

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen proyek pembangunan Gedung Pusat Layanan Haji dan Umrah Terpadu (PLHUT) Kabupaten Pangandaran. Data ini menjadi instrumen utama untuk melakukan rekonstruksi model digital serta sebagai pembandingan terhadap perhitungan volume berbasis BIM.

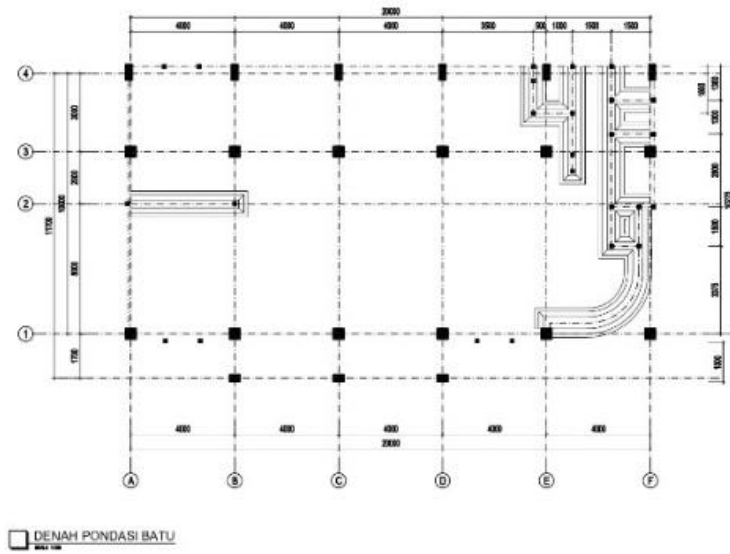
5.1.1. Informasi Proyek

Nomor Kontrak	: B-471/Kk.10.27./KS.01.1/05/2022
Tanggal Kontrak	: 24 Mei 2022
Pekerjaan	: Pembangunan Gedung Pusat Layanan Haji dan Umrah Terpadu (PLHUT) Kabupaten Pangandaran
Lokasi	: Desa Ciliang Kecamatan Parigi
Nilai Kontrak	: Rp. 2,279,670,000.00
Sumber Dana	: DIPA Kantor Kemenag Kab. Pangandaran (SBSN)
Tahun Anggaran	: 2022
Waktu Pelaksanaan	: 150 Hari Kalender (24 Mei 2022 s.d 20 Oktober 2022)

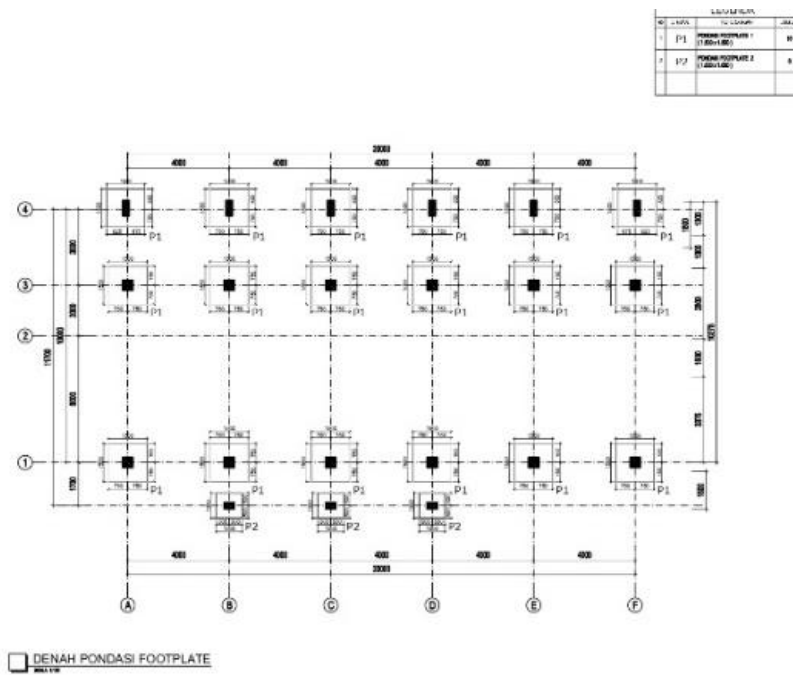
5.1.2. Gambar Proyek

Gambar proyek yang digunakan terdiri dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED) yang menjadi acuan utama dalam pembuatan model 3D pada perangkat lunak *Autodesk Revit 2024*. Dokumen gambar ini meliputi:

1. Denah Pondasi

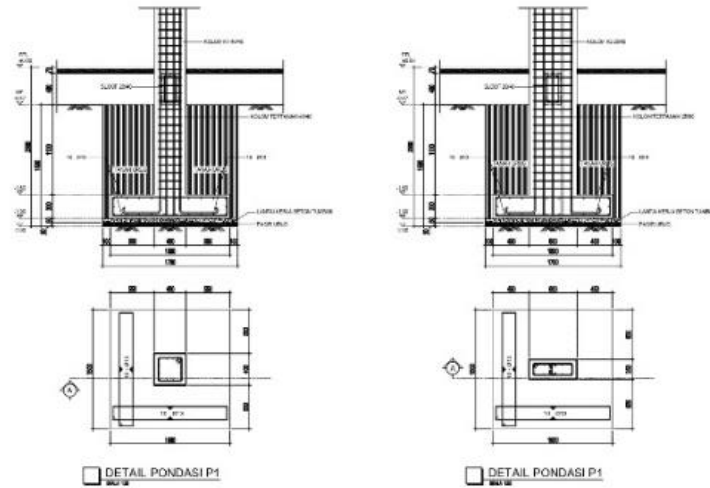


Gambar 5.1 Denah Pondasi Batu
(Sumber : DED Dokumen Proyek)

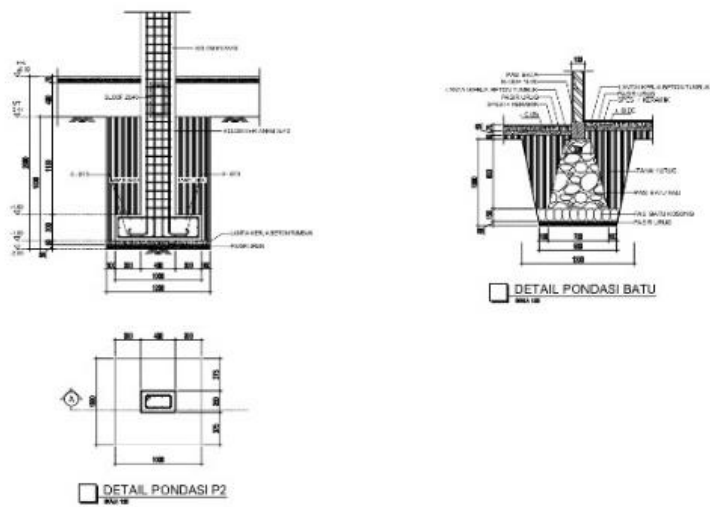


Gambar 5.2 Denah Pondasi Footplate
(Sumber : DED Dokumen Proyek)

2. Detail Potongan Pondasi

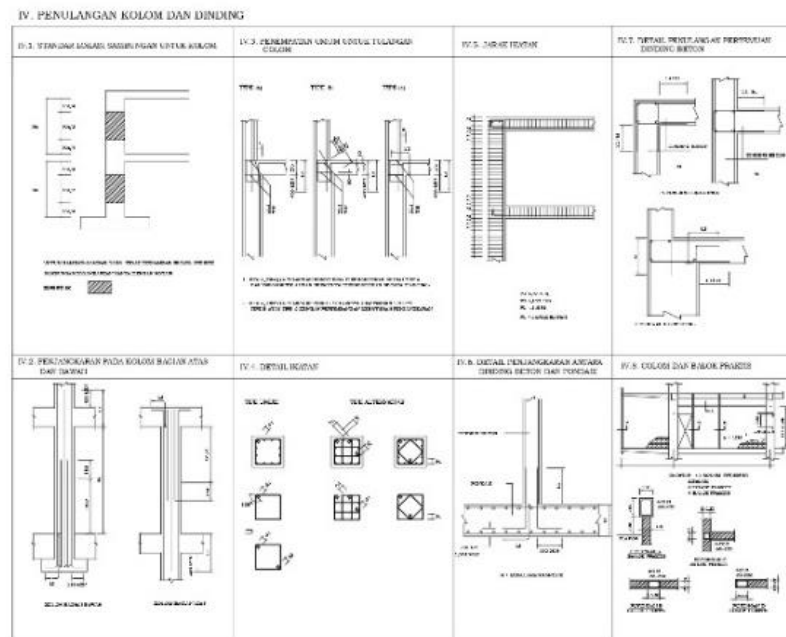


Gambar 5.3 Detail Pondasi *Footplate*
(Sumber : DED Dokumen Proyek)



Gambar 5.4 Detail Pondasi Batu
(Sumber : DED Dokumen Proyek)

