60	30 MPa
ADD.60	0,01	30 MPa
ADD.100	0,09	30 MPa
ADD.150	0,49	30 MPa
ADD.180	1,32	30 MPa
ADD.200	0,56	30 MPa
ADD.250	0,46	30 MPa
ADD.S1	11,91	30 MPa
ADD.TG-5	0,06	30 MPa
ADD.TG-5'	0,03	30 MPa
BS1	47,77	30 MPa
BS2	14,94	30 MPa



Tipe	Volume (m ³)	Mutu Beton
BS3	80,01	30 MPa
BS4	4,15	30 MPa
BS5	28,70	30 MPa
BS6	31,48	30 MPa
S1	257,60	30 MPa
S2	217,13	30 MPa
S3	42,52	30 MPa
Total	967,77	30 MPa

Hasil dari volume pekerjaan tersebut kemudian diimpor ke *Tally* dan *OneClick LCA* untuk selanjutnya diolah untuk mendapatkan estimasi Gas Rumah Kaca (GRK). Pemodelan yang dilakukan hanya terbatas pada pemodelan bangunan 3D secara fisik tanpa pemberian tulangan karena pada *software Tally* maupun *OneClick LCA*, tulangan dianggap satu kesatuan dengan volume beton.

b. Evaluasi *OneClick LCA* dan *Tally* Berdasarkan Proses *Input dan Output Software*

Evaluasi *software OneClick LCA* dan *Tally* menggunakan 9 fitur yang esensial dapat diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Aspek Perbandingan *OneClick LCA* dan *Tally* Berdasarkan Proses *Input Software*

No.	Fitur Esensial	<i>OneClick LCA</i>	<i>Tally</i>
1.	Proses klasifikasi dan input data	Ya	Ya
2.	Terintegrasi langsung dengan <i>Autodesk Revit</i>	Tidak*	Ya
3.	Memiliki cakupan <i>database</i> yang luas	Ya	Ya
4.	Menghasilkan output berupa klasifikasi GRK	Ya	Ya
5.	Dapat mengklasifikasikan <i>embodied carbon benchmark</i> bangunan	Ya	Tidak
6.	Dapat mengestimasi emisi GRK dari beton dan tulangan**	Ya	Ya
7.	File perhitungan dapat disimpan	Ya	Tidak
8.	Mutu beton dapat diatur sesuai dengan <i>mix design</i>	Tidak	Ya
9.	Terdapat 5 GRK yang dapat diestimasi***	Ya	Ya

Keterangan :

(* Hanya dapat dilakukan oleh pengguna dengan lisensi berbayar.

(** Kedua *software* dapat mengestimasi GRK yang dihasilkan oleh baja tulangan pada beton tetapi tidak menggunakan volume baja tulangan dari

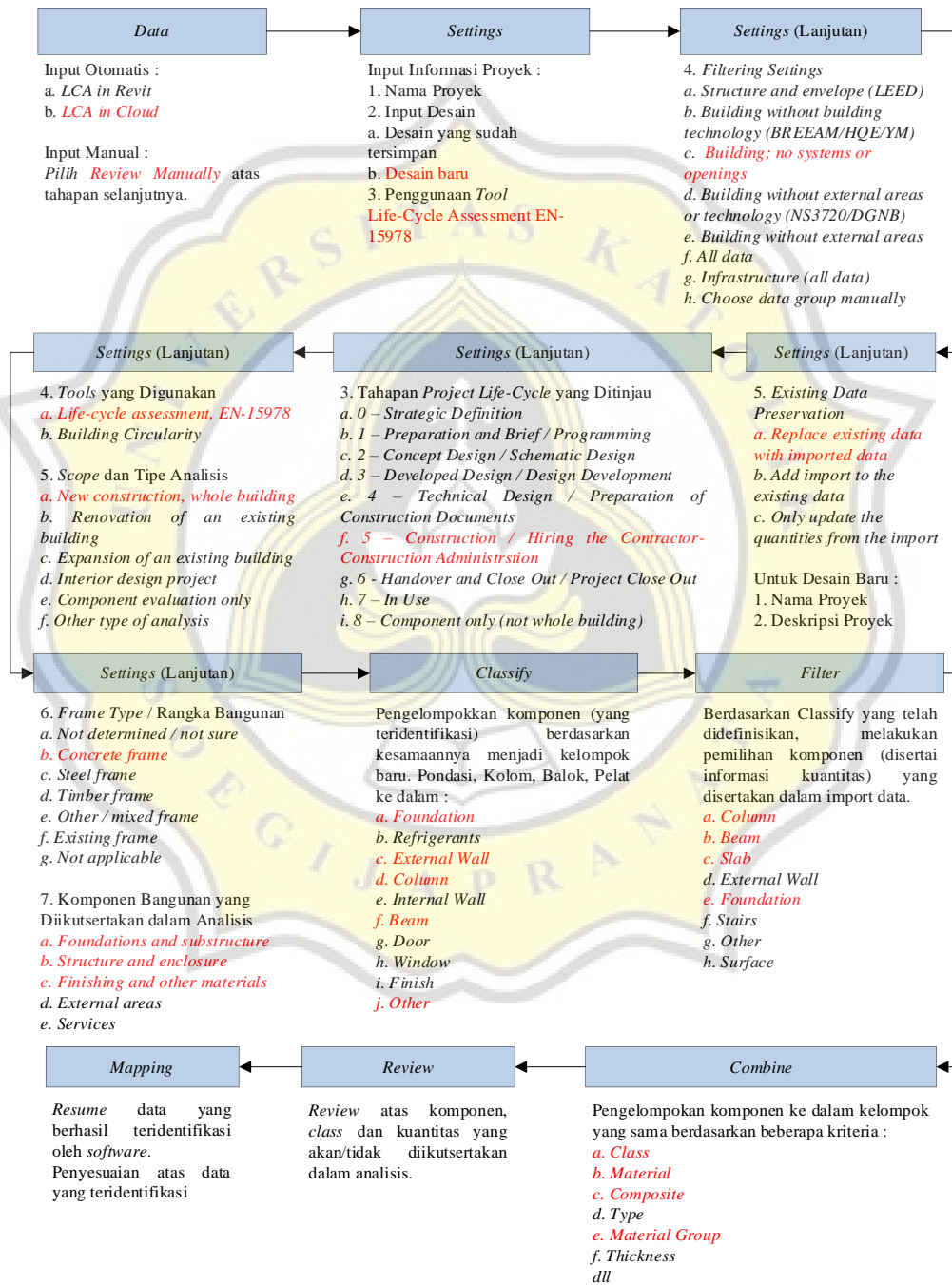


Autodesk Revit.

