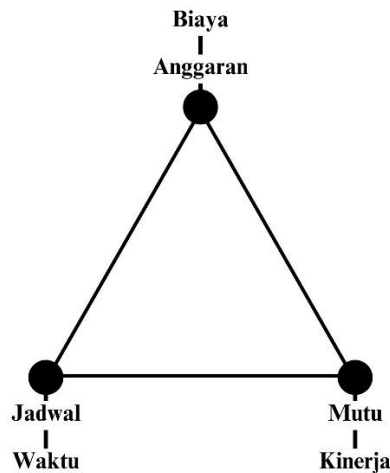


BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan suatu kegiatan terorganisasi yang dilakukan dengan jangka waktu tertentu dan menggunakan sumber daya pada pelaksanaannya. Pelaksanaan proyek konstruksi memiliki rencana penjadwalan yang harus diikuti. Penjadwalan memiliki tujuan untuk mewujudkan suatu gagasan menjadi bentuk fisik maupun bangunan (Mastrawan dkk., 2020). Dengan adanya penjadwalan, progres waktu pelaksanaan dan kemajuan kinerja sumber daya proyek dapat dipantau dengan baik.

Menurut (Soeharto, 1999) kegiatan proyek merupakan suatu kegiatan sementara yang dimaksudkan untuk melaksanakan tugas yang sasaran dan tujuannya telah digariskan dengan jelas yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas dengan sumber daya tertentu. Setiap proyek mempunyai parameter yang harus dipenuhi agar proyek dapat berjalan. Parameter tersebut adalah biaya, mutu, dan jadwal, parameter tersebut dikenal sebagai tiga kendala (*triple constraint*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Tiga Kendala (*Triple Constraint*)
Sumber : (Soeharto, 1999)

Dapat disimpulkan bahwa proyek konstruksi adalah suatu rangkaian pengorganisasian kegiatan yang dibatasi oleh waktu dan sumber daya untuk mencapai suatu tujuan tertentu.

2.2 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah bidang yang menggabungkan ilmu, seni, dan keterampilan dalam merencanakan, mengorganisasi, memimpin, serta mengendalikan sumber daya guna mencapai tujuan proyek secara efektif dan efisien. Sebagai elemen kunci dalam keberhasilan suatu proyek, manajemen proyek tidak hanya memastikan penyelesaian tepat waktu, tetapi juga menjaga kesesuaian dengan anggaran dan standar kualitas yang telah ditetapkan (Hidayanto dkk., 2023).

Keberhasilan manajemen proyek bergantung pada kemampuan dalam mengintegrasikan berbagai aspek manajemen serta beradaptasi dengan dinamika dan perubahan selama siklus proyek. Penerapan praktik manajemen proyek yang baik dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi risiko kegagalan, dan mengoptimalkan nilai proyek. Oleh karena itu, manajemen proyek bukan sekadar tugas administratif, melainkan juga suatu proses strategis yang memadukan kepemimpinan dan pengelolaan sumber daya untuk mencapai hasil yang optimal.

2.3 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan atau *scheduling* adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan setiap pekerjaan, dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ada, untuk menyelesaikan proyek hingga tercapai hasil yang optimal (Husen, 2011). Menurut (Ervianto, 2006) penjadwalan adalah kegiatan untuk menentukan urutan kegiatan dan kebutuhan waktu untuk menyelesaikan suatu proyek. Penjadwalan proyek memiliki beberapa kegunaan, diantaranya :

1. Menunjukkan hubungan tiap aktivitas kepada yang lainnya dan kepada seluruh proyek.
2. Menunjukkan hubungan utama diantara kegiatan.
3. Mendorong penentuan waktu yang diperlukan dan perkiraan biaya untuk setiap kegiatan.
4. Membantu meningkatkan kegunaan sumber daya manusia, uang, dan material dengan identifikasi hambatan kritis dalam proyek.

Maka dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penjadwalan dalam suatu proyek, memungkinkan proyek bisa terlaksana sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, dan dapat menentukan kebutuhan yang akan digunakan.

2.3.1 Metode Penjadwalan Proyek

Kegiatan dan kompleksitas proyek cenderung bertambah, untuk mengatasi hal tersebut diperlukan metode yang tepat untuk mengelola suatu proyek sehingga dapat meningkatkan kualitas perencanaan waktu dan biaya. Penjadwalan pada proyek menjadi suatu solusi untuk menghadapi kegiatan dan kompleksitas pada proyek. Penjadwalan proyek adalah kegiatan menentukan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek, kapan kegiatan harus dimulai, dan kapan harus selesai. Rencana penjadwalan proyek umumnya terdiri dari penjadwalan waktu, biaya, dan sumber daya (Soeharto, 1999).

Beberapa metode penjadwalan proyek digunakan untuk mengelola waktu dan sumber daya proyek. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Pertimbangan penggunaan metode tersebut didasarkan atas kebutuhan dan hasil yang ingin dicapai terhadap kinerja penjadwalan. Kinerja waktu akan berimplikasi terhadap kinerja biaya, sekaligus kinerja proyek secara keseluruhan (Husen, 2011).

2.3.1.1 Diagram Batang (*Bar Chart*)

Bar chart pada awalnya digunakan dan diperkenalkan oleh Hendri Lawrence Gantt pada tahun 1917. Metode *Bar Chart* bertujuan mengidentifikasi unsur waktu dan urutan untuk merencanakan suatu kegiatan yang terdiri dari waktu mulai, waktu selesai dan waktu pelaporan. Dalam aspek perencanaan dan pengendalian proyek *Bar Chart* menjadi metode pertama yang memiliki prosedur yang sistematis dan analitis (Soeharto, 1999).

Bar Chart adalah data yang berbentuk diagram batang yang panjangnya sebanding dengan nilai datanya. Data yang dimaksud berupa waktu atau bobot, dan setiap bar mewakili suatu kegiatan (Hidayanto dkk., 2023). Contoh *Bar Chart* dapat dilihat pada Gambar 2.2

No.	Deskripsi	Nilai (Rp)	Durasi (minggu)	Bobot	Minggu									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pekerjaan persiapan	1,000,000	2	2.22%	1.111	1.111								
2	Pekerjaan galian tanah	500,000	2	1.11%		0.556	0.556							
3	Pekerjaan pondasi	1,500,000	3	3.33%			1.111	1.111	1.111					
4	Pekerjaan beton bertulang	10,000,000	2	22.22%				11.11	11.11					
5	Pekerjaan pasangan/plesteran	2,000,000	3	4.44%					1.481	1.481	1.481			
6	Pekerjaan pintu jendela	6,000,000	2	13.33%						6.667	6.667			
7	Pekerjaan atap	7,000,000	2	15.56%							7.778	7.778		
8	Pekerjaan langit-langit	2,000,000	2	4.44%								2.222	2.222	
9	Pekerjaan lantai	5,000,000	2	11.11%								5.556	5.556	
10	Pekerjaan finishing	10,000,000	2	22.22%									11.11	11.11
NILAI NOMINAL		45,000,000		100%										
PRESTASI PER MINGGU					1.111	1.667	1.667	12.22	13.7	8.148	15.93	15.56	18.89	11.11
PRESTASI KUMULATIF					1.111	2.778	4.444	16.67	30.37	38.52	54.44	70	88.89	100

Gambar 2.2 Bar Chart atau Gantt Chart

Sumber : (Ervianto, 2006)

2.3.1.2 Kurva S

Kurva S (Gambar 2.3) adalah grafik menyerupai huruf S yang mewakili kemajuan kumulatif pekerjaan berdasarkan bobot. Kurva S digunakan sebagai alat manajemen untuk mengetahui kemajuan pelaksanaan proyek (Hidayanto dkk., 2023).

$$\text{Rumus bobot kegiatan} = \frac{\text{Harga Kegiatan}}{\text{Harga Total Kegiatan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

No	Pekerjaan	Durasi	Bobot	Waktu (minggu)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Aktivitas A	2	5%	0.03	0.03								
2	Aktivitas B	2	10%			0.05	0.05						
3	Aktivitas C	7	30%		0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
4	Aktivitas D	4	25%			0.06	0.06	0.06	0.06				
5	Aktivitas E	2	20%					0.1	0.1				
6	Aktivitas F	4	10%							0.03	0.03	0.03	0.03
Bobot				3%	7%	16%	16%	21%	21%	7%	7%	3%	3%
Kumulatif				3%	9%	25%	40%	61%	81%	88%	95%	98%	100%

Gambar 2.3 Kurva S

Sumber : (Hidayanto dkk., 2023)

Menurut (Puspitasari dkk., 2022) Kurva S memiliki beberapa kegunaan yaitu:

1. Untuk mengetahui progres per minggu suatu proyek.
2. Memudahkan untuk membaca waktu suatu pekerjaan yang diselesaikan.
3. Untuk mengetahui informasi persentase pekerjaan yang sudah terselesaikan.

2.3.1.3 *Program Evaluation and Review Technique (PERT)*

Metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dikembangkan pada tahun 1957 oleh *Navy Special Project Office*, sebuah unit khusus Angkatan Laut Amerika Serikat. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi dan meninjau kembali suatu program dengan merepresentasikan ketergantungan antar aktivitas dalam bentuk diagram jaringan kerja. (Kelana, 2010).

PERT memungkinkan identifikasi kegiatan yang perlu diprioritaskan serta kegiatan yang harus menunggu hingga pekerjaan lain selesai. Metode ini sangat berguna dalam proyek yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi, terutama terkait durasi aktivitas. PERT mengasumsikan bahwa waktu penyelesaian suatu kegiatan dapat bervariasi karena dipengaruhi oleh berbagai faktor. Oleh karena itu, metode ini lebih efektif digunakan untuk proyek baru yang belum memiliki data historis yang cukup mengenai estimasi waktu penyelesaian aktivitas. (Soeharto, 1999)

Untuk menyusun jaringan kerja dalam suatu proyek, penting untuk memahami setiap kegiatan yang terjadi, termasuk durasi dan ketergantungan antar kegiatan. Urutan logis proyek harus dipahami dengan baik, di mana setiap aktivitas memiliki kegiatan pendahulu dan kegiatan pengikut yang saling terkait. Dengan pemahaman ini, jaringan kerja dapat dibentuk secara sistematis dari awal hingga akhir proyek.

Metode PERT berfokus pada aspek waktu dalam proyek dengan menggunakan estimasi durasi aktivitas untuk memperkirakan kemungkinan penyelesaian proyek pada tanggal tertentu. Selain itu, PERT dapat mengidentifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian aktivitas yang tidak dapat ditunda tanpa mempengaruhi waktu penyelesaian proyek. Metode ini juga membantu menentukan aktivitas yang memiliki *float*, yaitu waktu cadangan yang memungkinkan suatu aktivitas ditunda tanpa memperpanjang jadwal keseluruhan proyek. (Meredith & Mantel Jr, 2011).

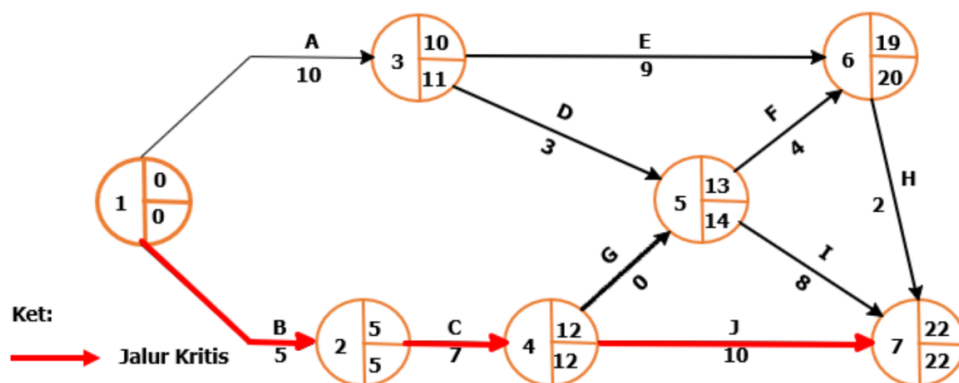
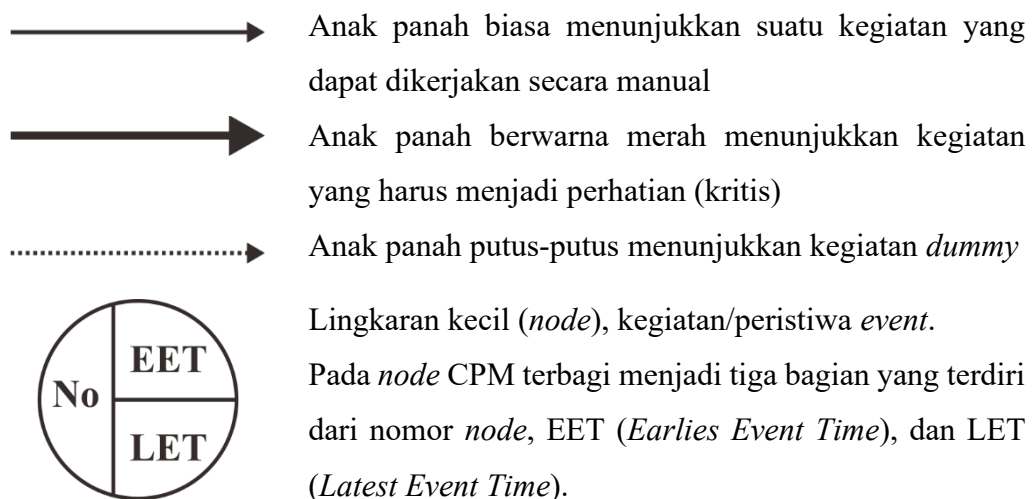
2.3.1.4 *Critical Path Method (CPM)*

Pada tahun 1957, J.E. Kelly dari Remington Rand dan M.R. Walker dari Dupont mengembangkan metode CPM untuk mendukung proses pembangunan dan pemeliharaan pabrik kimia di Dupont (Prasetya & Lukiastuti, 2009). Pengembangan metode ini didasarkan pada konsep *Linear Programming*, yang

digunakan oleh Kelly sebagai pendekatan dalam analisis jalur kritis. Dalam *Linear Programming*, hubungan antar aktivitas dalam proyek direpresentasikan menggunakan notasi "I-J", yang menggambarkan keterkaitan antara satu kegiatan dengan kegiatan lainnya. Metode CPM banyak digunakan dalam penelitian akademik, dengan perhitungan yang umumnya dilakukan secara manual dalam berbagai publikasi ilmiah (Baum, 2012).