3. Gambar Penulangan



Gambar 5.5 Detail Penulangan
(Sumber : DED Dokumen Proyek)

5.1.3. Biaya Proyek

Komponen finansial merupakan determinan utama dalam mengukur efektivitas pelaksanaan konstruksi. Dalam penelitian ini, data biaya berfungsi sebagai parameter krusial untuk melakukan sinkronisasi antara volume material dengan nilai ekonomi proyek. Data anggaran yang bersumber dari dokumen sekunder pembangunan Gedung PLHUT Kabupaten Pangandaran dirinci sebagai berikut:

1. Harga Satuan Bahan dan Pekerja

Tabel 5.1 Harga Satuan Bahan

NO	URAIAN	SAT	Harga Satuan Rp.
1.	Pasir Urug	m ³	140.000,00
2.	Batu Belah 15/20	m ³	175.000,00
3.	Semen Portland	kg	1.180,00
4.	Pasir Pasang	m ³	170.000,00
5.	Pasir Beton	m ³	250.000,00
6.	Kerikil (Maks 30mm)	m ³	260.000,00
7.	Air	ltr	50,00
8.	Beton Ready mix	m ³	1.055.600,00
9.	Alat Bantu (Selang & Pompa)	ls	1.055.600,00
10.	Besi Beton (Polos / ulir)	kg	13.500,00
11.	Kawat Beton	kg	25.000,00
12.	Kayu Terentang Albasiah, Papan	m ³	2.085.000,00
13.	Paku 5 cm s/d 10 cm	kg	16.000,00
14.	Minyak Bekisting	ltr	8.500,00

(Sumber : Dokumen Proyek)

Tabel 5.2 Harga Satuan Upah

NO	URAIAN	SAT	Harga Satuan Rp.
1.	Pekerja	Oh	85.000,00
2.	Mandor	Oh	125.000,00

(Sumber : Dokumen Proyek)

2. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Tabel 5.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

ANALISA SATUAN PEKERJAAN TAHUN 2022				
URAIAN 1	KOEF 2	SATUAN 3	HARGA SATUAN 4	JUMLAH 5 = 2 x 4
PENGGAJIAN 1 M3 TANAH BIASA SEDALAM 2 METER				
BAHAN :				
Jumlah Bahan				
UPAH :				
Pekerja	0,9000	Oh	85.000,00	76.500,00
Mandor	0,0450	Oh	125.000,00	5.625,00
Jumlah Pekerja				82.125,00
Jumlah Bahan + Pekerja				82.125,00
Keuntungan Max. 10 %				8.212,50
Jumlah Total				90.337,50
Dibulatkan				90.300,00
PENGURUGAN 1 M3 KEMBALI GALIAN TANAH				
BAHAN :				
Jumlah Bahan				
UPAH :				
Pekerja	0,5000	Oh	85.000,00	42.500,00
Mandor	0,0500	Oh	125.000,00	6.250,00
Jumlah Pekerja				48.750,00
Jumlah Bahan + Pekerja				48.750,00
Keuntungan Max. 10 %				4.875,00
Jumlah Total				53.625,00
Dibulatkan				53.600,00
PENGURUGAN 1 M3 PASIR URUG				
BAHAN :				
Pasir Urug	1,2000	m ³	140.000,00	168.000,00
Jumlah Bahan				
UPAH :				
Pekerja	0,3000	Oh	85.000,00	25.500,00
Mandor	0,0100	Oh	125.000,00	1.250,00

ANALISA SATUAN PEKERJAAN TAHUN 2022				
URAIAN 1	KOEF 2	SATUAN 3	HARGA SATUAN 4	JUMLAH 5 = 2 x 4
Jumlah Pekerja				26.750,00
Jumlah Bahan + Pekerja				194.750,00
Keuntungan Max. 10 %				19.475,00
Jumlah Total				214.225,00
Dibulatkan				214.200,00
PEMASANGAN 1 M3 PONDASI BATU BELAH CAMPURAN 1 SP : 5 PP				
BAHAN :				
Batu Belah 15/20	1,2000	m ³	175.000,00	210.000,00
Semen Portland	136,0000	kg	1.180,00	160.480,00
Pasir Pasang	0,5440	m ³	170.000,00	92.480,00
Jumlah Bahan				462.960,00
UPAH :				
Pekerja	1,5000	Oh	85.000,00	127.500,00
Tukang Batu	0,7500	Oh	110.000,00	82.500,00
Kepala Tukang	0,0750	Oh	120.000,00	9.000,00
Mandor	0,0750	Oh	125.000,00	9.375,00
Jumlah Pekerja				228.375,00
Jumlah Bahan + Pekerja				691.335,00
Keuntungan Max. 10 %				69.133,50
Jumlah Total				760.468,50
Dibulatkan				760.400,00
PEMASANGAN 1 M3 AANSTAMPING BATU KOSONG				
BAHAN :				
Batu Belah 15/20	1,2000	m ³	175.000,00	210.000,00
Pasir Urug	0,4320	m ³	140.000,00	60.480,00
Jumlah Bahan				270.480,00
UPAH :				
Pekerja	0,7800	Oh	85.000,00	66.300,00
Tukang Batu	0,3900	Oh	110.000,00	42.900,00
Kepala Tukang	0,0390	Oh	120.000,00	4.680,00
Mandor	0,0390	Oh	125.000,00	4.875,00
Jumlah Pekerja				118.755,00
Jumlah Bahan + Pekerja				389.235,00

ANALISA SATUAN PEKERJAAN TAHUN 2022				
URAIAN 1	KOEF 2	SATUAN 3	HARGA SATUAN 4	JUMLAH 5 = 2 x 4
Keuntungan Max. 10 %				38.923,50
Jumlah Total				428.158,50
Dibulatkan				428.100,00
MEMBUAT 1 M3 LANTAI KERJA BETON MUTU F'c = 7,2 Mpa (K 100), SLUMP (3-6) CM, W/C = 0,87				
BAHAN :				
Semen Portland	230,000	kg	1.180,00	271.400,00
Pasir Beton	0,6379	m ³	250.000,00	159.464,29
Kerikil (Maks 30mm)	0,7607	m ³	260.000,00	197.792,59
Air	200,00	ltr	50,00	10.000,00
Jumlah Bahan				
UPAH :				
Pekerja	1,2000	Oh	85.000,00	102.000,00
Tukang Batu	0,2000	Oh	110.000,00	22.000,00
Kepala Tukang	0,0200	Oh	120.000,00	2.400,00
Mandor	0,0600	Oh	125.000,00	7.500,00
Jumlah Pekerja				133.900,00
Jumlah Bahan + Pekerja				772.556,88
Keuntungan Max. 10 %				77.255,69
Jumlah Total				849.812,57
Dibulatkan				849.800,00
MEMBUAT 1 M3 LANTAI KERJA BETON MUTU F'c = 21,7 Mpa (K 250), SLUMP (12 ± 2) CM, W/C = 0,56				
BAHAN :				
Beton Ready mix	1,0000	m ³	1.055.600,00	1.055.600,00
Alat Bantu (Selang & Pompa)	0,1000	ls	1.055.600,00	105.560,00
Jumlah Bahan				1.161.160,00
UPAH :				
Pekerja	1,6500	Oh	85.000,00	140.250,00
Tukang Batu	0,2750	Oh	110.000,00	30.250,00
Kepala Tukang	0,0280	Oh	120.000,00	3.360,00
Mandor	0,0830	Oh	125.000,00	10.375,00
Jumlah Pekerja				184.235,00
Jumlah Bahan + Pekerja				1.345.395,00
Keuntungan Max. 10 %				134.539,50
Jumlah Total				1.479.934,50

ANALISA SATUAN PEKERJAAN TAHUN 2022				
URAIAN 1	KOEF 2	SATUAN 3	HARGA SATUAN 4	JUMLAH 5 = 2 x 4
Dibulatkan				1.479.900,00
PEMBESIAN 1 Kg DENGAN BESI POLOS ATAU BESI ULIR				
BAHAN :				
Besi Beton (Polos / ulir)	1,0500	kg	13.500,00	14.175,00
Kawat Beton	0,0150	kg	25.000,00	375,00
Jumlah Bahan				14.550,00
UPAH :				
Pekerja	0,0070	Oh	85.000,00	595,00
Tukang Besi	0,0070	Oh	110.000,00	770,00
Kepala Tukang	0,0007	Oh	120.000,00	84,00
Mandor	0,0004	Oh	125.000,00	50,00
Jumlah Pekerja				1.499,00
Jumlah Bahan + Pekerja				16.049,00
Keuntungan Max. 10 %				1.604,90
Jumlah Total				17.653,90
Dibulatkan				17.600,00
PEMASANGAN 1 M2 BEKISTING UNTUK PONDASI				
BAHAN :				
Kayu Terentang Albasiyah, Papan	0,0350	m ³	2.085.000,00	72.975,00
Paku 5 cm s/d 10 cm	0,3000	kg	16.000,00	4.800,00
Minyak Bekisting	0,1000	ltr	8.500,00	850,00
Jumlah Bahan				78.625,00
UPAH :				
Pekerja	0,5200	Oh	85.000,00	44.200,00
Tukang Kayu	0,2600	Oh	110.000,00	28.600,00
Kepala Tukang	0,0260	Oh	120.000,00	3.120,00
Mandor	0,0260	Oh	125.000,00	3.250,00
Jumlah Pekerja				79.170,00
Jumlah Bahan + Pekerja				157.795,00
Keuntungan Max. 10 %				15.779,50
Jumlah Total				173.574,50
Dibulatkan				173.500,00