(*** Kedua *software* memiliki 2 GRK yang berbeda meskipun sama-sama memiliki 5 GRK.

Alur tahapan proses *input* pada *OneClick LCA* dapat dilihat pada Gambar 4.7.

PROSES PENGINTUPAN DATA PADA ONECLICK LCA



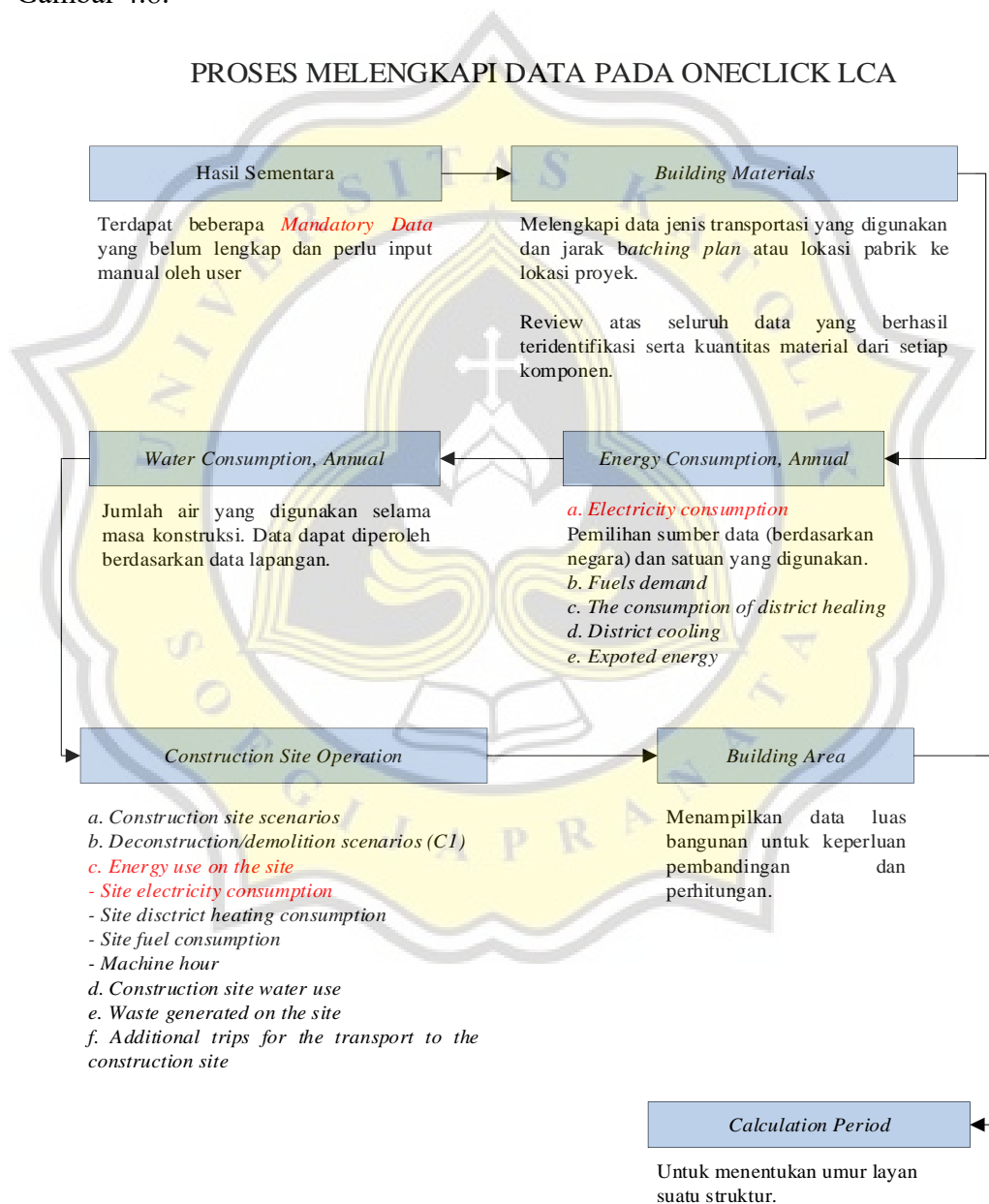
Gambar 4.7 Alur Tahapan Proses *Input* Pada *OneClick LCA*



Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 4.13, *OneClick LCA* memenuhi 7 dari 9 fitur esensial. Fitur yang tidak dapat dipenuhi oleh *software* tersebut adalah :

1. Tidak dapat terintegrasi langsung dengan *Autodesk Revit*.
2. Tidak dapat melakukan *custom* pada *mix design* mutu beton.

Proses melengkapi data pada *OneClick LCA* secara singkat dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Proses Melengkapi Data Pada *Oneclick LCA*



Software OneClick LCA memiliki dua fitur yaitu *LCA in Revit* dan *LCA in Cloud*. Fitur *LCA in Revit* dapat digunakan langsung pada *Autodesk Revit* tanpa harus mengunggah *file* pemodelan terlebih dahulu, namun fitur tersebut hanya dapat digunakan oleh pengguna dengan lisensi yang berbayar. Sementara *LCA in Cloud* dapat diakses oleh pengguna dengan lisensi pelajar. Alur tahapan *output* pada *OneClick LCA* dapat dilihat pada Gambar 4.9.