Critical Path Method merupakan jaringan kerja yang membentuk *Activity On Arrow* (AOA) untuk membantu melihat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas dan aktivitas mana yang harus diprioritaskan agar tidak mengganggu waktu penyelesaian proyek. Aktivitas yang tidak dapat terlambat ini disebut jalur kritis (Hidayanto dkk., 2023).

Contoh dari metode CPM dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Contoh Metode CPM
 Sumber : (Hidayanto dkk., 2023)

2.3.1.5 Precedance Diagram Method (PDM)

Metode PDM (Gambar 2.5) merupakan sebuah jaringan kerja yang termasuk klarifikasi (AON) *Activity On Node*, *node* yang digunakan pada metode PDM berbentuk segi empat, dan petunjuk hubungan antar kegiatan-kegiatan yang bersangkutan untuk ditunjukkan oleh anak panah (Hidayanto dkk., 2023).

Di dalam *node* segi empat ini terdapat bagian-bagian yang berisi tentang keterangan spesifik dari aktivitas yang bersangkutan. Setiap *node* memiliki keterangan peristiwa awal dan peristiwa akhir. *Node* memiliki jumlah pembagian yang bervariasi, tergantung dengan kebutuhan pemakai. Semakin banyak atribut berarti semakin lengkap dan spesifik keterangan suatu pekerjaan tersebut (Widiasanti & Lenggogeni, 2014).



Gambar 2.5 *Node* Kegiatan PDM

Sumber : (Hidayanto dkk., 2023)

Notasi yang digunakan dalam *node* kegiatan PDM yaitu :

1. Nomor (i) adalah nomor kegiatan
2. Deskripsi (DESC) adalah jenis kegiatan atau nama kegiatan
3. Durasi (D) adalah waktu yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan
4. *Earliest Start* (ES) adalah saat paling cepat kegiatan dilaksanakan
5. *Earliest Finish* (EF) adalah saat paling cepat kegiatan terselesaikan
6. *Latest Start* (LS) adalah saat paling lambat kegiatan dilaksanakan
7. *Latest Finish* (LF) adalah saat paling lambat kegiatan diselesaikan

Rumus :

$$\text{Earliest Start} = EF + D \quad (2.2)$$

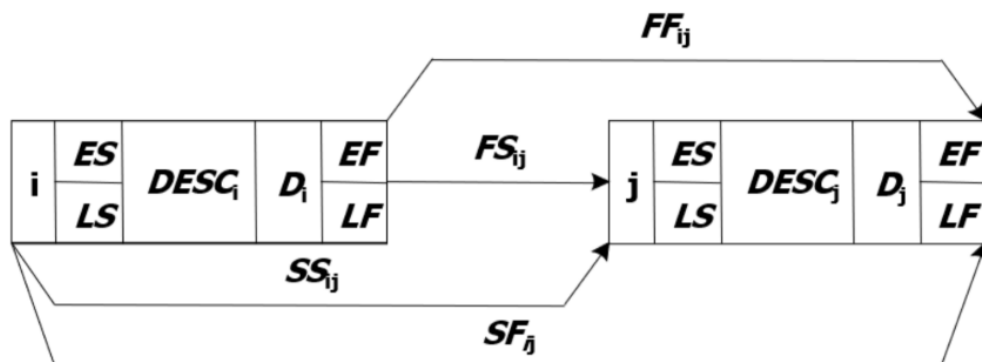
$$\text{Earliest Finish} = ES + D \quad (2.3)$$

$$\text{Latest Start} = LF - D \quad (2.4)$$

$$\text{Latest Finish} = LS - D \quad (2.5)$$

Ada empat macam hubungan ketergantungan yang digunakan dalam PDM yang membentuk logika ketergantungan antar aktivitas.

1. *Finish to Start* (FS) artinya aktivitas “j” tidak dapat dimulai sampai aktivitas “i” selesai.
2. *Start to Start* (SS) artinya aktivitas “j” tidak dapat dimulai sampai aktivitas “i” dimulai.
3. *Finish to Finish* (FF) artinya aktivitas “j” tidak dapat selesai sampai aktivitas “i” selesai,
4. *Start to Finish* (SF) artinya aktivitas “j” tidak dapat selesai sampai aktivitas “i” dimulai.



Gambar 2.6 Hubungan Ketergantungan Antar Aktivitas pada PDM

Sumber : (Hidayanto dkk., 2023)

Langkah-langkah pembuatan jaringan kerja PDM :

1. Kembangkan *network* sesuai hubungan ketergantungan antar aktivitas.
2. Untuk mendapatkan *ES* dan *EF*, lakukan perhitungan ke depan untuk setiap *node* aktivitas. Selalu ambil nilai yang paling besar ketika terdapat lebih dari satu panah menuju *node*.
3. Untuk mendapatkan *LS* dan *LF*, lakukan perhitungan ke belakang untuk setiap *node* aktivitas. Selalu ambil nilai yang paling kecil ketika terdapat lebih dari satu panah menuju *node*.
4. Gambarkan jalur kritis pada PDM. Syarat jalur kritis pada PDM adalah :
 - a. $ES = LS$
 - b. $EF = LF$
 - c. $LF - ES = D$

5. Hitung *Total Float* (TF) pada PDM dengan rumus

$$Total\ Float = LS - ES \quad (2.6)$$

Total Float adalah jumlah waktu tunda atau memperpanjang waktu kegiatan tanpa memperhitungkan akhir proyek.

Berbeda dengan CPM maupun PERT, PDM mengenal adanya keterbatasan (*constrain*) antar kegiatan SS, SF, FS, SF. PDM memiliki kegunaan untuk menyederhanakan hubungan ketergantungan antar aktivitas proyek yang bersifat berulang. Karena menggunakan PDM memungkinkan kegiatan dimulai sebelum kegiatan yang mendahuluinya selesai 100 persen, maka waktu penyelesaian kegiatan proyek lebih cepat dibandingkan metode CPM (Nursuhud, 2021)

2.4 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya merupakan proses estimasi biaya yang mencakup kebutuhan material, peralatan, dan tenaga kerja berdasarkan gambar kerja serta spesifikasi teknis (Pesiwarissa dkk., 2022). Penyusunan RAB bertujuan untuk menentukan total biaya yang diperlukan, termasuk upah tenaga kerja, bahan bangunan, serta biaya lain yang berkaitan dengan pelaksanaan proyek konstruksi. Selain itu, penyusunan RAB memiliki keterkaitan erat dengan perencanaan jadwal proyek. Hal ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai *timeline* yang telah dirancang guna memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai dengan target waktu yang ditetapkan (Amalia dkk., 2018).

Maka dapat disimpulkan bahwa Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah estimasi biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan suatu proyek konstruksi. RAB mencakup semua biaya yang terkait dengan pekerjaan, mulai dari bahan, tenaga kerja, hingga alat yang digunakan. RAB berfungsi sebagai dasar untuk pengajuan proposal, standar harga patokan, dan evaluasi kinerja proyek.

Secara umum rumus dari rencana anggaran biaya suatu proyek adalah total penjumlahan dari hasil perkalian antara volume suatu item pekerjaan dengan harga satuannya.

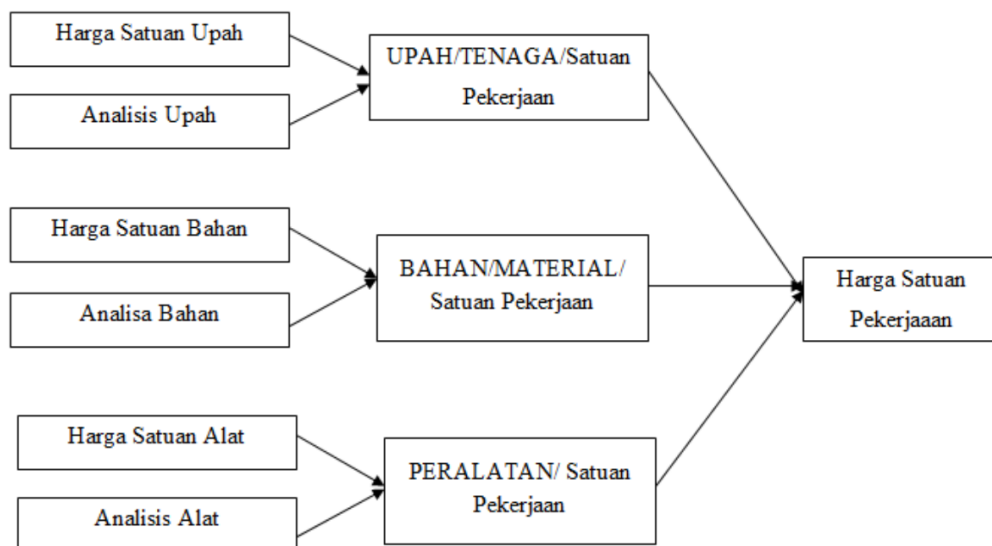
$$RAB = \Sigma[(Volume) \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}] \quad (2.7)$$

2.4.1 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Dalam proyek konstruksi, analisis biaya dikenal sebagai Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), yaitu metode perhitungan harga satuan suatu pekerjaan konstruksi. AHSP diperoleh dengan mengalikan kebutuhan bahan bangunan, tenaga kerja, dan peralatan dengan harga bahan, standar upah pekerja, serta biaya sewa atau pembelian peralatan untuk menyelesaikan setiap satuan pekerjaan (Febriyanto, 2022).

AHSP bersifat dinamis dan dapat mengalami perubahan setiap tahun atau dalam periode tertentu. Peraturan terbaru mengenai AHSP dikeluarkan melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022, yang berisi pedoman penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi di bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat.

AHSP berperan penting dalam perencanaan dan pengendalian sumber daya, termasuk material, tenaga kerja, serta waktu yang diperlukan dalam proyek konstruksi. Penerapan AHSP yang tepat dapat memastikan proyek berjalan sesuai standar mutu dan biaya yang efisien, sehingga meningkatkan kualitas pekerjaan serta efektivitas penggunaan anggaran. Skema harga satuan pekerjaan, yang dipengaruhi oleh faktor bahan/material, upah tenaga kerja dan peralatan dapat dirangkum sebagai berikut :



Gambar 2.7 Skema Harga Satuan Pekerjaan
Sumber : (Ibrahim, 2007)

Tahapan penyusunan dan perhitungan analisis harga satuan pekerjaan :

1. **Pemahaman Spesifikasi Teknis**
Langkah awal adalah memahami spesifikasi teknis yang terkait dengan setiap pekerjaan, termasuk deskripsi material, metode pelaksanaan, dan standar kualitas.
2. **Pengumpulan Data**
Kumpulkan data harga bahan, upah tenaga kerja, harga peralatan, dan biaya *overhead*. Data dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti survei pasar, data internal perusahaan, atau publikasi resmi.
3. **Analisis Kebutuhan Sumber Daya**
Identifikasi dan semua sumber daya yang diperlukan untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan, mencakup bahan, tenaga kerja, dan peralatan.
4. **Perhitungan Koefisien**
Tentukan koefisien untuk setiap sumber daya berdasarkan analisis teknis dan standar industri. Koefisien ini mencerminkan jumlah sumber daya yang diperlukan per satuan pekerjaan.
5. **Penentuan Harga Satuan Dasar (HSD)**
Hitung harga satuan dasar untuk setiap sumber daya. HSD mencakup biaya langsung sumber daya tersebut.
6. **Perhitungan Biaya Langsung**
Hitung biaya langsung untuk setiap item pekerjaan dengan mengalikan koefisien dengan harga satuan dasar masing-masing sumber daya. Biaya langsung meliputi biaya bahan, upah tenaga kerja, dan biaya peralatan.
7. **Perhitungan Biaya Tidak Langsung**
Identifikasi dan hitung biaya tidak langsung (*overhead*) yang terkait dengan proyek. Biaya *overhead* mencakup biaya administrasi, biaya umum, dan keuntungan.
8. **Penentuan Harga Satuan Pekerjaan**
Jumlahkan biaya langsung dan biaya tidak langsung untuk mendapatkan harga satuan pekerjaan.
$$\text{Harga Satuan Pekerjaan} = \text{Upah} + \text{Bahan} + \text{Peralatan} \quad (2.8)$$

9. Validasi dan Peninjauan

Validasi hasil perhitungan AHSP oleh tim proyek untuk memastikan akurasi dan kesesuaian dengan spesifikasi teknis.