(Sumber : Dokumen Proyek)

3. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tabel 5.4 Rencana Anggaran Biaya

ESTIMASI BIAYA KONVENSIONAL					
NO	URAIAN PEKERJAAN				
		SAT.	VOLUME	HARGA SATUAN Rp.	JUMLAH HARGA SATUAN Rp.
I.	PEK. TANAH DAN PONDASI				
1	Pek. Galian tanah pondasi Plat Beton	m3	84,51	90.300,00	7.631.253,00
2	Pek. Urugan tanah kembali	m3	53,21	53.600,00	2.852.056,00
3	Pek. Timbunan pilihan peninggian bangunan	m3	191,88	92.800,00	17.806.464,00
4	Pek. Urugan pasir alas pondasi	m3	2,81	214.200,00	601.902,00
5	Pek. Pas. Pondasi batu belah 1 : 5	m3	12,60	760.400,00	9.581.040,00
6	Pek. Pas. Anstamping	m3	4,25	428.100,00	1.819.425,00
Jumlah					40.292.140,00
II.	PEK. BETON				
1	Pek. Lantai Kerja Pondasi Plat Beton	m3	2,81	849.800,00	2.387.938,00
2	Pek. Pondasi Plat P1 150 x 150 cm	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	12,15	1.479.900,00	17.980.785,00
	Besi U 24/U 39	Kg	1.296,918	17.600,00	22.825.756,80
	Begisting	m2	27,61	173.500,00	4.790.335,00
3	Pek. Pondasi Plat P2 100 x 100 cm	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	0,90	1.479.900,00	1.331.910,00
	Besi U 24/U 39	Kg	123,003	17.600,00	2.164.852,80
	Begisting	m2	3,94	173.500,00	683.590,00
4	Pek. Sloof 15/20	m3			
	Beton K 175	m3	1,19	1.479.900,00	1.761.081,00
	Besi U 24/U 39	Kg	136,28	17.600,00	2.398.528,00
	Begisting	m2	21,95	173.500,00	3.808.325,00
5	Pek. Sloof 20/40	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	9,84	1.479.900,00	14.562.216,00
	Besi U 24/U 39	Kg	909,47	17.600,00	16.006.672,00
	Begisting	m2	123,02	173.500,00	21.343.970,00
Jumlah					58.119.711,00

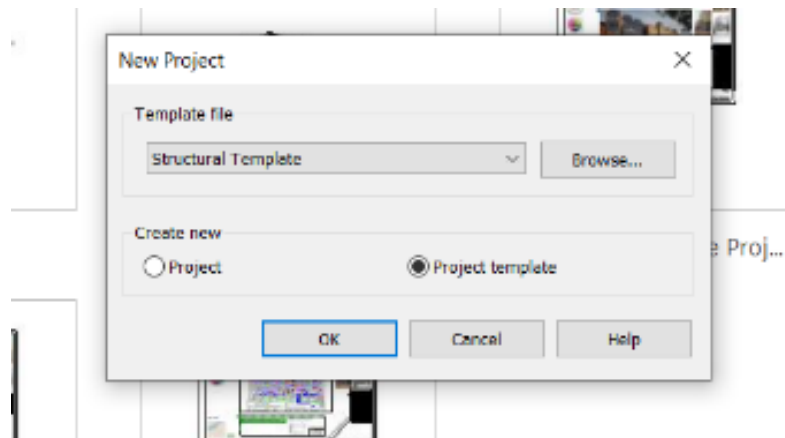
(Sumber : Dokumen Proyek)

5.2. Hasil Penelitian

5.2.1. Proses Permodelan Dalam Bentuk 3D

Proses ini merupakan tahap "membangun gedung secara digital" di dalam komputer menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit 2024. Data awal yang digunakan adalah gambar dua dimensi (2D) konvensional yang kemudian diubah menjadi model tiga dimensi (3D) yang padat dan memiliki informasi akurat. Langkah-langkah detailnya adalah sebagai berikut:

1. **Inisialisasi Berkas Baru dan Pemilihan Template Kerja** Sebelum mulai menggambar, peneliti membuka perangkat lunak Autodesk Revit 2024 dan membuat proyek baru melalui menu *New Project*. Pada tahap ini, peneliti memilih *Structural Template*. Pilihan ini penting agar sistem komputer langsung menyediakan menu khusus untuk elemen sipil (seperti beton, besi, dan pondasi) dan bukan menu arsitektur (seperti pintu atau jendela). Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.6.

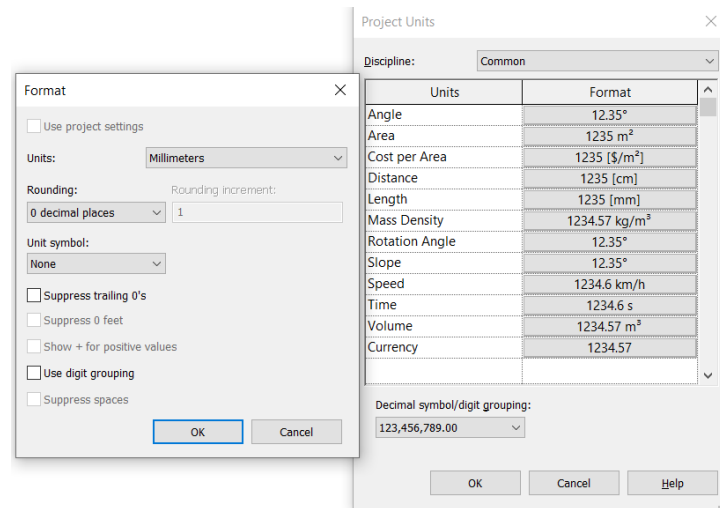


Gambar 5.6. Tampilan Awal Perangkat lunak Autodesk Revit
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

2. **Pengaturan Satuan Dimensi Proyek (*Project Units*)**

Agar ukuran di komputer sama persis dengan ukuran asli di lapangan, peneliti menyamakan satuan ukuran dengan cara mengetik perintah cepat UN (*Project Units*). Satuan panjang diubah ke milimeter (mm). Tahap ini sangat krusial bagi orang awam untuk mengetahui bahwa kesalahan satu

titik desimal saja di komputer bisa membuat ukuran bangunan asli menjadi terlalu besar atau kecil, seperti pada Gambar 5.7.

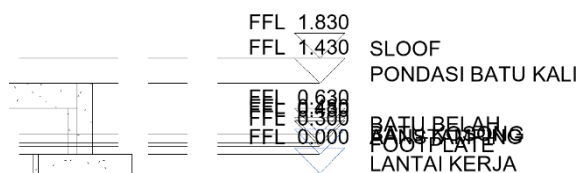


Gambar 5.7. Mengatur *Project Units*

(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

3. Pembuatan *Grid* dan Level Ketinggian (*Elevasi*)

Peneliti membuat "jangkar" atau pemandu posisi vertikal dan horizontal bangunan. Melalui pandangan samping (*elevation view*), ditentukan level ketinggian tanah galian, lantai kerja, tapak pondasi, hingga posisi balok pengikat (*sloof*). Setelah itu, ditentukan garis koordinat (*grid*) horizontal antar-kolom. Garis-garis ini berfungsi seperti garis-garis pada buku ramuan matematika, memastikan tidak ada elemen beton yang bergeser atau salah posisi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.8.

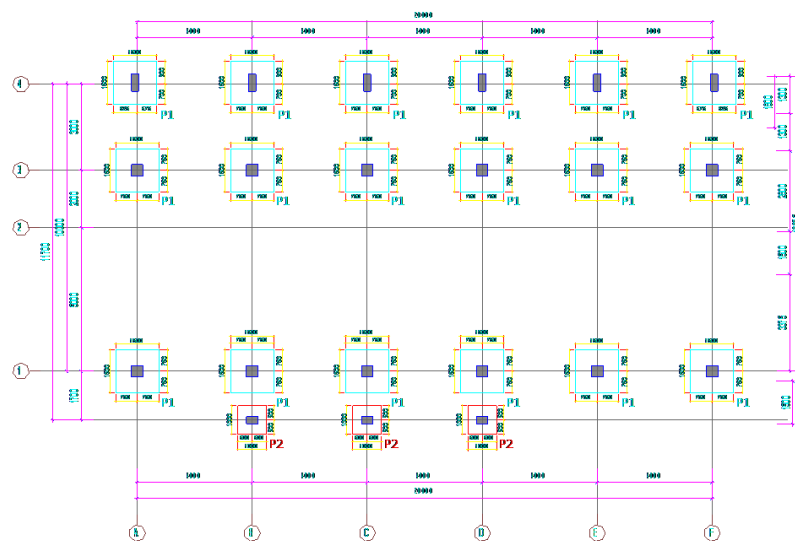


Gambar 5.8. Mengatur *Level*

(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

4. Memasukkan Gambar Acuan 2D (*Import CAD*)

Untuk memastikan tingkat akurasi posisi pondasi, berkas gambar cetak cetakan biru 2D (*file .dwg*) dimasukkan ke dalam program Revit menggunakan fitur *Link CAD* atau *Import CAD*. Gambar ini dipasang sebagai latar belakang (*underlay*) atau "jiplakan". Dengan metode menjiplak ini, posisi pondasi digital dipastikan 100% sama dengan rencana awal proyek. sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.9.