HASIL LIFE CYCLE ASSESSMENT DENGAN MENGGUNAKAN ONECLICK LCA



Gambar 4.9 Alur Tahapan *Output* Pada *OneClick LCA*



Beberapa kelebihan dan keterbatasan dari *software OneClick LCA* adalah sebagai berikut :

1. Kelebihan *OneClick LCA*

- a) *OneClick LCA* memiliki dua fitur yaitu *LCA in Revit* dan *LCA in Cloud*. Fitur *LCA in Cloud* memungkinkan pengguna untuk melakukan analisa LCA tanpa harus membuka *Autodesk Revit* apabila *file* dari *Autodesk Revit* sudah diunggah terlebih dahulu sebelumnya.
- b) Dapat mengklasifikasikan *embodied carbon benchmark* bangunan.
- c) Terdapat 5 GRK yang menjadi indikator yaitu CO₂, SO₂, PO₄, C₂H₆ dan CFC.
- d) Dapat melakukan perhitungan GRK yang dihasilkan akibat penggunaan energi.
- e) Jarak transportasi material dapat dimasukkan ke dalam *software*.
- f) Terdapat pilihan beberapa *database* yang dapat digunakan.
- g) Dapat digunakan pada *Autodesk Revit* dan *Tekla Structures*.
- h) Dapat mengelompokkan hasil GRK berdasarkan komponen strukturnya.
- i) Menyediakan *student lisenca* yang dapat diajukan secara langsung melalui *website OneClick LCA*.

2. Keterbatasan *OneClick LCA*

- a) Tidak dapat menghitung emisi GRK dengan menggunakan volume tulangan *Autodesk Revit*. Perhitungan tulangan sudah digabungkan dengan perhitungan volume beton karena perhitungan dilakukan dengan menggunakan berat jenis beton bertulang (2400 kg/m³).
- b) *Database* yang digunakan sudah terdapat *database* Indonesia dan beberapa negara di Asia lainnya, namun masih terbatas pada fitur tertentu saja.
- c) Fitur *LCA in Revit* hanya dapat digunakan oleh pengguna dengan *lisence* berbayar.

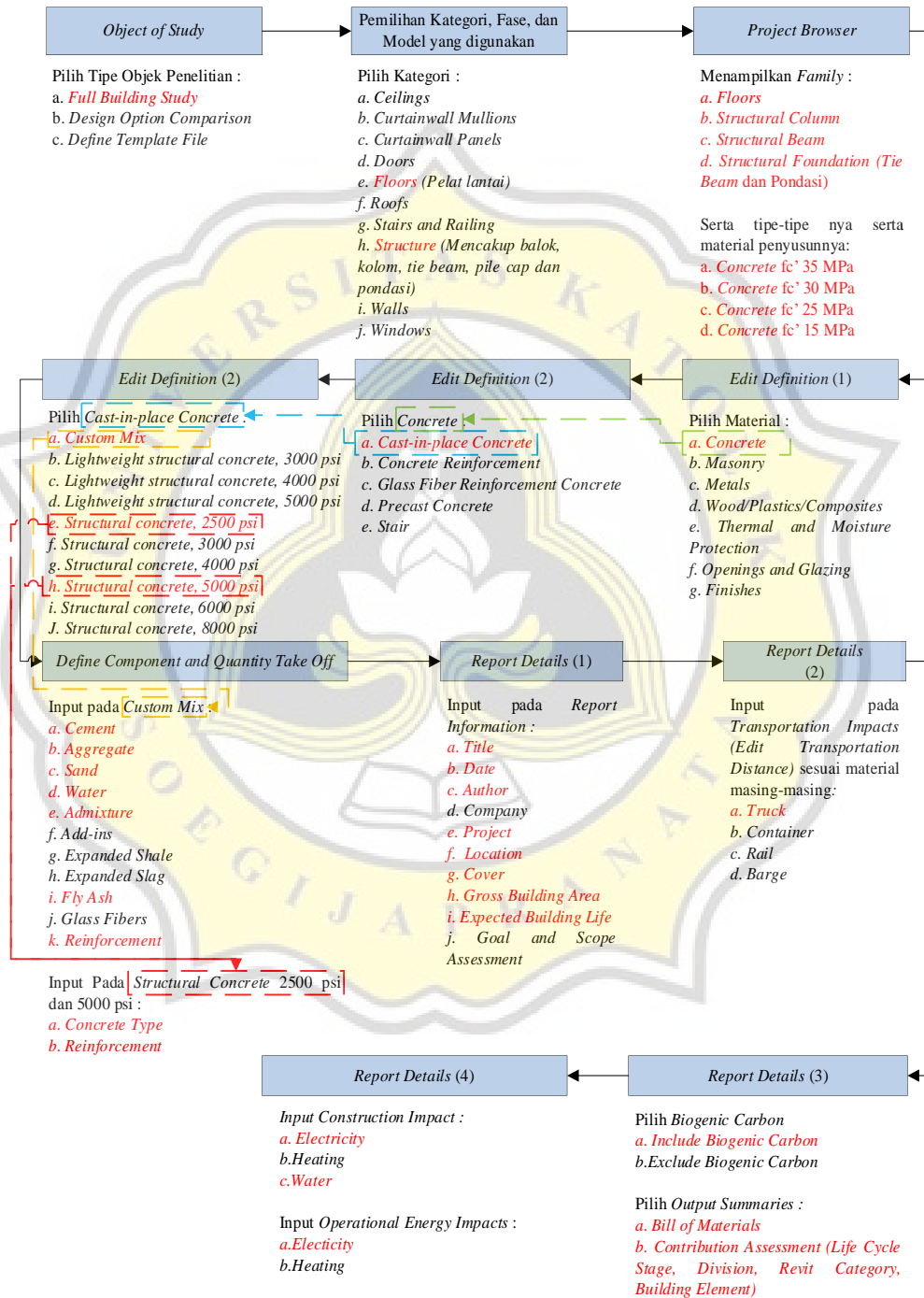
Pada sisi lain, *plugin Tally* juga memenuhi 7 dari 9 fitur esensial, namun pada beberapa fitur yang berbeda dengan *OneClick LCA*. Fitur yang tidak dapat dipenuhi oleh *software* tersebut yaitu :

1. Tidak dapat mengklasifikasikan bangunan tersebut termasuk ramah lingkungan atau tidak.

2. Tidak dapat menyimpan data yang sudah diinput sebelumnya.

Alur tahapan proses *input* pada *Tally* dapat dilihat pada Gambar 4.10.

