

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Building Information Modeling (BIM) 3D

Tahap awal penelitian dilakukan melalui implementasi *Building Information Modeling* (BIM) 3D menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit 2025 berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang. Pemodelan dilakukan dengan membangun model digital bangunan secara parametrik sehingga setiap elemen bangunan memiliki informasi geometrik dan nongeometrik yang sesuai dengan dokumen perencanaan.

Implementasi BIM 3D mencakup pemodelan seluruh elemen struktur dan arsitektur yang menjadi ruang lingkup penelitian, meliputi pondasi, kolom, balok, pelat lantai, tangga, struktur atap, dinding, pintu, jendela, lantai, plafon, penutup atap, serta elemen arsitektur lainnya. Setiap elemen dimodelkan berdasarkan dimensi, elevasi, jenis material, dan spesifikasi teknis yang tercantum pada gambar perencanaan sehingga menghasilkan model tiga dimensi yang merepresentasikan kondisi bangunan secara utuh.

Model BIM 3D yang telah terbentuk tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi bangunan, tetapi juga menjadi basis data (*database*) yang menyimpan informasi setiap komponen bangunan. Informasi tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk menghasilkan data kuantitas pekerjaan (*quantity take-off*) secara otomatis melalui fitur *Schedule/Quantities* pada Autodesk Revit. Data volume yang diperoleh dari model BIM digunakan sebagai dasar dalam penyusunan estimasi biaya pada implementasi BIM 5D serta menjadi salah satu informasi pendukung dalam integrasi jadwal pelaksanaan pada implementasi BIM 4D.

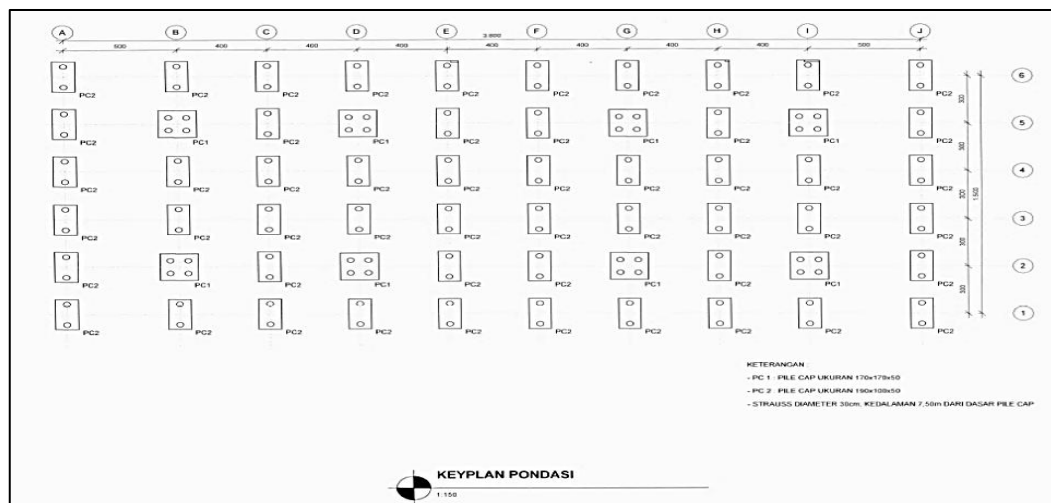
4.1.1 Proses Pemodelan Elemen Struktur Menggunakan Autodesk Revit 2025

Pemodelan struktur merupakan tahapan awal dalam implementasi *Building Information Modeling* (BIM) 3D pada Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang menggunakan Autodesk Revit 2025. Pemodelan dilakukan berdasarkan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang telah ditetapkan sebagai acuan perencanaan. Setiap elemen struktur dimodelkan dengan memasukkan parameter dimensi, elevasi, posisi terhadap sumbu bangunan (*grid*),

serta spesifikasi material sesuai dokumen perencanaan sehingga model yang dihasilkan memiliki kesesuaian dengan kondisi bangunan sesuai dokumen perencanaan.

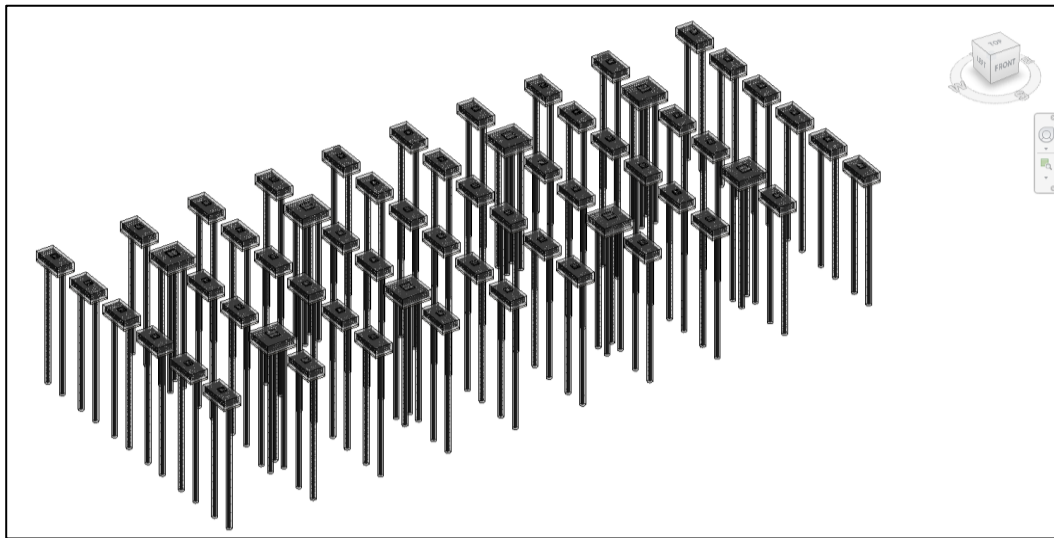
Elemen struktur yang dimodelkan meliputi pondasi *strauss pile*, *pile cap*, sloof, kolom, balok, pelat lantai, tangga, dan struktur atap. Seluruh elemen tersebut disusun secara terintegrasi dalam satu model tiga dimensi sehingga setiap komponen memiliki informasi geometrik dan parameter material yang saling berhubungan. Model struktur yang telah terbentuk selanjutnya menjadi dasar dalam proses *quantity take-off*, penyusunan jadwal pelaksanaan (BIM 4D), serta estimasi biaya proyek (BIM 5D).

Proses pemodelan struktur diawali dengan penggunaan dokumen *Detail Engineering Design* (DED) sebagai acuan utama dalam pembentukan model tiga dimensi. Dokumen DED yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas gambar denah, potongan, detail elemen struktur, serta spesifikasi teknis yang menjadi dasar dalam proses pemodelan menggunakan Autodesk Revit. Sebagai representasi dokumen acuan tersebut, Gambar 4.1 menampilkan denah pondasi yang memuat informasi mengenai posisi pondasi terhadap sumbu bangunan (*grid*), tipe pondasi, dimensi, serta tata letak setiap elemen struktur bawah. Informasi tersebut menjadi dasar dalam proses pemodelan sistem pondasi menggunakan Autodesk Revit. Mengingat keterbatasan ukuran tampilan pada naskah, dokumen DED secara lengkap disajikan pada lampiran gambar sehingga detail informasi dapat diamati dengan lebih jelas.



Gambar 4.1 Denah pondasi pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED) sebagai acuan pemodelan struktur

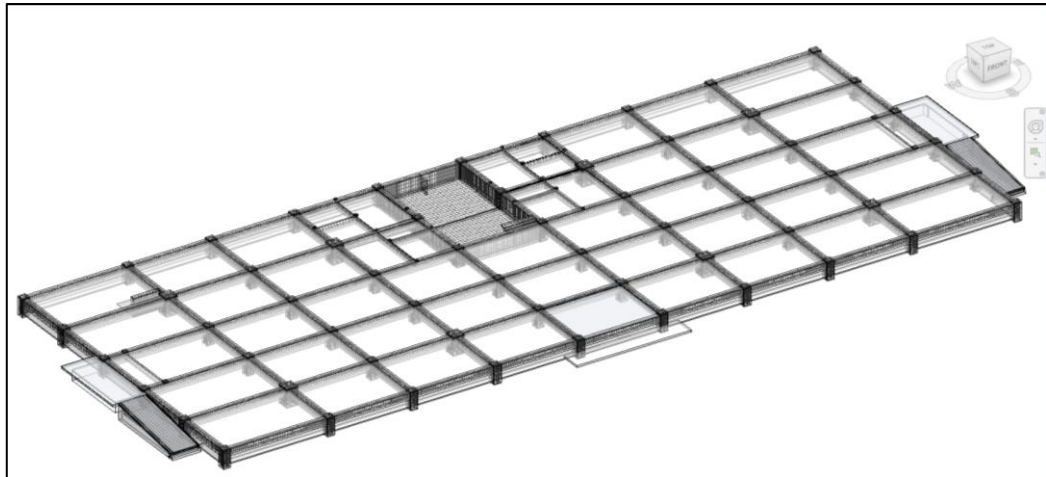
Berdasarkan denah pondasi pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED), proses pemodelan diawali dengan membentuk sistem pondasi yang terdiri atas elemen *strauss pile* dan *pile cap* sesuai jumlah titik, posisi terhadap sumbu bangunan (*grid*), dimensi, dan elevasi yang telah ditetapkan pada dokumen perencanaan. Pemodelan dilakukan menggunakan Autodesk Revit sehingga menghasilkan model tiga dimensi yang sesuai dengan desain struktur. Hasil pemodelan sistem pondasi ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil pemodelan pondasi *strauss pile* dan *pile cap* menggunakan Autodesk Revit

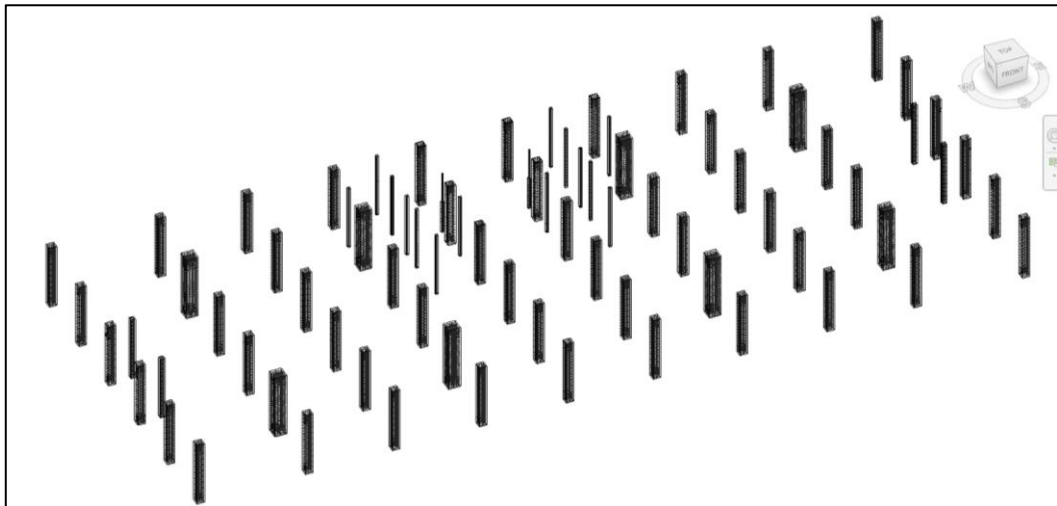
Gambar 4.2 menunjukkan hasil pemodelan sistem pondasi yang terdiri atas *strauss pile* dan *pile cap*. Setiap *pile cap* dimodelkan sesuai tipe dan dimensinya berdasarkan dokumen DED serta ditempatkan pada posisi yang tepat di atas kelompok *strauss pile*. Model pondasi tersebut menjadi dasar dalam proses pemodelan elemen struktur berikutnya, yaitu sloof yang berfungsi menghubungkan antarpondasi sehingga membentuk sistem struktur bawah yang terintegrasi.

Setelah pemodelan sistem pondasi selesai dilakukan, proses dilanjutkan dengan pemodelan sloof berdasarkan dokumen DED yang telah dijelaskan sebelumnya. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan dimensi penampang, elevasi, dan posisi sloof sesuai gambar perencanaan sehingga seluruh elemen saling terhubung dengan sistem pondasi. Hasil pemodelan sloof menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil pemodelan sloof menggunakan Autodesk Revit

Setelah pemodelan sloof selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pemodelan kolom sebagai elemen struktur vertikal bangunan. Pemodelan kolom dilakukan berdasarkan dimensi penampang, elevasi antar lantai, spesifikasi material, serta posisi terhadap sumbu bangunan (*grid*) sesuai dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Seluruh kolom dimodelkan sehingga terhubung langsung dengan sloof sebagai sistem struktur bawah dan menjadi penopang utama balok, pelat lantai, serta struktur atap. Hasil pemodelan kolom menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.4.

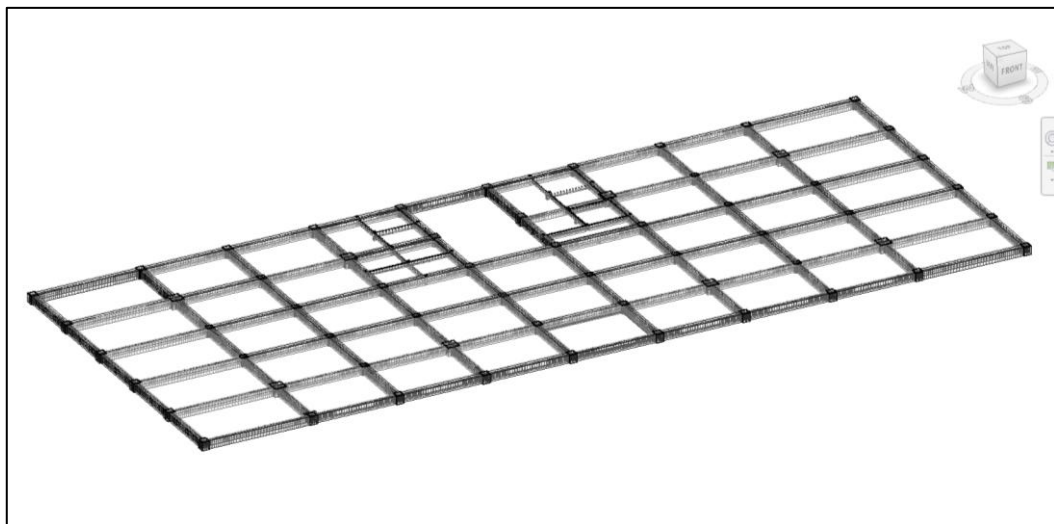


Gambar 4.4 Hasil pemodelan kolom menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.4 menunjukkan hasil pemodelan seluruh elemen kolom menggunakan Autodesk Revit. Setiap kolom dimodelkan sesuai dimensi, elevasi, dan posisi yang telah ditentukan pada dokumen DED sehingga membentuk sistem struktur vertikal yang terhubung secara langsung dengan sloof. Selain informasi

geometrik, setiap elemen kolom juga memuat parameter material dan identitas elemen yang menjadi bagian dari basis data BIM. Model kolom yang telah terbentuk selanjutnya menjadi acuan dalam proses pemodelan balok sebagai elemen struktur horizontal.

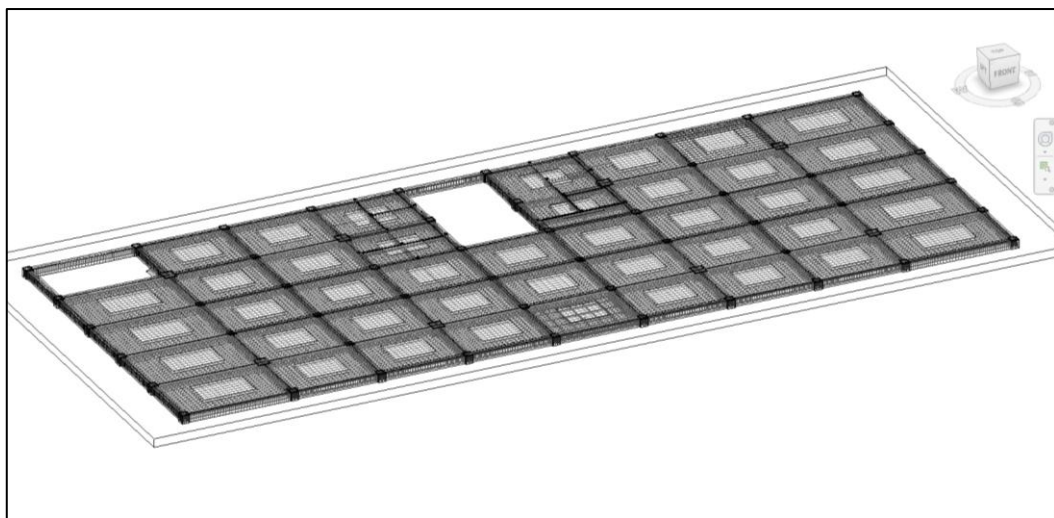
Setelah pemodelan kolom selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pemodelan balok sebagai elemen struktur horizontal yang berfungsi menghubungkan antar kolom serta menyalurkan beban dari pelat lantai menuju kolom. Pemodelan balok dilakukan berdasarkan dimensi penampang, elevasi, posisi terhadap sumbu bangunan (*grid*), serta spesifikasi material yang mengacu pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Seluruh elemen balok dimodelkan secara terintegrasi dengan kolom sehingga membentuk sistem rangka struktur yang mampu mendukung pelat lantai dan elemen struktur lainnya. Hasil pemodelan balok menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil pemodelan balok menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pemodelan seluruh elemen balok menggunakan Autodesk Revit. Setiap balok dimodelkan sesuai dimensi, elevasi, dan posisi berdasarkan dokumen DED sehingga seluruh elemen saling terhubung dengan kolom membentuk sistem rangka struktur bangunan. Selain informasi geometrik, model balok juga memuat parameter material dan identitas elemen yang menjadi bagian dari basis data BIM sehingga dapat dimanfaatkan pada proses *quantity take-off*, penyusunan jadwal pelaksanaan (BIM 4D), serta estimasi biaya (BIM 5D).

Setelah pemodelan balok selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pemodelan pelat lantai sebagai elemen struktur yang berfungsi menerima beban langsung dari aktivitas bangunan dan meneruskannya menuju balok. Pemodelan pelat lantai dilakukan berdasarkan batas panel pelat, elevasi lantai, ketebalan pelat, serta spesifikasi material yang mengacu pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Seluruh pelat lantai dimodelkan secara terintegrasi dengan balok sehingga membentuk sistem struktur lantai yang sesuai dengan dokumen perencanaan. Hasil pemodelan pelat lantai menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.6.

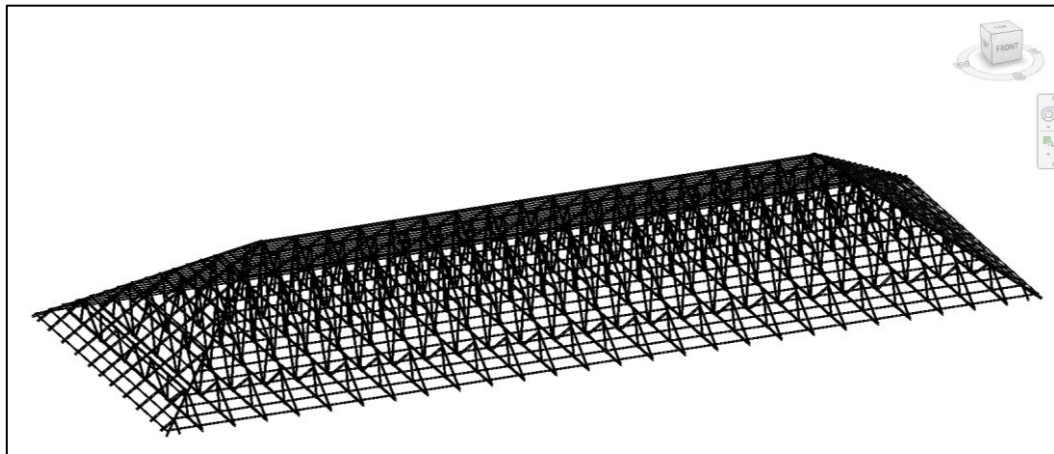


Gambar 4.6 Hasil pemodelan pelat lantai menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pemodelan pelat lantai menggunakan Autodesk Revit. Seluruh panel pelat dimodelkan sesuai batas bentang, elevasi, dan ketebalan yang tercantum pada dokumen DED sehingga terhubung secara langsung dengan sistem balok. Model pelat lantai yang telah terbentuk menjadi bagian dari basis data BIM yang menyimpan informasi geometrik dan parameter material, serta digunakan sebagai dasar dalam proses *quantity take-off*, penyusunan jadwal pelaksanaan, dan estimasi biaya proyek.