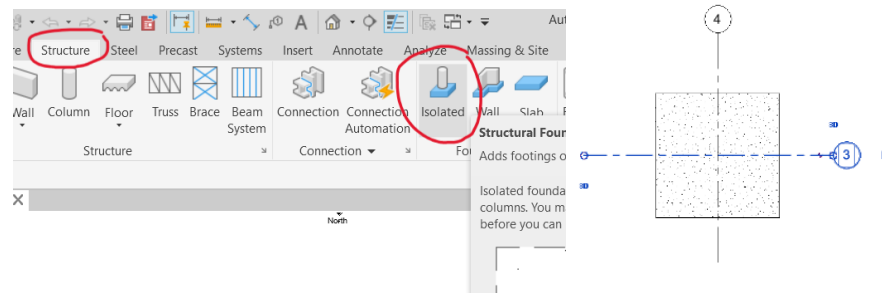
Gambar 5.9. Import Denah *Footplate*

(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

5. Pemodelan Pondasi Tapak Beton (*Footplate*)

Pemodelan Komponen Fondasi Plat Beton (*Structural Foundation: Isolated*). Setelah gambar acuan 2D terpasang secara presisi, tahapan dilanjutkan dengan melakukan pemodelan fisik objek 3D fondasi plat beton (*footplate*). Proses ini dilakukan dengan mengakses *toolbar Structure* lalu memilih fitur *Isolated Foundation*. Berdasarkan data Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan detail gambar proyek Gedung PLHUT Kabupaten Pangandaran, dilakukan pembuatan dua tipe famili (*family*) fondasi baru melalui opsi *Edit Type* dan *Duplicate*, yaitu:

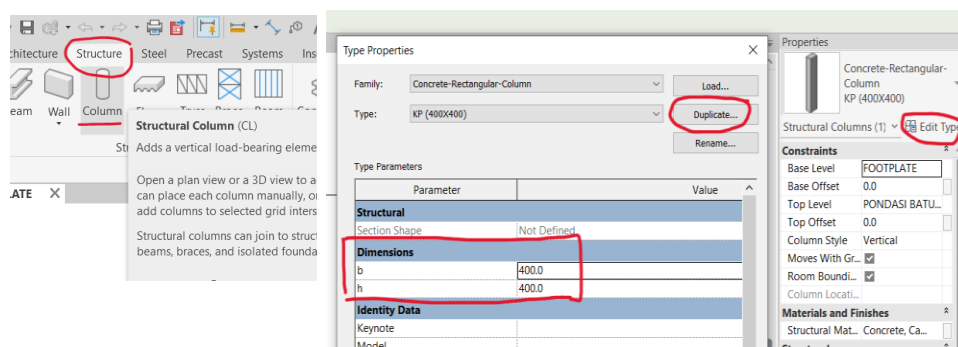
- Pondasi Tipe P1: Dikonfigurasi dengan dimensi panjang 150 cm, lebar 150 cm, dan ketebalan plat sesuai spesifikasi teknis DED.
- Pondasi Tipe P2: Dikonfigurasi dengan dimensi panjang 100 cm, lebar 100 cm, dan ketebalan plat sesuai spesifikasi teknis DED



Gambar 5.10. Membuat Fondasi Plat Beton Menggunakan Famili
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

6. Pemodelan Kolom Tiang Pendek (*Pedestal*)

Setelah pondasi tapak selesai, dibuat tiang beton pendek penumpu (*pedestal*) di atas tepat pada titik tengah (*center*) pondasi P1 dan P2 menggunakan fitur *Column-Edit Type-Duplicate-Ubah Dimensi Sesuai DED* Tiang ini diatur agar berdiri tegak lurus mengikat dari atas pondasi hingga batas bawah balok pengikat (*sloof*).

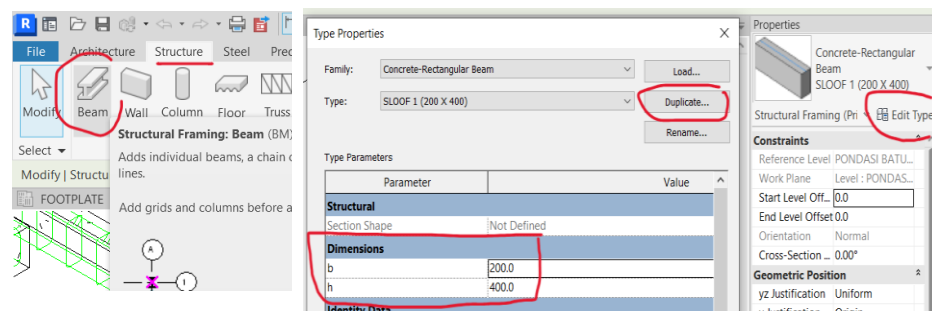


Gambar 5.11. Membuat Kolom Menggunakan Famili
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

7. Pemodelan Balok Pengikat Pondasi (*Sloof*)

Pemodelan Balok Pengikat (*Structural Framing: Sloof*). Setelah seluruh komponen fondasi tapak terpasang, tahapan dilanjutkan dengan melakukan pemodelan elemen balok pengikat atau *sloof*. Pemodelan ini dilakukan dengan mengakses *toolbar* Structure lalu memilih fitur Beam. Berdasarkan spesifikasi draf anggaran biaya proyek Gedung PLHUT Kabupaten Pangandaran, dibuat dua dimensi penampang *sloof* baru menggunakan fungsi Edit Type dan Duplicate, yaitu:

- Sloof Tipe 15/20: Dikonfigurasi dengan lebar penampang (b) sebesar 150 mm dan tinggi penampang (h) sebesar 200 mm.
- Sloof Tipe 20/40: Dikonfigurasi dengan lebar penampang (b) sebesar 200 mm dan tinggi penampang (h) sebesar 400 mm.

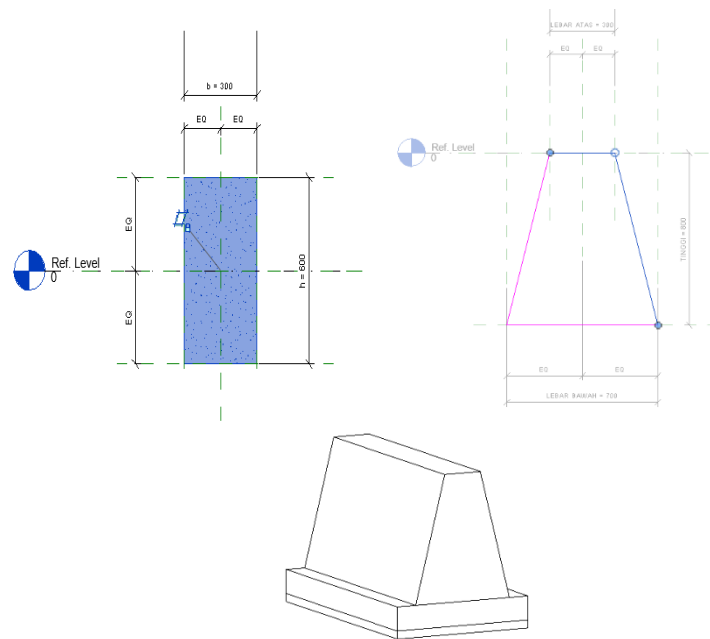


Gambar 5.12. Membuat Kolom Menggunakan Famili

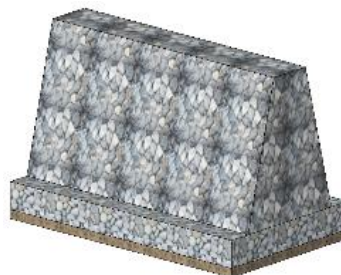
(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

8. Pemodelan Pondasi Menerus Batu Kali dan Pasangan Aanstamping.

Karena pondasi batu kali memiliki bentuk trapesium memanjang yang tidak ada di menu standar, peneliti membuat komponen khusus (*Custom Family*) menggunakan fitur *Solid Extrusion*. Bentuk trapesium digambar sesuai ukuran kertas rencana, lalu dimasukkan ke proyek utama dengan perintah *Load into Project*. Pondasi batu kali ini ditarik mengikuti jalur bawah *sloof* secara memanjang, lengkap dengan lapisan batu kosong (*aanstamping*) dan pasir urug di bawahnya. Seperti pada Gambar 5.13 dan 5.14.