10. Dokumentasi

Dokumentasikan langkah dan perhitungan dalam format yang jelas dan terstruktur. Dokumentasi ini digunakan sebagai dasar untuk penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan referensi selama pelaksanaan proyek.

Berikut merupakan contoh AHSP yang digunakan pada Proyek Konstruksi Gedung Mandiri Area Tasikmalaya:

Tabel 2.1 Perhitungan AHSP 1 m3 Beton Kolom *Ready Mix* K.250

NO	URAIAN	KODE	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
ANL.II.32	m3 Beton dengan mutu $F_c=35$ Mpa					
A	TENAGA					
	Pekerja	L 1.	OH	0,250	100.000,00	25.000,00
	Tukang Batu	L 4.	OH	0,100	120.000,00	12.000,00
	Kepala Tukang	L 16.	OH	0,010	130.000,00	1.300,00
	Mandor	L 17.	OH	0,004	140.000,00	560,00
B	BAHAN					
	Beton Ready Mix 33 MPa slump ± 12	M.I.18.	M3	1,050	900.000,00	945.000,00
C	PERALATAN					
	Sewa pompa beton	M.XIV.4.	M3	1,000	65.000,00	65.000,00
	Sewa vibrator	M.XIV.5.	M3	1,000	25.000,00	25.000,00
D	JUMLAH					1.073.860,00
E	OVERHEAD & PROFIT 10%					107.386,00
F	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D+E)					1.181.246,00

Tabel 2.2 Perhitungan AHSP 1 m2 Pasangan Bekisting Kolom

NO	URAIAN	KODE	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
ANL.II.37	Kg Pemasangan Bekisting Untuk Kolom Beton Bangunan Gedung 2X Pakai					
A	TENAGA					
	Pekerja	L 1.	OH	0,220	100.000,00	22.000,00
	Tukang Kayu	L 5.	OH	0,110	120.000,00	13.200,00
	Kepala Tukang	L 16.	OH	0,011	130.000,00	1.430,00
	Mandor	L 17.	OH	0,011	140.000,00	1.540,00
B	BAHAN					
	Kayu kelas III	M.II.3.	m3	0,013	2.520.000,00	32.760,00
	Paku 5 - 12 cm	M.IV.20.	kg	0,133	19.000,00	2.527,00
	Minyak bekisting	M.V.13.	Liter	0,067	12.610,00	844,87
	Balok kayu kelas III	M.II.4.	m3	0,005	2.520.000,00	12.600,00
	Plywood 9 mm	M.III.7.	Lbr	0,117	185.000,00	21.645,00
	Dolken kayu Ø 8-10/400 cm	M.II.2.	Batang	0,667	15.000,00	10.005,00
C	PERALATAN					
D	JUMLAH					118.551,87
E	OVERHEAD & PROFIT 10%					11.855,19
F	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D+E)					130.407,06

Tabel 2.3 Perhitungan AHSP 1 Kg Pembesian Kolom

NO	URAIAN	KODE	SATUAN	KOEFISIEN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
ANL.II.37	Kg Pembesian Dengan Besi Polos Atau Besi Ulir					
A	TENAGA					
	Pekerja	L 1.	OH	0,007	100.000,00	700,00
	Tukang Besi	L 6.	OH	0,007	120.000,00	840,00
	Kepala Tukang	L 16.	OH	0,001	130.000,00	91,00
	Mandor	L 17.	OH	0,000	140.000,00	56,00
B	BAHAN					
	Besi beton (polos/ulir)	M.IV.1.	kg	1,050	13.500,00	14.175,00
	Kawat beton	M.IV.21.	kg	0,015	21.000,00	315,00
C	PERALATAN					
D	JUMLAH					16.177,00
E	OVERHEAD & PROFIT 10%					1.617,70
F	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D+E)					17.794,70

2.4.1.1 Perhitungan Koefisien pada AHSP

Dalam Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), terdapat tiga elemen utama yang menjadi dasar perhitungan, yaitu tenaga kerja, bahan, dan alat. Ketiga elemen ini saling berkaitan dan menentukan besarnya biaya satuan suatu pekerjaan konstruksi. Dengan memperhitungkan ketiga elemen secara tepat, AHSP dapat menghasilkan estimasi biaya pekerjaan yang lebih akurat, transparan, dan sesuai dengan kondisi lapangan.

1. Perhitungan Tenaga Kerja

Tenaga kerja mencakup semua jenis pekerja yang terlibat, mulai dari pekerja biasa, tukang, kepala tukang, hingga mandor, yang dihitung berdasarkan produktivitas kerja atau koefisien orang-hari (OH). Produktivitas tenaga kerja dapat diketahui dengan berbagai macam cara, seperti dengan menggunakan data standar SNI AHSP Kementerian PUPR, pengalaman proyek sebelumnya, studi literatur, dan dengan cara melakukan observasi lapangan. Untuk mengetahui produktivitas dengan metode observasi digunakan rumus:

$$\text{Produktivitas} = \frac{1}{\text{Koefisien}} \quad (2.9)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan koefisien tenaga kerja di AHSP pada 1 m² pekerjaan Pasangan Bata Merah tebal ½ bata

Diketahui:

Pekerja	: 3 m ² /OH
Tukang	: 4 m ² /OH
Kepala Tukang	: 20 m ² /OH (fungsi kontrol)
Mandor	: 25 m ² /OH (fungsi pengawasan umum)

$$\text{Koefisien} = \frac{1}{\text{Produktivitas (m}^2/\text{hari)}} \quad (2.10)$$

a. Pekerja

Produktivitas	: 3 m ² /OH
Koefisien	: 1/3 = 0,33 OH/m ²

b. Tukang

Produktivitas	: 4 m ² /OH
Koefisien	: 1/4 = 0,25 OH/m ²

c. Kepala Tukang

Produktivitas	: 20 m ² /OH
Koefisien	: 1/20 = 0,05 OH/m ²

d. Mandor

Produktivitas	: 25 m ² /OH
Koefisien	: 1/25 = 0,04 OH/m ²

2. Perhitungan Bahan

Bahan meliputi seluruh material yang dibutuhkan sesuai spesifikasi teknis, dihitung berdasarkan kebutuhan volume, harga satuan, dan ditambah faktor susut atau *waste* agar lebih realistis.

Berikut merupakan contoh perhitungan koefisien bahan di AHSP pada 1 m³ pekerjaan Beton K-225 dengan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.

Diketahui:

Campuran beton	: 1:2:3
Total bagian	: 6
<i>Waste factor</i>	: semen 1%, pasir 3%, kerikil 3%
<i>W/C ratio</i>	: 0,5

Maka untuk 1 m³ pekerjaan Beton K-225 dengan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil membutuhkan:

a. Semen

$$\begin{aligned}\text{Proporsi} &: 1/6 \times (1+1\%) \\ &: 1/6 \times 1,01 \\ &: 0,169 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semen} &: 1.400 \text{ kg./m}^3 \\ &: 1.400 \times 0,169\end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan semen} : 236 \text{ kg}$$

b. Pasir

$$\begin{aligned}\text{Proporsi} &: 2/6 \times (1+3\%) \\ &: 2/6 \times 1,03\end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan pasir} : 0,344 \text{ m}^3$$

c. Kerikil

$$\begin{aligned}\text{Proporsi} &: 3/6 \times (1+3\%) \\ &: 3/6 \times 1,03\end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan kerikil} : 0,515 \text{ m}^3$$

d. Air

$$\begin{aligned}\text{Proporsi} &: 0,5 \times 236 \\ \text{Kebutuhan air} &: 118 \text{ liter}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Alat

Alat meliputi peralatan konstruksi yang digunakan, baik berupa alat berat maupun peralatan bantu, dengan perhitungan didasarkan pada jam pemakaian, tarif sewa, biaya operasi, dan perawatan, serta gunakan faktor utilisasi (efisiensi kerja) untuk memperhitungkan waktu *idle*, pemeliharaan, dan waktu tunda (misal 0,8–0,9).

Berikut merupakan contoh perhitungan koefisien alat di AHSP pada 1 m³ pekerjaan Beton K-225 dengan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.

Diketahui

Molen (*Mixer*): 2 m³/jam

Utilisasi : 85%

Maka untuk 1 m³ pekerjaan Beton K-225 dengan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil membutuhkan:

<i>Output</i> per jam efektif	: 2 x 0,85
	: 1,7 m ³ /jam
Koefisien jam per m ³	: 1/1,7
	: 0,59 jam/m ³

2.4.2 Komponen Pembentuk Biaya

RAB terdiri dari beberapa komponen pembentuk biaya yang penting untuk diperhitungkan agar anggaran dapat dikelola dengan baik. Memahami komponen pembentuk biaya dalam RAB sangat penting bagi manajer proyek untuk memperkirakan semua aspek pengeluaran telah diperhitungkan secara akurat. Dengan demikian, RAB berfungsi sebagai alat efektif dalam perencanaan dan pengendalian biaya selama pelaksanaan proyek. Berikut merupakan komponen pembentuk biaya pada RAB.

2.4.2.1 Biaya Material

Biaya material mencakup biaya semua bahan konstruksi yang dibutuhkan untuk proyek tersebut. Ini termasuk harga bahan mentah, transportasi dan penyimpanan. Biaya material dihitung berdasarkan volume yang dibutuhkan dan harga satuan untuk setiap jenis bahan. Menurut (Setiawati & Sodikin, 2023) analisis harga satuan material dihitung berdasarkan kebutuhan material yang dibutuhkan dan harus disesuaikan dengan harga terkini untuk memastikan perkiraan akurat. Perhitungan biaya bahan atau material dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Biaya Material} = \text{Volume Material} \times \text{Harga Material} \quad (2.11)$$

2.4.2.2 Biaya Alat

Biaya alat mencakup semua biaya yang terkait dengan penggunaan peralatan dan mesin pada proyek. Hal ini meliputi biaya sewa, pengoperasian, pemeliharaan dan penyusutan alat berat yang digunakan. Proses estimasi biaya peralatan meliputi identifikasi kebutuhan peralatan, analisis harga sewa, dan estimasi biaya pengoperasian dan pemeliharaan (Pesiwarissa dkk., 2022). Perhitungan biaya alat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Biaya Alat} = \text{Durasi} \times \text{Harga Sewa} \quad (2.12)$$

2.4.2.3 Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja merupakan estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membayar pekerja selama pelaksanaan proyek. Ini termasuk upah harian atau bulanan, tunjangan, dan upah lembur. Dalam menyusun RAB, penting untuk menghitung jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk setiap jenis pekerjaan dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut (Dharmastika dkk., 2024). Perhitungan biaya tenaga kerja dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Biaya Tenaga Kerja} = \text{Durasi} \times \text{Upah Tenaga Kerja} \quad (2.13)$$

2.4.2.4 Biaya *Overhead*

Biaya *overhead* adalah pengeluaran yang tidak dapat langsung dikaitkan dengan pekerjaan tertentu namun tetap diperlukan untuk menjalankan proyek. Ini termasuk biaya administrasi, utilitas, dan biaya lainnya yang mendukung operasional proyek. Biaya *overhead* sering kali diabaikan tetapi sangat penting untuk diperhitungkan agar total anggaran mencerminkan semua aspek pengeluaran (Mokolensang dkk., 2021).

2.4.2.5 Dana Cadangan

Dalam penyusunan RAB harus mempertimbangkan adanya risiko dan ketidakpastian dalam proyek konstruksi (Radinal dkk., 2022). Oleh karena itu, dana cadangan harus dipersiapkan untuk menjadi salah satu solusi. Dana cadangan adalah anggaran tambahan yang disiapkan untuk mengatasi kemungkinan biaya tak terduga selama pelaksanaan proyek. Umumnya, dana cadangan ini berkisar antara 5-10% dari total anggaran.