Setelah pemodelan pelat lantai selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pemodelan struktur atap sebagai elemen struktur bagian atas bangunan. Pemodelan struktur atap dilakukan berdasarkan konfigurasi rangka, dimensi setiap elemen, elevasi, serta spesifikasi material yang mengacu pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Seluruh elemen struktur atap dimodelkan sehingga terhubung dengan struktur di bawahnya dan membentuk sistem struktur bangunan secara

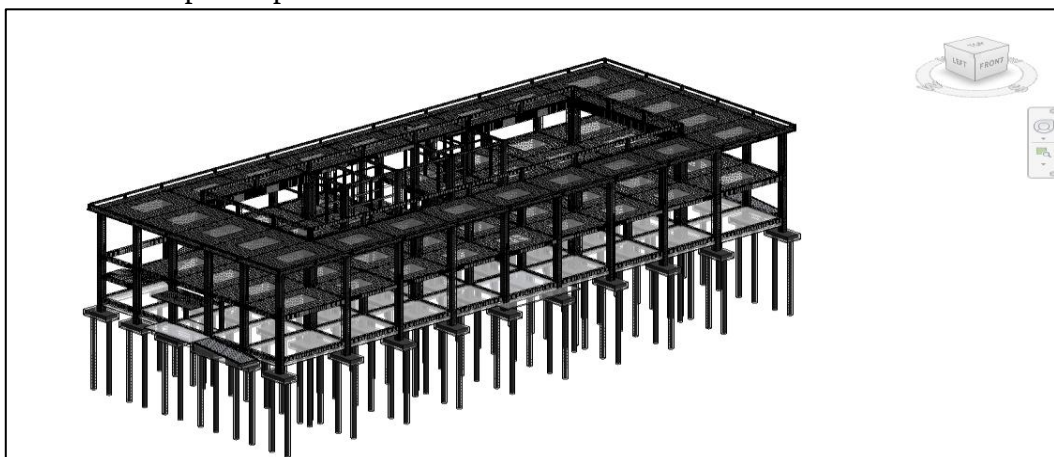
menyeluruh. Hasil pemodelan struktur atap menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil pemodelan struktur rangka atap menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pemodelan struktur atap menggunakan Autodesk Revit. Seluruh elemen struktur atap dimodelkan sesuai konfigurasi, dimensi, dan elevasi pada dokumen DED sehingga terintegrasi dengan sistem struktur di bawahnya. Model struktur atap yang telah terbentuk melengkapi keseluruhan elemen struktur bangunan dan menjadi bagian dari basis data BIM yang digunakan dalam proses *quantity take-off*, penyusunan jadwal pelaksanaan (BIM 4D), serta estimasi biaya (BIM 5D).

Setelah seluruh elemen struktur selesai dimodelkan, tahapan selanjutnya adalah mengintegrasikan seluruh komponen struktur ke dalam satu model tiga dimensi menggunakan Autodesk Revit. Proses integrasi dilakukan dengan menggabungkan elemen pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, dan struktur atap sehingga membentuk model struktur bangunan secara utuh. Hasil integrasi model struktur ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil integrasi model struktur keseluruhan menggunakan Autodesk Revit

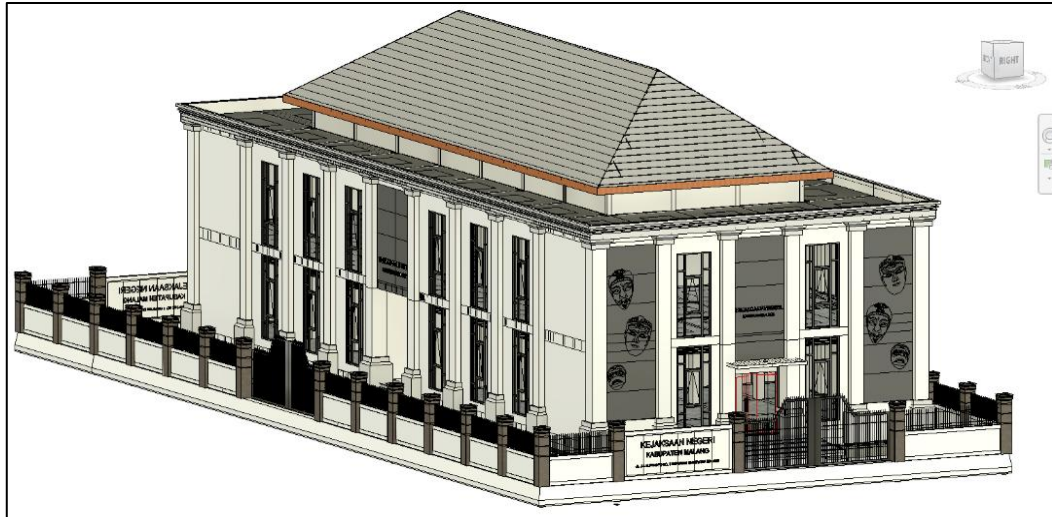
Gambar 4.8 menunjukkan hasil integrasi seluruh elemen struktur yang telah dimodelkan menggunakan Autodesk Revit. Model tersebut merepresentasikan sistem struktur bangunan secara utuh, mulai dari pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, hingga struktur atap. Setiap elemen telah terhubung secara geometrik dan memiliki parameter material sesuai dengan dokumen *Detail Engineering Design* (DED), sehingga membentuk model BIM yang terintegrasi.

Model struktur yang telah terbentuk selanjutnya menjadi dasar dalam proses pemodelan elemen arsitektur serta digunakan sebagai sumber data dalam proses *quantity take-off*, penyusunan jadwal pelaksanaan pada implementasi BIM 4D, dan estimasi biaya pada implementasi BIM 5D. Dengan demikian, model BIM yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi tiga dimensi, tetapi juga sebagai basis data digital yang mendukung tahapan analisis pada penelitian ini.

4.1.2 Proses Pemodelan Elemen Arsitektur Menggunakan Autodesk Revit 2025

Setelah proses pemodelan elemen struktur selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pemodelan elemen arsitektur menggunakan Autodesk Revit 2025. Pemodelan arsitektur dilakukan berdasarkan dokumen *Detail Engineering Design* (DED) dengan mengacu pada dimensi, elevasi, spesifikasi material, serta tata letak setiap elemen bangunan. Elemen arsitektur yang dimodelkan meliputi dinding, pintu, jendela, lantai, plafon, penutup atap, serta komponen arsitektur lainnya sehingga menghasilkan model bangunan yang lengkap dan terintegrasi dengan model struktur.

Pemodelan elemen arsitektur dilakukan secara bertahap dengan menyesuaikan posisi terhadap elemen struktur yang telah dimodelkan sebelumnya. Proses ini bertujuan agar setiap elemen arsitektur memiliki keterkaitan geometrik dengan elemen struktur sehingga membentuk model bangunan yang sesuai dengan dokumen perencanaan. Hasil pemodelan elemen arsitektur menggunakan Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil pemodelan elemen arsitektur menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.9 menunjukkan hasil pemodelan elemen arsitektur menggunakan Autodesk Revit 2025. Seluruh elemen arsitektur, meliputi dinding, pintu, jendela, lantai, plafon, atap, serta elemen pendukung lainnya telah dimodelkan sesuai dengan dimensi, elevasi, dan spesifikasi material yang tercantum pada dokumen *Detail Engineering Design* (DED). Model arsitektur tersebut telah terintegrasi dengan model struktur sehingga membentuk satu kesatuan model bangunan tiga dimensi.

Model BIM tiga dimensi yang telah terbentuk selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses *quantity take-off* menggunakan fitur *Schedule/Quantities* pada Autodesk Revit. Informasi volume yang dihasilkan dari model tersebut menjadi data utama dalam penyusunan jadwal pelaksanaan pada implementasi BIM 4D serta estimasi biaya pada implementasi BIM 5D.

4.1.3 Hasil *Quantity Take-Off* dari Model BIM 3D

Setelah proses pemodelan tiga dimensi selesai, Autodesk Revit secara otomatis menghasilkan data kuantitas pekerjaan melalui fitur *Schedule/Quantities*. Fitur ini membaca seluruh informasi geometri dan parameter setiap elemen yang telah dimodelkan, kemudian menyajikannya dalam bentuk tabel kuantitas pekerjaan sesuai kategori elemen. Data yang dihasilkan meliputi volume, luas, panjang, jumlah, maupun parameter lainnya sesuai karakteristik masing-masing elemen bangunan.

Pada penelitian ini, proses *quantity take-off* menggunakan Autodesk Revit diterapkan pada elemen struktur dan arsitektur yang dimodelkan secara eksplisit. Kuantitas yang dapat diekstraksi dari model meliputi volume, luas, panjang,

jumlah, dan parameter geometrik lain sesuai karakteristik elemen. Untuk pekerjaan yang tidak dimodelkan secara eksplisit atau merupakan pekerjaan proses dan pendukung, seperti sebagian pekerjaan tanah, bekisting, pengecoran, pemadatan, dan pembongkaran bekisting, kuantitas dihitung secara manual berdasarkan gambar kerja dan spesifikasi teknis. Sumber setiap kuantitas dibedakan secara jelas pada rekapitulasi agar keterlacakan data tetap terjaga.

Hasil *quantity take-off* Autodesk Revit selanjutnya direkapitulasi bersama hasil perhitungan manual pada Microsoft Excel. Rekapitulasi ini digunakan sebagai basis volume pekerjaan untuk penyusunan estimasi biaya BIM 5D dengan tetap mencantumkan sumber kuantitas masing-masing item, yaitu hasil Autodesk Revit atau perhitungan manual.

Hasil *quantity take-off* elemen pondasi menggunakan fitur *Schedule/Quantities* Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.10.

<BQ STRUKTUR PONDASI>		
A	B	C
Type	Count	Volume
PC 1	8	11,560 m ³
PC 1: 8		11,560 m ³
PC 2	52	49,372 m ³
PC 2: 52		49,372 m ³
Grand total: 60		60,932 m ³

Gambar 4.10 Hasil *quantity take-off* elemen pondasi menggunakan Autodesk Revit

Gambar 4.10 menunjukkan hasil *quantity take-off* elemen pondasi berupa *pile cap* yang dihasilkan secara otomatis oleh Autodesk Revit. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh volume beton *pile cap* tipe PC1 sebesar **11,560 m³**, sedangkan *pile cap* tipe PC2 sebesar **49,372 m³**. Nilai volume tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar penyusunan rekapitulasi volume pekerjaan pada Microsoft Excel sebagai bagian dari implementasi BIM 5D.

Sebagai bentuk verifikasi, kuantitas yang diekstraksi dari Autodesk Revit dibandingkan dengan nilai yang dicantumkan pada rekapitulasi Microsoft Excel. Rekapitulasi tersebut juga memuat item yang dihitung secara manual sehingga keseluruhan lingkup pekerjaan tetap dapat disajikan secara lengkap. Cuplikan rekapitulasi volume pekerjaan ditampilkan pada Gambar 4.11.

Rekapitulasi Volume Pekerjaan pada <i>Microsoft Excel</i> Berdasarkan Hasil <i>Quantity Take-Off Autodesk Revit</i>			
Proyek pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang			
No.	URAIAN	VOL	SATUAN
A	STRUKTUR LANTAI I		
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1		
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1		
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3
6	Pembongakaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2
III	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC2		
1	Galian Tanah Biasa	128,44	m3
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	4,94	m3
3	Urugan Tanah Kembali	79,04	m3
IV	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC2		
1	Beton Lantai Kerja PC 2 190 x 100 x 5 fc 7,5 Mpa	4,94	m3
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 2 190 x 100 x 50 fc 25 Mpa	49,37	m3
3	Bekisting untuk pondasi	2,90	m2
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	11.498,62	Kg
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	49,37	m3
6	Pembongakaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	2,90	m2

Gambar 4.11 Rekapitulasi volume pekerjaan pada Microsoft Excel berdasarkan hasil *quantity take-off* Autodesk Revit

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kuantitas elemen yang bersumber dari Autodesk Revit dicantumkan secara konsisten pada rekapitulasi Microsoft Excel. Sebagai contoh, volume beton *pile cap* PC1 sebesar 11,56 m³ dan *pile cap* PC2 sebesar 49,37 m³ pada Microsoft Excel sesuai dengan volume hasil ekstraksi Autodesk Revit. Untuk item yang tidak dimodelkan secara eksplisit, sumber data dinyatakan sebagai perhitungan manual sebagaimana dirinci pada Tabel 4.1.

Untuk memberikan verifikasi yang lebih jelas mengenai kesesuaian data antara Autodesk Revit dan rekapitulasi Microsoft Excel, pada Tabel 4.1 disajikan cuplikan volume pekerjaan yang mewakili item struktur dan arsitektur dari hasil *Quantity Take-Off* Autodesk Revit maupun perhitungan manual. Rekapitulasi volume pekerjaan secara lengkap disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.1 Cuplikan Rekapitulasi Volume Pekerjaan Berdasarkan Hasil *Quantity Take-Off* Autodesk Revit dan Perhitungan Manual

No.	URAIAN	VOL	SATUAN	SUMBER DATA
A	STRUKTUR LANTAI I			
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1			
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3	Manual
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3	Manual
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3	Manual
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1			
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3	Autodesk Revit
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	Autodesk Revit
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2	Manual
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg	Autodesk Revit
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3	Manual
6	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2	Manual
III	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC2			
1	Galian Tanah Biasa	128,44	m3	Manual
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	4,94	m3	Manual
3	Urugan Tanah Kembali	79,04	m3	Manual

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Catatan: Tabel pada bab ini menyajikan cuplikan data; rekapitulasi lengkap disajikan pada bagian Lampiran.

Keterangan:

1. Autodesk Revit merupakan volume yang diperoleh secara otomatis melalui fitur *Schedule/Quantities* Autodesk Revit.
2. Manual merupakan volume yang dihitung di luar Autodesk Revit berdasarkan gambar kerja untuk pekerjaan yang tidak dapat diekstraksi secara langsung dari model BIM.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.1, volume pekerjaan yang digunakan dalam penelitian merupakan kombinasi antara hasil *Quantity Take-Off* Autodesk Revit dan perhitungan manual. Kolom sumber data menunjukkan asal setiap kuantitas pekerjaan sehingga proses penyusunan *Bill of Quantity* dapat ditelusuri. Volume elemen yang dimodelkan diperoleh melalui fitur *Schedule/Quantities*, sedangkan pekerjaan yang tidak dimodelkan secara eksplisit dihitung secara manual berdasarkan gambar kerja dan spesifikasi teknis. Rekapitulasi lengkap pada Lampiran menjadi dasar penyusunan estimasi biaya pada tahap implementasi BIM 5D.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan BIM 3D mampu mengotomatisasi proses perhitungan kuantitas untuk sebagian besar elemen struktur dan arsitektur sehingga mengurangi risiko kesalahan perhitungan dibandingkan metode konvensional. Di sisi lain, beberapa item pekerjaan masih

memerlukan perhitungan manual karena keterbatasan objek yang dimodelkan maupun karakteristik pekerjaan yang tidak dapat diekstraksi secara langsung dari Autodesk Revit. Oleh karena itu, kombinasi antara hasil *quantity take-off* dan perhitungan manual menghasilkan rekapitulasi volume pekerjaan yang lengkap sebagai dasar penyusunan estimasi biaya pada tahap implementasi BIM 5D.

4.2 Analisis Durasi Proyek Menggunakan Metode PERT

Setelah diperoleh model BIM 3D beserta data kuantitas pekerjaan melalui proses *quantity take-off* menggunakan Autodesk Revit pada Subbab 4.1, tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis durasi proyek menggunakan metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Metode PERT digunakan untuk memperoleh estimasi durasi aktivitas proyek berdasarkan *expert judgment* dengan mempertimbangkan adanya ketidakpastian (*uncertainty*) dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Berbeda dengan metode penjadwalan deterministik yang hanya menggunakan satu nilai durasi, metode PERT menggunakan tiga estimasi waktu, yaitu durasi optimis (*optimistic time*), durasi paling mungkin (*most likely time*), dan durasi pesimis (*pessimistic time*), sehingga mampu memberikan estimasi durasi yang lebih representatif terhadap kondisi pelaksanaan proyek.

Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada 10 responden yang memiliki pengalaman dalam pelaksanaan proyek gedung. Responden berasal dari unsur kontraktor pelaksana, konsultan perencana, serta pengawas teknis yang memiliki kompetensi dalam penyusunan dan pelaksanaan jadwal proyek. Pemilihan responden menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu memilih responden berdasarkan pengalaman dan keahlian yang relevan terhadap penelitian. Hasil estimasi durasi dari seluruh responden kemudian diolah menggunakan metode PERT untuk memperoleh durasi harapan (*expected time*), analisis probabilistik, serta dibandingkan dengan jadwal rencana proyek sebagai dasar penyusunan jadwal pada implementasi BIM 4D.

4.2.1 Karakteristik Responden

Analisis durasi menggunakan metode PERT pada penelitian ini didasarkan pada hasil *expert judgment* yang diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada

10 responden. Seluruh responden dipilih menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan pengalaman kerja, tingkat pendidikan, serta keterlibatan dalam pelaksanaan proyek gedung. Karakteristik responden disajikan untuk menunjukkan bahwa estimasi durasi pekerjaan berasal dari tenaga profesional yang memiliki kompetensi pada bidang manajemen konstruksi.

Karakteristik responden meliputi jabatan, instansi, tingkat pendidikan, pengalaman kerja, dan umur responden. Data karakteristik tersebut disajikan pada Tabel 4.2 sebagai dasar untuk menunjukkan kompetensi responden dalam memberikan estimasi durasi pekerjaan menggunakan metode PERT.

Tabel 4.2 Karakteristik Responden Penelitian

Kode Responden	Jabatan	Instansi	Proyek	Pendidikan	Pengalaman (Tahun)	Umur (Tahun)
R1	Direktur	CV. Banyu Agung Konsultan Perencana	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	18	45
R2	Team Leader	CV. Banyu Agung Konsultan Perencana	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	6	30
R3	Asisten Team Leader	CV. Banyu Agung Konsultan Perencana	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	5	29
R4	Direktur	PT. Kencana Eka Yasa Konsultan Pengawas	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	15	43
R5	Pengawas Lapangan	PT. Kencana Eka Yasa Konsultan Pengawas	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	3	23
R6	Pengawas Teknis	Dinas PKPCK Kab. Malang	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	9	33
R7	Pengawas Teknis	Dinas PKPCK Kab. Malang	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	8	40
R8	Pengawas Teknis	Dinas PKPCK Kab. Malang	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	D3 Teknik Sipil	7	31
R9	Direktur	PT. Sedaya Bangun Persada Kontraktor Pelaksana	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	19	46
R10	Pelaksana Lapangan	PT. Sedaya Bangun Persada Kontraktor Pelaksana	Gedung Kejaksaan Negeri Kab. Malang	S1 Teknik Sipil	8	32

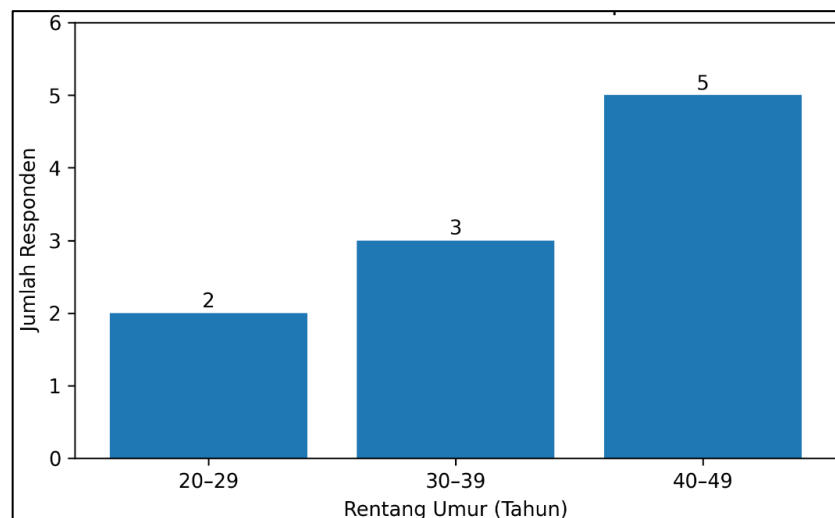
Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.2, penelitian ini melibatkan 10 responden yang dipilih menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan kompetensi, pengalaman kerja, dan keterlibatan dalam Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang. Responden terdiri atas 3 orang dari konsultan perencana, 2 orang dari konsultan pengawas, 3 orang pengawas teknis dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Kabupaten Malang, serta 2 orang dari kontraktor pelaksana proyek. Komposisi responden tersebut dipilih untuk

memperoleh estimasi durasi pekerjaan berdasarkan pengalaman para praktisi yang terlibat langsung pada setiap tahapan pelaksanaan proyek sehingga hasil *expert judgment* yang diperoleh diharapkan lebih objektif dan sesuai dengan kondisi lapangan.

Berdasarkan tingkat pendidikan, mayoritas responden merupakan lulusan Sarjana (S1) Teknik Sipil, sedangkan satu responden merupakan lulusan Diploma III (D3) Teknik Sipil. Pengalaman kerja responden berkisar antara 3 hingga 19 tahun sehingga seluruh responden dinilai memiliki kompetensi yang memadai dalam memberikan estimasi durasi pekerjaan menggunakan metode PERT. Jumlah responden sebanyak 10 orang dipilih untuk memperoleh variasi pendapat dari berbagai pihak yang terlibat dalam perencanaan, pengawasan, dan pelaksanaan proyek sehingga hasil estimasi durasi yang diperoleh diharapkan lebih representatif.

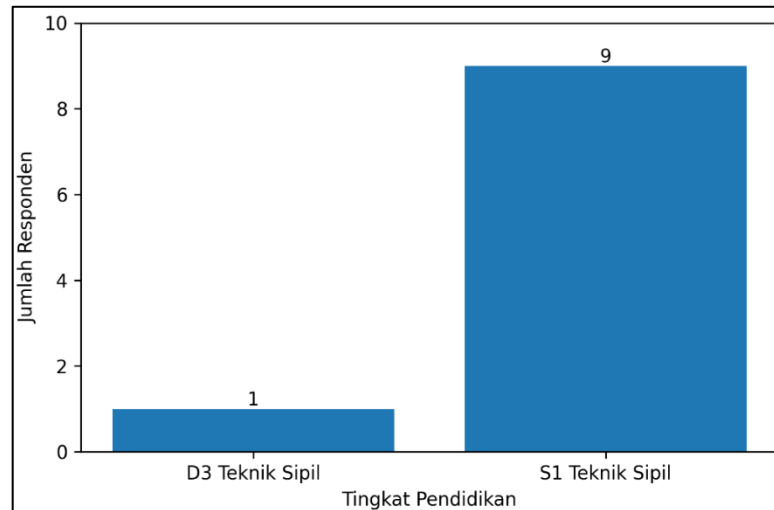
Berdasarkan karakteristik responden yang telah diuraikan pada Tabel 4.2, distribusi umur responden selanjutnya disajikan pada Gambar 4.12 sebagai gambaran komposisi usia responden yang berpartisipasi dalam penelitian.