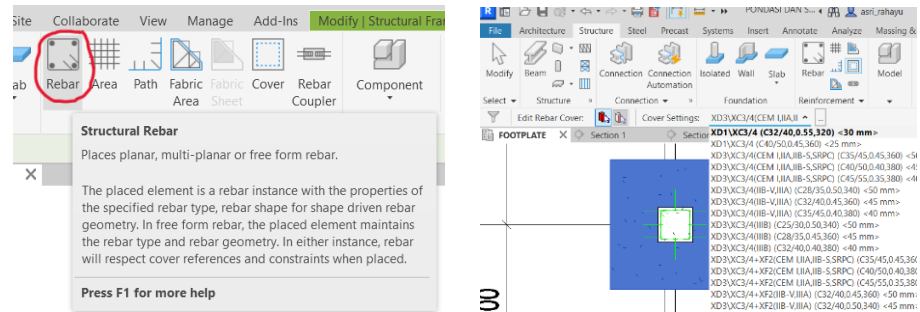
Gambar 5.13. Pembuatan Famili
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)



Gambar 5.14. Famili Pondasi Batu Kali
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

9. Memasukkan Besi Tulangan (*Structural Rebar*)

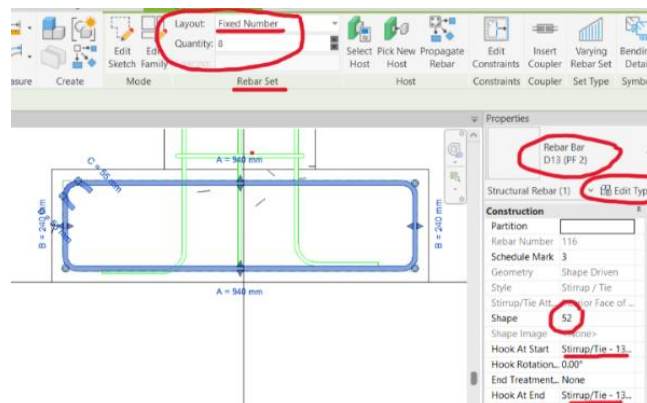
Proses ini dikerjakan dengan mengakses menu *Structure* lalu memilih fitur *Rebar*. Sebelum tulangan diletakkan, diatur terlebih dahulu ketebalan selimut beton (*concrete cover*) pada masing-masing elemen penampang struktural melalui opsi *Rebar Cover Settings*. Metode peletakan rebar menggunakan orientasi *Parallel to Cover* atau *Perpendicular to Cover* guna menjamin posisi besi berada tepat di dalam selimut beton, seperti yang diilustrasikan dalam bentuk visualisasi tiga dimensi pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15. Input Cover

(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

langkah selanjutnya adalah mengatur distribusi besi pada panel *Rebar Set*. Pada kolom *Layout*, peneliti memilih opsi *Fixed Number* dengan menentukan nilai *Quantity* sebesar 8 (atau disesuaikan dengan kebutuhan jumlah tulangan konvensional pada penampang tersebut). Langkah ini berfungsi untuk mengunci jumlah besi yang terpasang agar tidak berubah secara otomatis saat dimensi beton bergeser. Dan pada panel properti di sisi kanan, ditentukan bentuk geometri besi melalui parameter *Shape*. Seperti pada Gambar 5.16



Gambar 5.16. Pengaturan Penulangan

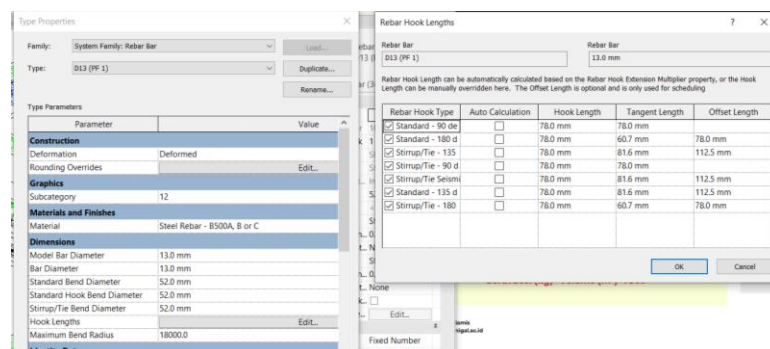
(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

Untuk menyesuaikan diameter tulangan dengan spesifikasi teknis proyek, peneliti membuka jendela *Type Properties* dengan mengklik tombol *Edit Type*. Peneliti membuat tipe besi baru bernama **D13** (Diameter 13 mm).

Di dalam menu ini, parameter dimensi fisik besi diubah secara manual pada bagian *Dimensions*, yang meliputi:

- *Model Bar Diameter*: 13,0 mm
- *Bar Diameter*: 13,0 mm
- *Standard Bend Diameter* (Diameter tekukan standar): 52,0 mm
- *Standard Hook Bend Diameter*: 52,0 mm
- *Stirrup/Tie Bend Diameter*: 52,0 mm

Agar penyaluran gaya antar-besi terpenuhi sesuai standar structural, peneliti melakukan penyesuaian panjang kait begal. Pada jendela *Type Properties* yang sama, peneliti mengklik tombol *Edit* di samping parameter *Hook Lengths*. Jendela *Rebar Hook Lengths* akan terbuka, di mana peneliti dapat mengatur panjang tekukan (*Hook Length*), panjang lurus (*Tangent Length*), serta jarak offset (*Offset Length*) secara presisi untuk tipe kait 90°, 135° (*Stirrup/Tie*), maupun 180°. Setelah seluruh parameter diisi dengan benar, klik *OK* untuk menerapkan penulangan tersebut pada model pondasi. Seperti Gambar 5.17



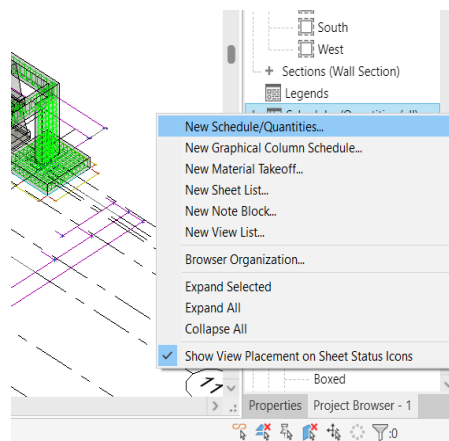
Gambar 5.17. Penulangan Pondasi

(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

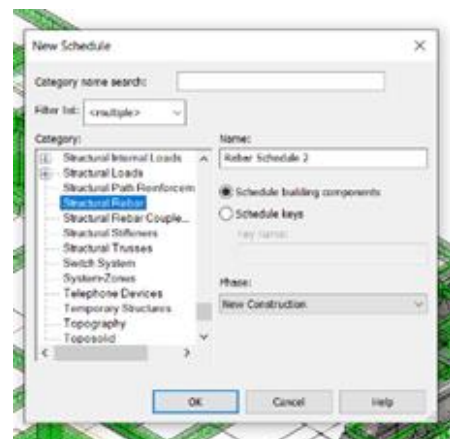
5.2.1. Proses Menghitung Volume Pekerjaan

1. Inisialisasi Tabel Kuantitas Melalui *Project Browser* Proses pembuatan jadwal (*schedule*) dan kalkulasi kuantitas tulangan dilakukan melalui panel navigasi *Project Browser* yang terletak di sisi ruang kerja. Langkah

ini dilakukan dengan mencari *heading* Schedules/Quantities, kemudian melakukan klik kanan pada menu tersebut dan memilih opsi New Schedule/Quantities. Selanjutnya, pada jendela dialog yang muncul, parameter Filter list diarahkan pada pilihan Structure, dan kategori elemen yang dipilih secara spesifik adalah Structural Rebar. Konfigurasi ini berfungsi untuk memerintahkan sistem agar menyaring dan mengonsolidasikan seluruh data batang besi tulangan yang telah dimodelkan sebelumnya, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.18 dan 5.19



Gambar 5.18. Tampilan *Schedule / Quantities*
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)



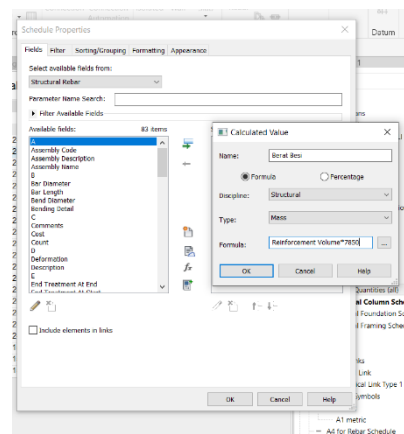
Gambar 5.19. Tampilan *New Schedule*
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

2. Pemilihan Parameter Data Kuantitas (*Select Scheduled Fields*) Setelah kategori elemen ditentukan, jendela dialog Schedule Properties secara otomatis akan terbuka pada tab Fields. Pada tahap ini, dilakukan seleksi terhadap parameter-parameter lapangan (*available fields*) yang diperlukan untuk kalkulasi volume besi dari elemen struktur bawah Gedung PLHUT Kabupaten Pangandaran. Parameter yang dipilih dan dipindahkan ke kolom Scheduled fields meliputi:

- *Type* atau *Family and Type* (untuk mengidentifikasi tipe tulangan).