2.4.2.6 Profit atau Keuntungan

Keuntungan biasanya dinyatakan dalam persentase dari total biaya dan dapat berkisar antara sekitar 8%-15%, tergantung pada keinginan kontraktor yang ingin mendapatkan proyek tersebut. Mengambil keuntungan juga bergantung pada seberapa berisiko pekerjaan tersebut, seberapa sulitnya, dan bagaimana cara pembayaran dari pemberi pekerjaan.

2.4.3 Tahapan Penyusunan RAB

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan langkah penting dalam proyek konstruksi yang bertujuan untuk mengestimasi biaya yang diperlukan. Berikut merupakan tahapan penyusunan RAB menurut (Dharmastika dkk., 2024) dan (Setiawati & Sodikin, 2023):

1. **Menentukan Tujuan dan Ruang Lingkup Proyek**
Sebelum menyusun RAB, penting untuk menetapkan tujuan penggunaan anggaran dan ruang lingkup proyek. Hal ini membantu dalam memahami kebutuhan biaya secara garis besar dan menentukan batasan penggunaan dana.
2. **Membuat Gambar dan Spesifikasi Proyek**
Penyusunan RAB diawali dengan membuat gambar bangunan yang akan dibangun dan spesifikasi material yang dibutuhkan. Gambar dan spesifikasi ini menjadi dasar perhitungan selanjutnya.
3. **Rincian Daftar Pekerjaan**
Identifikasi dan merincikan jenis pekerjaan apa pun yang akan dilaksanakan. Setiap item pekerjaan harus dijelaskan secara spesifik, termasuk bagaimana hal tersebut akan dilaksanakan dan standar yang digunakan.
4. **Mencari Daftar Harga Upah dan Bahan**
Mengumpulkan informasi mengenai harga satuan bahan dan upah tenaga kerja terbaru. Ini mencakup analisis harga satuan untuk setiap item pekerjaan yang telah dirinci sebelumnya.
5. **Perhitungan Volume Pekerjaan**
Menghitung volume setiap item pekerjaan berdasarkan gambar desain dan hasil pengukuran lapangan. Perhitungan volume ini sangat penting untuk memastikan akurasi dalam estimasi biaya.
6. **Analisis Harga Satuan**
Menghitung analisis harga satuan setiap item pekerjaan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan. Hasil dari perhitungan ini akan memberikan gambaran total biaya untuk setiap jenis pekerjaan.

7. Menyusun RAB Detail

Setelah semua perhitungan selesai, langkah terakhir adalah menyiapkan RAB secara detail sesuai format yang ditentukan, termasuk daftar bahan material, alat, dan kebutuhan upah.

8. Evaluasi dan Penyesuaian

Melakukan evaluasi terhadap RAB yang telah disusun untuk memastikan bahwa semua komponen biaya telah diperhitungkan dengan tepat. Jika diperlukan, penyesuaian dapat dilakukan berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

Tahapan penyusunan RAB melibatkan serangkaian langkah sistematis yang bertujuan untuk menghasilkan estimasi biaya yang akurat dan komprehensif bagi proyek konstruksi. Dengan mengikuti tahapan ini, diharapkan dapat mengelola anggaran dengan lebih efektif.

2.4.4 Perhitungan RAB Metode Konvensional

Perhitungan dengan metode konvensional dilakukan secara manual menggunakan rumus-rumus sederhana. Proses ini umumnya dibantu dengan gambar kerja serta alat bantu hitung seperti kalkulator atau Microsoft Excel. Setiap komponen dalam rencana proyek perlu diperiksa dan dihitung dengan cermat agar tidak terjadi penghitungan ganda maupun kelalaian dalam memasukkan kebutuhan material. Secara umum rumus yang digunakan dalam perhitungan metode konvensional adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan dalam satuan buah (bh)

Digunakan untuk item pekerjaan yang dihitung berdasarkan jumlah unit atau komponen tertentu

$$\text{Volume} = \text{Jumlah unit yang terpasang} \quad (2.14)$$

Contohnya pada pekerjaan pemasangan kloset dan lampu.

2. Pekerjaan dalam satuan panjang (m')

Digunakan untuk pekerjaan yang diukur berdasarkan ukuran linear atau panjang.

$$\text{Volume} = \text{Panjang terpasang} \quad (2.15)$$

Contohnya pada pekerjaan list plafond dan lisplang.

3. Pekerjaan dalam satuan luas (m^2)
Digunakan untuk pekerjaan yang diukur berdasarkan luasan permukaan.
$$\text{Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \quad (2.16)$$
Contohnya pada pekerjaan bekisting dan pengecatan dinding.
4. Pekerjaan dalam satuan kubik (m^3)
Digunakan pada pekerjaan yang diukur berdasarkan isi atau volume tiga dimensi.
$$\text{Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \quad (2.17)$$
Contohnya pada pekerjaan pengecoran dan pemasangan fondasi batu kali.
5. Pekerjaan dalam satuan *lump sum* (ls)
Digunakan untuk item pekerjaan yang sulit dihitung dengan satuan konvensional, biasanya berupa pekerjaan yang bersifat menyeluruh atau paket.
$$\text{Volume} = 1 \text{ paket} \quad (2.18)$$
Contohnya pada pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi tenaga dan alat kerja.

Perhitungan RAB metode konvensional perlu memperhatikan mengenai volume efektif. Volume efektif merupakan besaran yang menggambarkan jumlah nyata atau volume bersih pekerjaan konstruksi yang benar-benar dikerjakan di lapangan. Dalam konteks pekerjaan beton, bekisting, dan pembesian, volume efektif dihitung berdasarkan dimensi bersih elemen struktur sesuai gambar kerja, dengan memperhitungkan, lubang, sambungan, maupun toleransi pelaksanaan. Pada pekerjaan beton, volume efektif menunjukkan isi beton yang benar-benar mengisi elemen struktur dan digunakan dalam perhitungan rencana anggaran biaya. Sedangkan pada pekerjaan bekisting, volume efektif tidak dinyatakan dalam satuan meter kubik, melainkan luas permukaan dalam meter persegi yang bersentuhan langsung dengan beton saat pengecoran. Sementara itu, untuk pekerjaan pembesian, volume efektif lebih tepat dinyatakan dalam berat besi (kilogram) yang dihitung berdasarkan panjang tulangan, diameter batang, serta faktor penambahan akibat kait, sambungan, dan pemborosan. Secara keseluruhan, volume efektif berfungsi sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan material dan biaya pekerjaan agar hasil

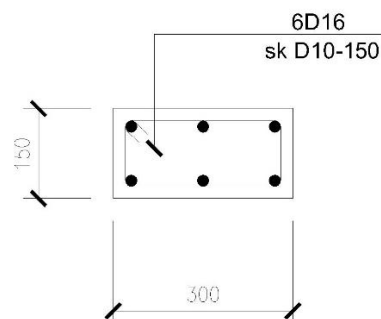
estimasi sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, sekaligus mencegah kelebihan atau kekurangan material dalam pelaksanaan konstruksi.

Pada pertemuan antara kolom, balok, dan pelat, perhitungan volume efektif beton perlu dilakukan secara cermat agar tidak terjadi penghitungan ganda (double counting) pada bagian yang saling tumpang tindih. Setiap elemen struktur memiliki volume tersendiri, namun di area sambungan, misalnya di kepala kolom tempat balok dan pelat bertemu terdapat volume beton yang secara geometris termasuk ke dalam lebih dari satu elemen. Oleh karena itu, volume efektif dihitung dengan cara mengurangi volume perpotongan tersebut dari salah satu elemen. Dalam praktiknya, volume kolom dihitung sampai batas bawah balok, sementara volume balok dihitung dari muka kolom ke muka kolom agar bagian beton di dalam kolom tidak dihitung dua kali. Demikian pula, volume pelat dihitung hanya sampai tepi balok tanpa menembus badan balok. Dengan demikian, volume efektif keseluruhan struktur pada pertemuan kolom, balok, dan pelat merupakan penjumlahan volume masing-masing elemen setelah dikoreksi terhadap area yang berpotongan. Pendekatan ini menghasilkan estimasi volume beton yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi aktual pekerjaan di lapangan, serta menjadi dasar yang benar dalam penyusunan rencana anggaran biaya proyek.

2.4.4.1 Perhitungan Volume Beton

Volume beton umumnya dihitung menggunakan satuan meter kubik (m^3), untuk mendapatkan volume dalam satuan m^3 dapat digunakan rumus :

$$\text{Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \quad (2.19)$$



Gambar 2.8 Detail Kolom K4

Sumber : (Dokumen Proyek)

Contoh:

Diketahui Kolom

Panjang : 300 mm = 0,30 m

Lebar : 150 mm = 0,15 m

Tinggi : 3600 mm = 3,60 m

Volume Beton Kolom

$$\text{Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \quad (2.20)$$

$$\text{Volume} = 0,30 \times 0,15 \times 3,60$$

$$\text{Volume} = 0,16 \text{ m}^3$$

Jika kolom tidak berbentuk balok atau kubus, maka rumus yang digunakan disesuaikan dengan rumus bangun ruang dari bentuk kolom yang digunakan. Jika kolom memiliki bentuk poligon yang tidak beraturan, bentuk tersebut dapat dibagi menjadi beberapa bentuk bangun ruang untuk bisa dilakukan perhitungan volumenya. Begitu pun pada *pile cap*, balok, dan lain sebagainya.

2.4.4.2 Perhitungan Volume Tulangan

Tulangan umumnya memiliki satuan volume kilogram (kg), namun ada juga tulangan yang dihitung dalam satuan m^2 seperti tulangan *wire mesh*. Secara umum, metode konvensional untuk menghitung tulangan dalam satuan kilogram adalah dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat tulangan} = 0,006165 \times \text{Diameter}^2 \times \text{Panjang tulangan} \quad (2.21)$$

Jika dilihat pada Gambar 2.8 diketahui:

Tulangan Utama : 6D16

Tulangan Sengkang : D10-150

Tinggi Kolom : 3,60 m

Diasumsikan selimut beton dengan ketebalan 2,50 cm

$$\text{Berat Tulangan Utama} = 0,006165 \times \text{Diameter}^2 \times \text{Panjang tulangan}$$

$$= 0,006165 \times 16^2 \times 3,60$$

$$= 0,006165 \times 256,00 \times 3,60$$

$$= 5,68 \text{ kg}$$

$$= 5,68 \times 6,00$$

$$= 34,09 \text{ kg}$$

Untuk mengetahui berat sengkang, keliling bersih sengkang perlu diketahui terlebih dahulu. Jika mengacu kepada Gambar 2.8, maka keliling bersih sengkang diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling bersih sengkang} &= 800 \text{ mm} = 0,80 \text{ m} \\
 \text{Berat Sengkang} &= 0,006165 \times \text{Diameter}^2 \times \text{Panjang tulangan} \\
 &= 0,006165 \times 10^2 \times 0,80 \\
 &= 0,006165 \times 100,00 \times 0,80 \\
 &= 0,49 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

Untuk mengetahui jumlah sengkang yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan cara membagi panjang bentang dengan jarak sengkang.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Bentang} &= 3,60 \text{ m} \\
 \text{Jarak Sengkang} &= 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Sengkang} &= \text{Panjang bentang} / \text{Jarak sengkang} \\
 &= 3,6 / 0,15 \\
 &= 24,00 \text{ bh}
 \end{aligned} \tag{2.23}$$

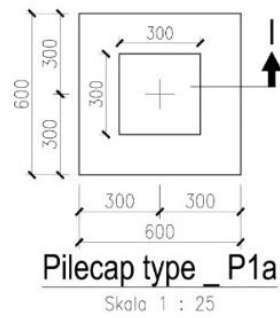
Maka berat tulangan sengkang untuk satu bentang adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sengkang} &= 0,49 \times 24,00 \\
 &= 11,83 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan besi, terdapat angka sakti yaitu 0,006165. Angka tersebut berasal dari turunan rumus fisika sederhana yaitu luas penampang yang dikalikan dengan massa jenis baja.

2.4.4.3 Perhitungan Volume Bekisting

Untuk perhitungan bekisting, sebenarnya rumus yang digunakan hanya satu, yaitu rumus untuk menghitung luas bangun datar. Namun pada setiap elemennya berbeda beda, karena tidak semua sisi ditutup oleh bekisting.