Gambar 4.12 Distribusi umur responden

Gambar 4.12 menunjukkan distribusi umur responden yang terlibat dalam penelitian. Responden pada rentang umur 20–29 tahun berjumlah dua orang (20%), rentang umur 30–39 tahun berjumlah empat orang (40%), dan rentang umur 40–49 tahun berjumlah empat orang (40%). Distribusi tersebut menunjukkan bahwa responden berasal dari beberapa kelompok umur produktif yang didukung oleh pengalaman kerja di bidang konstruksi.

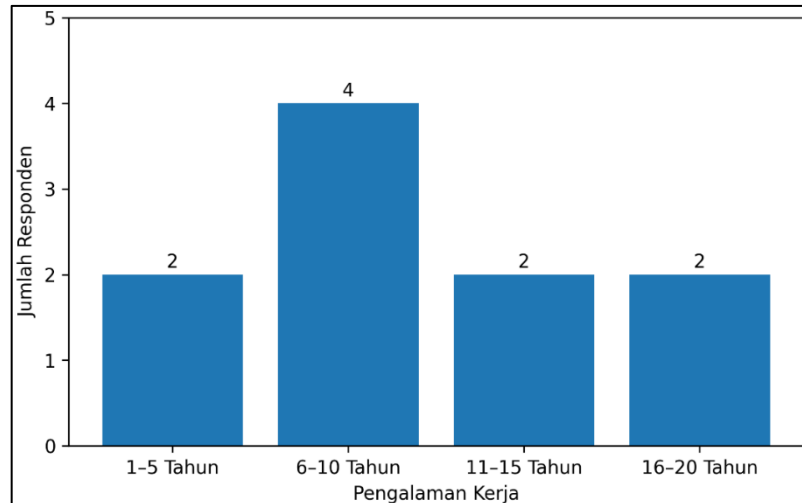
Selain karakteristik berdasarkan umur, tingkat pendidikan responden juga dianalisis untuk mengetahui latar belakang akademik responden yang berpartisipasi dalam penelitian. Distribusi tingkat pendidikan responden disajikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Distribusi tingkat pendidikan responden

Gambar 4.13 menunjukkan distribusi tingkat pendidikan responden yang terlibat dalam penelitian. Sebagian besar responden merupakan lulusan Sarjana (S1) Teknik Sipil, yaitu sebanyak sembilan orang (90%), sedangkan satu responden (10%) merupakan lulusan Diploma III (D3) Teknik Sipil. Latar belakang pendidikan tersebut menunjukkan bahwa seluruh responden memiliki kompetensi akademik yang sesuai dengan bidang konstruksi, sehingga memiliki kemampuan untuk memberikan *expert judgment* dalam mengestimasi durasi pekerjaan berdasarkan pengetahuan teknis dan pengalaman profesional yang dimiliki.

Karakteristik responden selanjutnya dianalisis berdasarkan pengalaman kerja di bidang konstruksi. Pengalaman kerja merupakan salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan responden karena berkaitan dengan kemampuan responden dalam memberikan *expert judgment* terhadap estimasi durasi pekerjaan. Distribusi pengalaman kerja responden disajikan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Distribusi pengalaman kerja responden

Gambar 4.14 menunjukkan distribusi pengalaman kerja responden yang terlibat dalam penelitian. Responden dengan pengalaman kerja 1–5 tahun berjumlah dua orang (20%), pengalaman 6–10 tahun berjumlah lima orang (50%), pengalaman 11–15 tahun berjumlah satu orang (10%), dan pengalaman 16–20 tahun berjumlah dua orang (20%). Dengan pengalaman kerja antara 3 sampai 19 tahun, responden memiliki latar pengalaman yang memadai untuk memberikan *expert judgment* dalam estimasi durasi pekerjaan menggunakan metode PERT.

4.2.2 Analisis Estimasi Durasi Menggunakan Metode PERT

Setelah karakteristik responden dianalisis, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis estimasi durasi pekerjaan menggunakan metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Analisis ini dilakukan berdasarkan hasil *expert judgment* dari 10 responden yang memberikan estimasi durasi setiap aktivitas pekerjaan dalam tiga kondisi, yaitu durasi optimis (*optimistic time*), durasi paling mungkin (*most likely time*), dan durasi pesimis (*pessimistic time*). Ketiga estimasi tersebut digunakan sebagai dasar untuk menghitung waktu harapan (*expected time*) beserta tingkat ketidakpastian durasi pekerjaan sesuai konsep probabilistik pada metode PERT.

Sebelum dilakukan pengolahan data hasil kuesioner, terlebih dahulu dijelaskan komponen-komponen yang digunakan dalam metode PERT sebagai dasar perhitungan estimasi durasi setiap aktivitas pekerjaan. Komponen tersebut meliputi durasi optimis (*optimistic time*), durasi paling mungkin (*most likely time*),

durasi pesimis (*pessimistic time*), waktu harapan (*expected time*), varians (*variance*), dan simpangan baku (*standard deviation*). Penjelasan mengenai masing-masing komponen dalam metode PERT disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Komponen Metode PERT

Simbol	Parameter	Keterangan
a	<i>Optimistic Time</i>	Estimasi durasi tercepat apabila aktivitas dapat dilaksanakan tanpa hambatan atau gangguan yang berarti.
m	<i>Most Likely Time</i>	Estimasi durasi yang paling mungkin terjadi berdasarkan kondisi normal pelaksanaan pekerjaan.
b	<i>Pessimistic Time</i>	Estimasi durasi terlama apabila terjadi berbagai hambatan selama pelaksanaan pekerjaan.
te	<i>Expected Time</i>	Waktu harapan yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode PERT berdasarkan nilai a, m, dan b.
σ^2	<i>Variance</i>	Varians yang menunjukkan tingkat penyebaran atau ketidakpastian durasi suatu aktivitas.
σ	<i>Standard Deviation</i>	Simpangan baku yang menunjukkan besarnya variasi durasi aktivitas terhadap waktu harapan.

Sumber: Diolah dari *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* dan *Project Management: A Managerial Approach*.

Berdasarkan Tabel 4.3, metode PERT menggunakan tiga estimasi waktu sebagai dasar perhitungan, yaitu durasi optimis (*optimistic time*), durasi paling mungkin (*most likely time*), dan durasi pesimis (*pessimistic time*). Ketiga estimasi tersebut merupakan bentuk pendekatan probabilistik yang digunakan untuk menggambarkan kemungkinan variasi durasi setiap aktivitas pekerjaan. Selanjutnya, ketiga parameter tersebut diolah untuk memperoleh waktu harapan (*expected time*), varians (*variance*), dan simpangan baku (*standard deviation*) yang digunakan sebagai dasar penyusunan jadwal proyek. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Persamaan (4.1) sampai dengan Persamaan (4.3).

$$Te = (a + 4m + b) / 6 \quad (4.1)$$

Keterangan:

te = waktu harapan (*Expected Time*)

a = durasi optimis (*Optimistic Time*)

m = durasi paling mungkin (*Most Likely Time*)

b = durasi pesimis (*Pessimistic Time*)

Persamaan (4.1) digunakan untuk menghitung waktu harapan (*expected time*) setiap aktivitas pekerjaan berdasarkan tiga estimasi durasi yang diberikan oleh responden. Dalam metode PERT, nilai waktu harapan dihitung dengan memberikan bobot yang lebih besar pada durasi paling mungkin (*most likely time*) karena dianggap paling merepresentasikan kondisi normal pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Oleh karena itu, nilai *expected time* digunakan sebagai dasar dalam penyusunan jadwal proyek sebelum dilakukan analisis terhadap tingkat ketidakpastian durasi setiap aktivitas pekerjaan.

$$\sigma^2 = ((b - a) / 6)^2 \quad (4.2)$$

Keterangan:

σ^2 = varians (*variance*)

a = durasi optimis (*optimistic time*)

b = durasi pesimis (*pessimistic time*)

Persamaan (4.2) digunakan untuk menghitung varians (*variance*) setiap aktivitas pekerjaan. Varians merupakan ukuran statistik yang menunjukkan tingkat penyebaran atau ketidakpastian durasi suatu aktivitas terhadap nilai waktu harapan (*expected time*). Dalam metode PERT, nilai varians diperoleh dari selisih antara durasi pesimis dan durasi optimis yang kemudian dibagi enam dan dikuadratkan. Semakin besar nilai varians yang diperoleh, semakin tinggi tingkat ketidakpastian durasi aktivitas tersebut sehingga berpotensi memengaruhi keandalan jadwal proyek serta meningkatkan risiko keterlambatan penyelesaian proyek apabila aktivitas tersebut berada pada lintasan kritis (*critical path*).

$$\sigma = (b - a) / 6 \quad (4.3)$$

Keterangan:

σ = simpangan baku (*standard deviation*)

a = durasi optimis (*optimistic time*)

b = durasi pesimis (*pessimistic time*)

Persamaan (4.3) digunakan untuk menghitung simpangan baku (*standard deviation*) setiap aktivitas pekerjaan. Simpangan baku merupakan ukuran statistik yang menunjukkan besarnya penyimpangan durasi suatu aktivitas terhadap nilai waktu harapan (*expected time*). Dalam metode PERT, nilai simpangan baku

diperoleh dari selisih antara durasi pesimis dan durasi optimis yang kemudian dibagi enam. Nilai simpangan baku yang kecil menunjukkan bahwa estimasi durasi aktivitas memiliki tingkat kepastian yang tinggi, sedangkan nilai simpangan baku yang besar menunjukkan adanya variasi durasi yang lebih tinggi sehingga aktivitas tersebut memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih besar dalam pelaksanaannya.

Berdasarkan Persamaan (4.1) sampai dengan Persamaan (4.3), data hasil kuesioner dari 10 responden diolah untuk menentukan rata-rata durasi optimis, durasi paling mungkin, dan durasi pesimis pada setiap aktivitas pekerjaan. Cuplikan rekapitulasi hasil estimasi durasi disajikan pada Tabel 4.4, sedangkan data seluruh aktivitas disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.4 Cuplikan Rekapitulasi Hasil Estimasi Durasi Aktivitas Pekerjaan Berdasarkan Hasil Kuesioner

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Sat.	Rata-rata Durasi Optimis (a)	Rata-rata Durasi Paling Mungkin (m)	Rata-rata Durasi Pesimis (b)	Satuan Durasi
A	STRUKTUR LANTAI I						
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1						
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3	0,20	0,30	0,40	Minggu
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3	0,10	0,20	0,30	Minggu
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3	0,10	0,20	0,30	Minggu
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1						
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3	0,10	0,20	0,30	Minggu
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	0,10	0,20	0,30	Minggu
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2	0,10	0,20	0,30	Minggu
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg	0,75	0,95	1,35	Minggu
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3	0,10	0,20	0,30	Minggu
6	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2	0,10	0,20	0,30	Minggu

Sumber: Hasil pengolahan data kuesioner, 2026.

Kuesioner pada penelitian ini digunakan untuk memperoleh *expert judgment* dari responden yang telah dipilih berdasarkan kompetensi dan pengalaman di bidang konstruksi. Instrumen kuesioner tidak digunakan untuk mengukur konstruk, sikap, atau persepsi responden, tetapi untuk memperoleh estimasi durasi optimis (a), durasi paling mungkin (m), dan durasi pesimis (b) pada setiap aktivitas pekerjaan. Oleh karena itu, kuesioner tidak dilakukan uji validitas dan reliabilitas sebagaimana instrumen yang digunakan untuk mengukur konstruk atau persepsi responden. Data hasil *expert judgment* selanjutnya direkapitulasi dan diolah

menggunakan metode PERT untuk memperoleh waktu harapan (*expected time*), varians, dan simpangan baku setiap aktivitas pekerjaan.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.4, diperoleh nilai rata-rata durasi optimis, durasi paling mungkin, dan durasi pesimis dari 10 responden untuk setiap aktivitas yang ditampilkan. Nilai rata-rata tersebut mewakili hasil pengolahan kuesioner, sedangkan rekapitulasi seluruh aktivitas yang digunakan dalam analisis PERT disajikan pada bagian Lampiran.

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa setiap aktivitas pekerjaan memiliki rentang estimasi durasi yang berbeda sesuai dengan tingkat kompleksitas pekerjaan, volume pekerjaan, serta pengalaman responden dalam pelaksanaan proyek gedung. Aktivitas dengan volume pekerjaan yang lebih besar, seperti pekerjaan struktur utama, balok, kolom, plat lantai, dan pasangan dinding, cenderung memiliki estimasi durasi yang lebih panjang dibandingkan aktivitas dengan volume pekerjaan yang relatif kecil, seperti pekerjaan pengecoran lokal maupun pekerjaan *finishing* tertentu. Perbedaan nilai durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis juga menunjukkan adanya ketidakpastian waktu pelaksanaan yang dipengaruhi oleh kondisi lapangan, produktivitas tenaga kerja, ketersediaan material, serta faktor cuaca.

Nilai rata-rata durasi optimis, durasi paling mungkin, dan durasi pesimis selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan metode PERT untuk memperoleh waktu harapan, varians, dan simpangan baku setiap aktivitas. Cuplikan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.5, sedangkan hasil perhitungan seluruh aktivitas disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.5 Cuplikan Hasil Perhitungan Waktu Harapan, Varians, dan Simpangan Baku Metode PERT

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Sat.	a	m	b	Expected Time (te)	Varians
A	STRUKTUR LANTAI I							
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1							
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3	0,2	0,3	0,4	0,300	0,001
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1							
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg	0,75	0,95	1,35	0,983	0,010
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001
6	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2	0,1	0,2	0,3	0,200	0,001

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian menggunakan metode PERT, 2026.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.5, diperoleh waktu harapan, varians, dan simpangan baku pada aktivitas yang ditampilkan. Nilai waktu harapan digunakan sebagai durasi aktivitas dalam penyusunan jadwal Microsoft Project, sedangkan nilai varians digunakan dalam analisis probabilitas setelah lintasan kritis diperoleh. Perhitungan lengkap seluruh aktivitas disajikan pada bagian Lampiran.

Nilai *expected time* menunjukkan estimasi durasi yang paling mungkin digunakan dalam penyusunan jadwal proyek. Sementara itu, nilai varians dan standar deviasi menggambarkan tingkat penyimpangan atau ketidakpastian durasi setiap aktivitas. Semakin besar nilai varians dan standar deviasi, maka semakin tinggi tingkat risiko keterlambatan pada aktivitas tersebut. Sebaliknya, aktivitas dengan nilai varians dan standar deviasi yang kecil memiliki tingkat kepastian durasi yang lebih tinggi sehingga pelaksanaannya relatif lebih mudah diprediksi.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.5, diperoleh nilai waktu harapan (*expected time*), varians, dan standar deviasi untuk setiap aktivitas pekerjaan. Nilai *expected time* selanjutnya digunakan sebagai durasi setiap aktivitas dalam penyusunan jadwal proyek menggunakan Microsoft Project. Sementara itu, nilai varians digunakan pada tahap analisis probabilitas penyelesaian proyek melalui perhitungan standar deviasi proyek setelah lintasan kritis (*critical path*) diperoleh dari hasil penjadwalan. Dengan demikian, hasil penyusunan jadwal proyek berdasarkan nilai *expected time* menggunakan Microsoft Project disajikan pada Subbab 4.3.

4.3 Penyusunan Jadwal Proyek Berdasarkan Hasil Perhitungan Metode PERT

Setelah diperoleh nilai waktu harapan (*expected time*) pada setiap aktivitas pekerjaan, langkah selanjutnya adalah menyusun jadwal pelaksanaan proyek menggunakan perangkat lunak Microsoft Project. Penyusunan jadwal dilakukan dengan memasukkan seluruh aktivitas pekerjaan beserta durasi hasil perhitungan metode PERT dan hubungan ketergantungan (*predecessor*) yang mengacu pada *Work Breakdown Structure* (WBS) proyek pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang. Proses ini menghasilkan jadwal pelaksanaan proyek yang disusun berdasarkan pendekatan probabilistik sehingga dapat digunakan

untuk mengevaluasi perbedaan terhadap jadwal rencana proyek yang telah disusun oleh kontraktor.

4.3.1 Jadwal Rencana Proyek

Sebelum dilakukan penyusunan jadwal menggunakan metode PERT, proyek pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang telah memiliki jadwal pelaksanaan yang disusun oleh kontraktor. Jadwal tersebut disusun berdasarkan dokumen *time schedule* proyek dan digunakan sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan selama masa konstruksi. Selain berfungsi sebagai rencana pelaksanaan proyek, jadwal ini juga menjadi dasar pembandingan terhadap jadwal hasil perhitungan metode PERT.

Jadwal rencana pelaksanaan proyek yang disusun oleh kontraktor berdasarkan dokumen *time schedule* proyek ditunjukkan pada Gambar 4.15.

KODE	URAIAN	HARGA TOTAL	BOBOT (%)	PERIODE															
				M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
				02 Sep 25	08 Sep 25	15 Sep 25	22 Sep 25	29 Sep 25	06 Okt 25	13 Okt 25	20 Okt 25	27 Okt 25	03 Nov 25	10 Nov 25	17 Nov 25	24 Nov 25	01 Des 25	08 Des 25	15 Des 25
				07 Sep 25	14 Sep 25	21 Sep 25	28 Sep 25	05 Okt 25	12 Okt 25	19 Okt 25	26 Okt 25	02 Nov 25	09 Nov 25	16 Nov 25	23 Nov 25	30 Nov 25	07 Des 25	14 Des 25	21 Des 25
A	SMKK	24.867.500,00	0,382 %	0,189 %															
B	GEDUNG KANTOR KEJAKSAAN NEGERI MALANG																		
B.1	STRUKTUR																		
B.1.1	PEKERJAAN STRUKTUR BAWAH	1.513.240.882,42	23,238 %																
B.1.2	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 1	608.552.530,82	9,346 %																
B.1.3	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 2	1.266.079.090,88	19,442 %																
B.1.4	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI TOP ROOF	1.048.166.577,67	16,096 %																
B.2	ARSITEKTUR																		
B.2.1	ARSITEKTUR LANTAI 1	499.377.104,91	7,668 %																
B.2.2	ARSITEKTUR LANTAI 2	250.161.353,77	3,842 %																
B.2.3	ARSITEKTUR TOP ROOF	445.507.912,34	6,841 %																
B.2.4	PEKERJAAN ORNAMEN FACADE	164.007.386,12	2,519 %																
B.3	ELEKTRIKAL																		
B.3.1	PEKERJAAN PASANG DAYA BARU	10.377.000,00	0,159 %																
B.3.2	PEKERJAAN PASANG MDP	4.186.451,00	0,064 %																
B.3.3	PEKERJAAN PASANG SDP LANTAI 1	3.366.646,00	0,052 %																
B.3.4	PEKERJAAN PASANG SDP LANTAI 2	4.908.384,00	0,075 %																
B.3.5	PEKERJAAN PEMBUNYAN / GROUNDING	1.123.182,00	0,017 %																
B.3.6	PEKERJAAN PENANGKAL PETIR	28.125.000,00	0,432 %																
B.4	SANITARI DAN PLUMBING																		
B.4.1	SANITARI	111.475.884,00	1,712 %																
B.4.2	INSTALASI AIR BERSIH	63.870.380,88	0,981 %																
B.4.3	INSTALASI AIR LIMBAH	29.860.288,18	0,469 %																
B.4.4	INSTALASI AIR KOTOR	23.193.900,74	0,356 %																
B.4.5	SEPTICK TANK DAN SUMUR RESAPAN	44.858.914,73	0,686 %																
B.4.6	INSTALASI AIR HUJAN	28.163.492,00	0,432 %																
C	PAGAR KAWASAN																		
C.1	STRUKTUR																		
C.1.1	FOOT PLATE	50.157.962,20	0,770 %																
C.1.2	KOLOM	109.571.447,39	1,683 %																
C.1.3	BATU KALI DAN SLOOF	60.674.267,39	0,932 %																
C.2	ARSITEKTUR																		
C.2.1	KOLOM PAGAR	33.142.802,91	0,509 %																
C.2.2	DINDING DAN PAGAR BESI	54.234.980,34	0,833 %																
D	SITE DEVELOPMENT																		
D.1	SALURAN KEJUUNG GEDUNG	13.171.730,40	0,202 %																
D.2	PERKERASAN JALAN DAN PARKIRAN	17.870.026,36	0,274 %																
JUMLAH TOTAL		6.312.062.879,45	100,000 %																
REALISASI PELAKSANAAN MINGGUAN				0,189 %															
REALISASI PELAKSANAAN KOMULATIF				0,189 %															
RENCANA PELAKSANAAN MINGGUAN				0,021 %	0,021 %	2,326 %	2,326 %	2,326 %	4,084 %	5,372 %	7,802 %	8,443 %	8,443 %	8,380 %	9,749 %	8,899 %	8,459 %	7,819 %	8,624 %
RENCANA PELAKSANAAN KOMULATIF				0,021 %	0,042 %	2,368 %	5,894 %	8,820 %	12,914 %	18,286 %	26,089 %	34,531 %	42,974 %	51,354 %	61,103 %	70,002 %	78,460 %	86,279 %	94,903 %
DEVIASI PROGRESS KOMULATIF				0,168 %															