PROSES PENGINPUTAN DATA PADA TALLY



Gambar 4.10 Alur Tahapan Proses *Input* Pada *Tally*



Berdasarkan hasil *output Tally* yang telah diperoleh, *Tally* hanya mengakomodasi perhitungan emisi GRK dan mengklasifikasikannya sesesuai dengan tahapan yang ada pada EN 15978 serta beberapa kategori lain. Selain itu *software* tersebut tidak dapat menyimpan data yang sudah diinput sebelumnya, sehingga apabila melakukan input data hingga memperoleh hasil dan ingin melakukan beberapa revisi, maka data harus diinput ulang dari awal kembali. Alur tahapan proses *output* pada *Tally* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Alur Tahapan Proses *Output* Pada *Tally*



Beberapa kelebihan dan keterbatasan dari *software Tally* adalah sebagai berikut :

1. Kelebihan *Tally*

- a) *Tally* memiliki tampilan yang sederhana dan mudah digunakan.
- b) Data dari *Autodesk Revit* dapat langsung diolah tanpa harus diunggah terlebih dahulu.
- c) Dapat melakukan *mix design* untuk menentukan mutu beton dapat diinput sesuai dengan *mix design* yang digunakan.
- d) Terdapat 5 GRK yang menjadi indikator yaitu CO₂, SO₂, N, O₃ dan CFC.
- e) Komponen yang memiliki mutu material yang sama dapat langsung terdeteksi sehingga tidak perlu melakukan penginputan material berulang.
- f) Dapat melakukan perhitungan GRK yang dihasilkan akibat penggunaan energi energi.
- g) Jarak transportasi material dapat dimasukkan ke dalam *software*.
- h) Terdapat pilihan beberapa *database* yang dapat digunakan.
- i) Menyediakan *trial* selama satu bulan dan *student lisenca*. *Trial* langsung diperoleh ketika menginstal *Tally* pada *Autodesk Revit*, sedangkan untuk memperoleh *student lisenca*, pengguna harus mengajukannya melalui email.

2. Keterbatasan *Tally*

- d) Tidak dapat menghitung emisi GRK dengan menggunakan volume tulangan *Autodesk Revit*. Perhitungan tulangan diasumsikan dengan memasukan berat jenis atau ratio tulangan pada kolom *Reinforcement* pada saat penginputan *mix design* material.
- e) *Database* penggunaan listrik dan gas yang digunakan terbatas pada area benua Amerika dan beberapa negara di Eropa. *Database* untuk negara di Asia hanya terdapat negara Singapura, sedangkan untuk database penggunaan air masih terbatas pada wilayah Amerika Serikat saja.
- f) *Output* pada *Tally* hanya berupa perhitungan GRK saja. Perhitungan tersebut juga hanya dipisahkan berdasarkan EN 15978 dan juga materialnya saja.
- g) *Tally* hanya tersedia untuk *Autodesk Revit* saja.



c. Evaluasi *OneClick LCA* dan *Tally* Berdasarkan EN 15978

Berdasarkan studi pustaka yang telah diperoleh mengenai Gas Rumah Kaca (GRK) pada subbab 2.8, terdapat 5 indikator GRK yang digunakan pada *OneClick LCA* dan *Tally*. Lima indikator Gas Rumah Kaca tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Indikator Gas Rumah Kaca

No.	Gas Rumah Kaca	<i>OneClick LCA</i>	<i>Tally</i>	
1.	<i>Global Warming Potential</i> (CO _{2e})	Ya	Ya	
2.	<i>Acidification Potential</i> (SO _{2e})	Ya	Ya	
3.	<i>Eutrophication Potential</i>	(PO _{4e})	Ya	Tidak
		(N _{eq})	Tidak	Ya
4.	<i>Ozone Depletion Potential</i> (CFC)	Ya	Ya	
5.	<i>Smog Formation Potential</i>	C ₂ H _{6e}	Ya	Tidak
		O _{3e}	Tidak	Ya