- *Bar Diameter* (untuk menampilkan dimensi diameter besi yang digunakan).
- *Total Bar Length* (untuk mengekstrak total panjang kumulatif batang besi).
- *Reinforcement Volume* (untuk mendapatkan data volume kubikasi besi).

Oleh karena output standar dari parameter *Reinforcement Volume* berbasis metrik (m3), sedangkan satuan pembayaran tulangan pada Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan satuan berat (kg), maka dilakukan pembuatan rumus konversi melalui fitur Add Calculated Parameter. Variabel baru tersebut diberi nama "Berat Besi", dengan mengatur tipe parameter sebagai Number atau Volume, serta memasukkan visualisasi rumus matematis: $\text{Reinforcement Volume} \times 7850$. Angka konstanta 7.850 merupakan nilai densitas atau berat jenis standar material baja struktural (7.850 kg/m3) guna memperoleh total tonase berat besi secara otomatis, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21.



Gambar 5.20. Input *Formula*

(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

Modify Schedule/Quantities

Section 2 REBAR X

<REBAR>

A	B	C	D	E	F	G
Type	Bar Diameter	Bar Length	Count	Reinforcement Volu	Berat Besi	Total Bar Length
D13 (PF 1)	0.4680 m	124 m	36	0.1649 m³	1294.10 kg	1242 m
D13 (PF 2)	0.0780 m	16 m	6	0.0153 m³	120.03 kg	115 m
KP1 (D10)	0.1800 m	28 m	18	0.0256 m³	200.87 kg	326 m
KP1 (D16)	0.7200 m	112 m	72	0.0192 m³	150.57 kg	244 m
KP2 (D10)	0.0300 m	4 m	3	0.0033 m³	26.08 kg	42 m
KP2 (D16)	0.1200 m	20 m	12	0.0022 m³	17.40 kg	28 m
SLOOF 1 (D10)	0.9600 m	100 m	96	0.0478 m³	375.13 kg	608 m
SLOOF 1 (D13)	1.6640 m	492 m	128	0.0657 m³	515.69 kg	495 m
SLOOF 2 (D8)	0.1200 m	8 m	15	0.0038 m³	29.83 kg	76 m
SLOOF 2 (D12)	0.6360 m	108 m	53	0.0125 m³	97.97 kg	110 m
Grand total	4.9760 m	1012 m	439	0.3602 m³	2827.68 kg	3287 m

Gambar 5.21. Rebar Schedule.

(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

3. Selanjutnya mengatur tampilan agar terlihat lebih rapi dengan melakukan *sorting/grouping*. Output dari volume *structure rebar* (pembesian) dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Hasil Volume Penulangan

Rebar Schedule					
Type	Bar Diameter (m)	Bar Length (m)	Total Bar Length (m)	Reinforcement Volume (m³)	Berat Besi (kg)
FOOTPLATE 1					
Ø13	0,13	124	1242	0,4680	1294,1
FOOTPLATE 2					
Ø13	0,13	16	115	0,0780	120,03
SLOOF 1					
Ø10	0,10	100	608	0,0478	375,13
Ø13	0,13	492	495	0,0657	515,69
SLOOF 2					
Ø8	0,08	8	76	0,0038	29,83
Ø12	0,12	108	110	0,0125	97,97
Grand total:		844	2640	0,3092	2426,5

(Sumber : Hasil Analisis Penelitian)

4. Selanjutnya untuk volume pekerjaan pengecoran sama caranya dengan *schedule/quantities* seperti atas, hanya saja diganti pada saat pemilihan *category* yang akan dikeluarkan volumenya, seperti *column*. Dan *fields* yang diperlukan *type*, *base level*, *length*, dan *volume*. Dengan hasil volume pengecoran seperti pada Tabel 5.6 sampai Tabel 5.7.

Tabel 5.6. Hasil Volume Sloof dan Pondasi Batu Kali

Structural Framing Schedule		
Type	Volume (m ³)	Length
PONDASI BATU KALI		
PONDASI BATU KALI	3,02	5,206
PONDASI BATU KALI (FAMILI)	14,05	25,580
SLOOF 1		
(200X400)	9,69	121,45
SLOOF 2		
(150x200)	0,72	25,68
Grand total: 45	26,92	

(Sumber : Hasil Analisis Penelitian)

Khusus untuk komponen pondasi menerus yang meliputi pasangan batu belah, batu kosong (*aanstamping*), dan pasir urug. Perhitungan volume tidak diekstraksi secara otomatis per komponen oleh sistem Revit karena dimodelkan dalam satu kesatuan komponen *Custom Family*. Sebagai solusinya, peneliti menerapkan perhitungan semi-manual pada tabel kuantitas (*schedule*) dengan mengalikan parameter total panjang elemen (*length*) yang terdeteksi oleh Revit dengan luas penampang melintang masing-masing material. Melalui total panjang jalur pondasi senilai 30,786 m, rumusan matematis dan hasil perhitungan volume material dijabarkan sebagai berikut:

- Volume Batu Belah : $\frac{(0,03+0,07)}{2} \times 0,8 \times 30,786 = 12,31 \text{ m}^3$
- Volume *Aanstamping* : $0,9 \times 0,15 \times 30,786 = 4,16 \text{ m}^3$
- Volume Pasir Urug : $0,9 \times 0,05 \times 30,786 = 1,39 \text{ m}^3$

Tabel 5.7. Hasil Volume *Footplate*

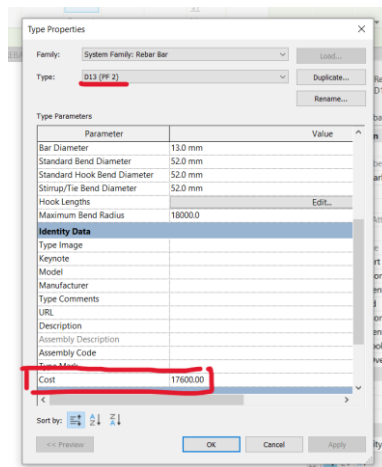
Structural Foundation Schedule	
Type	Volume (m ³)
FOOTPLATE 1	
(1500X1500)	12,15
FOOTPLATE 2	
(1000X1000)	0,9
Grand total: 22	13,05

(Sumber : Hasil Analisis Penelitian)

5.2.2. Proses Menghitung Estimasi Biaya

Pada proses pemodelan pekerjaan struktur untuk melakukan *input* nilai Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) guna menghasilkan Estimasi Biaya berbasis 5D BIM, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. dokumen daftar harga satuan pekerjaan yang diperoleh dari data kontrak proyek (seperti yang disajikan pada Tabel 5.1) untuk dijadikan dasar input nominal biaya di dalam perangkat lunak Revit.
2. Nilai AHSP untuk pekerjaan besi tulangan (hitung satuan per kg) dimasukkan dengan cara memilih *tab Structure* pada *Ribbon*, kemudian pilih *Rebar*. Pada panel *Properties*, klik *Edit Type*, lalu pada bagian *Identity Data* masukkan nilai harga satuan besi per kilogram ke dalam kolom *Cost*. Langkah ini dilakukan pada tiap tipe diameter besi yang digunakan, seperti besi Ø8, Ø10, Ø12, Ø13, sesuai dengan data pada proyek. Seperti pada Gambar 5.22

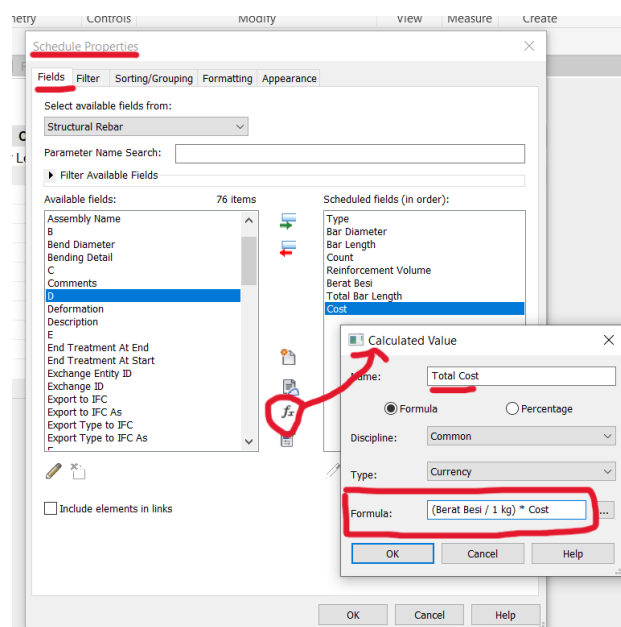


Gambar 5.22. Rebar Cost.