Gambar 2.9 Detail *Pile Cap* P1a
 Sumber : (Dokumen Proyek)

Untuk *pile cap* dan kolom, sisi yang ditutup bekisting hanya sisi sampingnya saja, alas dan atas *pile cap* dan kolom tidak ditutup oleh bekisting

Contoh:

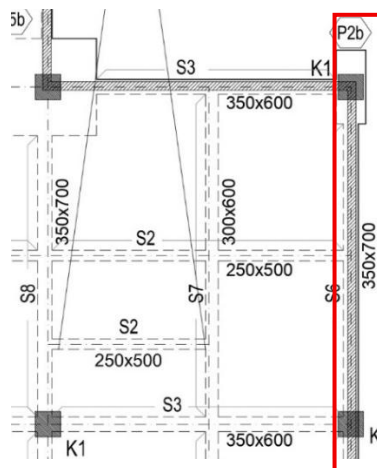
Diketahui *Pile Cap*:

Panjang : 600 mm = 0,60 m

Lebar : 600 mm = 0,60 m

Tinggi : 800 mm = 0,80 m

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting Pile Cap} &= 2 \times ((\text{Panjang} \times \text{Tinggi}) + (\text{Lebar} \times \text{Tinggi})) \\
 &= 2 \times ((0,60 \times 0,80) + (0,60 \times 0,80)) \\
 &= 2 \times (0,48 + 0,48) \\
 &= 1,92 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$



Gambar 2.10 Dinding *Basement*
 Sumber : (Dokumen Proyek)

Untuk bekisting dinding *basement* hanya dua sisi yang ditutup, sisi atas, bawah dan samping yang beririsan dengan kolom tidak ditutup oleh bekisting

Contoh:

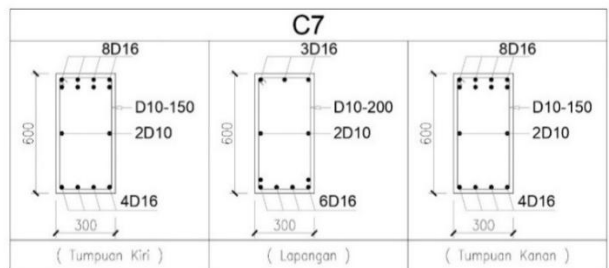
Diketahui *Dinding Basement*:

Panjang : 8000 mm = 8,00 m

Lebar : 200 mm = 0,20 m

Tinggi : 4000 mm = 4,00 m

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting Dinding Basement} &= 2 \times (\text{Panjang} \times \text{Tinggi}) \\
 &= 2 \times (8,00 \times 4,00) \\
 &= 2 \times 32,00 \\
 &= 64 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$



Gambar 2.11 Detail Balok C7

Sumber : (Dokumen Proyek)

Bekisting pada balok menutupi tiga sisi balok, yaitu sisi alas, dan kedua sisi samping dari balok. Sisi atas dari balok tidak ditutup dengan bekisting.

Contoh:

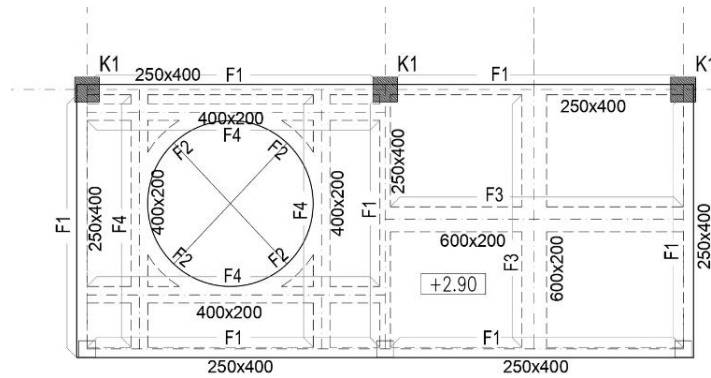
Diketahui Balok:

Panjang : 8000 mm = 8,00 m

Lebar : 300 mm = 0,30 m

Tinggi : 600 mm = 0,60 m

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting Balok} &= (2 \times (\text{Panjang} \times \text{Tinggi})) + (\text{Lebar} \times \text{Tinggi}) \\
 &= (2 \times (8,00 \times 0,60)) + (0,30 \times 0,60) \\
 &= (2 \times 4,80) + (0,18) \\
 &= 9,60 + 0,18 \\
 &= 9,78 \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{2.26}$$



Gambar 2.12 Pelat Kanopi
Sumber : (Dokumen Proyek)

Pada pelat, bekisting menutupi semua sisinya kecuali sisi atas. Untuk melakukan perhitungan bekisting menggunakan metode konvensional pada pelat, terbagi menjadi 2 bagian, pertama menghitung luas alas yang ditutupi bekisting, kemudian menghitung luas keliling dari pelat yang ditutupi bekisting.

Contoh:

Diketahui Pelat:

Panjang : 14200 mm = 14,20 m

Lebar : 8000 mm = 8,00 m

Tinggi : 200 mm = 0,20 m

Bekisting Alas Pelat = Panjang x Lebar (2.27)

$$= 14,20 \times 8,00$$

$$= 113,60 \text{ m}^2$$

Bekisting Keliling Pelat = 2 x ((Panjang x Tinggi) + (Lebar x Tinggi)) (2.28)

$$= 2 \times ((14,20 \times 0,20) + (8,00 \times 0,20))$$

$$= 2 \times (28,40 + 1,60)$$

$$= 2 \times 30,00$$

$$= 60,00 \text{ m}^2$$

Total kebutuhan bekisting pelat

Total Bekisting Pelat = Bekisting Alas + Bekisting Keliling (2.29)

$$= 113,60 + 60,00$$

Total Bekisting Pelat = 173,60 m²

2.5 Sumber Daya Manusia

Sumber daya manusia (SDM) merupakan salah satu komponen penting dalam keberhasilan suatu proyek konstruksi. Manajemen sumber daya manusia yang efektif dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi penundaan dan menjamin kualitas hasil akhir proyek. Menurut (Soeharto, 1999) dalam melaksanakan suatu proyek, sumber daya manusia atau tenaga kerja menjadi faktor penentu keberhasilan proyek tersebut. Karena jenis dan intensitas kegiatan proyek berubah dengan cepat sepanjang proyek berlangsung, jumlah pekerja, jenis keterampilan, dan penyediaan keahlian harus sesuai dengan perubahan tuntutan kegiatan yang sedang berlangsung. Perencanaan tenaga kerja proyek harus mencakup perkiraan jenis dan waktu tenaga kerja yang dibutuhkan. Dengan mengetahui perkiraan jumlah kebutuhan dan tenggat waktu menjadikan penyediaan sumber daya lebih baik dan efisien baik kualitas maupun kuantitas.

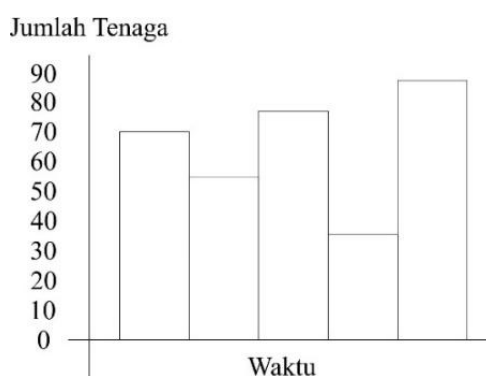
Membagi total cakupan proyek dalam satuan orang/jam atau orang/bulan dengan total waktu pelaksanaan proyek, dapat menghitung rata-rata jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, namun perhitungan ini tidak sesuai dengan kenyataan sebenarnya. Mengingat tidak tersedia cukup tenaga kerja pada saat itu, mendatangkan semua tenaga kerja yang diperlukan sekaligus pada awal proyek akan menimbulkan pemborosan. Oleh karena itu, perencanaan tenaga kerja proyek yang realistis memerlukan pertimbangan beberapa faktor, antara lain jadwal proyek, jalur kritis, pasokan tenaga kerja, produktivitas tenaga kerja, jumlah pekerja konstruksi di lokasi, dan pemerataan jumlah pekerja untuk menghindari penumpukan tenaga kerja (*fluktuation*) yang tajam (Nursuhud, 2021).

2.5.1 Alokasi Sumber Daya

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya yang baik menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan proyek. Sumber daya yang digunakan pada proyek meliputi manusia (*man*), bahan bangunan (*material*), peralatan (*machine*), metode pelaksanaan (*method*), dan biaya (*money*). Tujuan dari perencanaan sumber daya adalah untuk mengetahui terlebih dahulu berapa banyak jenis sumber daya yang dibutuhkan dan sumber daya tersebut tersedia saat dibutuhkan (Husen, 2011)

Perencanaan tenaga kerja (*manpower planning*) merupakan proses memperkirakan jumlah optimal orang yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek, tugas, atau tujuan dalam waktu tertentu. Keterampilan dan keahlian tenaga kerja harus mengikuti tuntutan perubahan kegiatan dikarenakan jenis dan kegiatan proyek berubah cepat sepanjang siklusnya. Perencanaan tenaga kerja yang bersifat menyeluruh dan terperinci dalam sebuah proyek menjadi salah satu solusi yang efektif untuk mengatasi hal tersebut (Nudja S, 2016).

Tenaga kerja menjadi salah satu penyumbang biaya yang besar pada suatu proyek. Oleh karena itu, perlu dilakukannya manajemen sumber daya agar tidak terjadi pemborosan. Karena jadwal yang baik adalah jadwal yang kegiatannya tersusun dengan ketergantungan yang baik dan memiliki sumber daya yang baik pula. Contoh grafik sumber daya yang kurang baik dapat dilihat pada Gambar 2.13:

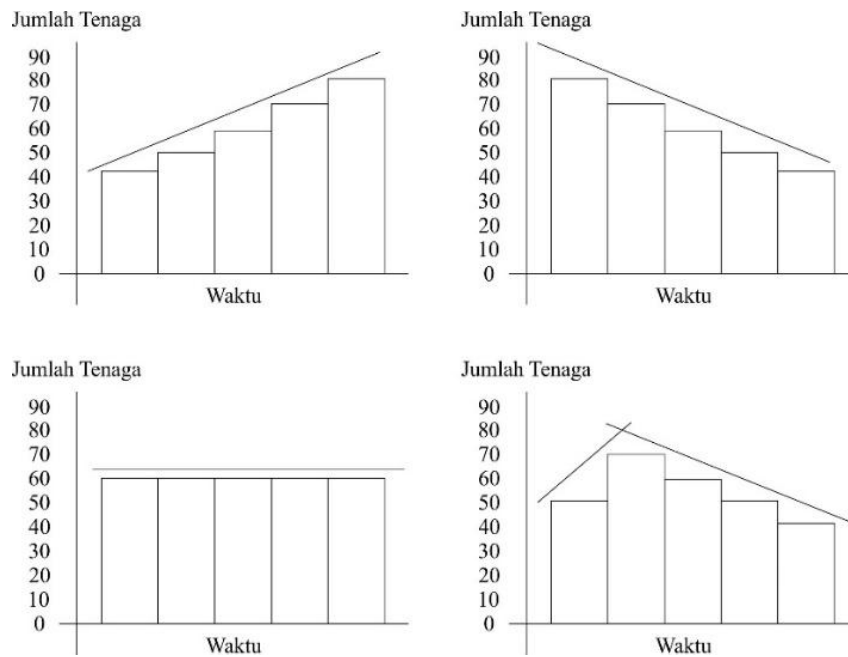


Gambar 2.13 Grafik Sumber Daya Kurang Baik

Sumber : (Syafriandi, 2017)

Kondisi sumber daya yang naik turun membuat grafik tersebut dikatakan kurang baik dikarenakan dapat sangat merugikan. Dengan kondisi demikian, perusahaan hanya memiliki dua pilihan, yaitu memindahkan kelebihan tenaga kerja tersebut ke proyek lain yang membutuhkan atau menanggung kerugian karena tetap membayar tenaga kerja tersebut walaupun kemungkinan tidak bekerja .

Grafik alokasi tenaga kerja yang baik (Gambar 2.14) adalah apabila jumlah tenaga kerja meningkat dari awal proyek atau rata atau banyak kemudian sedikit demi sedikit meningkat, dan kembali sedikit sampai akhir proyek. Seperti grafik-grafik ideal berikut ini (Syafriandi, 2017) :



Gambar 2.14 Grafik Sumber Daya Ideal
Sumber : (Syafriandi, 2017)

Untuk mendapatkan grafik alokasi tenaga kerja yang baik dilakukan dengan cara mengatur waktu atau menyesuaikan kembali jadwal kegiatan. Kegiatan yang berada pada jalur kritis tidak bisa diganggu karena akan menyebabkan bertambahnya waktu akhir proyek. Penyesuaian hanya dilakukan untuk kegiatan non-kritis dan hanya dengan menunda atau memajukan durasi kegiatan tergantung pada waktu tunda (*float*). Waktu tunda menentukan tingkat fleksibilitas yang dimiliki perencana dalam mengalokasikan tenaga kerja (Kelana, 2010).

2.5.2 Histogram Kebutuhan Sumber Daya

Histogram kebutuhan sumber daya merupakan gambaran mengenai penetapan kebutuhan tenaga kerja setiap harinya. Histogram kebutuhan tenaga kerja proyek konstruksi adalah alat visual yang digunakan untuk menampilkan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan selama periode tertentu. Histogram ini dapat membantu merencanakan dan mengelola tenaga kerja secara efisien, sehingga mengurangi fluktuasi penggunaan tenaga kerja dan memastikan bahwa semua aspek proyek dilaksanakan sesuai rencana.