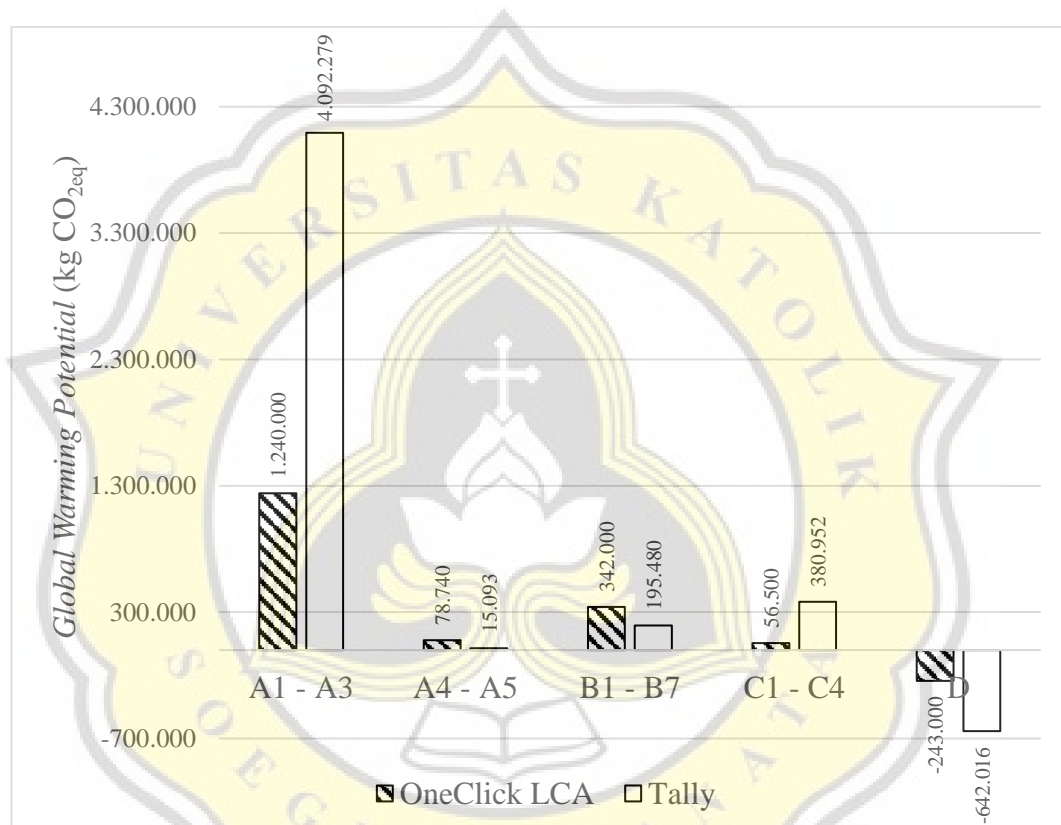
Indikator yang pertama adalah *Global Warming Potential*. Pemanasan global (*Global Warming*) merupakan pemanasan jangka panjang permukaan bumi yang diobservasi sejak periode pre-industrial (diantara tahun 1850 dan 1900) karena aktivitas manusia, penggunaan sumber daya fosil yang menyebabkan peningkatan suhu yang terperangkap pada atmosfer (Nasa Climate, 2022).

Gas CO₂ menjadi indikator dalam pemanasan global karena gas tersebut meredam sinar infra merah, sehingga panas yang dipancarkan oleh bumi dan panas matahari yang dipantulkan oleh bumi terserap oleh gas tersebut (Kemendikbud, 2019).

Berdasarkan Tabel 4.15, nilai gas CO_{2eq} yang dihasilkan oleh *Tally* lebih besar dari yang dihasilkan oleh *OneClick LCA*. Hal tersebut disebabkan *Tally* menghitung volume beton dan baja tulangan secara terpisah, sedangkan *OneClick LCA* menghitung volume keduanya sebagai satu kesatuan sehingga menyebabkan perbedaan massa keseluruhan material yang cukup signifikan. Selain itu, pada tahap A1 – A3, perbedaan terlihat cukup signifikan karena *Tally* menghitung transportasi setiap material *mix design* seperti semen, agregat kasar dan agregat halus sedangkan *OneClick* hanya menghitung transportasi dari *supplier* menuju ke *site*.

Selain itu, emisi CO₂ pada tahap A1 – A3 yang lebih besar dari tahap-tahap sebelumnya disebabkan oleh proses kalsinasi atau pengapuran batu kapur yang merupakan bahan dasar klinker semen. Pembakaran dari bahan bakar fosil serta

energi listrik yang digunakan untuk mencapai temperatur yang dibutuhkan pada klin ($1400 - 1500^{\circ}\text{C}$) membuat emisi CO_2 yang dihasilkan meningkat (Markinkovic, 2013). Proses kimia dari reaksi CaCO_3 yang dipanaskan untuk memperoleh CaO juga menghasilkan gas CO_2 (Sjunnesson). Grafik perbandingan estimasi $\text{CO}_{2\text{Eq}}$ antara *OneClick LCA* dan *Tally* dapat diperlihatkan pada Gambar 4.12.



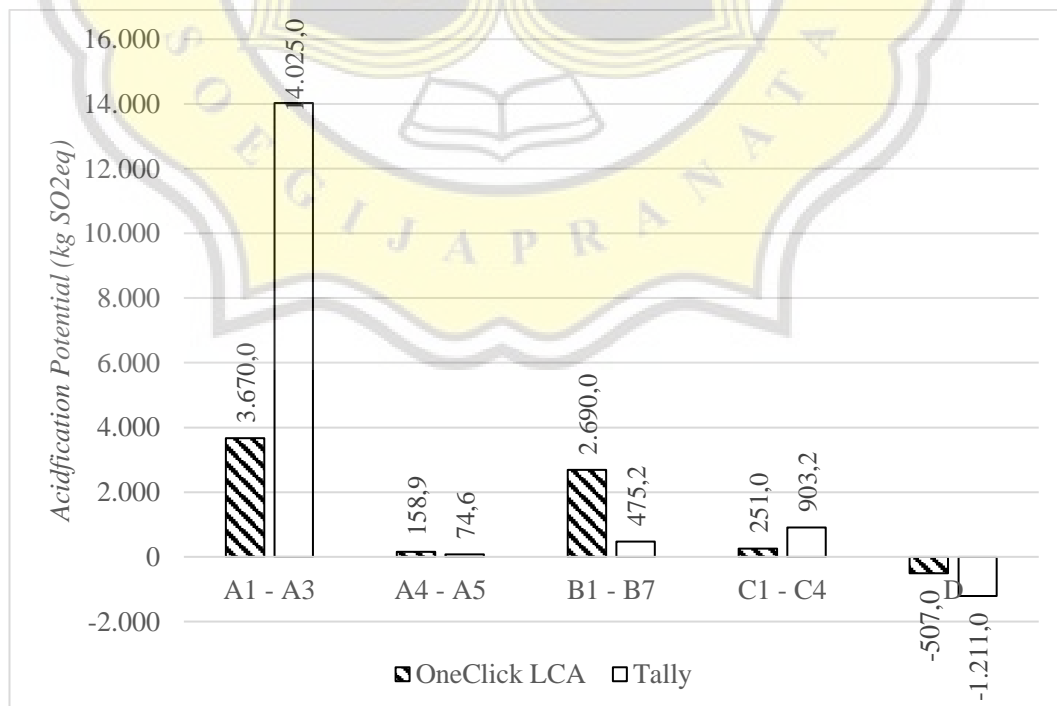
Gambar 4.12 Perbandingan Estimasi $\text{CO}_{2\text{eq}}$ Antara *OneClick LCA* dan *Tally*