(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

3. Pembuatan Formula Total Estimasi Biaya Pekerjaan Struktur Bawah
Setelah seluruh nilai komponen *Cost* terisi pada tiap tipe elemen, langkah terakhir adalah mengintegrasikan parameter biaya tersebut ke dalam tabel volume (*Schedules/Quantities*) yang telah dibuat pada tahap *Quantity Take-Off*. Melalui *tab Fields* pada *Schedule Properties*, ditambahkan

parameter perhitungan baru menggunakan fitur *Add Calculated Parameter*. Kolom nama diisi dengan "Total Biaya", tipe data diatur sebagai *Currency* (mata uang), dan rumus kalkulasi dimasukkan dengan formula matematis: $\text{Volume} * \text{Cost}$ (untuk komponen beton dan batu kali) atau $(\text{Berat Besi}/1\text{kg}) * \text{Cost}$ (untuk komponen penulangan). Melalui rumus ini, perangkat lunak *Autodesk Revit* secara otomatis mengalikan kuantitas volume atau berat material yang terpemodel dengan harga satuan kontrak, sehingga menghasilkan output draf Rencana Anggaran Biaya (RAB) berbasis BIM yang disajikan pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23. Menambahkan Total Biaya.
(Sumber: *Screen Capture Autodesk Revit*, Diakses Tahun 2026)

4. Tahap akhir dari fase penataan data kuantitas. Pengaturan dilakukan melalui tab *Formatting* dan *Sorting/Grouping* pada jendela *Schedule Properties*. Opsi *Grand Totals* diaktifkan untuk memunculkan baris jumlah total, dan pada parameter "Total Harga" dilakukan pengecekan pada opsi *Calculate Totals*. Langkah ini berfungsi agar sistem secara otomatis menjumlahkan seluruh biaya dari tiap baris elemen secara kumulatif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.24 sampai Gambar 5.26

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Type	Bar Diameter	Bar Length	Count	Reinforcement Volu	Berat Besi	Total Bar Length	Cost	Total Cost
D13 (PF 1)	0.4680 m	124 m	36	0.1649 m³	1294.10 kg	1242 m	17600.00	22776160
D13 (PF 2)	0.0650 m	12 m	5	0.0127 m³	100.03 kg	96 m	17600.00	1760476
KP1 (D10)	0.1800 m	28 m	18	0.0256 m³	200.87 kg	326 m	17600.00	3535276
KP1 (D16)	0.7200 m	112 m	72	0.0192 m³	150.57 kg	244 m	17600.00	2650100
KP2 (D10)	0.0300 m	4 m	3	0.0033 m³	26.08 kg	42 m	17600.00	459000
KP2 (D16)	0.1200 m	20 m	12	0.0022 m³	17.40 kg	28 m	17600.00	306271
SLOOF 1 (D10)	0.9600 m	100 m	96	0.0478 m³	375.13 kg	608 m	17600.00	6602328
SLOOF 1 (D13)	1.6640 m	492 m	128	0.0657 m³	515.69 kg	495 m	17600.00	9076080
SLOOF 2 (D8)	0.1200 m	8 m	15	0.0038 m³	29.83 kg	76 m	17600.00	525018
SLOOF 2 (D12)	0.6480 m	112 m	54	0.0147 m³	115.37 kg	130 m	17600.00	2030537
Grand total	4.9750 m	1012 m	439	0.3599 m³	2825.07 kg	3287 m		49721246

Gambar 5.24. Tampilan Total Biaya Rebar
(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

A	B	C	D	E
Type	Volume	Length	Cost	Total Cost
PONDASI BATU KALI 2	14.05 m³	25.58 m		0
SLOOF 1 (200 X 400)	9.40 m³	117.85 m	1479900.00	13914020
SLOOF 2 (150 X 200)	0.83 m³	29.28 m	1479900.00	1221123

Gambar 5.25. Tampilan Total Biaya Beton Sloof.
(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

A	B	C	D	E
Type	Volume	Length	Cost	Total Cost
FOOTPLATE (1000X1000)	0.90 m³	3.00	1479900.00	443970
FOOTPLATE (1500X1500)	12.15 m³	27.00	1479900.00	998933
PONDASI BATU BELAH	3.02 m³	0.00		

Gambar 5.26. Tampilan Total Biaya Beton Footplate.
(Sumber: Screen Capture Autodesk Revit, Diakses Tahun 2026)

5.2.3. Quantity Takeoff dan Total Cost

Data kuantitas material yang diekstraksi secara otomatis melalui fitur *Schedules/Quantities* pada *Autodesk Revit* dirangkum secara sistematis ke dalam Tabel 5.3 hingga Tabel 5.6. Implementasi teknologi *Building Information Modeling* (BIM) ini terbukti memangkas waktu proses perhitungan volume karena sistem mampu menyajikan parameter dimensional yang variatif, mulai dari panjang (*length*) hingga volume material secara langsung.

Walaupun demikian, kalkulasi otomatis untuk komponen pembesian (*structural rebar*) memiliki keterbatasan informasi bawaan. Output standar yang disajikan oleh perangkat lunak umumnya hanya terbatas pada variabel panjang batang, akumulasi panjang total, serta volume kubikasi tulangan. Oleh karena itu, guna menyelaraskan data dengan kebutuhan rencana anggaran, diaplikasikan metode modifikasi parameter melalui kalkulasi berat jenis baja sebagaimana yang telah diuraikan pada Gambar 5.17, sehingga bobot total besi dalam satuan kilogram (kg) dapat dimunculkan ke dalam tabel pelaporan.

Proses penentuan estimasi pengeluaran total (*total cost*) dilakukan dengan mengalikan kuantitas riil hasil ekstraksi model (*quantity take-off*) terhadap komponen harga satuan yang bersumber dari Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dokumen kontrak. Sebagai contoh aplikasi perhitungan pada elemen struktur bawah, penentuan nominal anggaran untuk pekerjaan beton *Ready Mix* K-250 pada komponen Fondasi *Footplate* Tipe P1 (1,5x1,5) dijabarkan melalui persamaan berikut:

$$\text{Jumlah Harga} = \text{Volume Material} \times \text{Harga Satuan AHSP}$$

$$\text{Jumlah Harga} = 12,15 \times 1.479.900$$

$$\text{Jumlah Harga} = \text{Rp. } 17.980.785$$

Prosedur perkalian matematis yang serupa diterapkan secara menyeluruh pada setiap item pekerjaan struktur yang dimodelkan. Adapun visualisasi data terintegrasi yang memuat rekapitulasi nilai kuantitas serta jumlah harga total untuk seluruh pekerjaan disajikan secara komprehensif pada Tabel 5.7.

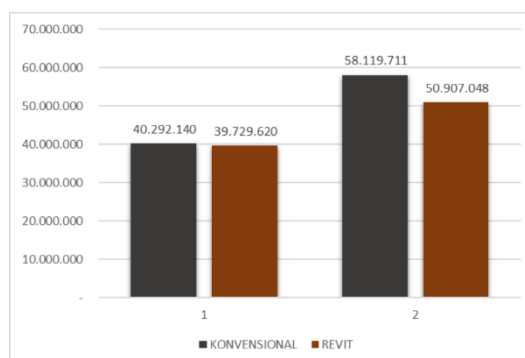
Tabel 5.8. Rekapitulasi *Total Cost* dari Revit

ESTIMASI BIAYA PERHITUNGAN REVIT					
NO	URAIAN PEKERJAAN	SAT.	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA SATUAN
				Rp.	Rp.
I.	PEK. TANAH DAN PONDASI				
1	Pek. Galian tanah pondasi Plat Beton	m3	84,51	90.300,00	7.631.253,00
2	Pek. Urugan tanah kembali	m3	53,21	53.600,00	2.852.056,00
3	Pek. Timbunan pilihan peninggian bangunan	m3	191,88	92.800,00	17.806.464,00
4	Pek. Urugan pasir alas pondasi	m3	1,39	214.200,00	296.746,25
5	Pek. Pas. Pondasi batu belah 1 : 5	m3	12,31	760.400,00	9.363.869,76
6	Pek. Pas. Anstamping	m3	4,16	428.100,00	1.779.230,69
Jumlah					39.729.619,71
II.	PEK. BETON				
1	Pek. Lantai Kerja Pondasi Plat Beton	m3	2,81	849.800,00	2.387.938,00
2	Pek. Pondasi Plat P1 150 x 150 cm	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	12,15	1.479.900,00	17.980.785,00
	Besi U 24/U 39	Kg	1.294,10	17.600,00	22.776.160,00
	Begisting	m2	27,61	173.500,00	4.790.335,00
3	Pek. Pondasi Plat P2 100 x 100 cm	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	0,90	1.479.900,00	1.331.910,00
	Besi U 24/U 39	Kg	120,03	17.600,00	2.112.528,00
	Begisting	m2	3,94	173.500,00	683.590,00
4	Pek. Sloof 15/20	m3			
	Beton K 175	m3	0,72	1.479.900,00	1.065.528,00
	Besi U 24/U 39	Kg	127,80	17.600,00	2.249.280,00
	Begisting	m2	10,27	173.500,00	1.781.845,00
5	Pek. Sloof 20/40	m3			
	Beton K 250 / Readymix	m3	9,69	1.479.900,00	14.340.231,00
	Besi U 24/U 39	Kg	890,82	17.600,00	15.678.432,00
	Begisting	m2	97,16	173.500,00	16.857.260,00
Jumlah					50.907.048,00