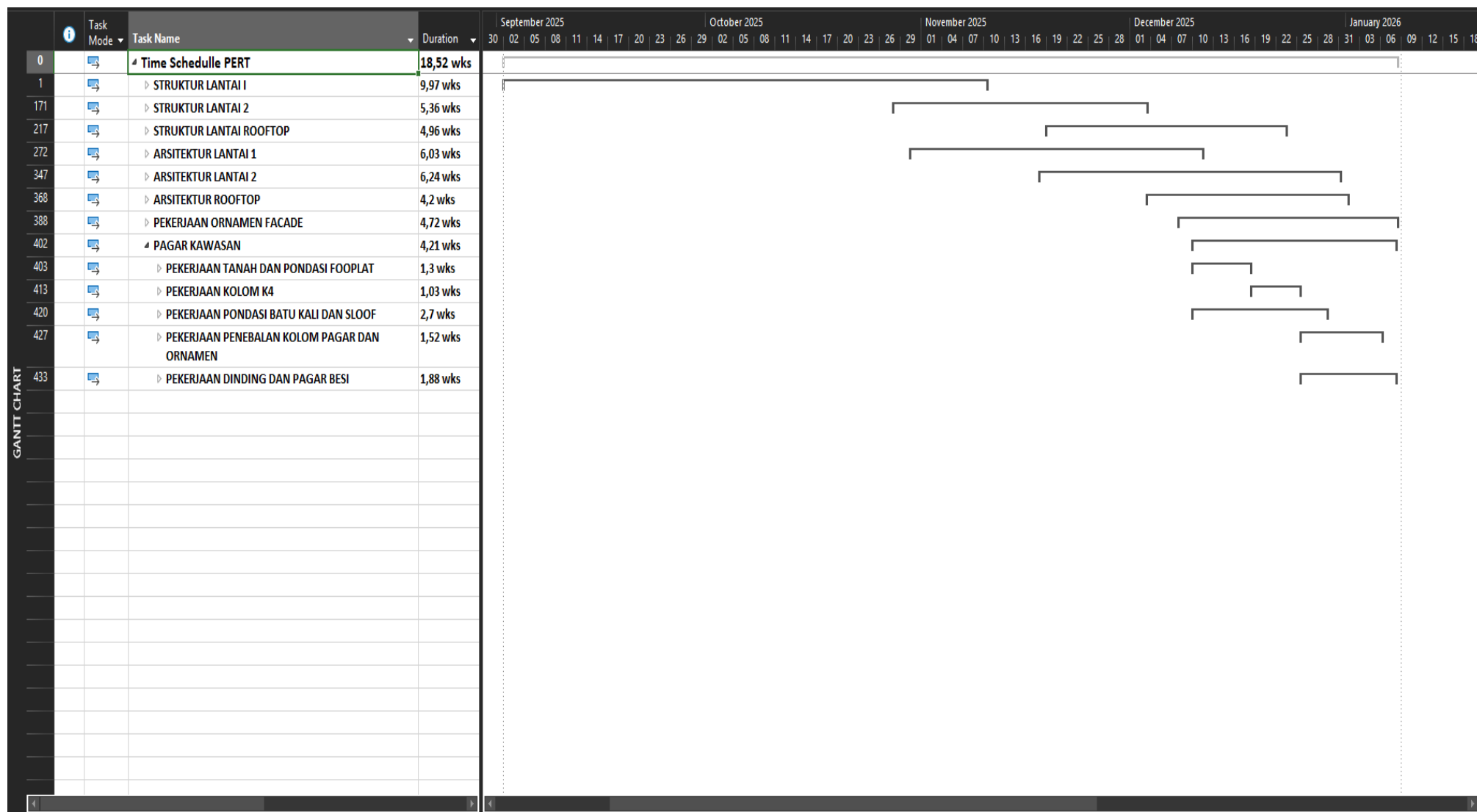
Gambar 4.15 Jadwal rencana pelaksanaan proyek berdasarkan *time schedule* kontraktor

Berdasarkan Gambar 4.15 terlihat bahwa jadwal rencana pelaksanaan proyek yang disusun oleh kontraktor memiliki durasi pelaksanaan selama 18 minggu, dimulai pada minggu pertama September 2025 hingga minggu keempat Desember 2025. Jadwal tersebut disusun berdasarkan urutan pekerjaan sesuai *Work Breakdown Structure* (WBS) proyek yang meliputi pekerjaan struktur, arsitektur, elektrik, sanitasi dan *plumbing*, serta pagar kawasan. Jadwal rencana ini berfungsi sebagai *baseline schedule* yang digunakan sebagai acuan pelaksanaan proyek. Selanjutnya, jadwal tersebut dijadikan sebagai dasar pembandingan terhadap jadwal hasil perhitungan metode PERT untuk mengidentifikasi perubahan durasi maupun urutan pelaksanaan aktivitas yang akan dianalisis pada penelitian ini.

4.3.2 Jadwal Pelaksanaan Proyek Berdasarkan Metode PERT

Berdasarkan hasil perhitungan metode PERT yang telah dilakukan pada setiap aktivitas pekerjaan, selanjutnya disusun jadwal pelaksanaan proyek menggunakan perangkat lunak Microsoft Project. Penyusunan jadwal dilakukan dengan memasukkan nilai waktu harapan (*expected time*) sebagai durasi setiap aktivitas serta menetapkan hubungan ketergantungan (*predecessor*) sesuai urutan pelaksanaan pekerjaan yang mengacu pada *Work Breakdown Structure* (WBS) proyek. Selain hubungan *Finish-to-Start* (FS), pada beberapa aktivitas juga digunakan hubungan *Start-to-Start* (SS) untuk menggambarkan pekerjaan yang dapat dilaksanakan secara tumpang tindih (*overlapping*) sesuai kondisi pelaksanaan di lapangan.

Hasil penyusunan jadwal pelaksanaan proyek menggunakan metode PERT dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Project ditunjukkan pada Gambar 4.16.

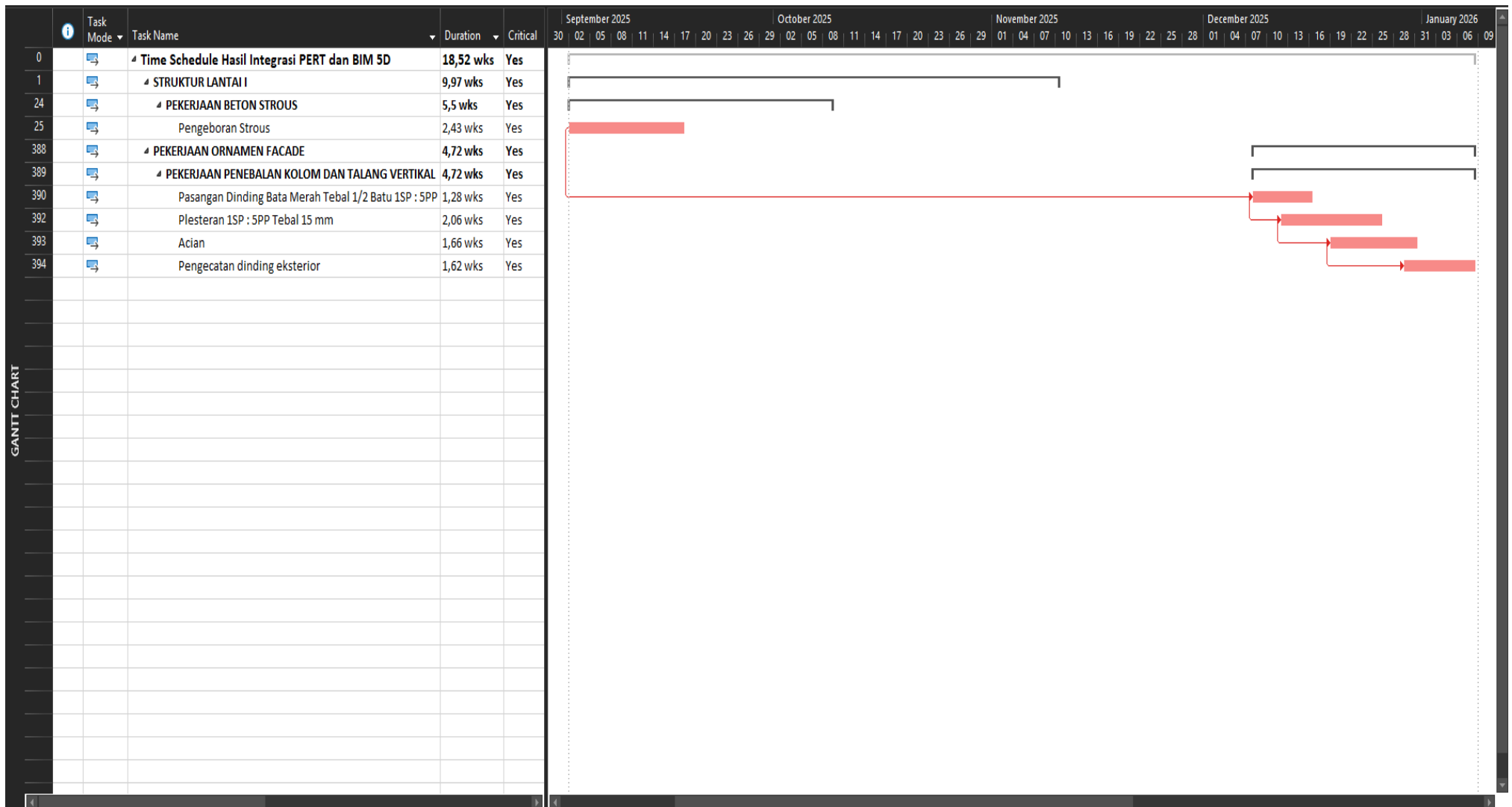


Gambar 4.16 Jadwal pelaksanaan proyek hasil perhitungan metode PERT menggunakan Microsoft Project

Berdasarkan Gambar 4.16, jadwal hasil perhitungan metode PERT menunjukkan bahwa proyek dimulai pada tanggal 2 September 2025 dan selesai pada tanggal 8 Januari 2026 dengan total durasi 18,52 minggu. Jadwal tersebut disusun berdasarkan nilai *expected time* setiap aktivitas serta hubungan ketergantungan (*predecessor*) yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak Microsoft Project. Selain hubungan *Finish-to-Start* (FS), beberapa aktivitas menggunakan hubungan *Start-to-Start* (SS) sehingga pekerjaan tertentu dapat dilaksanakan secara tumpang tindih (*overlapping*) tanpa mengganggu urutan konstruksi. Dengan demikian, jadwal yang dihasilkan lebih mencerminkan kondisi pelaksanaan proyek yang realistis. Selain menghasilkan jadwal pelaksanaan proyek, metode PERT juga memungkinkan dilakukan analisis probabilitas penyelesaian proyek berdasarkan durasi harapan (*expected time*) dan tingkat ketidakpastian aktivitas yang dinyatakan dalam nilai varians serta standar deviasi.

Berdasarkan hasil penjadwalan menggunakan Microsoft Project, selanjutnya dilakukan identifikasi aktivitas yang berada pada lintasan kritis (*critical path*). Aktivitas pada lintasan kritis merupakan aktivitas yang menentukan total durasi penyelesaian proyek sehingga setiap keterlambatan pada salah satu aktivitas tersebut akan mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, aktivitas-aktivitas yang berada pada lintasan kritis digunakan sebagai dasar dalam perhitungan standar deviasi proyek dan analisis probabilitas penyelesaian proyek.

Hasil identifikasi aktivitas yang termasuk dalam lintasan kritis menggunakan Microsoft Project ditunjukkan pada Gambar 4.17. Aktivitas yang ditampilkan sebagai lintasan kritis inilah yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan standar deviasi proyek melalui penjumlahan nilai varians masing-masing aktivitas.



Gambar 4.17 Identifikasi aktivitas pada lintasan kritis (*critical path*) menggunakan Microsoft Project

Berdasarkan Gambar 4.17 diperoleh lima aktivitas yang termasuk dalam lintasan kritis (*critical path*), yaitu pekerjaan pengeboran strauss, pasangan dinding bata merah tebal 1/2 batu 1SP: 5PP, plesteran 1SP: 5PP tebal 15 mm, acian, dan pengecatan dinding eksterior. Aktivitas-aktivitas tersebut merupakan penentu durasi penyelesaian proyek sehingga setiap keterlambatan pada salah satu aktivitas akan mengakibatkan keterlambatan penyelesaian proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, nilai varians dari masing-masing aktivitas pada lintasan kritis digunakan sebagai dasar dalam perhitungan standar deviasi proyek menggunakan Persamaan (4.4).

$$\sigma_p = (\sum V_i)^{1/2} \quad (4.4)$$

Keterangan:

σ_p = standar deviasi proyek (*project standard deviation*)

V_i = varians aktivitas pada lintasan kritis (*variance of critical path activities*)

Persamaan (4.4) digunakan untuk menghitung standar deviasi proyek berdasarkan jumlah varians seluruh aktivitas yang berada pada lintasan kritis (*critical path*). Standar deviasi proyek merupakan ukuran tingkat ketidakpastian durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Semakin besar nilai standar deviasi proyek, semakin besar pula variasi durasi penyelesaian proyek yang mungkin terjadi. Sebaliknya, nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan bahwa estimasi durasi penyelesaian proyek memiliki tingkat kepastian yang lebih tinggi.

Berdasarkan Persamaan (4.4), perhitungan standar deviasi proyek dilakukan menggunakan jumlah varians seluruh aktivitas yang berada pada lintasan kritis (*critical path*). Nilai varians masing-masing aktivitas diperoleh dari hasil perhitungan metode PERT pada Tabel 4.5, sedangkan aktivitas yang termasuk dalam lintasan kritis diidentifikasi berdasarkan hasil penjadwalan menggunakan Microsoft Project. Rekapitulasi varians aktivitas pada lintasan kritis disajikan pada Tabel 4.5a.

Tabel 4.5a Rekapitulasi Varians Aktivitas pada Lintasan Kritis

No.	Aktivitas pada Lintasan Kritis	Varians (V_i)
1	Pengeboran Strous	0,041344
2	Pasangan Dinding Bata Merah Tebal 1/2 Batu 1SP : 5PP	0,014003
3	Plesteran 1SP : 5PP Tebal 15 mm	0,034844
4	Acian	0,023003
5	Pengecatan Dinding Eksterior	0,018225
	Jumlah Varians Lintasan Kritis ($\sum V_i$)	0,131419

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian menggunakan metode PERT, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.5a diperoleh jumlah varians aktivitas pada lintasan kritis (ΣV_i) sebesar 0,131419. Nilai tersebut selanjutnya disubstitusikan ke dalam Persamaan (4.4) untuk memperoleh standar deviasi proyek sebagai berikut.

$$\Sigma V_i = 0,131419$$

$$\sigma_p = (0,131419)^{1/2}$$

$$\sigma_p = 0,3625 \text{ minggu}$$

Setelah diperoleh nilai standar deviasi proyek sebesar 0,3625 minggu, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Z sebagai dasar untuk menentukan probabilitas penyelesaian proyek. Dalam metode PERT, nilai Z digunakan untuk mengukur peluang suatu proyek dapat diselesaikan sesuai target waktu yang telah ditetapkan dengan mempertimbangkan waktu harapan (*expected time*) dan standar deviasi proyek. Perhitungan nilai Z untuk menentukan probabilitas penyelesaian proyek dilakukan menggunakan Persamaan (4.5)

$$Z = (T_s - T_e) / \sigma_p \quad (4.5)$$

Keterangan:

Z = nilai baku (*Z-score*)

T_s = target waktu penyelesaian proyek (*scheduled/target duration*)

T_e = waktu harapan proyek (*expected project duration*)

σ_p = standar deviasi proyek

Pada penelitian ini target waktu penyelesaian proyek mengacu pada jadwal rencana kontraktor selama 18 minggu, sedangkan waktu harapan proyek hasil metode PERT adalah 18,52 minggu dengan standar deviasi proyek sebesar 0,3625 minggu. Berdasarkan data tersebut, nilai Z dihitung sebagai berikut.

$$Z = (18 - 18,52) / 0,3625$$

$$Z = -0,52 / 0,3625$$

$$Z = -1,43$$

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (4.5) menghasilkan nilai Z sebesar -1,43. Nilai Z yang bernilai negatif menunjukkan bahwa target waktu penyelesaian proyek selama 18 minggu lebih singkat dibandingkan waktu harapan proyek hasil metode PERT sebesar 18,52 minggu. Selanjutnya, nilai Z tersebut dikonversi menjadi probabilitas penyelesaian proyek menggunakan distribusi normal baku sehingga diperoleh nilai probabilitas sebagai berikut.

$$P(Z \leq -1,43) = 0,0764$$

$$P = 7,64\%$$

Nilai probabilitas sebesar 7,64% menunjukkan bahwa peluang proyek dapat diselesaikan sesuai target jadwal kontraktor selama 18 minggu tergolong rendah. Kondisi ini disebabkan target waktu kontraktor lebih singkat dibandingkan waktu harapan hasil metode PERT sebesar 18,52 minggu. Dengan demikian, jadwal kontraktor dapat dikategorikan lebih optimistis, sedangkan jadwal hasil metode PERT memberikan estimasi durasi yang lebih mempertimbangkan ketidakpastian setiap aktivitas pekerjaan sehingga lebih realistis sebagai dasar evaluasi waktu pelaksanaan proyek.

Setelah diperoleh jadwal pelaksanaan proyek beserta hasil analisis probabilitas penyelesaiannya menggunakan metode PERT, langkah selanjutnya adalah membandingkan jadwal tersebut dengan jadwal rencana yang disusun oleh kontraktor. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan durasi pelaksanaan, waktu penyelesaian, serta perubahan hubungan ketergantungan aktivitas yang terjadi akibat penerapan pendekatan probabilistik pada metode PERT. Hasil perbandingan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja waktu menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM).

4.3.3 Perbandingan Jadwal Rencana dan Jadwal Hasil PERT

Setelah diperoleh jadwal pelaksanaan proyek berdasarkan metode PERT, langkah selanjutnya adalah membandingkan jadwal tersebut dengan jadwal rencana proyek yang disusun oleh kontraktor. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan durasi pelaksanaan proyek, waktu penyelesaian, serta perubahan urutan aktivitas yang terjadi akibat penggunaan pendekatan probabilistik pada metode PERT. Hasil perbandingan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis varians jadwal pada metode *Earned Value Management* (EVM). Hasil perbandingan antara jadwal rencana kontraktor dan jadwal hasil metode PERT disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Jadwal Rencana Kontraktor dan Jadwal Hasil Metode PERT

Uraian	Jadwal Kontraktor	Jadwal Hasil PERT
Tanggal mulai	02-Sep-25	02-Sep-25
Tanggal selesai	30-Dec-25	08-Jan-26
Durasi proyek	18 minggu	18,52 minggu
Dasar penentuan durasi	Estimasi kontraktor	<i>Expected Time</i> PERT
Metode penyusunan	<i>Time Schedule</i> Kontraktor	<i>Microsoft Project</i> berbasis PERT
Hubungan aktivitas	Konvensional	FS dan SS (<i>overlapping</i>)

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian berdasarkan *time schedule* kontraktor dan hasil analisis PERT menggunakan Microsoft Project, 2026

Berdasarkan Tabel 4.6 terlihat bahwa jadwal hasil perhitungan metode PERT memiliki durasi pelaksanaan sebesar 18,52 minggu, sedangkan jadwal rencana proyek yang disusun oleh kontraktor memiliki durasi 18 minggu. Dengan demikian terdapat selisih durasi sekitar 0,52 minggu atau sekitar 4 hari kalender. Penambahan durasi tersebut terjadi karena metode PERT menggunakan nilai *expected time* yang mempertimbangkan ketidakpastian durasi setiap aktivitas, sehingga jadwal yang dihasilkan lebih realistis dibandingkan jadwal deterministik yang digunakan oleh kontraktor.

Meskipun terdapat sedikit perbedaan durasi, kedua jadwal menunjukkan urutan pelaksanaan pekerjaan yang relatif sama, dimulai dari pekerjaan struktur, dilanjutkan pekerjaan arsitektur, pekerjaan fasad, hingga pekerjaan pagar kawasan. Perbedaan utama terletak pada waktu mulai dan selesai beberapa aktivitas yang mengalami penyesuaian akibat hubungan ketergantungan (*predecessor*) dan penerapan aktivitas yang dapat berjalan secara tumpang tindih (*overlapping*).

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa jadwal hasil metode PERT memiliki durasi 18,52 minggu, yaitu sekitar 0,52 minggu lebih panjang daripada jadwal kontraktor selama 18 minggu. Oleh karena itu, jadwal PERT tidak dinyatakan berada dalam durasi kontrak 18 minggu, tetapi digunakan sebagai jadwal probabilistik pembanding yang mempertimbangkan ketidakpastian durasi aktivitas dan menjadi dasar analisis waktu pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, jadwal PERT memberikan estimasi penyelesaian yang sedikit lebih panjang daripada jadwal rencana kontraktor. Perbedaan ini konsisten dengan hasil probabilitas sebesar 7,64% untuk penyelesaian dalam target 18 minggu. Jadwal hasil PERT selanjutnya digunakan sebagai dasar penyusunan analisis kinerja waktu menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM) pada pembahasan berikutnya.

4.4 Penerapan BIM 5D dalam Penyusunan Rencana Biaya Proyek

Setelah diperoleh jadwal pelaksanaan proyek berdasarkan metode PERT, tahap selanjutnya adalah menerapkan konsep *Building Information Modeling* (BIM) 5D untuk menyusun rencana biaya proyek. Penerapan BIM 5D dilakukan dengan mengintegrasikan model tiga dimensi Autodesk Revit, kuantitas elemen yang diekstraksi dari model, kuantitas manual untuk pekerjaan yang tidak dimodelkan secara eksplisit, serta harga satuan pekerjaan. Integrasi tersebut menghasilkan estimasi biaya yang dapat ditelusuri berdasarkan sumber kuantitas masing-masing item dan selanjutnya digunakan sebagai dasar penyusunan *Planned Value* (PV) dalam analisis *Earned Value Management* (EVM).

4.4.1 Quantity Take-Off (QTO) Berdasarkan Model BIM 3D

Penyusunan rencana biaya proyek diawali dengan proses *Quantity Take-Off* (QTO) menggunakan Autodesk Revit. Seluruh elemen struktur dan arsitektur yang telah dimodelkan pada tahap BIM 3D secara otomatis menghasilkan informasi kuantitas berupa volume, luas, panjang, maupun jumlah komponen sesuai karakteristik masing-masing elemen. Hasil *Quantity Take-Off* (QTO) tersebut menjadi dasar dalam penyusunan estimasi biaya proyek berbasis BIM 5D. Data kuantitas tersebut kemudian diekspor ke Microsoft Excel untuk dikelompokkan sesuai item pekerjaan pada Rencana Anggaran Biaya (RAB) sehingga dapat dilakukan proses perhitungan biaya proyek berbasis BIM 5D.