Langkah-langkah dalam menyusun histogram kebutuhan sumber daya adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Kebutuhan Tenaga Kerja

Kebutuhan tenaga kerja adalah besarnya volume pekerjaan yang dihasilkan oleh seorang tenaga kerja atau tim tenaga kerja dalam jangka waktu tertentu. Kebutuhan tenaga kerja dapat dihitung menggunakan metode produktifitas dan metode koefisien. Rumus dasar produktivitas adalah :

$$\text{Produktivitas} = \frac{1}{\text{Koefisien}} \quad (2.30)$$

Produktivitas juga dapat dihitung melalui harga borongan pekerjaan dan upah harian tenaga kerja. Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas kelompok kerja (rPr)} = \frac{\text{UHpKTK}}{\text{HBSP}} \quad (2.31)$$

Dimana :

UHpKTK = Upah Harian per Kelompok Tenaga Kerja

HBSP = Harga Borongan Satuan Pekerjaan

Setelah produktivitas diketahui maka kebutuhan tenaga kerja dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kebutuhan Tenaga Kerja} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{(\text{Produktivitas} \times \text{Durasi})} \quad (2.32)$$

Sementara itu, jika menggunakan metode koefisien, rumus yang menghitung kebutuhan tenaga kerja adalah:

$$\text{Kebutuhan Tenaga Kerja} = \frac{\text{Koefisien} \times \text{Volume}}{\text{Durasi}} \quad (2.33)$$

2. Menghitung Durasi

Pengalaman mempengaruhi cara memperkirakan durasi kegiatan. Semakin banyak pengalaman, semakin akurat dan logis durasi yang ditentukan. Selain itu, durasi pekerjaan bisa dihitung berdasarkan proporsi bobot pekerjaan terhadap total waktu proyek, dengan asumsi produktivitas sumber daya terdistribusi relatif merata. Untuk menghitung durasi hari digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Durasi} = \frac{\text{Koefisien}}{\text{Produktivitas}} \quad (2.34)$$

Selain itu, durasi juga dapat dihitung menggunakan bobot pekerjaan, rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Durasi (Hari)} = \text{Bobot Pekerjaan (\%)} \times \text{Total Durasi (Hari)} \quad (2.35)$$

Namun, perlu diketahui bobot biasanya mencerminkan nilai biaya, bukan selalu sebanding dengan durasi. Untuk akurasi lebih baik, bobot perlu dikaitkan dengan kurva-S atau jadwal rincian (WBS), karena satu pekerjaan bernilai besar bisa punya durasi pendek (misalnya pengadaan material).

2.5.3 Batas Maksimum Penggunaan Tenaga Kerja

Penggunaan tenaga kerja dalam proyek konstruksi dibatasi oleh berbagai faktor, batas rata-rata dan batas maksimal per hari ditentukan berdasarkan jenis pekerjaan seperti pekerja, mandor, tukang kayu, tukang batu, dan tukang besi. Batas rata-rata sebagai batas normal dan batas maksimal sebagai batas maksimum penggunaan tenaga kerja per hari.

Rumus perhitungan kebutuhan tenaga kerja adalah sebagai berikut :

$$\text{Kebutuhan rata-rata/hari} = \frac{\text{Jumlah total kebutuhan tenaga kerja}}{\text{Total hari kerja efektif}} \quad (2.36)$$

$$\text{Kebutuhan tenaga kerja puncak} = 1,7 \times \text{kebutuhan tenaga kerja rata-rata} \quad (2.37)$$

per hari

Koefisien pengali 1,7 bukanlah satu-satunya koefisien pengali. Koefisien tersebut bisa saja berbeda tergantung pada konteks pekerjaan, metode pelaksanaan, dan sumber acuan yang digunakan.

Tabel 2.4 Koefisien Pengali Kebutuhan Tenaga Kerja Maksimum

Koefisien	Konteks Penggunaan	Keterangan
1,00 - 1,30	Pekerjaan standar dengan produktivitas normal	Digunakan saat tidak ada percepatan atau kondisi khusus
1,50 - 1,70	Pekerjaan manual intensif atau percepatan proyek	Untukantisipasi kebutuhan tenaga kerja maksimum
>1,7	Proyek dengan target waktu sangat ketat atau lokasi sulit	Bisa digunakan dalam proyek percepatan atau daerah terpencil

Permen PUPR No. 28 Tahun 2016 menyebutkan bahwa penetapan koefisien dilakukan melalui analisis produktivitas tenaga kerja. Selain itu, peraturan terbaru seperti Permen PUPR No. 8 Tahun 2023 juga menekankan bahwa nilai koefisien harus disesuaikan dengan lokasi dan metode pelaksanaan pekerjaan.

Perencanaan proyek menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi batas maksimum kebutuhan tenaga kerja. Perencanaan yang salah dapat menyebabkan sumber daya manusia menjadi berlebihan atau tidak mencukupi, sehingga dapat mempengaruhi efisiensi proyek (Praganingrum dkk., 2024).

Kompetensi dan kualitas tenaga kerja juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi batas maksimum penggunaan tenaga kerja. Tenaga kerja yang lebih terampil dapat menyelesaikan tugas lebih cepat dibandingkan tenaga kerja yang kurang berpengalaman (Bunyamin dkk., 2024). Selain kedua faktor tersebut, masih banyak faktor lain yang dapat berdampak, seperti pengaruh cuaca terhadap kondisi lapangan, buruknya koordinasi dan manajemen proyek, serta penggunaan teknologi modern dan alat berat. Faktor-faktor ini juga dapat mengurangi jumlah tenaga kerja maksimum yang dibutuhkan.

2.5.4 Perataan Penggunaan Sumber Daya (*Resources Leveling*)

Perataan sumber daya manusia merupakan metode penting dalam manajemen proyek konstruksi untuk membantu mengoptimalkan penggunaan tenaga kerja, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi biaya. Dengan menggunakan teknik ini, pengelola proyek dapat memastikan bahwa seluruh kegiatan berjalan sesuai rencana tanpa mengalami keterlambatan akibat masalah pengalokasian sumber daya manusia.

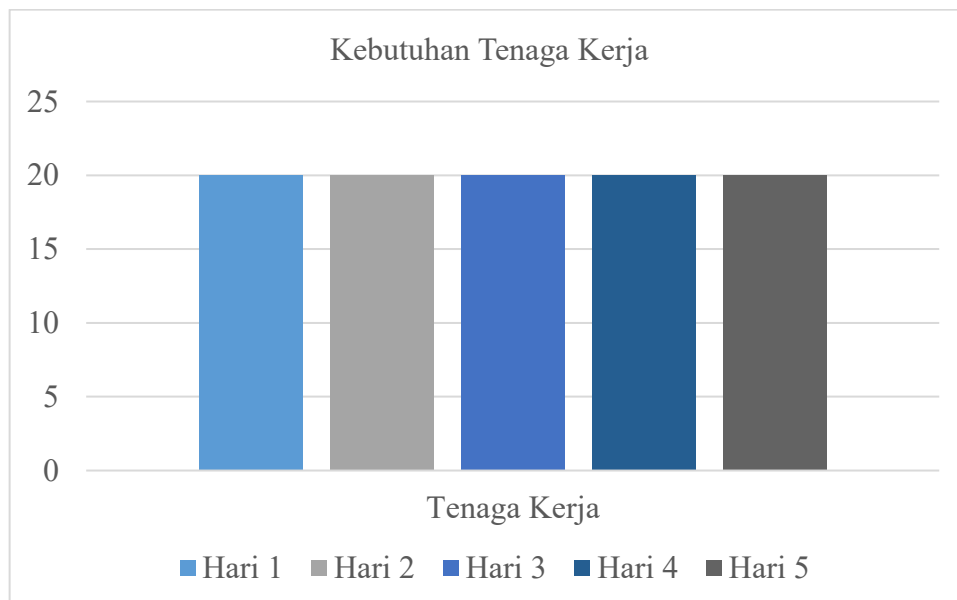
Pemanfaatan tenaga kerja secara optimal merupakan hal penting dalam proyek. Melepaskan tenaga kerja dan mempekerjakan kembali saat diperlukan tidaklah mudah. Untuk itu, fluktuasi atau naik turunnya kebutuhan tenaga kerja perlu dioptimalkan semaksimal mungkin. *Resources Leveling* merupakan salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut (Soeharto, 1999). *Trial and error approach* dan *Block Schedule* menjadi 2 metode yang dapat digunakan untuk melakukan perataan sumber daya manusia (*resources leveling*) pada Microsoft Project.

2.5.4.1 *Trial and error approach*

Microsoft Project menyediakan fitur untuk melakukan *resources leveling* menggunakan metode *Trial and error approach*, yaitu membatasi jumlah maksimum unit tenaga kerja yang tersedia pada *resources sheet*. Metode *Trial and error approach* memungkinkan memperoleh beberapa histogram sumber daya. Histogram sumber daya diperoleh dengan mengubah-ubah nilai batasan maksimum kemudian dilakukan *Resources Leveling*, setelah itu dipilih histogram yang paling ideal (Kelana, 2010).

2.5.4.2 *Block Schedule*

Metode *Block Schedule Resource Leveling* dalam Microsoft Project adalah teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dalam suatu proyek dengan menyeimbangkan alokasi sumber daya untuk menghindari kelebihan atau kekurangan. Metode ini sangat penting dalam manajemen proyek, terutama di lokasi konstruksi yang memerlukan pengelolaan sumber daya seperti tenaga kerja dan peralatan secara efisien. Misal untuk sebuah kegiatan yang jumlah total kebutuhan tenaga kerja adalah 100 orang dengan durasi 5 hari, maka per harinya 50/5 atau 20 orang per hari seperti yang tertuang pada Gambar 2.15.

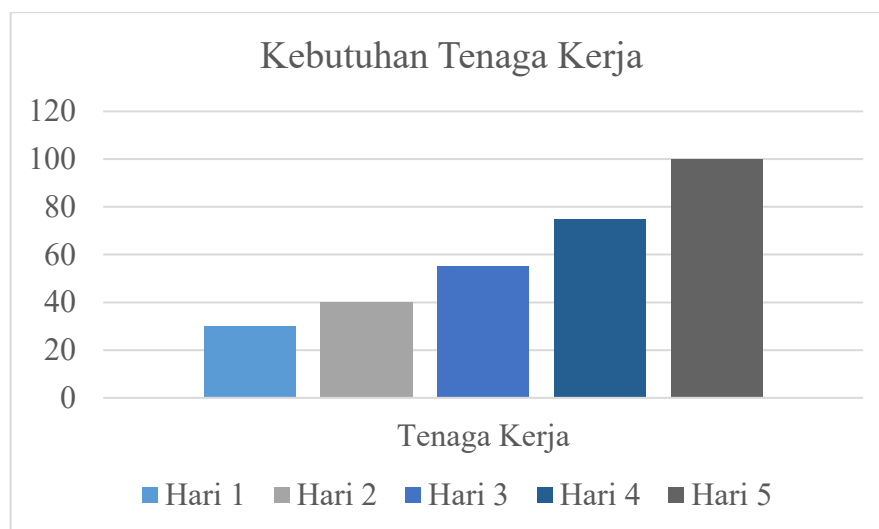


Gambar 2.15 Contoh 1 *Block Schedule* Tenaga Kerja
Sumber : (Kelana, 2010)

Namun yang sering terjadi di lapangan adalah keberadaan tenaga kerja yang pada awalnya tidak tersedia secara lengkap sehingga pembagian tenaga kerja tidak memungkinkan untuk diratakan. Misalnya tenaga kerja yang akan dipekerjakan didatangkan dari tempat lain, pada hari :

1. Pertama, tenaga kerja yang datang sebanyak 30 orang, sehingga yang bekerja pada hari pertama hanya 30 orang.
2. Kedua, datang lagi 10 orang, sehingga pada akhir hari kedua jumlah yang bekerja adalah 40 orang.
3. Ketiga, datang lagi 15 orang , sehingga pada akhir hari kedua jumlah yang bekerja adalah 55 orang.
4. Keempat, datang lagi 20 orang , sehingga pada akhir hari kedua jumlah yang bekerja adalah 75 orang.
5. Kelima, datang lagi 25 orang , sehingga pada akhir hari kedua jumlah yang bekerja adalah 100 orang.

Penyusunan sumber dayanya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.16 Contoh 1 *Block Schedule* Tenaga Kerja
Sumber : (Kelana, 2010)

Terlihat jumlah total kebutuhan tenaga kerjanya sama, yaitu 100 orang dengan durasi yang sama yaitu 5 hari. Perbedaannya adalah pada jumlah tenaga kerja yang bekerja per harinya, sehingga jumlah produktivitasnya berbeda. Pada penelitian kali ini kedua metode akan digunakan dan dipilih hasil histogram sumber daya yang paling ideal.