(Sumber : Hasil Analisis Penelitian)

5.3. Pembahasan

Penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM) melalui perangkat lunak *Autodesk Revit* terbukti mampu menghasilkan representasi model tiga dimensi (3D) yang valid. Seluruh proses rekonstruksi digital dikerjakan secara presisi berdasarkan basis data teknis yang bersumber dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED) proyek, meliputi parameter dimensi penampang, kuantitas elemen, elevasi *split level*, hingga batasan koordinat struktural lainnya. Pemodelan yang dibuat semirip mungkin dengan kondisi riil gambar kerja ini bertujuan untuk mengeliminasi kesalahan hitung dan memastikan tingkat akurasi pada fase ekstraksi volume (*quantity take-off*). Setelah seluruh data kuantitas dan estimasi biaya otomatis sebagai output akhir dari *Autodesk Revit* berhasil diperoleh, data tersebut kemudian diekspor dan ditata kembali menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel* agar format pelaporan laporan akhir tersusun secara lebih rapi dan sistematis.



Gambar 5.27. Komparasi Biaya Konvensional dan BIM

Hasil analisis komparatif ini menegaskan bahwa implementasi teknologi BIM pada aspek estimasi biaya mampu memberikan efisiensi dan penghematan anggaran yang signifikan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, akumulasi biaya yang dihasilkan oleh metode berbasis BIM menunjukkan nilai yang lebih efisien dibandingkan dengan estimasi kuantitas konvensional. Rekapitulasi data yang memperlihatkan perbandingan menyeluruh antara hitungan konvensional (data kontrak) dan kalkulasi otomatis berbasis BIM *Revit* disajikan pada Tabel 5.9 berikut:

Tabel 5.9. Perbandingan Biaya Konvensional dan BIM Revit

REKAPITULASI ESTIMASI BIAYA KONVENSIONAL DAN BIM REVIT							
N o.	URAIAN PEKERJAAN	SAT .	HARGA SATUAN Rp.	KONVENSIONAL		BIM REVIT	
				VOLUME	JUMLAH HARGA SATUAN Rp.	VOLUME	JUMLAH HARGA SATUAN Rp.
I.	PEK. TANAH DAN PONDASI						
1	Pek. Galian tanah pondasi Plat Beton	m3	90.300,00	84,51	7.631.253	84,51	7.631.253
2	Pek. Urugan tanah kembali	m3	53.600,00	53,21	2.852.056	53,21	2.852.056
3	Pek. Timbunan pilihan peninggian bangunan	m3	92.800,00	191,88	17.806.464	191,88	17.806.464
4	Pek. Urugan pasir alas pondasi	m3	214.200,00	2,81	601.902	1,39	296.746
5	Pek. Pas. Pondasi batu belah 1 : 5	m3	760.400,00	12,60	9.581.040	12,31	9.363.870
6	Pek. Pas. Anstamping	m3	428.100,00	4,25	1.819.425	4,16	1.779.231
Jumlah					40.292.140		39.729.620
II.	PEK. BETON						
1	Pek. Lantai Kerja Pondasi Plat Beton	m3	849.800,00	2,81	2.387.938	2,81	2.387.938
2	Pek. Pondasi Plat P1 150 x 150 cm	m3					
	Beton K 250 / Readymix	m3	1.479.900,00	12,15	17.980.785	12,15	17.980.785
	Besi U 24/U 39	Kg	17.600,00	1296,918	22.825.756	1.294,10	22.776.160
	Begisting	m2	173.500,00	27,61	4.790.335	27,61	4.790.335
3	Pek. Pondasi Plat P2 100 x 100 cm	m3					
	Beton K 250 / Readymix	m3	1.479.900,00	0,90	1.331.910	0,90	1.331.910
	Besi U 24/U 39	Kg	17.600,00	123,003	2.164.852	120,03	2.112.528
	Begisting	m2	173.500,00	3,94	683.590	3,94	683.590
4	Pek. Sloof 15/20	m3					
	Beton K 175	m3	1.479.900,00	1,19	1.761.081	0,72	1.065.528
	Besi U 24/U 39	Kg	17.600,00	136,28	2.398.528	127,80	2.249.280
	Begisting	m2	173.500,00	21,95	3.808.325	10,27	1.781.845,00
5	Pek. Sloof 20/40	m3					
	Beton K 250 / Readymix	m3	1.479.900,00	9,84	14.562.216	9,69	14.340.231
	Besi U 24/U 39	Kg	17.600,00	909,47	16.006.672	890,82	15.678.432
	Begisting	m2	173.500,00	123,02	21.343.970	97,16	16.857.260,00
Jumlah					58.119.711		50.907.048,00

(Sumber : Hasil Analisis Penelitian)

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.9, total estimasi biaya pekerjaan struktur bawah menggunakan metode konvensional adalah sebesar Rp152.338.099,60, sedangkan estimasi berbasis BIM Revit menghasilkan nilai sebesar Rp143.765.441,71. Dengan demikian, terdapat efisiensi biaya sebesar Rp8.572.657,89 atau penghematan anggaran sebesar 5,63%.

Faktor-faktor utama penyebab terjadinya deviasi volume dan biaya antara kedua metode tersebut dianalisis sebagai berikut:

1. Analisis Pekerjaan Tanah dan Pondasi Batu Kali

Pada pekerjaan urugan pasir alas pondasi, pasangan batu belah, dan aanstamping, perhitungan konvensional mengandalkan estimasi kasar berdasarkan luas penampang potongan melintang parsial. Sebaliknya, pemodelan BIM Revit mengukur volume berbasis geometri 3D *Custom Family* yang mengikuti jalur aksial (*grid line*) dan lekukan as bangunan secara aktual.

Mekanisme ini menghasilkan efisiensi volume pada seluruh komponen pekerjaan tanah dan pondasi:

- Urugan Pasir Alas: Berkurang dari 2,81 m³ menjadi 1,39 m³.
- Pasangan Batu Belah: Berkurang dari 12,60 m³ menjadi 12,31 m³.
- Pasangan Aanstamping: Berkurang dari 4,25 m³ menjadi 4,16 m³.

Reduksi volume tersebut memberikan efisiensi biaya sebesar Rp562.520,29 pada lingkup pekerjaan tanah dan pondasi batu kali.

2. Analisis Pekerjaan Penulangan (*Structural Rebar*)

Perhitungan konvensional cenderung membulatkan panjang potongan besi tanpa memperhitungkan geometri kait (*hook*), tekukan (*bend*), dan irisan antar-sambungan secara presisi. Sementara itu, fitur *Bar Bending Schedule* (BBS) pada Autodesk Revit menghitung tonase secara otomatis berdasarkan panjang lintasan riil besi di dalam selimut beton (*concrete cover*).

Hasil kalkulasi menunjukkan penurunan tonase penulangan pada seluruh elemen struktur bawah:

- Pondasi Footplate P1 (150 x 150 cm): Berkurang dari 1.296,92 kg menjadi 1.294,10 kg.
- Pondasi Footplate P2 (100 x 100 cm): Berkurang dari 123,00 kg menjadi 120,03 kg.
- Sloof 15/20: Berkurang dari 136,28 kg menjadi 127,80 kg.
- Sloof 20/40: Berkurang dari 909,47 kg menjadi 890,82 kg.
- Pengurangan akumulatif tonase pembesian sebesar 52,92 kg ini berkontribusi terhadap efisiensi biaya material besi sebesar Rp931.238,80.

3. Analisis Pekerjaan Beton dan Bekisting Sloof

Deviasi biaya paling signifikan ditemukan pada komponen bekisting dan beton sloof (khususnya Sloof 15/20 dan Sloof 20/40). Perhitungan konvensional mengasumsikan panjang sloof secara menerus (*continuous*) tanpa mengurangi area persimpangan (*intersection/junction*) antar-kolom pedestal dan pertemuan antar sloof.

Sebaliknya, Autodesk Revit secara otomatis mendeteksi bentrokan geometri (*clash detection*) dan mengeliminasi volume beton serta luas permukaan bekisting pada titik simpul pertemuan (*voids & intersections removal*). Luas bekisting Sloof 20/40 ter-reduksi secara presisi dari 123,02 m² menjadi 97,16 m², sehingga memangkas biaya bekisting hingga Rp4.486.710,00.