Penelitian yang dilakukan oleh Najjar, dkk. (2017) dengan menggunakan *Tally* juga memperoleh hasil $\text{CO}_{2\text{eq}}$ yang cukup besar yaitu 2.047.248 kg pada bangunan dengan luas 2.730 m^2 dan masa layan selama 50 tahun, namun penelitian tersebut hanya menghitung modul *product stage*, *use stage*, dan *end-of-life stage*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Morsi, dkk. (2022) dengan menggunakan *OneClick LCA* memperoleh hasil sebesar 1.720.000 kg pada bangunan dengan luas 7.247 m^2 dengan masa layan selama 50 tahun menghitung keseluruhan modul pada EN 15978.

Tabel 4.16 Hasil Estimasi Indikator *Global Warming Potential* (kg CO_{2eq})

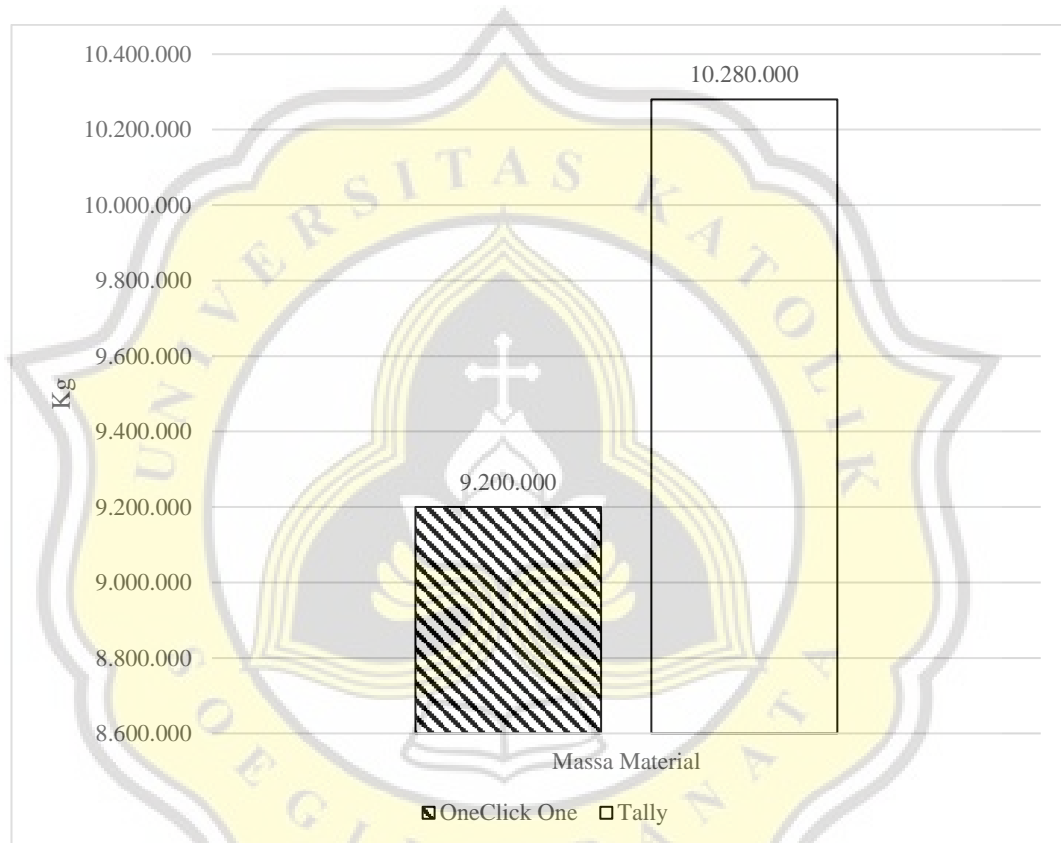
No.	Modul	<i>OneClick LCA</i>	<i>Tally</i>
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	1.240.000	4.092.279
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	78.740	15.093
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	342.000	195.480
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	56.500	380.952
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-243.000	-642.016

Indikator yang kedua adalah *Acidification Potential*. Potensi peningkatan keasaman (*Acidification Potential*) adalah pengukuran dari kapasitas molekul untuk menambah konsentrasi ion nutrient (H⁺) pada air yang menyebabkan penurunan nilai pH (Tally, 2022). Gas SO₂ muncul akibat dari penggunaan listrik yang digunakan oleh bangunan tersebut. Penggunaan listrik yang maksud bukan hanya listrik yang digunakan secara langsung, melainkan juga listrik yang digunakan pada saat pembuatan bahan-bahan pembuat beton seperti semen dan agregat dan juga proses produksi beton itu sendiri (Markinkovic, 2013). Grafik perbandingan estimasi SO_{2eq} antara *OneClick LCA* dan *Tally* dapat diperlihatkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Perbandingan Estimasi SO_{2eq} Antara *OneClick LCA* dan *Tally*

Berdasarkan Tabel 4.16, nilai gas SO_{2eq} yang dihasilkan oleh *Tally* lebih besar dari yang dihasilkan oleh *OneClick LCA*. Hal tersebut disebabkan oleh massa material yang dihitung oleh *Tally* jauh lebih besar dibandingkan dengan *OneClick LCA*. Massa material yang dihitung oleh *OneClick LCA* adalah 9.200.000 kg, sedangkan massa yang dihitung *Tally* adalah 10.280.000 kg. Grafik perbandingan massa material antara *OneClick LCA* dan *Tally* dapat diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perbandingan Massa Material Antara *OneClick LCA* dan *Tally*

Penelitian yang dilakukan oleh Najjar, dkk. (2017) dengan menggunakan *Tally* juga memperoleh hasil SO_{2eq} yaitu 6.675 kg pada bangunan dengan luas 2.730 m² dan masa layan selama 50 tahun, namun penelitian tersebut hanya menghitung modul *product stage*, *use stage*, dan *end-of-life stage*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Morsi, dkk. (2022) dengan menggunakan *OneClick LCA* memperoleh hasil SO_{2eq} sebesar 46.000 kg pada bangunan dengan luas 1.446 m² dengan masa layan selama 50 tahun keseluruhan modul pada EN 15978.