2.6 *Building Information Modeling (BIM)*

BIM adalah seperangkat teknologi, proses, dan kebijakan yang seluruh prosesnya berjalan secara kolaborasi dan integrasi dalam sebuah model digital (Raflis dkk., 2019). BIM merupakan suatu wujud sistem atau teknologi yang dapat menampilkan manajemen pekerjaan dan terintegrasi dengan pemodelan 3D yang dapat menyerupai bentuk fisik infrastruktur (Fitriono dkk., 2023). BIM menjadi inovasi teknologi yang memberikan kemudahan dalam berbagai tahap pekerjaan konstruksi, mulai dari perencanaan, perancangan, pelaksanaan konstruksi, hingga pemeliharaan bangunan (Ramadhani & Rengganis, 2024).

Konsep BIM pertama kali muncul pada awal tahun 1990an ketika sistem perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) dan 3D CAD berevolusi menjadi alat desain 3D berorientasi objek mencakup data geometris dan non-grafis. Istilah ini pertama kali digunakan pada awal tahun 2000an, terutama dalam buku putih Autodesk. Hampir 20 tahun setelah pertama kali diciptakan, BIM menjadi kerangka kerja untuk mengelola informasi di seluruh siklus hidup proyek sesuai ISO 19650-1:2018 dan ISO 19650-2:2018 serta standar terkait lainnya (Riyadi dkk., 2024).

Penerapan teknologi BIM di Indonesia telah mulai diwajibkan pada proyek-proyek tertentu sebagaimana diatur dalam Lampiran Peraturan Menteri PUPR Nomor 22 Tahun 2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara. Dalam lampiran tersebut ditegaskan bahwa BIM wajib diterapkan pada Bangunan Gedung Negara yang tidak sederhana, yaitu bangunan dengan kriteria luas di atas 2.000 m² dan lebih dari dua lantai. Keluaran yang dihasilkan dari perancangan menggunakan BIM meliputi gambar arsitektur, gambar struktur, gambar utilitas (mekanikal dan elektrik), gambar lanskap, rincian volume pekerjaan, serta rencana anggaran biaya. Ketentuan ini menunjukkan bahwa pemerintah tidak hanya mendorong, tetapi juga mewajibkan penggunaan BIM pada proyek gedung negara berskala menengah hingga besar. Dengan adanya regulasi ini, diharapkan proses perencanaan dan pelaksanaan proyek menjadi lebih akurat, efisien, serta mampu meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam penyelenggaraan pembangunan infrastruktur publik.

2.6.1 Prinsip Kerja BIM

Prinsip dasar BIM meliputi penggunaan model tiga dimensi (3D) yang menyimpan informasi rinci tentang komponen bangunan. Model ini tidak hanya mencakup bentuk fisik, tetapi juga informasi mengenai bahan, biaya dan waktu. Perangkat lunak seperti Autodesk Revit memungkinkan pengguna membuat dan mengelola data secara akurat sehingga perubahan pada elemen bangunan secara otomatis memperbarui semua gambar dan perkiraan terkait (Ferry & Indrastuti, 2020).

BIM juga memungkinkan kolaborasi antar disiplin ilmu dalam proyek konstruksi, meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan. Misalnya, fitur *clash detection* dalam BIM membantu mengidentifikasi potensi masalah desain sebelum konstruksi dimulai, sehingga mengurangi revisi yang memakan waktu (Ramadhani & Rengganis, 2024).

2.6.2 Manfaat Penggunaan BIM

Building Information Modeling (BIM) menawarkan berbagai manfaat yang signifikan dalam industri konstruksi. Beberapa manfaat utama dari penggunaan BIM meliputi :

1. Integrasi Desain dan Konstruksi
BIM meningkatkan integrasi antara tim desain dan konstruksi, sehingga mengurangi kesalahan dan meningkatkan efisiensi. Ini membantu menciptakan proses kerja yang lebih kolaboratif dan terkoordinasi (Nugrahini & Permana, 2020).
2. Efisiensi Waktu dan Biaya
BIM dapat mempercepat proses perencanaan hingga 50% dibandingkan dengan metode konvensional. Dengan model yang akurat, estimasi biaya dan waktu dapat dilakukan lebih efektif, sehingga mengurangi risiko pemborosan (Hasanah Putri & Sri Handoyo, 2023).
3. Peningkatan Akurasi
Model BIM menyediakan data yang lebih akurat tentang elemen-elemen bangunan, membantu dalam mengurangi kesalahan selama fase konstruksi.

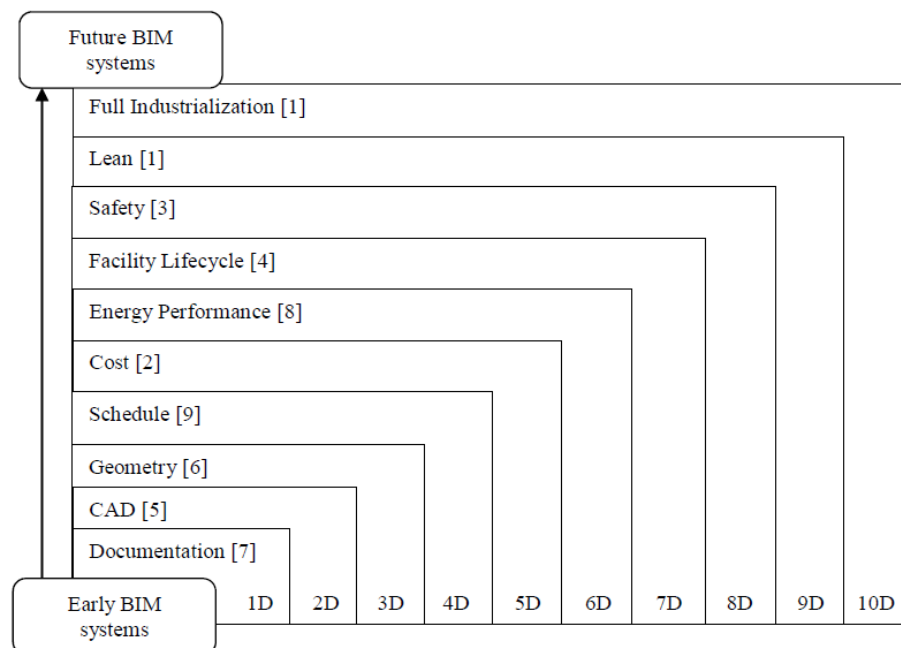
Hal ini juga memudahkan dalam melakukan pemodelan dan pengeditan (Hanifah, 2024).

4. Visualisasi yang Lebih Baik

BIM menawarkan visualisasi tiga dimensi yang memungkinkan pemangku kepentingan untuk memahami desain secara lebih baik sebelum konstruksi dimulai. Ini membantu dalam mendeteksi konflik potensial di awal proyek.

2.6.3 Dimensi BIM

Building Information Modeling (BIM) memiliki beberapa dimensi yang masing-masing memberikan nilai tambah dalam proses perencanaan, desain, konstruksi, dan pengelolaan bangunan. Dengan berbagai dimensi ini, BIM tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam desain dan pembangunan tetapi juga dalam pengelolaan siklus hidup proyek secara keseluruhan. Secara umum menurut (Ershadi dkk., 2021) BIM terbagi menjadi 10 dimensi :



Gambar 2.17 Dimensi *Building Information Modeling* (BIM)

Sumber : (Ershadi dkk., 2021)

1. BIM 1D (*Documentation*)

Dimensi ini adalah fondasi awal dari BIM yang berfokus pada dokumentasi seluruh persyaratan yang terkait dengan siklus hidup proyek konstruksi. Informasi yang tersebar dari berbagai pemangku kepentingan diintegrasikan

ke dalam *platform* BIM untuk membentuk dasar pengelolaan perubahan pada konfigurasi dan dokumen.

2. BIM 2D (CAD)

Pemodelan proyek dalam dua dimensi terbatas pada representasi sederhana sumbu X dan Y dari desain dan gambar proyek. Perencanaan terutama dilakukan dalam dua dimensi dan menghubungkan batasan dan tujuan dengan spesifikasi proyek.

3. BIM 3D (*Geometry*)

Melibatkan integrasi dan visualisasi informasi grafis dan non-grafis, mulai dari hubungan ruang dan isometrik hingga estimasi kuantitas. Tabrakan fisik yang dapat terjadi ketika membangun komponen yang berbeda disimulasikan, sehingga memungkinkan desainer untuk meningkatkan kualitas hasilnya.

4. BIM 4D (*Schedule*)

Dengan memasukkan *schedule* ke dalam model 3D, dapat mendeteksi kesalahan dalam penjadwalan dan urutan aktivitas. Perkembangan aktivitas terjadwal dapat disimulasikan menggunakan alat analisis BIM untuk mengoptimalkan dan meningkatkan jaringan aktivitas.

5. BIM 5D (*Cost*)

Dimensi ini menggabungkan estimasi biaya ke dalam BIM 4D untuk memungkinkan perencanaan biaya terintegrasi. Perangkat lunak anggaran, perangkat lunak penjadwalan, dan model 3D BIM beroperasi dengan lancar sehingga *estimator* dapat menganalisis modal dan biaya operasi selama tahap konstruksi.

6. BIM 6D (*Energy Performance*)

Berfokus pada keberlanjutan dan efisiensi energi bangunan. Analisis kinerja energi dilakukan untuk memastikan bahwa bangunan memenuhi standar keberlanjutan yang ditetapkan.

7. BIM 7D (*Facility Lifecycle*)

Berkaitan dengan manajemen fasilitas dan operasional bangunan setelah selesai dibangun, membantu dalam pengelolaan aset dan pemeliharaan bangunan secara efisien.

8. BIM 8D (*Safety*)

Dimensi ini berfokus pada integrasi aspek keselamatan dalam proyek konstruksi. BIM dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya keselamatan di lokasi proyek, menyimulasikan prosedur keselamatan, dan memberikan pelatihan keselamatan kepada pekerja.

9. BIM 9D (*Lean*)

Dimensi ini mengintegrasikan prinsip-prinsip *lean construction* ke dalam model BIM. Tujuannya untuk mengoptimalkan proses konstruksi, mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi. BIM 9D berfokus pada identifikasi dan eliminasi pemborosan dalam hal waktu, biaya, dan sumber daya.

10. BIM 10D (*Full Industrialization*)

Dimensi ini mengacu pada industrialisasi penuh dalam konstruksi, yang melibatkan penggunaan prefabrikasi, modularisasi, dan teknologi manufaktur canggih lainnya. BIM 10D memfasilitasi integrasi proses desain dan manufaktur, memungkinkan produksi komponen bangunan yang lebih efisien dan akurat di luar lokasi konstruksi.

Penggunaan BIM 8D-10D masih memerlukan elaborasi dan pengembangan lebih lanjut untuk dapat digunakan oleh perusahaan di sektor konstruksi infrastruktur.

2.6.4 Kelebihan dan Kekurangan BIM

Menurut (Berlian P. dkk., 2016) berikut adalah kelebihan dan kekurangan pada *building informaton modeling* (BIM) :

1. Kelebihan

a. Integrasi Perangkat Lunak

Penggunaan aplikasi konvensional pada proyek biasanya terdiri dari beberapa perangkat lunak, termasuk analisis kekuatan struktural, perangkat lunak desain dan penyusunan, perangkat lunak penghitungan volume dan penjadwalan, dan banyak lagi. Namun, dengan BIM, dapat memenuhi semua kebutuhan tersebut hanya dengan satu *software* karena terintegrasi dengan beberapa *software* lain yang diperlukan dan dapat dijalankan oleh satu orang.

b. Deteksi Tabrakan Desain

Ketidaksesuaian antara desain arsitek, struktur, dan MEP, menjadi salah satu penyebab tabrakan desain. Adanya deteksi *clash* dalam BIM menjadi solusi dari hal tersebut. Hal ini juga mengurangi revisi desain dan kesalahan yang terjadi ketika pelaksanaan proyek.

c. Proses yang Lebih Cepat

Perangkat lunak BIM akan membantu segala proses lebih cepat dibandingkan penggunaan sistem konvensional. Perangkat desain terintegrasi dan perangkat berbagi informasi yang *mobile* membuat segala proses menjadi lebih cepat

d. Penghematan Sumber Daya

Aplikasi konvensional memerlukan lebih banyak pekerja karena setiap pekerja menjalankan fungsi masing-masing. Dengan BIM kebutuhan sumber daya dapat di minimalisir karena beberapa pekerjaan dapat dikerjakan oleh satu orang.

e. Penghematan Biaya

Dibandingkan dengan penggunaan aplikasi konvensional BIM dapat menghemat biaya dikarenakan adanya efisiensi waktu dan sumber daya manusia.