Hasil *Quantity Take-Off* (QTO) beserta estimasi biaya pekerjaan pondasi yang dihasilkan dari Autodesk Revit ditampilkan pada Gambar 4.18.

<BQ STRUKTUR PONDASI>			
A	B	C	D
Type	Volume	Cost	JUMLAH HARGA
PC 1	11,560 m ³	1.489.914	17.223.406
PC 1: 8	11,560 m ³		17.223.406
PC 2	49,372 m ³	1.489.914	73.559.816
PC 2: 52	49,372 m ³		73.559.816
Grand total: 60	60,932 m ³		90.783.222

Gambar 4.18 Hasil *Quantity Take-Off* (QTO) dan estimasi biaya pekerjaan pondasi menggunakan Autodesk Revit

Berdasarkan Gambar 4.18 terlihat bahwa Autodesk Revit secara otomatis menghasilkan informasi kuantitas pekerjaan pondasi berdasarkan model BIM 3D yang telah dibuat. Informasi yang disajikan meliputi tipe elemen, volume pekerjaan, harga satuan, serta total biaya masing-masing jenis pondasi. Sebagai contoh, pondasi tipe PC 1 memiliki volume sebesar 11,560 m³, sedangkan pondasi tipe PC 2 memiliki volume sebesar 49,372 m³, sehingga total volume pekerjaan pondasi mencapai 60,932 m³. Dengan harga satuan sebesar Rp1.489.914,00/m³, diperoleh estimasi total biaya pekerjaan pondasi sebesar Rp90.783.222,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Autodesk Revit tidak hanya mampu menghasilkan informasi kuantitas pekerjaan secara otomatis, tetapi juga mengintegrasikan informasi kuantitas pekerjaan dengan data biaya sehingga proses penyusunan rencana anggaran biaya dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan model BIM. Integrasi antara model tiga dimensi, kuantitas pekerjaan, dan informasi biaya tersebut merupakan implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) 5D dalam penyusunan rencana anggaran biaya proyek.

Untuk memberikan gambaran hasil penyusunan rencana biaya berbasis BIM 5D tanpa membebani batang tubuh tesis dengan tabel yang terlalu panjang, Tabel 4.7 menyajikan cuplikan *Quantity Take-Off* (QTO) dan estimasi biaya yang mewakili pekerjaan struktur dan arsitektur. Rekapitulasi lengkap seluruh item pekerjaan disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.7 Cuplikan Rekapitulasi *Quantity Take-Off* dan Estimasi Biaya Hasil Implementasi BIM 5D

No.	URAIAN	VOL	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
A	STRUKTUR LANTAI I				
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1				
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3	53.933,00	1.621.010
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3	152.618,00	176.426
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3	29.963,00	554.196
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1				
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3	1.577.255,00	1.823.307
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	1.489.914,00	17.223.406
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2	98.394,00	2.676.317
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg	24.217,00	74.479.868
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3	15.300,00	176.868
6	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2	3.825,00	104.040

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Volume pekerjaan yang diberi keterangan BIM 5D diperoleh secara otomatis melalui proses *Quantity Take-Off* (QTO) pada Autodesk Revit. Sementara itu, volume pekerjaan yang diberi keterangan Manual dihitung berdasarkan gambar kerja dan analisis perhitungan manual karena belum dapat dimodelkan secara langsung pada Autodesk Revit. Seluruh hasil kuantitas tersebut kemudian diintegrasikan dalam penyusunan estimasi biaya proyek sebagai implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) 5D.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.7, penyusunan estimasi biaya dilakukan melalui integrasi antara hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit dan perhitungan manual untuk pekerjaan yang tidak dimodelkan secara langsung. Nilai total estimasi biaya dibentuk berdasarkan rekapitulasi lengkap seluruh item pekerjaan yang disajikan pada bagian Lampiran.

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa total estimasi biaya pekerjaan struktur dan arsitektur yang diperoleh sebesar Rp 4.522.525.758,00. Nilai tersebut merupakan akumulasi seluruh item pekerjaan yang dihitung berdasarkan volume pekerjaan, harga satuan, dan metode perolehan kuantitas masing-masing. Dengan adanya integrasi antara hasil *Quantity Take-Off* (QTO) berbasis BIM 5D dan perhitungan manual, seluruh item pekerjaan pada Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dihitung secara lengkap sehingga menghasilkan estimasi biaya yang lebih sistematis dan konsisten.

Selain menghasilkan estimasi biaya, penerapan BIM 5D juga memberikan kemudahan dalam proses pembaruan data kuantitas pekerjaan. Setiap perubahan yang dilakukan pada model tiga dimensi akan memperbarui kuantitas pekerjaan secara otomatis sehingga dapat mengurangi potensi kesalahan akibat perhitungan manual. Oleh karena itu, hasil estimasi biaya berbasis BIM 5D pada penelitian ini selanjutnya divalidasi dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil perhitungan sebelum digunakan sebagai dasar analisis kinerja biaya menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM).

4.4.2 Validasi Hasil *Quantity Take-Off* (QTO) terhadap Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek

Setelah diperoleh hasil *Quantity Take-Off* (QTO) beserta estimasi biaya dari model BIM 5D, langkah selanjutnya adalah melakukan validasi terhadap Rencana

Anggaran Biaya (RAB) proyek. Proses validasi dilakukan untuk memastikan bahwa volume pekerjaan yang dihasilkan melalui Autodesk Revit memiliki tingkat kesesuaian dengan volume pekerjaan pada dokumen perencanaan proyek. Validasi ini penting dilakukan karena hasil estimasi biaya berbasis BIM 5D akan digunakan sebagai dasar analisis biaya pada metode *Earned Value Management* (EVM).

Validasi dilakukan dengan membandingkan volume pekerjaan hasil *Quantity Take-Off* Autodesk Revit terhadap volume pekerjaan pada Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek. Tabel 4.8 menyajikan cuplikan rekapitulasi hasil *Quantity Take-Off* dan estimasi biaya Autodesk Revit, sedangkan rekapitulasi lengkap seluruh item disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.8 Cuplikan Rekapitulasi *Quantity Take-Off* dan Estimasi Biaya Autodesk Revit

No.	URAIAN	VOL	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
A	STRUKTUR LANTAI I				
I	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1				
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,156	m3	1.577.255,00	1.823.306,78
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	1.489.914,00	17.223.405,84
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3075,52	Kg	24.217,00	74.479.867,84
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC2				
1	Beton Lantai Kerja PC 2 190 x 100 x 5 fc 7,5 Mpa	4,94	m3	1.577.255,00	7.791.639,70
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 2 190 x 100 x 50 fc 25 Mpa	49,372	m3	1.489.914,00	73.560.034,01
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	11498,6	Kg	24.217,00	278.462.080,54

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.8, Autodesk Revit menghasilkan volume pekerjaan dan estimasi biaya pada item yang berhasil dimodelkan. Total estimasi biaya yang dibahas pada bagian ini mengacu pada rekapitulasi lengkap hasil *Quantity Take-Off* (QTO) yang disajikan pada bagian Lampiran.

Untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit dengan dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek, rekapitulasi RAB disusun kembali mengikuti struktur item hasil pemodelan BIM. Cuplikan rekapitulasi RAB kontraktor disajikan pada Tabel 4.9, sedangkan data lengkap disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.9 Cuplikan Rekapitulasi Volume dan Biaya Berdasarkan RAB Kontraktor

No.	URAIAN	VOL	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
A	STRUKTUR LANTAI I				
I	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1				
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 f'c 7,5 Mpa	1,12	m3	1.577.255,00	1.766.525,60
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 f'c 25 Mpa	11,60	m3	1.489.914,00	17.283.002,40
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	1.609,84	Kg	24.217,00	38.985.495,28
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC2				
1	Beton Lantai Kerja PC 2 190 x 100 x 5 f'c 7,5 Mpa	5,20	m3	1.577.255,00	8.201.726,00
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 2 190 x 100 x 50 f'c 25 Mpa	49,40	m3	1.489.914,00	73.601.751,60
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	7.759,44	Kg	24.217,00	187.910.358,48

Sumber: Hasil pengolahan dokumen RAB kontraktor, 2026.

Cuplikan Tabel 4.9 menunjukkan rekapitulasi volume dan biaya yang bersumber dari RAB kontraktor. Untuk kepentingan perbandingan, item pekerjaan pada RAB kontraktor disusun kembali dengan mengacu pada pengelompokan item pekerjaan yang dapat dihasilkan melalui *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit. Penyelarasan tersebut dilakukan karena tidak seluruh item pekerjaan dalam RAB dapat diekstraksi secara langsung dari model BIM, sehingga perbandingan dilakukan pada item pekerjaan yang bersesuaian.

Berdasarkan rekapitulasi RAB tersebut, selanjutnya dilakukan validasi antara hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit dan dokumen RAB kontraktor. Validasi dilakukan dengan membandingkan volume dan nilai biaya pada item pekerjaan yang telah diselaraskan. Cuplikan hasil perbandingan disajikan pada Tabel 4.10, sedangkan rekapitulasi lengkap seluruh item disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.10 menyajikan perbandingan antara hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit dan RAB kontraktor berdasarkan volume pekerjaan, selisih volume, serta nilai biaya masing-masing item. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian kuantitas hasil pemodelan BIM terhadap dokumen RAB kontraktor serta mengidentifikasi perbedaan volume yang berpengaruh terhadap nilai biaya pekerjaan.

Tabel 4.9 Cuplikan Perbandingan *Quantity Take-Off* (QTO) terhadap RAB Kontraktor

No.	URAIAN	VOLUME REVIT	VOLUME RAB	SATUAN	SELISIH VOLUME	BIAYA REVIT (Rp)	BIAYA RAB (Rp)
A	STRUKTUR LANTAI I						
I	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1						
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,156	1,12	m3	0,04	1.823.306,78	1.766.525,60
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	11,60	m3	-0,04	17.223.405,84	17.283.002,40
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3075,52	1.609,84	Kg	1.465,68	74.479.867,84	38.985.495,28
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC2						
1	Beton Lantai Kerja PC 2 190 x 100 x 5 fc 7,5 Mpa	4,94	5,20	m3	-0,26	7.791.639,70	8.201.726,00
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 2 190 x 100 x 50 fc 25 Mpa	49,372	49,40	m3	-0,03	73.560.034,01	73.601.751,60
3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	11498,62	7.759,44	Kg	3.739,18	278.462.080,54	187.910.358,48

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.10 dan rekapitulasi lengkap pada Lampiran, hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik terhadap RAB kontraktor pada sebagian besar pekerjaan beton dan elemen arsitektur. Harga satuan yang digunakan pada kedua perhitungan sama karena mengacu pada dokumen RAB kontraktor, sehingga selisih biaya terutama dipengaruhi oleh perbedaan kuantitas pekerjaan.

Perbedaan biaya yang cukup besar terutama terjadi pada pekerjaan pembesian struktur, meliputi plat lantai, balok, kolom, dan sloof. Berdasarkan hasil perbandingan, volume beton pada elemen-elemen tersebut relatif mendekati dokumen RAB kontraktor, sedangkan volume pembesian yang dihasilkan Autodesk Revit lebih kecil dibandingkan volume pembesian pada dokumen RAB. Kondisi ini menyebabkan selisih biaya menjadi cukup besar karena pekerjaan pembesian memiliki proporsi biaya yang tinggi dalam pekerjaan struktur.

Secara keseluruhan, total biaya pekerjaan struktur dan arsitektur berdasarkan hasil *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit adalah sebesar **Rp2.926.927.772,82**, sedangkan total biaya berdasarkan dokumen RAB kontraktor sebesar **Rp4.393.612.592,53**. Dengan demikian diperoleh selisih biaya sebesar **Rp1.466.684.819,71** atau sekitar **33,38%** dari total biaya RAB kontraktor. Selisih tersebut menunjukkan bahwa hasil estimasi biaya berbasis BIM 5D masih dipengaruhi oleh perbedaan kuantitas pada beberapa item pekerjaan struktur, khususnya pekerjaan pembesian, meskipun volume pekerjaan beton dan sebagian besar pekerjaan arsitektur telah menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik dengan dokumen RAB kontraktor.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa Autodesk Revit mampu menghasilkan *Quantity Take-Off* (QTO) dan estimasi biaya secara

otomatis berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat. Meskipun masih terdapat perbedaan kuantitas pada beberapa item pekerjaan, khususnya pekerjaan pembesian struktur, proses estimasi biaya menggunakan BIM 5D tetap memberikan kemudahan dalam verifikasi volume pekerjaan, penyusunan anggaran biaya, serta evaluasi terhadap dokumen RAB kontraktor. Hasil estimasi biaya ini selanjutnya menjadi salah satu dasar dalam analisis kinerja proyek menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM).

4.5 Integrasi Jadwal dan Biaya Proyek sebagai Dasar Analisis *Earned Value Management*

Setelah jadwal pelaksanaan proyek disusun berdasarkan hasil analisis metode PERT menggunakan Microsoft Project pada Subbab 4.3 serta estimasi biaya proyek diperoleh melalui implementasi BIM 5D pada Subbab 4.4, tahapan selanjutnya adalah mengintegrasikan kedua informasi tersebut sebagai dasar pelaksanaan analisis *Earned Value Management* (EVM). Integrasi dilakukan dengan menghubungkan data jadwal pelaksanaan yang meliputi waktu mulai (*start*), waktu selesai (*finish*), dan durasi setiap aktivitas dengan data estimasi biaya masing-masing pekerjaan sehingga diperoleh distribusi bobot pekerjaan terhadap waktu pelaksanaan proyek.

Hasil integrasi tersebut menghasilkan jadwal berbobot (*cost-loaded schedule*) yang menggambarkan perkembangan rencana proyek berdasarkan aspek waktu dan biaya secara bersamaan. Jadwal berbobot ini selanjutnya digunakan untuk menyusun Kurva S rencana dan menentukan nilai *Planned Value* (PV) sebagai salah satu parameter utama dalam analisis *Earned Value Management* yang dibahas pada subbab berikutnya.

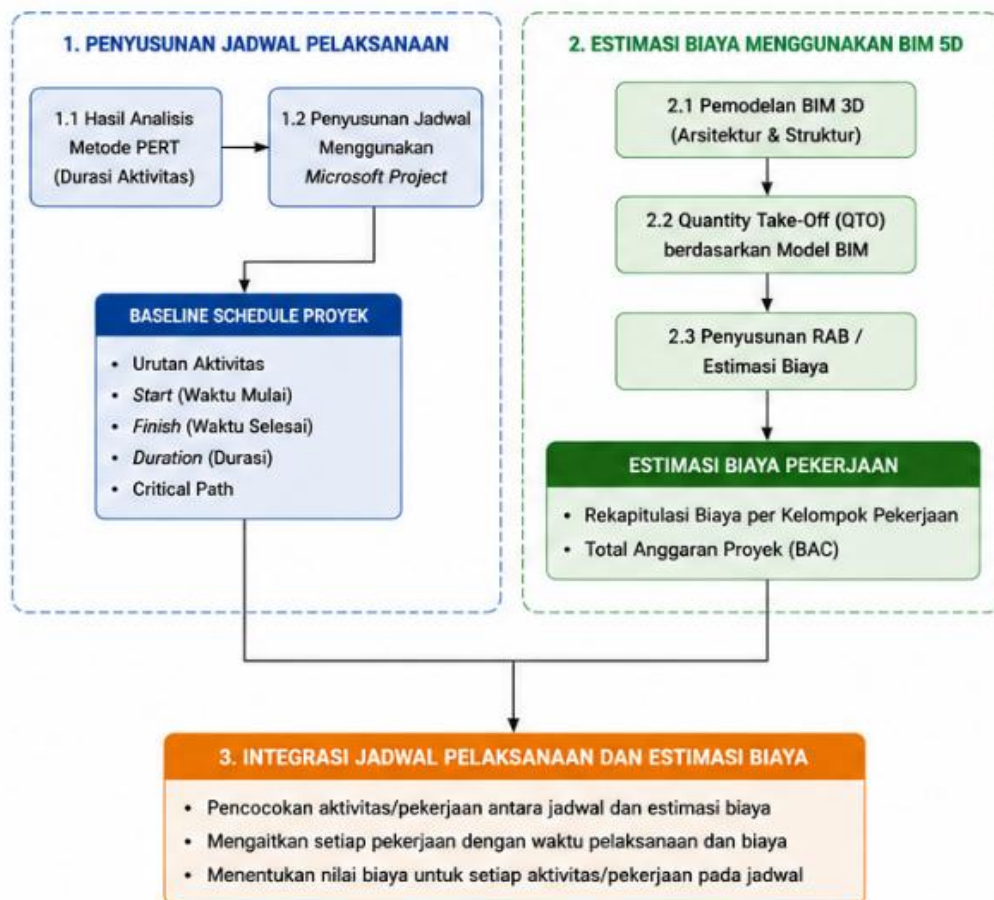
4.5.1 Integrasi Jadwal Pelaksanaan dan Estimasi Biaya Proyek

Integrasi jadwal pelaksanaan dan estimasi biaya dilakukan dengan menghubungkan data jadwal hasil penyusunan menggunakan Microsoft Project dengan data estimasi biaya yang diperoleh dari implementasi BIM 5D. Jadwal pelaksanaan menyediakan informasi mengenai waktu mulai (*start*), waktu selesai (*finish*), dan durasi setiap aktivitas proyek, sedangkan implementasi BIM 5D menghasilkan estimasi biaya untuk setiap kelompok pekerjaan berdasarkan hasil

Quantity Take-Off (QTO). Kedua data tersebut kemudian dipadukan sehingga setiap aktivitas pada jadwal pelaksanaan memiliki informasi biaya yang sesuai.

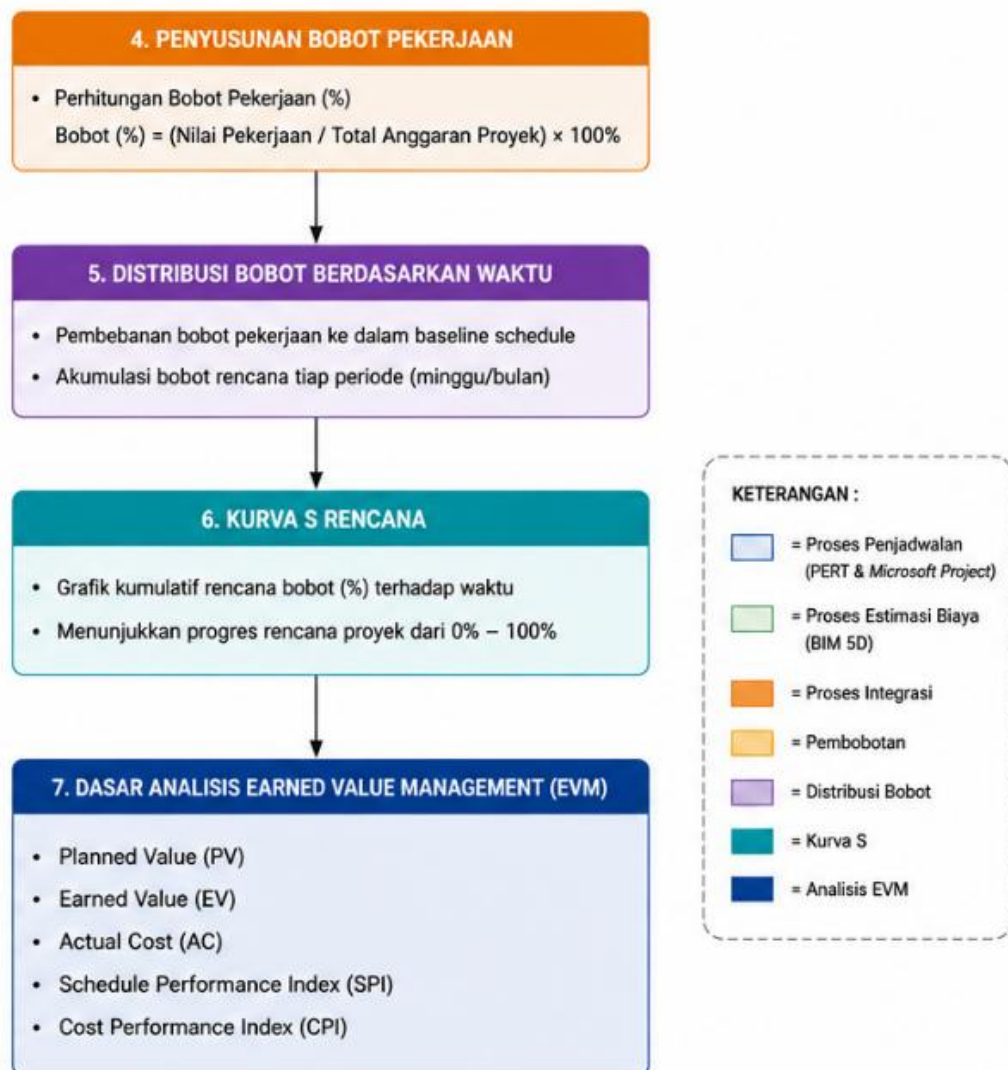
Proses integrasi dilakukan dengan mencocokkan setiap item pekerjaan pada jadwal pelaksanaan dengan kelompok pekerjaan yang terdapat pada rekapitulasi estimasi biaya. Selanjutnya dilakukan perhitungan bobot masing-masing pekerjaan berdasarkan proporsi nilai biaya terhadap total anggaran proyek (*Budget at Completion*) atau BAC. Bobot pekerjaan tersebut menjadi dasar dalam penyusunan distribusi progres rencana selama periode pelaksanaan proyek sehingga dapat disusun Kurva S rencana sebagai acuan analisis *Earned Value Management*.