Tabel 4.17 Hasil Estimasi Indikator *Acidification Potential* (kg SO_{2eq})

No.	Modul	<i>OneClick LCA</i>	<i>Tally</i>
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	3.670	14.025
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	158,9	74,61
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	2.690	475,2
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	251	903,2
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-507	-1.211

Pada Tabel 4.14 diperlihatkan bahwa 2 dari 5 indikator GRK pada *OneClick LCA* dan *Tally* memiliki perbedaan pada gas yang digunakan sebagai indikator pada *Eutrophication* dan *Smog Formation*. Eutrofikasi (*Eutrophication*) adalah proses ketika bahan organik masuk ke dalam badan air sehingga meningkatkan kadar mineral dan nutrient terutama nitrogen dan fosfor (Alfionita, dkk., 2019). *Software OneClick LCA* berfokus pada unsur fosfor (PO₄) yang dihasilkan sedangkan *Tally* berfokus pada unsur nitrogen (N) yang dihasilkan. Pada proses konstruksi, senyawa N dan P dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang dilakukan pada saat produksi dan distribusi bahan material pembuatan beton ke *batching plant* maupun produksi dan distribusi beton (Sjunnesson, 2005).

Hasil estimasi nitrogen dari *Tally* diperlihatkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Estimasi *Eutrophication Potential Tally* (kg N_{eq})

No.	Modul	<i>Tally</i>
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	611,3
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	5,001
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	22,57
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	45,80
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-48,4

Hasil estimasi fosfor dari *OneClick LCA* diperlihatkan pada Tabel 4.19.

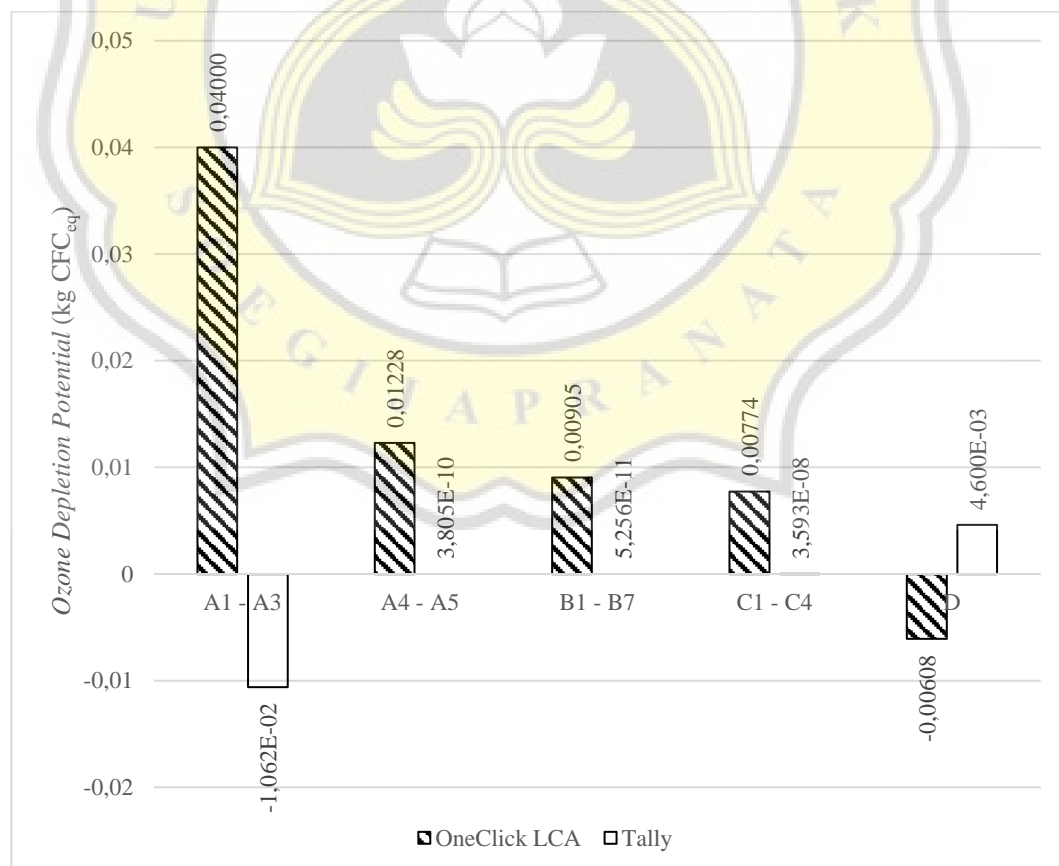
Tabel 4.19 Hasil Estimasi Indikator *Eutrophication Potential OneClick LCA* (kg PO₄)

No.	Modul	<i>OneClick LCA</i>
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	950



No.	Modul	OneClick LCA
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	33,9
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	619
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	56,5
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-175

Indikator yang keempat adalah *Ozone Depletion Potential*. Penipisan lapisan ozon (*Ozone Depletion*) adalah kerusakan yang terjadi ketika unsur klor dan brom melakukan kontak dengan ozon di stratosfer karena kedua unsur tersebut menghancurkan molekul ozon. Penyebab penipisan ozon yang disebabkan oleh senyawa klor diantaranya adalah CFC, HCFC, CCl₃, CH₃CCl₃ atau C₂H₃Cl₃. Sedangkan penyebab penipisan ozon yang disebabkan oleh senyawa brom diantaranya adalah CBrF₃ (Halons) dan CH₃Br (*United States Environmental Protection Agency*, 2021). Grafik perbandingan estimasi CFC-11_{eq} antara *OneClick LCA* dan *Tally* dapat diperlihatkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Perbandingan Estimasi CFC Antara *OneClick LCA* dan *Tally*



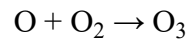
Berdasarkan Tabel 4.20, nilai gas CFC-11_{eq} yang dihasilkan oleh *OneClick LCA* lebih besar dari yang dihasilkan oleh *Tally*. CFC-11_{eq} dihasilkan dari proses pemanasan yang dilakukan pada saat pembuatan semen serta pemasangan pada produksi minyak bumi yang digunakan pada pemanasan maupun transportasi (Sjunnesson, 2005).