Untuk memberikan gambaran mengenai tahapan penyusunan jadwal pelaksanaan dan estimasi biaya pada penelitian ini, proses tersebut disajikan dalam bentuk diagram alir. Tahap awal meliputi penyusunan jadwal pelaksanaan menggunakan metode PERT dan Microsoft Project, penyusunan estimasi biaya melalui implementasi BIM 5D, serta proses integrasi antara jadwal pelaksanaan dan estimasi biaya. Diagram alir tahapan tersebut disajikan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Tahap penyusunan jadwal, estimasi biaya, dan integrasi

Proses integrasi dilakukan dengan mencocokkan setiap item pekerjaan pada jadwal pelaksanaan dengan kelompok pekerjaan yang terdapat pada rekapitulasi estimasi biaya. Selanjutnya dilakukan perhitungan bobot masing-masing pekerjaan berdasarkan proporsi nilai biaya terhadap total anggaran proyek (*Budget at Completion*) atau BAC. Bobot pekerjaan tersebut kemudian didistribusikan ke dalam jadwal pelaksanaan untuk membentuk Kurva S rencana sebagai dasar analisis *Earned Value Management* (EVM). Tahapan pembobotan, penyusunan Kurva S, dan dasar analisis EVM disajikan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Tahap pembobotan, Kurva S, dan analisis EVM

Berdasarkan Gambar 4.20, setelah proses integrasi jadwal pelaksanaan dan estimasi biaya selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menghitung bobot setiap

pekerjaan berdasarkan proporsi nilai biaya terhadap total anggaran proyek (*Budget at Completion*) atau BAC. Bobot pekerjaan tersebut kemudian didistribusikan ke dalam jadwal pelaksanaan sesuai periode waktu pelaksanaan untuk membentuk Kurva S rencana. Kurva S rencana selanjutnya menghasilkan nilai *Planned Value* (PV) yang digunakan bersama data *Earned Value* (EV) dan *Actual Cost* (AC) sebagai dasar pelaksanaan analisis *Earned Value Management* (EVM).

Berdasarkan tahapan tersebut, proses integrasi menghasilkan dasar yang diperlukan untuk penyusunan bobot pekerjaan, distribusi bobot terhadap waktu, pembentukan Kurva S rencana, serta analisis kinerja proyek menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM). Tahapan tersebut dibahas secara rinci pada subbab berikutnya.

4.5.2 Penyusunan Bobot Pekerjaan

Setelah proses integrasi antara jadwal pelaksanaan dan estimasi biaya selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menyusun bobot masing-masing pekerjaan berdasarkan proporsi nilai biaya terhadap total anggaran proyek (*Budget at Completion*) atau BAC. Penyusunan bobot pekerjaan bertujuan untuk mengetahui kontribusi setiap item pekerjaan terhadap keseluruhan biaya proyek sehingga dapat digunakan sebagai dasar distribusi progres rencana pada setiap periode pelaksanaan.

Bobot pekerjaan dihitung menggunakan data estimasi biaya yang diperoleh dari implementasi BIM 5D. Nilai biaya setiap pekerjaan dibandingkan dengan total anggaran proyek (BAC), kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Hasil perhitungan bobot tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan distribusi progres rencana pada setiap minggu pelaksanaan proyek dan menjadi dasar penyusunan Kurva S rencana.

Perhitungan bobot pekerjaan pada penelitian ini dilakukan menggunakan persamaan pembobotan berdasarkan proporsi nilai biaya setiap pekerjaan terhadap total anggaran proyek (*Budget at Completion*) atau BAC. Persamaan yang digunakan untuk menghitung bobot pekerjaan ditunjukkan pada Persamaan (4.6)

$$\text{Bobot pekerjaan (\%)} = (\text{Nilai pekerjaan} / \text{BAC}) \times 100\% \quad (4.6)$$

Keterangan:

Bobot pekerjaan (%) = persentase kontribusi biaya setiap pekerjaan terhadap total biaya proyek.

Nilai pekerjaan = estimasi biaya masing-masing item pekerjaan hasil implementasi BIM 5D.

Budget at Completion (BAC) = total anggaran proyek.

Berdasarkan Persamaan (4.6), bobot setiap pekerjaan dihitung dari proporsi nilai biaya terhadap *Budget at Completion* (BAC). Tabel 4.11 menyajikan cuplikan hasil pembobotan pekerjaan, sedangkan rekapitulasi bobot seluruh item disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.11 Cuplikan Rekapitulasi Bobot Pekerjaan Berdasarkan Estimasi Biaya BIM 5D

No.	URAIAN	VOL	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)	BOBOT (%)
A	STRUKTUR LANTAI I					
I	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1					
1	Galian Tanah Biasa	30,06	m3	53.933,00	1.621.010	0,036%
2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	1,16	m3	152.618,00	176.426	0,004%
3	Urugan Tanah Kembali	18,50	m3	29.963,00	554.196	0,012%
II	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1					
1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	1,16	m3	1.577.255,00	1.823.307	0,040%
2	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	11,56	m3	1.489.914,00	17.223.406	0,381%
3	Bekisting untuk pondasi	27,20	m2	98.394,00	2.676.317	0,059%
4	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	3.075,52	Kg	24.217,00	74.479.868	1,647%
5	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	11,56	m3	15.300,00	176.868	0,004%
6	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	27,20	m2	3.825,00	104.040	0,002%

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan rekapitulasi lengkap Tabel 4.11 pada Lampiran, total estimasi biaya pekerjaan struktur, arsitektur, dan pagar keliling hasil implementasi BIM 5D sebesar Rp4.522.525.758,45 digunakan sebagai *Budget at Completion* (BAC) dalam analisis *Earned Value Management* (EVM). Cuplikan tabel pada bab ini menunjukkan pola pembobotan item pekerjaan, sedangkan seluruh bobot digunakan dalam proses *cost loading* pada Microsoft Project.

4.5.3 Penyusunan Kurva S Rencana

Berdasarkan hasil integrasi jadwal pelaksanaan hasil analisis PERT dengan bobot pekerjaan hasil implementasi BIM 5D, selanjutnya dilakukan penyusunan Kurva S rencana. Penyusunan Kurva S diawali dengan mendistribusikan bobot setiap aktivitas ke dalam periode pelaksanaan mingguan sesuai dengan tanggal mulai (*start*) dan tanggal selesai (*finish*) pada Microsoft Project. Akumulasi bobot

mingguan tersebut menghasilkan progres kumulatif rencana proyek yang digunakan sebagai dasar penyusunan Kurva S.

Sebelum Kurva S rencana disusun, bobot pekerjaan didistribusikan ke setiap periode pelaksanaan berdasarkan jadwal hasil analisis PERT pada Microsoft Project. Tabel 4.12 menyajikan cuplikan integrasi jadwal dan bobot pekerjaan, sedangkan distribusi lengkap seluruh aktivitas disajikan pada bagian Lampiran.

Tabel 4.12 Cuplikan Integrasi Jadwal Microsoft Project dan Bobot Pekerjaan BIM 5D

WBS	Uraian Pekerjaan	Mulai	Selesai	Durasi	Jumlah Biaya (Rp)	Bobot (%)
1	STRUKTUR LANTAI I	02 Sep 2025	10 Nov 2025	9,97 wks	1.844.793.714,45	40,7912%
1.1	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1	08 Sep 2025	11 Sep 2025	0,7 wks	2.351.632,30	0,0520%
1.1.1	Galian Tanah Biasa	08 Sep 2025	09 Sep 2025	0,3 wks	1.621.010,25	0,0358%
1.1.2	Urugan Pasir Bawah Pondasi	09 Sep 2025	10 Sep 2025	0,2 wks	176.426,41	0,0039%
1.1.3	Urugan Tanah Kembali	10 Sep 2025	11 Sep 2025	0,2 wks	554.195,65	0,0123%
1.2	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1	09 Sep 2025	18 Sep 2025	1,58 wks	96.483.805,26	2,1334%
1.2.1	Beton Lantai Kerja PC 1 170 x 170 x 5 fc 7,5 Mpa	09 Sep 2025	09 Sep 2025	0,2 wks	1.823.306,78	0,0403%
	Beton Ready Mixed Pile Cap PC 1 170 x 170 x 50 fc 25 Mpa	16 Sep 2025	17 Sep 2025	0,2 wks	17.223.405,84	0,3808%
1.2.2	Bekisting untuk pondasi	10 Sep 2025	10 Sep 2025	0,2 wks	2.676.316,80	0,0592%
1.2.3	Pembesian Besi Ulir D16 BJTS 420	10 Sep 2025	16 Sep 2025	0,98 wks	74.479.867,84	1,6469%
1.2.4	Pemadatan Beton menggunakan vibrator	16 Sep 2025	17 Sep 2025	0,2 wks	176.868,00	0,0039%
1.2.5	Pembongkaran Bekisting secara hati - hati pada bangunan gedung	17 Sep 2025	18 Sep 2025	0,2 wks	104.040,00	0,0023%

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan cuplikan Tabel 4.12 dan rekapitulasi lengkap pada Lampiran, bobot setiap aktivitas didistribusikan secara proporsional ke dalam periode pelaksanaan sesuai jadwal Microsoft Project. Hasil distribusi mingguan yang telah direkapitulasi kemudian disajikan pada Tabel 4.13 sebagai dasar penyusunan Kurva S rencana.

Tabel 4.13 Distribusi Bobot Mingguan dan Bobot Kumulatif Rencana

Minggu	Mulai Periode	Selesai Periode	Bobot Mingguan (%)	Bobot Kumulatif (%)
1	02 Sep 2025	09 Sep 2025	3,69	3,69
2	09 Sep 2025	16 Sep 2025	7,04	10,73
3	16 Sep 2025	23 Sep 2025	5,37	16,09
4	23 Sep 2025	30 Sep 2025	3,46	19,55
5	30 Sep 2025	07 Okt 2025	4,45	24,00
6	07 Okt 2025	14 Okt 2025	7,62	31,63
7	14 Okt 2025	21 Okt 2025	4,25	35,88
8	21 Okt 2025	28 Okt 2025	2,75	38,63
9	28 Okt 2025	04 Nov 2025	4,59	43,22
10	04 Nov 2025	11 Nov 2025	5,70	48,92

Minggu	Mulai Periode	Selesai Periode	Bobot Mingguan (%)	Bobot Kumulatif (%)
11	11 Nov 2025	18 Nov 2025	11,10	60,02
12	18 Nov 2025	25 Nov 2025	6,61	66,64
13	25 Nov 2025	02 Des 2025	4,36	71,00
14	02 Des 2025	09 Des 2025	4,99	75,98
15	09 Des 2025	16 Des 2025	7,45	83,44
16	16 Des 2025	23 Des 2025	12,00	95,44
17	23 Des 2025	30 Des 2025	3,25	98,69
18	30 Des 2025	06 Jan 2026	1,18	99,87
19	06 Jan 2026	08 Jan 2026	0,13	100,00
TOTAL			100,00	100,00

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.13, distribusi bobot mingguan menunjukkan perkembangan rencana pelaksanaan proyek selama 19 minggu. Bobot mingguan diperoleh dari hasil distribusi proporsional bobot setiap aktivitas sesuai jadwal pelaksanaan hasil analisis PERT pada Microsoft Project. Nilai bobot mingguan mengalami peningkatan pada pertengahan masa pelaksanaan proyek, terutama pada minggu ke-11 hingga minggu ke-16, yang menunjukkan bahwa pada periode tersebut berlangsung pekerjaan-pekerjaan utama dengan kontribusi bobot terbesar terhadap total biaya proyek. Selanjutnya, bobot kumulatif meningkat secara bertahap hingga mencapai 100% pada akhir masa pelaksanaan proyek. Bobot kumulatif tersebut menjadi dasar penyusunan Kurva S rencana sebagaimana disajikan pada Gambar 4.21.

WBS	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH BIAYA (Rp)	BOBOT (%)	PERIODE PELAKSANAAN																		
				M1 02 Sep 09 Sep	M2 09 Sep 16 Sep	M3 16 Sep 23 Sep	M4 23 Sep 30 Sep	M5 30 Sep 07 Oct	M6 07 Oct 14 Oct	M7 14 Oct 21 Oct	M8 21 Oct 28 Oct	M9 28 Oct 04 Nov	M10 04 Nov 11 Nov	M11 11 Nov 18 Nov	M12 18 Nov 25 Nov	M13 25 Nov 02 Dec	M14 02 Dec 09 Dec	M15 09 Dec 16 Dec	M16 16 Dec 23 Dec	M17 23 Dec 30 Dec	M18 30 Dec 06 Jan	M19 06 Jan 08 Jan
1	STRUKTUR LANTAI 1	1.844.793.714,45	40,79%																			
1.1	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC1	2.351.632,30	0,05%	0,03%	0,02%																	
1.2	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC1	96.483.805,26	2,13%		1,66%	0,48%																
1.3	PEKERJAAN TANAH PILE CAP PC2	10.049.362,96	0,22%	0,02%	0,13%	0,07%	0,00%															
1.4	PEKERJAAN BETON PILE CAP PC2	360.865.580,95	7,98%		1,59%	1,64%	1,64%	1,66%	1,45%	0,00%												
1.5	PEKERJAAN BETON STROUS	667.548.363,15	14,76%	3,64%	3,64%	3,18%	1,82%	1,91%	0,58%													
1.6	PEKERJAAN PASANGAN BATA ROLLAG ANAK	673.857.992,45	14,90%					0,89%	5,58%	3,53%	2,75%	0,57%	1,59%									
1.7	PEKERJAAN STRUKTUR TANGGA SISI SELATAN	33.636.977,37	0,74%							0,73%	0,00%											
2	STRUKTUR LANTAI 2	552.021.118,42	12,21%																			
2.1	PEKERJAAN BALOK B2	38.151.275,10	0,84%									0,84%										
2.2	PEKERJAAN BALOK B3	121.248.587,95	2,68%									2,61%	0,07%									
2.3	PEKERJAAN BALOK B5	1.503.403,02	0,03%									0,03%										
2.4	PEKERJAAN PLAT LANTAI	221.559.576,11	4,90%										2,00%	2,00%	0,87%	0,02%	0,00%					
2.5	PEKERJAAN KOLOM K2	127.095.686,82	2,81%											2,39%	0,42%	0,00%						
2.6	PEKERJAAN KOLOM K1	42.462.589,42	0,94%											0,94%								
3	STRUKTUR LANTAI ROOFTOP	511.809.888,60	11,32%																			
3.1	PEKERJAAN BALOK B1	56.104.968,28	1,24%												1,24%	0,00%						
3.2	PEKERJAAN BALOK B2	26.909.432,05	0,60%												0,60%							
3.3	PEKERJAAN BALOK B3	45.538.932,87	1,01%												1,01%							
3.4	PEKERJAAN BALOK B6	7.849.420,83	0,17%												0,17%							
3.5	PEKERJAAN PLAT LANTAI	163.373.606,93	3,61%													1,64%	1,85%	0,12%	0,01%			
3.6	PEKERJAAN KOLOM K3	9.930.431,43	0,22%													0,22%						
3.7	PEKERJAAN BALOK RING B4	23.530.566,90	0,52%													0,37%	0,15%					
3.8	PEKERJAAN STRUKTUR ATAP BAJA RINGAN	178.572.529,32	3,95%														1,75%	2,11%	0,09%			
4	ARSITEKTUR LANTAI 1	537.899.247,70	11,89%																			
4.1	PEKERJAAN PASANGAN DINDING	227.716.716,15	5,04%									0,53%	0,86%	1,46%	0,97%	0,73%	0,42%	0,06%				
4.2	PEKERJAAN KAMAR MANDI	11.954.064,69	0,26%											0,26%								
4.3	PEKERJAAN LAVATORY	8.402.199,39	0,19%											0,19%								
4.4	PEKERJAAN TERAS SISI UTARA	7.493.357,26	0,17%											0,17%								
4.5	PEKERJAAN TERAS SISI SELATAN	7.493.357,26	0,17%											0,17%								
4.6	PEKERJAAN TERAS SISI TIMUR	9.170.995,90	0,20%											0,20%								
4.7	PEKERJAAN KUSEN PINTU DAN JENDELA	265.668.557,05	5,87%									1,19%	3,33%	0,66%	0,61%	0,09%						
5	ARSITEKTUR LANTAI 2	252.421.866,52	5,58%																			
5.1	PEKERJAAN PASANGAN DINDING	226.083.810,10	5,00%												0,66%	0,85%	1,68%	0,89%	0,71%	0,19%	0,02%	
5.2	KAMAR MANDI	12.883.686,66	0,28%													0,25%	0,04%					
5.3	LAVATORY	13.454.369,76	0,30%													0,26%	0,04%					
6	ARSITEKTUR ROOFTOP	430.051.875,94	9,51%																			
6.1	PEKERJAAN PASANGAN DINDING	12.725.390,88	0,28%															0,14%	0,06%	0,04%	0,04%	
6.2	PEKERJAAN PENUTUP LANGIT-LANGIT	14.314.003,20	0,32%															0,23%	0,09%			
6.3	PEKERJAAN PENUTUP ATAP	308.323.635,30	6,82%															2,32%	3,84%	0,66%		
6.4	PEKERJAAN SCREED DAN WATERPROOFING	94.688.846,56	2,09%														0,19%	0,23%	1,14%	0,54%		
7	PEKERJAAN ORNAMEN FACADE	156.285.986,12	3,46%																			
7.1	PEKERJAAN PENEHALAN KOLOM DAN TALANG	114.756.193,72	2,54%													0,10%	1,24%	0,53%	0,34%	0,26%	0,07%	
7.2	PEKERJAAN CLADING WALL	41.529.792,40	0,92%															0,92%				
8	PAGAR KAWASAN	237.242.060,70	5,25%																			
8.1	PEKERJAAN TANAH DAN PONDASI FOOPLAT	20.019.311,30	0,44%														0,22%	0,23%				
8.2	PEKERJAAN KOLOM K4	47.732.625,61	1,06%															0,98%	0,07%			
8.3	PEKERJAAN PONDASI BATU KALI DAN SLOOF	75.901.079,87	1,68%														0,11%	1,40%	0,17%			
8.4	PEKERJAAN PENEHALAN KOLOM PAGAR DAN	33.142.802,91	0,73%																0,34%	0,40%	0,00%	
8.5	PEKERJAAN DINDING DAN PAGAR BESI	60.446.241,01	1,34%																0,81%	0,47%	0,06%	
JUMLAH TOTAL		4.522.525.758,45	100,00%																			
RENCANA PELAKSANAAN MINGGUAN			0,00%	3,69%	7,04%	5,37%	3,46%	4,45%	7,62%	4,25%	2,75%	4,59%	5,70%	11,10%	6,61%	4,36%	4,99%	7,45%	12,00%	3,25%	1,18%	0,13%
RENCANA PELAKSANAAN KUMULATIF			0,00%	3,69%	10,73%	16,09%	19,55%	24,00%	31,63%	35,88%	38,63%	43,22%	48,92%	60,02%	66,64%	71,00%	75,98%	83,44%	95,44%	98,69%	99,87%	100,00%

Gambar 4.21 Kurva S rencana proyek hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project

Berdasarkan Gambar 4.21, Kurva S rencana menunjukkan perkembangan progres kumulatif proyek selama 19 minggu pelaksanaan. Pada minggu-minggu awal, peningkatan progres berlangsung relatif bertahap karena pekerjaan yang dilaksanakan masih didominasi oleh pekerjaan persiapan, tanah, dan pondasi yang memiliki proporsi bobot relatif kecil. Memasuki pertengahan proyek, kurva menunjukkan kemiringan yang lebih besar, terutama pada minggu ke-11 hingga minggu ke-16. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pada periode tersebut berlangsung pekerjaan-pekerjaan utama, seperti pekerjaan struktur dan arsitektur, yang memberikan kontribusi bobot terbesar terhadap total biaya proyek.

Menjelang akhir masa pelaksanaan, kemiringan kurva kembali menurun karena pekerjaan yang tersisa didominasi oleh pekerjaan penyelesaian (*finishing*) sehingga penambahan progres berlangsung lebih lambat. Kurva S rencana mencapai progres kumulatif sebesar 100% pada minggu ke-19, yang menunjukkan bahwa seluruh pekerjaan direncanakan selesai sesuai jadwal hasil analisis PERT. Kurva S ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan nilai *Planned Value* (PV) yang akan dianalisis menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM) untuk mengevaluasi kinerja waktu dan biaya proyek.

4.6 Analisis *Earned Value Management* (EVM)

Setelah diperoleh Kurva S rencana hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kinerja proyek menggunakan metode *Earned Value Management* (EVM). Evaluasi kondisi aktual pada penelitian ini dibatasi sampai minggu ke-10 sesuai ketersediaan data progres dan biaya. Nilai pada minggu ke-11 sampai minggu ke-19 disajikan sebagai proyeksi untuk menggambarkan skenario penyelesaian proyek dan tidak ditafsirkan sebagai kondisi aktual yang telah terjadi. Analisis menggunakan *Planned Value* (PV), *Earned Value* (EV), dan *Actual Cost* (AC), kemudian menghitung indikator kinerja dan estimasi biaya penyelesaian.

4.6.1 Perhitungan *Planned Value* (PV)

Planned Value (PV) merupakan nilai anggaran pekerjaan yang direncanakan untuk diselesaikan pada suatu periode tertentu sesuai dengan jadwal pelaksanaan proyek. Dalam penelitian ini, nilai PV dihitung berdasarkan bobot kumulatif hasil

Kurva S rencana yang diperoleh melalui integrasi BIM 5D dan Microsoft Project. Nilai tersebut merepresentasikan besarnya biaya yang seharusnya telah dicapai pada setiap periode apabila pelaksanaan proyek berlangsung sesuai dengan jadwal rencana.