Tabel 4.20 Hasil Estimasi Indikator *Ozone Depletion Potential* (kg CFC-11_{eq})

No.	Modul	<i>OneClick LCA</i>	<i>Tally</i>
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	0,04	-0,01062
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	0,012281	$3,805 \times 10^{-10}$
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	0,00905	$5,256 \times 10^{-11}$
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	0,00774	$3,593 \times 10^{-8}$
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-0,00608	0,0046

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Najjar, dkk. (2017), nilai CFC-11_{eq} yang dihasilkan oleh perhitungan LCA dengan menggunakan *Tally* memang relatif kecil, secara total hanya berkisar antara 0,003147 hingga 0,004756 kg, namun penelitian tersebut hanya menghitung modul *product stage*, *use stage*, dan *end-of-life stage*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Morsi, dkk. (2022) dengan menggunakan *OneClick LCA* memperoleh hasil CFC-11_{eq} sebesar 2,44 kg pada bangunan dengan luas 1.446 m² dengan masa layan selama 50 tahun keseluruhan modul pada EN 15978.

Indikator yang terakhir adalah *Smog Formation Potential*. Potensi pembentukan asap (*Smog Formation Potential*) adalah pengukuran dari lapisan paling bawah ozon yang disebabkan oleh berbagai reaksi kimia antara nitrogen oksida (NO_x) dan senyawa organik aromatik (Etana) yang mudah menguap dalam cahaya matahari (Tally, 2022). Munculnya lapisan ozon tidak terjadi secara langsung. Reaksi antara senyawa nitrogen dioksida (NO₂) dengan cahaya matahari menghasilkan senyawa nitrogen oksida (NO) dan atom oksigen (O). Atom oksigen tersebut kemudian bereaksi dengan molekul oksigen (O₂) di udara dan membentuk lapisan ozon (O₃) (Edward, 1998).



Gambar 4.16 Reaksi Pembentukan Lapisan Ozon (Sumber : Diolah kembali dari Edward, 1998)

Senyawa NO_x yang lepas ke udara pada saat pembuatan dan pengoperasian gedung dihasilkan oleh proses pembakaran dan konsumsi energi listrik, terutama pada proses pembuatan semen dimana energi listrik dan fosil banyak digunakan (Heede dan Belie, 2012). Pada Tabel 4.14 diperlihatkan bahwa *Tally* dan *OneClick LCA* menganalisis senyawa gas yang berbeda. Hasil estimasi O_3 dari *Tally* diperlihatkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Estimasi *Smog Formation* (kg $\text{O}_{3\text{eq}}$)

No.	Modul	Tally
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	207.207
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	2.170
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	12.312
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	17.961
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-15.666

Sumber energi yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar fosil pada negara dengan pendapatan tinggi dan rendah serta pembakaran biomass menyumbang 85% polusi udara dan hampir keseluruhan SO_2 dan NO_x pada atmosfer. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil juga menghasilkan karbon hitam, *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH), merkuri, dan juga senyawa kimia aromatik (Etana) yang membentuk lapisan ozon pada dasar lapisan atmosfer (Perera, 2017).

Tabel 4.22 Hasil Estimasi *Smog Formation* (kg Etana_{eq})

No.	Modul	OneClick LCA
1.	A1 – A3 (<i>Product Stage</i>)	174
2.	A4 – A5 (<i>Construction Process Stage</i>)	12,64
3.	B1 – B7 (<i>Use Stage</i>)	91,9
4.	C1 – C4 (<i>End-of-Life Stage</i>)	15,3
5.	D (<i>Benefits and loads the system boundary</i>)	-29,6



Berbeda dengan *Tally* yang menggunakan senyawa NO_x sebagai indikator dalam mengukur *smog formation potential*, *OneClick LCA* menggunakan senyawa etana sebagai indikator. Hasil estimasi Etana dari *OneClick LCA* diperlihatkan pada Tabel 4.21.

d. Limitasi

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan sebagai berikut.

- 1) Keterbatasan penelitian ini adalah kedua *software*, baik *OneClick LCA* maupun *Tally* tidak dapat menghitung estimasi Gas Rumah Kaca (GRK) dari volume baja tulangan yang dihasilkan dari *Autodesk Revit*. *Tally* menggunakan asumsi rasio tulangan untuk mendapatkan volume baja tulangan. Sedangkan *OneClick LCA* dalam menghitung volume baja tulangan dan volume beton dianggap satu kesatuan sehingga aplikasi tersebut menghitung dengan menggunakan berat jenis beton bertulang (2.400 kg/m^3) untuk mendapatkan volume tulangan.
- 2) Kedua *software* tersebut tidak menghitung semua komponen Gas Rumah Kaca (GRK). Pada indikator *Eutrophication Potential*, *OneClick LCA* menggunakan senyawa fosfor (PO_4) sebagai indikator sedangkan *Tally* menggunakan unsur nitrogen (N) sebagai indikator. Kemudian pada indikator *Smog Formation*, *OneClick LCA* menggunakan Etana sebagai indikator, sedangkan *Tally* menggunakan unsur ozon (O_3) sebagai indikator.