Perhitungan *Planned Value* (EV) menggunakan nilai *Budget at Completion* (BAC) sebagai dasar perhitungan. *Budget at Completion* (BAC) merupakan total anggaran proyek yang diperoleh dari hasil estimasi biaya melalui implementasi BIM 5D sebagaimana telah dibahas pada Subbab 4.5. Berdasarkan hasil estimasi tersebut, nilai BAC pada penelitian ini sebesar **Rp 4.522.525.758,45**. Nilai BAC selanjutnya digunakan untuk menghitung besarnya *Planned Value* (PV) pada setiap minggu pelaksanaan proyek berdasarkan bobot kumulatif rencana. Selanjutnya, nilai *Planned Value* (PV) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$PV = \text{Bobot kumulatif rencana (\%)} \times BAC \quad (4.7)$$

Keterangan:

PV = *Planned Value* (Rp)

BAC = *Budget at Completion*, yaitu total anggaran proyek (Rp)

Bobot Kumulatif % = Persentase progres pekerjaan sesuai jadwal rencana pada periode tertentu (%)

Berdasarkan Persamaan (4.7), nilai *Planned Value* (PV) dihitung pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan persentase progres kumulatif rencana yang diperoleh dari Kurva S hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan besarnya nilai pekerjaan yang seharusnya telah dicapai pada setiap periode apabila pelaksanaan proyek berlangsung sesuai dengan jadwal rencana. Nilai *Planned Value* (PV) selanjutnya digunakan sebagai dasar perbandingan dengan *Earned Value* (EV) dan *Actual Cost* (AC) dalam analisis *Earned Value Management* (EVM) untuk mengevaluasi kinerja waktu dan biaya proyek.

Sebagai contoh, pada minggu pertama diperoleh progres kumulatif rencana sebesar 3,69%. Dengan nilai *Budget at Completion* (BAC) sebesar Rp4.522.525.758,45, nilai *Planned Value* (PV) minggu pertama dihitung sebagai berikut:

$$PV_1 = 3,69\% \times \text{Rp}4.522.525.758,45 = \text{Rp}166.881.200,49$$

Hasil perhitungan *Planned Value* (PV) untuk seluruh periode pelaksanaan proyek disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Planned Value* (PV)

Minggu	Bobot Mingguan (%)	Bobot Kumulatif (%)	Planned Value (PV) (Rp)
1	3,69	3,69	166.817.599,86
2	7,04	10,73	485.060.614,64
3	5,37	16,09	727.726.581,57
4	3,46	19,55	884.340.291,41
5	4,45	24,00	1.085.625.521,61
6	7,62	31,63	1.430.339.438,08
7	4,25	35,88	1.622.647.976,26
8	2,75	38,63	1.747.062.041,83
9	4,59	43,22	1.954.785.034,58
10	5,70	48,92	2.212.598.898,84
11	11,10	60,02	2.714.637.391,27
12	6,61	66,64	3.013.606.088,84
13	4,36	71,00	3.210.952.198,61
14	4,99	75,98	3.436.424.148,20
15	7,45	83,44	3.773.533.775,03
16	12,00	95,44	4.316.252.949,75
17	3,25	98,69	4.463.083.313,96
18	1,18	99,87	4.516.671.156,00
19	0,13	100,00	4.522.525.758,45
Keterangan BAC : 4.522.525.758,45 Rumus : $PV = \text{Bobot Kumulatif (\%)} \times BAC$			

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.14, nilai *Planned Value* (PV) menunjukkan besarnya anggaran pekerjaan yang direncanakan untuk dicapai pada setiap minggu pelaksanaan proyek berdasarkan bobot kumulatif Kurva S hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project. Nilai PV meningkat secara bertahap seiring bertambahnya progres rencana proyek, dimulai dari Rp166.881.200,49 pada minggu pertama dan terus meningkat hingga mencapai Rp4.522.525.758,45 pada minggu ke-19. Nilai tersebut sama dengan *Budget at Completion* (BAC), yang menunjukkan bahwa seluruh lingkup pekerjaan telah direncanakan selesai pada akhir periode pelaksanaan.

Peningkatan nilai *Planned Value* (PV) tidak berlangsung secara linier, tetapi mengikuti distribusi bobot pekerjaan pada jadwal proyek. Pada tahap awal pelaksanaan, peningkatan nilai PV relatif kecil karena pekerjaan yang dilaksanakan masih didominasi oleh pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, dan pondasi. Memasuki pertengahan proyek, khususnya pada minggu ke-11 sampai minggu ke-

16, nilai PV mengalami peningkatan yang lebih signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut terdapat akumulasi pekerjaan utama, seperti pekerjaan struktur atas dan sebagian besar pekerjaan arsitektur, sehingga nilai anggaran yang direncanakan untuk diselesaikan juga meningkat secara lebih cepat.

Selanjutnya, menjelang akhir proyek laju peningkatan nilai PV kembali menurun karena pekerjaan yang tersisa umumnya berupa pekerjaan penyelesaian (*finishing*) dan penyempurnaan akhir. Pola tersebut membentuk kurva berbentuk huruf "S" yang merupakan karakteristik umum perkembangan proyek konstruksi, yaitu peningkatan progres yang relatif lambat pada awal pekerjaan, meningkat tajam pada fase inti pelaksanaan, kemudian kembali melandai menjelang penyelesaian proyek.

Nilai *Planned Value* (PV) yang telah diperoleh pada setiap minggu menjadi acuan dalam analisis *Earned Value Management* (EVM). Pada tahap berikutnya, nilai tersebut akan dibandingkan dengan *Earned Value* (EV) yang merepresentasikan nilai pekerjaan aktual yang berhasil diselesaikan serta *Actual Cost* (AC) yang menunjukkan biaya aktual yang telah dikeluarkan. Perbandingan ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kinerja waktu dan biaya proyek melalui indikator *Schedule Variance* (SV), *Cost Variance* (CV), *Schedule Performance Index* (SPI), dan *Cost Performance Index* (CPI)

4.6.2 Earned Value (EV)

Earned Value (EV) merupakan nilai anggaran dari pekerjaan yang telah berhasil diselesaikan berdasarkan progres aktual pelaksanaan proyek pada suatu periode tertentu. Berbeda dengan *Planned Value* (PV) yang menunjukkan nilai pekerjaan sesuai jadwal rencana, *Earned Value* (EV) menggambarkan besarnya nilai pekerjaan yang benar-benar telah dicapai di lapangan berdasarkan progres fisik aktual. Oleh karena itu, nilai EV digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencapaian pekerjaan aktual terhadap rencana pelaksanaan proyek.

Dalam penelitian ini, nilai *Earned Value* (EV) dihitung berdasarkan persentase progres aktual kumulatif yang diperoleh dari laporan mingguan kontraktor. Data aktual yang digunakan merupakan hasil rekapitulasi realisasi pelaksanaan proyek sampai dengan minggu ke-10 yang meliputi progres mingguan,

progres kumulatif, serta deviasi terhadap rencana. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung nilai EV pada periode evaluasi proyek.

Nilai *Earned Value* (EV) dihitung menggunakan nilai *Budget at Completion* (BAC) sebesar Rp4.522.525.758,45, yaitu total anggaran proyek hasil estimasi biaya melalui implementasi BIM 5D. Nilai BAC dikalikan dengan persentase progres aktual kumulatif pada setiap minggu sehingga diperoleh besarnya nilai pekerjaan yang telah berhasil diselesaikan berdasarkan kondisi aktual proyek.

Selanjutnya, nilai *Earned Value* (EV) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$EV = \text{Progres kumulatif (\%)} \times BAC \quad (4.8)$$

Keterangan:

EV = *Earned Value* (Rp)

BAC = *Budget at Completion*, yaitu total anggaran proyek (Rp)

% Progres Aktual Kumulatif = Persentase progres fisik aktual pada periode tertentu (%)

Berdasarkan Persamaan (4.8), nilai *Earned Value* (EV) dihitung pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan persentase progres aktual kumulatif. Perhitungan pada minggu ke-1 sampai minggu ke-10 menggunakan data progres aktual yang diperoleh dari laporan mingguan kontraktor. Karena data aktual hanya tersedia sampai minggu ke-10, maka untuk memperoleh gambaran kinerja proyek hingga akhir masa pelaksanaan, progres pada minggu ke-11 sampai minggu ke-19 diproyeksikan berdasarkan distribusi bobot rencana Kurva S hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project. Proyeksi dilakukan secara proporsional terhadap sisa progres pekerjaan setelah minggu ke-10 sehingga progres kumulatif mencapai 100% pada akhir proyek.

Proyeksi progres mingguan dihitung dengan Persamaan (4.9).

$$\text{Proyeksi progres minggu } i = (\text{Bobot rencana minggu } i / \Sigma \text{ bobot rencana minggu ke-11-19}) \times \text{Sisa progres (4.9)}$$

Keterangan:

Bobot Rencana Minggu i = bobot pekerjaan rencana pada minggu ke- i .

Σ Bobot Rencana Minggu 11–19 = total bobot rencana dari minggu ke-11 sampai minggu ke-19.

Sisa Progres = 100% – progres aktual kumulatif pada minggu ke-10.

Berdasarkan distribusi bobot rencana mingguan pada Kurva S rencana (Tabel 4.13) hasil integrasi BIM 5D dan Microsoft Project, jumlah bobot pekerjaan mulai minggu ke-11 sampai dengan minggu ke-19 adalah sebesar 51,070%. Nilai tersebut diperoleh dari penjumlahan bobot rencana mingguan pada minggu ke-11 hingga minggu ke-19 dan digunakan sebagai dasar dalam mendistribusikan sisa progres pekerjaan secara proporsional.

Contoh perhitungan nilai *Earned Value* (EV) minggu ke-11:

Diketahui:

$$\text{Bobot rencana minggu ke-11} = 11,100\%$$

$$\text{Total bobot rencana minggu ke-11 sampai minggu ke-19} = 51,070\%$$

$$\text{Sisa progres pekerjaan} = 73,971\%$$

Sehingga:

$$\text{Proyeksi progres minggu ke-11} = (11,100\% / 51,070\%) \times 73,971\% = 16,078\%$$

Berdasarkan rekapitulasi realisasi pelaksanaan proyek yang diperoleh dari laporan mingguan kontraktor, progres aktual kumulatif sampai dengan minggu ke-10 adalah sebesar 26,029%. Nilai tersebut digunakan sebagai progres awal dalam melakukan proyeksi progres pada minggu ke-11 sampai dengan minggu ke-19. Dengan demikian, progres aktual kumulatif pada minggu ke-11 menjadi:

$$26,029\% + 16,078\% = 42,107\%$$

Setelah diperoleh nilai progres aktual kumulatif hasil proyeksi pada minggu ke-11 sebesar 42,107%, selanjutnya nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung *Earned Value* menggunakan Persamaan (4.8).

Contoh perhitungan *Earned Value* (EV) minggu ke-11:

$$EV_{11} = 42,107\% \times \text{Rp}4.522.525.758,45$$

$$EV_{11} = \text{Rp}1.904.277.463,45$$

Hasil perhitungan *Earned Value* (EV) untuk setiap minggu pelaksanaan proyek disajikan pada Tabel 4.15. Nilai EV pada minggu ke-1 sampai minggu ke-10 dihitung berdasarkan progres aktual yang diperoleh dari laporan mingguan kontraktor, sedangkan nilai EV pada minggu ke-11 sampai minggu ke-19 dihitung menggunakan progres kumulatif hasil proyeksi yang diperoleh melalui distribusi

bobot rencana Kurva S. Seluruh nilai EV tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis *Earned Value Management* (EVM).

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Earned Value* (EV)

Minggu	Progres Mingguan (%)	Progres Kumulatif (%)	Earned Value (EV) (Rp)
1	0,175	0,175	7.914.420,08
2	0,007	0,182	8.230.996,88
3	0,178	0,360	16.281.092,73
4	1,365	1,726	78.058.794,59
5	4,449	6,174	279.220.740,33
6	6,840	13,014	588.561.502,20
7	3,876	16,890	763.854.600,60
8	3,041	19,932	901.429.834,17
9	5,068	24,999	1.130.586.214,35
10	1,030	26,029	1.177.168.229,67
11	16,078	42,107	1.904.277.463,45
12	9,574	51,681	2.337.267.736,91
13	6,315	57,996	2.622.871.003,51
14	7,228	65,223	2.949.742.632,03
15	10,791	76,014	3.437.757.388,04
16	17,381	93,395	4.223.821.424,57
17	4,707	98,103	4.436.713.767,80
18	1,709	99,812	4.514.010.064,72
19	0,188	100,000	4.522.525.758,45

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.15, nilai *Earned Value* (EV) pada minggu ke-1 sampai minggu ke-10 dihitung berdasarkan progres aktual dari laporan mingguan kontraktor. Nilai EV pada minggu ke-11 sampai minggu ke-19 merupakan proyeksi berdasarkan distribusi bobot rencana Kurva S. Dalam skenario proyeksi tersebut, nilai EV mencapai Rp4.522.525.758,45 atau 100% dari *Budget at Completion* (BAC) pada minggu ke-19. Nilai pada periode proyeksi tersebut tidak digunakan untuk menyatakan bahwa progres aktual 100% telah terjadi.

Setelah nilai *Earned Value* (EV) diperoleh, tahap berikutnya adalah menyusun nilai *Actual Cost* (AC) yang digunakan dalam penelitian berdasarkan pendekatan biaya pelaksanaan pada periode evaluasi.

4.6.3 *Actual Cost* (AC)

Actual Cost (AC) merupakan parameter EVM untuk merepresentasikan biaya pekerjaan pada periode evaluasi. Dalam penelitian ini, nilai AC disusun menggunakan pendekatan biaya pelaksanaan yang dijelaskan pada Persamaan

(4.10) dan Persamaan (4.11), sehingga interpretasi kinerja biaya dibatasi pada pendekatan perhitungan yang digunakan dalam penelitian.

Perhitungan *Actual Cost* (AC) dilakukan terhadap lingkup pekerjaan struktur, arsitektur, dan pagar dengan mendistribusikan nilai biaya berdasarkan progres mingguan. Minggu ke-1 sampai minggu ke-10 menggunakan progres aktual dari laporan mingguan, sedangkan minggu ke-11 sampai minggu ke-19 menggunakan progres hasil proyeksi. Oleh karena itu, nilai AC setelah minggu ke-10 dibaca sebagai proyeksi biaya dalam skenario penelitian, bukan realisasi biaya aktual.

Penyusunan nilai *Actual Cost* (AC) diawali dengan menghitung nilai pekerjaan pada setiap minggu berdasarkan persentase progres terhadap nilai *Budget at Completion* (BAC). Nilai pekerjaan tersebut kemudian disesuaikan terhadap komponen *overhead* dan keuntungan untuk memperoleh biaya pelaksanaan. Selanjutnya, biaya pelaksanaan dialokasikan ke dalam komponen material dan tenaga kerja sehingga diperoleh nilai *Actual Cost* (AC) pada setiap minggu pelaksanaan proyek.

Perhitungan *Actual Cost* (AC) dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$NP_i = P_i \times BAC \quad (4.10)$$

Keterangan:

NP_i = Nilai pekerjaan pada minggu ke-i (Rp)

P_i = Progres pekerjaan pada minggu ke-i (%)

BAC = *Budget at Completion* (Rp)

$$BP_i = NP_i / (1 + O\&P) \quad (4.11)$$

Keterangan:

BP_i = Biaya pelaksanaan pada minggu ke-i (Rp)

NP_i = Nilai pekerjaan pada minggu ke-i (Rp)

O&P = Persentase *overhead* dan keuntungan.

Berdasarkan Persamaan (4.11), diperoleh biaya pelaksanaan yang digunakan sebagai dasar penyusunan nilai AC pada setiap minggu dalam pendekatan penelitian. Biaya pelaksanaan tersebut selanjutnya dialokasikan ke komponen material dan tenaga kerja sesuai komposisi yang digunakan dalam perhitungan. Rekapitulasi dasar perhitungan disajikan pada Tabel 4.16.

Contoh perhitungan *Actual Cost* (AC) minggu ke-1:

Perhitungan *Actual Cost* (AC) pada minggu ke-1 dilakukan berdasarkan progres mingguan sebesar **0,175%** dengan nilai *Budget at Completion* (BAC) sebesar **Rp4.522.525.758,45**.

1. Menghitung Nilai Pekerjaan Mingguan

Berdasarkan Persamaan (4.10):

$$NP_1 = 0,175\% \times \text{Rp}4.522.525.758,45$$

$$NP_1 = \text{Rp}7.914.420,08$$

2. Menghitung Biaya Pelaksanaan

Berdasarkan Persamaan (4.11):

$$BP_1 = \text{Rp}7.914.420,08 / (1 + 10\%)$$

$$BP_1 = \text{Rp}7.194.927,34$$

Selanjutnya, biaya pelaksanaan tersebut dialokasikan ke dalam komponen material dan tenaga kerja sesuai dengan komposisi biaya pelaksanaan proyek. Hasil pembagian tersebut disajikan pada Tabel 4.16 sebagai dasar penyusunan nilai *Actual Cost* (AC) mingguan.

Berdasarkan tahapan perhitungan tersebut, diperoleh nilai *Actual Cost* (AC) mingguan yang disusun berdasarkan progres pelaksanaan proyek. Nilai tersebut meliputi nilai pekerjaan mingguan, biaya pelaksanaan setelah penyesuaian komponen *overhead* dan keuntungan, serta alokasi biaya material dan tenaga kerja.

Tabel 4.16 Rekapitulasi Dasar Perhitungan *Actual Cost* (AC)

Minggu	Progres Mingguan (%)	Nilai Pekerjaan (Rp)	Biaya Pelaksanaan (Rp)	Biaya Material (Rp)	Biaya Upah (Rp)	Actual Cost Mingguan (Rp)	Actual Cost Kumulatif (Rp)
1	0,175	7.914.420,08	7.194.927,34	4.316.956,41	2.877.970,94	7.194.927,34	7.194.927,34
2	0,007	316.576,80	287.797,09	172.678,26	115.118,84	287.797,09	7.482.724,44
3	0,178	8.050.095,85	7.318.268,95	4.390.961,37	2.927.307,58	7.318.268,95	14.800.993,39
4	1,365	61.732.476,60	56.120.433,28	33.672.259,97	22.448.173,31	56.120.433,28	70.921.426,67
5	4,449	201.207.170,99	182.915.609,99	109.749.366,00	73.166.244,00	182.915.609,99	253.837.036,66
6	6,840	309.340.761,88	281.218.874,43	168.731.324,66	112.487.549,77	281.218.874,43	535.055.911,10
7	3,876	175.293.098,40	159.357.362,18	95.614.417,31	63.742.944,87	159.357.362,18	694.413.273,27
8	3,041	137.530.008,31	125.027.280,29	75.016.368,17	50.010.912,11	125.027.280,29	819.440.553,56
9	5,068	229.201.605,44	208.365.095,85	125.019.057,51	83.346.038,34	208.365.095,85	1.027.805.649,41
10	1,030	46.582.015,31	42.347.286,65	25.408.371,99	16.938.914,66	42.347.286,65	1.070.152.936,06
11	16,078	727.131.691,44	661.028.810,40	396.617.286,24	264.411.524,16	661.028.810,40	1.731.181.746,46
12	9,574	432.986.616,11	393.624.196,47	236.174.517,88	157.449.678,59	393.624.196,47	2.124.805.942,93
13	6,315	285.597.501,65	259.634.092,41	155.780.455,44	103.853.636,96	259.634.092,41	2.384.440.035,34
14	7,228	326.888.161,82	297.171.056,20	178.302.633,72	118.868.422,48	297.171.056,20	2.681.611.091,54
15	10,791	488.025.754,59	443.659.776,90	266.195.866,14	177.463.910,76	443.659.776,90	3.125.270.868,44
16	17,381	786.060.202,08	714.600.183,71	428.760.110,22	285.840.073,48	714.600.183,71	3.839.871.052,15
17	4,707	212.875.287,45	193.522.988,59	116.113.793,15	77.409.195,44	193.522.988,59	4.033.394.040,74
18	1,709	77.289.965,21	70.263.604,74	42.158.162,84	28.105.441,90	70.263.604,74	4.103.657.645,48
19	0,188	8.502.348,43	7.729.407,66	4.637.644,60	3.091.763,06	7.729.407,66	4.111.387.053,14
Total	100,00	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	2.466.832.231,88	1.644.554.821,25	4.111.387.053,14	4.111.387.053,14

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.16, nilai *Actual Cost* (AC) sampai minggu ke-10 digunakan sebagai periode evaluasi aktual. Nilai minggu ke-11 sampai minggu ke-19 mengikuti proyeksi progres yang digunakan untuk skenario penyelesaian, sehingga harus dibaca sebagai nilai proyeksi biaya dan bukan realisasi biaya aktual. Pada akhir skenario proyeksi diperoleh nilai sebesar Rp4.111.387.053,14 atau sekitar 90,91% dari *Budget at Completion* (BAC) sebesar Rp4.522.525.758,45. Selisih 9,09% berkaitan dengan pendekatan penyesuaian komponen *overhead* dan keuntungan yang digunakan dalam perhitungan penelitian ini.

4.6.4 Cost Performance Index (CPI)

Cost Performance Index (CPI) merupakan indikator yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi biaya selama pelaksanaan proyek. Nilai CPI diperoleh dari perbandingan antara *Earned Value* (EV) dan *Actual Cost* (AC), sehingga dapat menunjukkan apakah biaya yang dikeluarkan telah sesuai dengan nilai pekerjaan yang berhasil diselesaikan. Nilai CPI digunakan sebagai salah satu parameter dalam metode *Earned Value Management* (EVM) untuk menilai kinerja biaya proyek.

Perhitungan *Cost Performance Index* (CPI) dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$CPI = EV / AC \quad (4.12)$$

Keterangan:

CPI = *Cost Performance Index*;

EV = *Earned Value* (Rp);

AC = *Actual Cost* (Rp).

Contoh perhitungan CPI:

Perhitungan CPI pada minggu ke-10 dilakukan menggunakan nilai EV dan AC kumulatif sebagai berikut.

Diketahui:

EV minggu ke-10 = Rp1.177.168.229,67

AC minggu ke-10 = Rp1.070.152.936,06

Sehingga:

$$CPI = Rp1.177.168.229,67 / Rp1.070.152.936,06 = 1,10$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai **CPI sebesar 1,10**, yang berarti setiap pengeluaran biaya sebesar **Rp1,00** menghasilkan nilai pekerjaan sebesar **Rp1,10**. Dengan demikian, kinerja biaya proyek pada minggu ke-10 dapat dikatakan **efisien**, karena nilai pekerjaan yang diperoleh lebih besar dibandingkan biaya yang telah dikeluarkan.

Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan *Cost Performance Index* (CPI) dilakukan untuk setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan nilai *Earned Value* (EV) dan *Actual Cost* (AC) kumulatif. Hasil perhitungan CPI secara lengkap disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Cost Performance Index* (CPI)

Minggu	EV Kumulatif (Rp)	AC Kumulatif (Rp)	CPI	Keterangan
1	7.914.420,08	7.194.927,34	1,10	Efisien
2	8.230.996,88	7.482.724,44	1,10	Efisien
3	16.281.092,73	14.800.993,39	1,10	Efisien
4	78.058.794,59	70.921.426,67	1,10	Efisien
5	279.220.740,33	253.837.036,66	1,10	Efisien
6	588.561.502,20	535.055.911,10	1,10	Efisien
7	763.854.600,60	694.413.273,27	1,10	Efisien
8	901.429.834,17	819.440.553,56	1,10	Efisien
9	1.130.586.214,35	1.027.805.649,41	1,10	Efisien
10	1.177.168.229,67	1.070.152.936,06	1,10	Efisien
11	1.904.277.463,45	1.731.161.330,41	1,10	Efisien
12	2.337.267.736,91	2.124.788.851,73	1,10	Efisien
13	2.622.871.003,51	2.384.428.185,01	1,10	Efisien
14	2.949.742.632,03	2.681.584.210,94	1,10	Efisien
15	3.437.757.388,04	3.125.233.989,13	1,10	Efisien
16	4.223.821.424,57	3.839.837.658,70	1,10	Efisien
17	4.436.713.767,80	4.033.376.152,54	1,10	Efisien
18	4.514.010.064,72	4.103.645.513,38	1,10	Efisien
19	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	1,10	Efisien

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.17, nilai *Cost Performance Index* (CPI) pada periode aktual sampai minggu ke-10 berada di atas 1,00. Pada minggu ke-10 diperoleh CPI sebesar 1,10. Nilai setelah minggu ke-10 merupakan hasil proyeksi berdasarkan asumsi biaya yang digunakan dalam penelitian dan tidak dinyatakan sebagai kinerja aktual.

Nilai CPI yang relatif konstan sekitar 1,10 dipengaruhi oleh metode penyusunan *Actual Cost* yang menggunakan penyesuaian komponen *overhead* dan

keuntungan sebesar 10% dari nilai pekerjaan. Oleh karena itu, interpretasi CPI perlu dibatasi pada pendekatan biaya yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada minggu ke-10, nilai CPI sebesar 1,10 menunjukkan bahwa berdasarkan pendekatan biaya penelitian, nilai pekerjaan yang diperoleh lebih besar daripada biaya yang diperhitungkan. Kesimpulan ini tidak diperluas menjadi pernyataan kinerja aktual setelah minggu ke-10 karena periode tersebut merupakan proyeksi.

Dengan demikian, evaluasi kinerja biaya aktual pada penelitian ini dibatasi sampai minggu ke-10. Pembahasan selanjutnya mengevaluasi kinerja waktu menggunakan *Schedule Performance Index* (SPI) dengan pemisahan yang sama antara periode aktual dan periode proyeksi.

4.6.5 Perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI)

Schedule Performance Index (SPI) merupakan indikator yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kinerja waktu pelaksanaan proyek. Nilai SPI diperoleh dari perbandingan antara *Earned Value* (EV) dan *Planned Value* (PV), sehingga dapat menunjukkan apakah pelaksanaan proyek lebih cepat, sesuai, atau lebih lambat dibandingkan jadwal yang telah direncanakan. Parameter ini merupakan salah satu indikator utama dalam metode *Earned Value Management* (EVM) untuk menilai kinerja jadwal proyek.

Perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI) dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$SPI = EV / PV \quad (4.13)$$

Keterangan:

SPI = *Schedule Performance Index*;

EV = *Earned Value* (Rp);

PV = *Planned Value* (Rp).

Contoh perhitungan SPI:

Perhitungan SPI pada minggu ke-10 dilakukan menggunakan nilai EV dan PV kumulatif sebagai berikut.

Diketahui:

EV minggu ke-10 = Rp1.177.168.229,67

PV minggu ke-10 = Rp2.211.180.646,86

Sehingga:

$$SPI = \text{Rp}1.177.168.229,67 / \text{Rp}2.211.180.646,86 = 0,53$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai **SPI sebesar 0,53**, yang berarti nilai pekerjaan yang berhasil diselesaikan masih berada di bawah target yang telah direncanakan pada minggu ke-10. Dengan demikian, pelaksanaan proyek mengalami keterlambatan terhadap jadwal rencana.

Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI) dilakukan pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan nilai *Earned Value* (EV) dan *Planned Value* (PV) kumulatif. Hasil perhitungan SPI secara lengkap disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Schedule Performance Index* (SPI)

Minggu	PV Kumulatif (Rp)	EV Kumulatif (Rp)	SPI	Keterangan
1	166.817.599,86	7.914.420,08	0,05	Terlambat
2	485.060.614,64	8.230.996,88	0,02	Terlambat
3	727.726.581,57	16.281.092,73	0,02	Terlambat
4	884.340.291,41	78.058.794,59	0,09	Terlambat
5	1.085.625.521,61	279.220.740,33	0,26	Terlambat
6	1.430.339.438,08	588.561.502,20	0,41	Terlambat
7	1.622.647.976,26	763.854.600,60	0,47	Terlambat
8	1.747.062.041,83	901.429.834,17	0,52	Terlambat
9	1.954.785.034,58	1.130.586.214,35	0,58	Terlambat
10	2.212.598.898,84	1.177.168.229,67	0,53	Terlambat
11	2.714.637.391,27	1.904.277.463,45	0,70	Terlambat
12	3.013.606.088,84	2.337.267.736,91	0,78	Terlambat
13	3.210.952.198,61	2.622.871.003,51	0,82	Terlambat
14	3.436.424.148,20	2.949.742.632,03	0,86	Terlambat
15	3.773.533.775,03	3.437.757.388,04	0,91	Terlambat
16	4.316.252.949,75	4.223.821.424,57	0,98	Terlambat
17	4.463.083.313,96	4.436.713.767,80	0,99	Terlambat
18	4.516.671.156,00	4.514.010.064,72	1,00	Sesuai Jadwal
19	4.522.525.758,45	4.522.525.758,45	1,00	Sesuai Jadwal

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.18, *Schedule Performance Index* (SPI) pada minggu ke-10 sebesar 0,53 sehingga kondisi aktual sampai periode tersebut menunjukkan keterlambatan terhadap rencana. Nilai SPI minggu ke-11 sampai minggu ke-19 merupakan hasil proyeksi. Dalam skenario proyeksi, SPI meningkat dan mencapai 1,00 pada minggu ke-18 dan minggu ke-19, yang menunjukkan bahwa proyek

diproyeksikan kembali sesuai jadwal apabila asumsi distribusi progres tersebut tercapai.

4.6.6 Perhitungan *Estimate at Completion* (EAC)

Estimate at Completion (EAC) merupakan estimasi total biaya yang diperkirakan akan dibutuhkan hingga proyek selesai berdasarkan kinerja biaya pada saat evaluasi dilakukan. Nilai EAC digunakan untuk memprediksi biaya akhir proyek dengan mempertimbangkan efisiensi biaya yang telah dicapai selama pelaksanaan pekerjaan. Dalam metode *Earned Value Management* (EVM), EAC menjadi salah satu indikator penting untuk mengetahui apakah biaya penyelesaian proyek diperkirakan masih sesuai dengan anggaran atau mengalami perubahan.

Pada penelitian ini, nilai EAC dihitung menggunakan pendekatan yang mengasumsikan bahwa kinerja biaya proyek pada periode berikutnya tetap mengikuti nilai *Cost Performance Index* (CPI) yang telah diperoleh. Oleh karena itu, perhitungan EAC dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$EAC = BAC / CPI \quad (4.14)$$

Keterangan:

EAC = *Estimate at Completion* (Rp);

BAC = *Budget at Completion* (Rp);

CPI = *Cost Performance Index*.

Contoh perhitungan EAC:

Perhitungan EAC pada minggu ke-10 dilakukan menggunakan data sebagai berikut.

Diketahui:

$$BAC = \text{Rp}4.522.525.758,45$$

$$CPI = 1,10$$

Sehingga:

$$EAC = \text{Rp}4.522.525.758,45 / 1,10 = \text{Rp}4.111.387.053,14$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa estimasi biaya penyelesaian proyek sebesar **Rp4.111.387.053,14**. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan *Budget at Completion* (BAC), sehingga mengindikasikan bahwa biaya penyelesaian proyek diperkirakan tetap berada di bawah anggaran yang telah direncanakan. Kondisi ini

dipengaruhi oleh nilai CPI yang lebih besar dari satu, yang menunjukkan bahwa pelaksanaan proyek berlangsung secara efisien dari aspek biaya.

Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan *Estimate at Completion* (EAC) dilakukan pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan nilai *Budget at Completion* (BAC) dan *Cost Performance Index* (CPI). Hasil perhitungan EAC secara lengkap disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Estimate at Completion* (EAC)

Minggu	BAC (Rp)	CPI	EAC (Rp)	Keterangan
1	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
2	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,12	Di bawah anggaran
3	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
4	4.522.525.758,45	1,101	4.109.005.021,24	Di bawah anggaran
5	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
6	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
7	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
8	4.522.525.758,45	1,100	4.111.180.782,46	Di bawah anggaran
9	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
10	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
11	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
12	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
13	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
14	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
15	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
16	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
17	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
18	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran
19	4.522.525.758,45	1,100	4.111.387.053,14	Di bawah anggaran

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.19, nilai *Estimate at Completion* (EAC) menunjukkan perkiraan total biaya yang dibutuhkan hingga proyek selesai berdasarkan kinerja biaya pada setiap minggu pelaksanaan. Nilai EAC diperoleh dari perbandingan antara *Budget at Completion* (BAC) dan *Cost Performance Index* (CPI). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai EAC berada di bawah nilai BAC sebesar Rp4.522.525.758,45. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan kinerja biaya yang dicapai, proyek diperkirakan dapat diselesaikan dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan anggaran yang telah direncanakan.

Berdasarkan kinerja biaya pada minggu ke-10, *Estimate at Completion* (EAC) diperoleh sekitar Rp4.111.387.053,14. Nilai tersebut merupakan estimasi biaya akhir berdasarkan asumsi bahwa kecenderungan CPI pada saat evaluasi berlanjut hingga penyelesaian proyek. Oleh karena itu, EAC merupakan hasil estimasi, bukan biaya akhir aktual yang telah terealisasi.

4.6.7 Perhitungan *Estimate to Complete* (ETC)

Estimate to Complete (ETC) merupakan estimasi biaya yang masih diperlukan untuk menyelesaikan sisa pekerjaan proyek sejak waktu evaluasi hingga proyek dinyatakan selesai. Dalam metode *Earned Value Management* (EVM), nilai ETC digunakan untuk mengetahui besarnya biaya yang masih harus dikeluarkan berdasarkan estimasi biaya akhir proyek (*Estimate at Completion*) dan biaya aktual yang telah dikeluarkan (*Actual Cost*).

Perhitungan ETC dilakukan dengan mengurangi nilai *Estimate at Completion* (EAC) terhadap *Actual Cost* (AC) kumulatif pada saat evaluasi. Semakin kecil nilai ETC, semakin sedikit biaya yang masih diperlukan untuk menyelesaikan proyek.

Perhitungan *Estimate to Complete* (ETC) dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$ETC = EAC - AC \quad (4.15)$$

Keterangan:

ETC = *Estimate to Complete* (Rp);

EAC = *Estimate at Completion* (Rp);

AC = *Actual Cost* (Rp).

Contoh perhitungan ETC:

Perhitungan ETC pada minggu ke-10 dilakukan menggunakan data sebagai berikut.

Diketahui:

$$EAC = \text{Rp}4.111.387.053,14$$

$$AC \text{ minggu ke-10} = \text{Rp}1.070.152.936,06$$

Sehingga:

$$ETC = EAC - AC$$

$$ETC = \text{Rp}4.111.387.053,14 - \text{Rp}1.070.152.936,06$$

$$ETC = \text{Rp}3.041.234.117,08$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada minggu ke-10 masih diperlukan biaya sebesar **Rp3.041.234.117,08** untuk menyelesaikan seluruh sisa pekerjaan hingga proyek selesai.

Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan *Estimate to Complete* (ETC) dilakukan pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan nilai *Estimate at Completion* (EAC) dan *Actual Cost* (AC) kumulatif. Hasil perhitungan ETC secara lengkap disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan *Estimate to Complete* (ETC)

Minggu	EAC (Rp)	AC Kumulatif (Rp)	ETC (Rp)
1	4.111.387.053,14	7.194.927,34	4.104.192.125,80
2	4.111.387.053,14	7.482.724,44	4.103.904.328,70
3	4.111.387.053,14	14.800.993,39	4.096.586.059,75
4	4.111.387.053,14	70.921.426,67	4.040.465.626,47
5	4.111.387.053,14	253.837.036,66	3.857.550.016,48
6	4.111.387.053,14	535.055.911,10	3.576.331.142,04
7	4.111.387.053,14	694.413.273,27	3.416.973.779,87
8	4.111.387.053,14	819.440.553,56	3.291.946.499,58
9	4.111.387.053,14	1.027.805.649,41	3.083.581.403,73
10	4.111.387.053,14	1.070.152.936,06	3.041.234.117,08
11	4.111.387.053,14	1.731.161.330,41	2.380.225.722,73
12	4.111.387.053,14	2.124.788.851,73	1.986.598.201,41
13	4.111.387.053,14	2.384.428.185,01	1.726.958.868,13
14	4.111.387.053,14	2.681.584.210,94	1.429.802.842,20
15	4.111.387.053,14	3.125.233.989,13	986.153.064,01
16	4.111.387.053,14	3.839.837.658,70	271.549.394,44
17	4.111.387.053,14	4.033.376.152,54	78.010.900,60
18	4.111.387.053,14	4.103.645.513,38	7.741.539,76
19	4.111.387.053,14	4.111.387.053,14	0,00

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.20, nilai *Estimate to Complete* (ETC) menunjukkan estimasi biaya yang masih diperlukan untuk menyelesaikan sisa pekerjaan pada setiap minggu pelaksanaan proyek. Nilai ETC diperoleh dari selisih antara *Estimate at Completion* (EAC) dan *Actual Cost* (AC) kumulatif, sehingga menggambarkan kebutuhan biaya yang masih harus dikeluarkan hingga proyek selesai.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai ETC mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan bertambahnya progres pelaksanaan proyek. Kondisi

ini menunjukkan bahwa biaya yang masih diperlukan untuk menyelesaikan proyek semakin kecil karena sebagian besar pekerjaan telah diselesaikan. Penurunan nilai ETC juga sejalan dengan meningkatnya nilai *Earned Value* (EV) dan *Actual Cost* (AC) kumulatif selama periode pelaksanaan.

Dalam skenario proyeksi hingga akhir periode, nilai *Estimate to Complete* (ETC) menurun hingga Rp0,00 pada minggu ke-19. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada skenario penyelesaian 100% tidak terdapat sisa biaya yang perlu diproyeksikan, dan bukan pernyataan bahwa kondisi aktual proyek pada minggu ke-19 telah terverifikasi.

4.6.8 Perhitungan *Variance at Completion* (VAC)

Variance at Completion (VAC) merupakan indikator dalam metode *Earned Value Management* (EVM) yang digunakan untuk mengetahui selisih antara anggaran proyek yang telah direncanakan *Budget at Completion* (BAC) dengan estimasi biaya akhir proyek *Estimate at Completion* (EAC). Nilai VAC memberikan informasi mengenai kondisi biaya proyek pada saat pekerjaan selesai, sehingga dapat diketahui apakah proyek diperkirakan mengalami penghematan biaya, sesuai dengan anggaran, atau mengalami pembengkakan biaya.

Pada penelitian ini, nilai VAC dihitung berdasarkan selisih antara *Budget at Completion* (BAC) dan *Estimate at Completion* (EAC). Nilai VAC yang bernilai positif menunjukkan bahwa estimasi biaya penyelesaian proyek lebih rendah dibandingkan anggaran yang telah direncanakan, sedangkan nilai VAC negatif menunjukkan adanya potensi pembengkakan biaya. Apabila nilai VAC sama dengan nol, maka estimasi biaya akhir proyek sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan.

Perhitungan *Variance at Completion* (VAC) dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$VAC = BAC - EAC \quad (4.16)$$

Keterangan:

VAC = *Variance at Completion* (Rp);

BAC = *Budget at Completion* (Rp);

EAC = *Estimate at Completion* (Rp).

Contoh perhitungan VAC:

Perhitungan VAC pada minggu ke-10 dilakukan menggunakan data sebagai berikut.

Diketahui:

$$BAC = \text{Rp}4.522.525.758,45$$

$$EAC = \text{Rp}4.111.387.053,14$$

Sehingga:

$$VAC = BAC - EAC$$

$$VAC = \text{Rp}4.522.525.758,45 - \text{Rp}4.111.387.053,14$$

$$VAC = \text{Rp}411.138.705,31$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai VAC sebesar **Rp411.138.705,31**. Nilai VAC yang positif mengindikasikan bahwa biaya penyelesaian proyek diperkirakan lebih rendah dibandingkan anggaran yang telah direncanakan, sehingga terdapat potensi penghematan biaya sebesar **Rp411.138.705,31** atau sekitar **9,09%** dari nilai *Budget at Completion* (BAC).

Berdasarkan persamaan tersebut, perhitungan *Variance at Completion* (VAC) dilakukan pada setiap minggu pelaksanaan proyek menggunakan nilai *Budget at Completion* (BAC) dan *Estimate at Completion* (EAC). Hasil perhitungan VAC secara lengkap disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *Variance at Completion* (VAC)

Minggu	BAC (Rp)	EAC (Rp)	VAC (Rp)	Keterangan
1	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
2	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
3	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
4	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
5	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
6	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
7	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
8	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
9	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
10	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
11	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
12	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
13	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
14	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
15	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
16	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
17	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
18	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya
19	4.522.525.758,45	4.111.387.053,14	411.138.705,31	Potensi Penghematan Biaya

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 4.21, nilai *Variance at Completion* (VAC) menunjukkan selisih antara anggaran proyek *Budget at Completion* (BAC) dengan estimasi biaya akhir proyek *Estimate at Completion* (EAC) pada setiap minggu pelaksanaan. Nilai VAC diperoleh dari hasil pengurangan antara BAC dan EAC, sehingga menggambarkan potensi selisih biaya pada saat proyek selesai.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai VAC bernilai positif selama periode analisis. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa estimasi biaya penyelesaian proyek berada di bawah anggaran yang telah direncanakan. Nilai VAC yang positif dipengaruhi oleh kinerja biaya proyek yang efisien, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *Cost Performance Index* (CPI) yang lebih besar dari satu.

Berdasarkan estimasi pada periode evaluasi, diperoleh *Variance at Completion* (VAC) sebesar Rp411.138.705,31 atau sekitar 9,09% terhadap *Budget at Completion* (BAC). Nilai positif tersebut menunjukkan potensi selisih biaya apabila asumsi kinerja biaya yang digunakan dalam perhitungan tetap berlaku hingga proyek selesai; nilai ini bukan realisasi penghematan aktual.

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai hasil evaluasi *Earned Value Management* (EVM), parameter *Budget at Completion* (BAC), *Actual Cost* (AC), *Cost Performance Index* (CPI), *Schedule Performance Index* (SPI), *Estimate at Completion* (EAC), *Estimate to Complete* (ETC), dan *Variance at Completion* (VAC) direkapitulasi pada Tabel 4.22. Rekapitulasi harus dibaca dengan membedakan hasil aktual sampai minggu ke-10 dan hasil proyeksi setelah periode tersebut.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Hasil Analisis *Earned Value Management* (EVM)

Parameter	Hasil	Interpretasi
BAC	4.522.525.758,45	Anggaran proyek
AC	4.111.387.053,14	Biaya pelaksanaan
CPI	1,10	Biaya efisien (CPI > 1)
SPI	1,00 (akhir proyek)	Proyek selesai sesuai jadwal
EAC	4.111.387.053,14	Estimasi biaya akhir
ETC	0,00	Tidak ada biaya tersisa
VAC	411.138.705,31	Potensi selisih biaya terhadap anggaran

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026.

Berdasarkan rekapitulasi analisis *Earned Value Management* (EVM), kondisi aktual sampai minggu ke-10 menunjukkan CPI sebesar 1,10 dan SPI sebesar 0,53. Nilai tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan pendekatan biaya penelitian, kinerja biaya pada minggu ke-10 berada di atas nilai acuan 1,00, sedangkan kinerja waktu masih tertinggal dari rencana. Nilai setelah minggu ke-10 merupakan proyeksi; dalam skenario tersebut SPI mencapai 1,00 pada akhir periode, sedangkan EAC, ETC, dan VAC menggambarkan estimasi kondisi biaya hingga penyelesaian. Pemisahan antara aktual dan proyeksi ini menjaga agar hasil analisis tidak ditafsirkan melampaui periode data yang tersedia. Secara keseluruhan, integrasi BIM 5D, PERT, Microsoft Project, dan EVM memberikan alur informasi yang terstruktur untuk evaluasi biaya dan waktu proyek dan menjadi dasar penyusunan kesimpulan pada Bab V.