2. Kekurangan

a. Harga lisensi yang tergolong mahal.

b. Harus menguasai beberapa multi disiplin ilmu untuk memaksimalkan penggunaan BIM.

c. Dibutuhkan spesifikasi *hardware* yang besar, agar aplikasi dengan konsep BIM bekerja dengan baik diperlukan RAM minimal 16 GB, dan *graphics card* minimal NVIDIA *Quadro Series* atau yang sejenisnya.

d. BIM kurang mampu mendetailkan gambar dengan skala yang cukup kecil dengan optimal. Oleh karena itu penggambaran dengan skala di bawah 1:20 masih membutuhkan gambar dengan menggunakan *AutoCAD*.

2.7 Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) yang dirancang untuk membantu arsitek, insinyur, dan profesional di industri konstruksi dalam mendesain dan mendokumentasikan bangunan secara efisien. Autodesk Revit memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D yang cerdas dan kaya informasi, yang mencakup elemen struktural, sistem mekanik, sistem kelistrikan, dan sistem perpipaan. Dengan menggunakan teknologi pemodelan parametrik, perubahan pada satu elemen dalam model secara otomatis diperbarui di seluruh model, memastikan konsistensi dan akurasi. Autodesk Revit memungkinkan arsitek, insinyur struktur dan insinyur sistem bangunan untuk saling berkolaborasi dikarenakan Autodesk Revit bisa mengintegrasikan ketiganya.

Autodesk Revit adalah *software Building Information Modeling* (BIM) yang dirancang oleh Autodesk untuk desain arsitektur, struktur serta mekanikal, elektrik dan *plumbing* (MEP). Dikembangkan pertama kali oleh Leonaid Raiz dan Irwin Jungreis di bawah perusahaan *Charles River Software* pada tahun 1977 dengan nama *Reflex*, perusahaan tersebut berganti nama menjadi *Revit Technology Corporation*. Pada tahun 2000, Autodesk mengakuisisi *Revit Technology Corporation* dan merilis Revit sebagai produk resmi Autodesk. Peluncuran ini menandai langkah penting dalam integrasi BIM ke dalam proses desain, memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D yang cerdas dan kaya informasi. Sejak diluncurkan, Revit terus mengalami pembaruan signifikan untuk memenuhi tuntutan industri konstruksi yang terus berkembang. Pembaruan ini mencakup peningkatan performa, penambahan fitur baru, dan adaptasi terhadap teknologi terbaru. Salah satu fokus utama adalah meningkatkan kolaborasi antar profesional melalui model yang lebih terbuka dan dapat diakses oleh semua pemangku kepentingan.

Hingga saat ini, Revit terus berinovasi untuk menghadapi tantangan desain yang semakin kompleks. Autodesk berkomitmen untuk memperbarui perangkat lunak secara berkala agar tetap relevan dengan kebutuhan pengguna dan perkembangan teknologi. Revit telah menjadi salah satu alat utama dalam industri arsitektur dan konstruksi, membantu para profesional merancang bangunan dengan presisi dan efisiensi yang lebih tinggi.

Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan dari Autodesk Revit :

1. Kelebihan
 - a. Pemodelan 3D yang akurat
 - b. Kolaborasi *real-time*
 - c. Dokumentasi otomatis
 - d. Analisis kinerja
 - e. Visualisasi yang realistis
2. Kekurangan
 - a. Kurva pembelajaran yang curam
 - b. Biaya lisensi tinggi
 - c. Keterbatasan kompatibilitas
 - d. Kebutuhan perangkat keras yang kuat
 - e. Ukuran *file* besar

2.7.1 *Quantity Take Off*

Fitur QTO (*Quantity Takeoff*) pada Autodesk Revit merupakan salah satu fungsi utama dalam konsep *Building Information Modeling* (BIM) yang digunakan untuk menghitung volume, luas, dan jumlah komponen bangunan secara otomatis berdasarkan model tiga dimensi yang telah dibuat. QTO berperan penting dalam tahap estimasi biaya dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), karena seluruh data kuantitas diperoleh langsung dari elemen model, bukan dari perhitungan manual.

Dalam Revit, fitur QTO bekerja dengan membaca informasi parameter seperti panjang, luas, volume, dan jumlah elemen yang tertanam pada setiap objek, misalnya kolom, balok, dinding, pelat, atau pintu. Melalui fitur ini, pengguna dapat membuat *Schedule/Quantities*, yaitu tabel yang menampilkan seluruh komponen beserta nilai kuantitatifnya. Hasil QTO dapat dikelompokkan, difilter, atau dijumlahkan sesuai kategori pekerjaan seperti arsitektur, struktur, maupun MEP. Keunggulan utama QTO adalah kecepatan dan akurasi ketika model Revit diperbarui, seluruh data kuantitas pada tabel juga akan otomatis berubah tanpa perlu menghitung ulang.

Selain itu, QTO memungkinkan integrasi langsung dengan perangkat lunak estimasi biaya atau *spreadsheet*, sehingga proses penyusunan RAB dapat dilakukan secara efisien dan konsisten. Dengan demikian, fitur QTO pada Revit tidak hanya mempercepat proses perhitungan volume pekerjaan, tetapi juga membantu meningkatkan ketelitian estimasi biaya dan transparansi data dalam manajemen proyek konstruksi berbasis BIM.

2.7.1.1 Prinsip Kerja QTO pada Revit

1. Pemodelan Parametrik dan Data Terintegrasi

Revit menggunakan prinsip pemodelan parametrik, di mana setiap perubahan pada model (misalnya, modifikasi dimensi balok) secara otomatis memperbarui semua tampilan dan jadwal yang terkait. Data kuantitas dihitung berdasarkan parameter ini, seperti panjang, luas, atau volume, yang telah ditetapkan selama fase desain.

2. Ekstraksi Data melalui Jadwal (*Schedules*)

Fitur Jadwal (*Schedules*) dalam Revit memungkinkan pengguna membuat tabel kuantitas dengan kriteria spesifik. Misalnya, jadwal beton dapat menampilkan volume total balok, kolom, dan pelat berdasarkan kategori dan properti yang ditentukan. Data ini dapat diekspor ke format Excel untuk analisis lebih lanjut.

3. Visualisasi dan Validasi 3D

Model 3D Revit memungkinkan visualisasi elemen konstruksi secara interaktif. Fitur *Clash Detection* membantu mengidentifikasi konflik geometri yang mungkin memengaruhi akurasi perhitungan kuantitas, seperti tumpang tindih antara pipa dan balok.

4. Integrasi dengan Alat Tambahan

Untuk proyek kompleks, Revit dapat diintegrasikan dengan *Dynamo* (alat komputasi visual) untuk mengotomatisasi ekstraksi kuantitas. Contohnya, *Dynamo* digunakan untuk menghitung luas bekisting struktur secara akurat, mengurangi kesalahan akibat pemodelan yang tidak tepat.

2.7.1.2 Tantangan Implementasi QTO pada Revit

Implementasi *Quantity Takeoff* (QTO) pada Autodesk Revit memang memberikan banyak keuntungan dalam efisiensi dan akurasi estimasi biaya, namun dalam praktiknya juga menghadapi beberapa tantangan teknis dan manajerial yang cukup signifikan. Salah satu tantangan utama adalah kualitas pemodelan (*model accuracy*). QTO sangat bergantung pada data yang tertanam dalam model BIM; apabila model tidak dibuat dengan tingkat detail (LOD) yang memadai atau terdapat kesalahan pada parameter elemen, hasil perhitungan volume akan menjadi tidak akurat.

Tantangan berikutnya adalah standarisasi data dan klasifikasi elemen. Dalam proyek kolaboratif, setiap disiplin (arsitektur, struktur, dan MEP) mungkin menggunakan parameter yang berbeda untuk mendefinisikan elemen. Ketidaksamaan ini menyebabkan kesulitan saat menggabungkan hasil QTO lintas disiplin karena data tidak terstruktur dengan seragam. Selain itu, kompleksitas pengaturan kategori dan parameter dalam Revit juga menjadi kendala. Pengguna perlu memahami dengan baik cara membuat, mengelompokkan, dan memfilter *schedule quantities* agar data yang dihasilkan relevan dengan kebutuhan perhitungan biaya.

Secara keseluruhan, tantangan implementasi QTO pada Revit meliputi aspek akurasi model, standarisasi parameter, koordinasi lintas disiplin, keterbatasan integrasi data, serta kapasitas sumber daya manusia. Untuk mengatasinya, diperlukan penerapan standar BIM nasional atau proyek, pelatihan teknis bagi pengguna, dan koordinasi yang baik antar tim desain agar hasil QTO benar-benar dapat diandalkan dalam perencanaan biaya konstruksi.

2.8 Microsoft Project

Microsoft Office Project merupakan salah satu *software* manajemen proyek yang andal untuk melaksanakan tugas sehari-hari bagi *project manager*. Microsoft Office Project, dikembangkan dan dijual oleh Microsoft, dirancang untuk membantu manajer proyek mengembangkan rencana, menetapkan sumber daya, melacak kemajuan, mengelola anggaran, dan menganalisis beban kerja. Microsoft Office Project menawarkan keseimbangan antara kemudahan penggunaan,

keunggulan, dan fleksibilitas sehingga dapat menyelesaikan tugas dengan lebih efektif dan efisien (Heryanto & Triwibowo, 2013).

Microsoft Project pertama kali diluncurkan pada tahun 1984 sebagai aplikasi untuk sistem operasi DOS. Sejak peluncurannya, Microsoft Project telah mengalami banyak pembaruan dan evolusi. Versi berbasis *Windows* diperkenalkan pada tahun 1990an, yang memungkinkan antarmuka pengguna yang lebih intuitif dan fitur yang lebih canggih. Pada tahun 2013, Microsoft meluncurkan versi *cloud* dari Microsoft Project, yang dikenal sebagai *Project Online*. Ini memungkinkan pengguna untuk mengakses perangkat lunak dari mana saja dan memfasilitasi kolaborasi tim secara lebih efisien. Microsoft terus memperbarui dan meningkatkan Microsoft Project dengan fitur-fitur baru untuk memenuhi kebutuhan pengguna modern dalam manajemen proyek.

Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan dari Microsoft Project :

1. Kelebihan
 - a. Antarmuka Penggunaan yang Intuitif
 - b. Fitur Manajemen Proyek Lengkap
 - c. Kemampuan Pelaporan yang Kuat
 - d. Integrasi dengan Aplikasi Lain
 - e. Aksesibilitas *Cloud*
2. Kekurangan
 - a. Kurva Pembelajaran yang Curam
 - b. Biaya Lisensi Tinggi
 - c. Keterbatasan Fitur Versi Dasar
 - d. Kompleksitas Proyek Besar
 - e. Keterbatasan Interoperabilitas

Dengan Microsoft Project dapat diperoleh rincian seluruh komponen kerja secara detail. Microsoft Project membantu para profesional merencanakan, melaksanakan, dan mengelola proyek dengan lebih efisien. Oleh karena itu, Microsoft Project adalah alat yang efektif untuk melakukan *resources leveling* dan membantu manajer proyek mencapai hasil optimal dalam pengelolaan sumber daya.

2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5 Tabel Meta Analisis

No.	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Sampel Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Evaluasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) pada Proyek Asrama Haji Indramayu	Zaky Syauqy Hidayat	Memodelkan bangunan menggunakan BIM (<i>Revit</i>) dan membandingkan selisih RAB berbasis BIM dengan RAB konvensional.	Pembangunan Gedung Asrama Haji Indramayu	Kuantitatif Deskriptif	1. Pemodelan struktur dan arsitektur Gedung Asrama Haji Indramayu menggunakan BIM (<i>Revit</i>). 2. selisih RAB sebesar 2.29% antara metode BIM dan konvensional.
2	Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya, dan Sumber Daya Manusia antara Metode <i>Building Information Modelling</i> (BIM) dan Konvensional (Studi	Cinthia Ayu Berlian P., Randy Putranto Adhi, Arif Hidayat, Hari Nugroho	Membandingkan efisiensi waktu, biaya dan sumber daya manusia antara metode BIM dan konvensional.	Gedung 20 Lantai	Kualitatif dan Kuantitatif Deskriptif	1. Penggunaan BIM meningkatkan efisiensi waktu perencanaan 2 kali lipat dan pemanfaatan SDM yang berefek pada penghematan biaya yang digunakan.

No.	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Sampel Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai)					2. BIM dapat menghemat waktu perencanaan sebesar 50%, meminimalisir kebutuhan sumber daya manusia sebesar 26,66%, dan menghemat pengeluaran biaya sebesar 52,25%.
3	Penerapan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) pada Proyek Pembangunan <i>Workshop</i> (Studi Kasus: Proyek Pembangunan <i>Workshop</i> Kapal di Sekupang)	Ferry, Indrastuti	Menerapkan BIM 3D dan 4D.	Proyek Pembangunan <i>Workshop</i> Kapal di Sekupang	Kuantitatif Deskriptif	1. Pemodelan 3D, 4D pada Revit menghasilkan <i>output</i> RAB sebesar Rp.5.813.838.429 2. Dari pemodelan 4D diketahui bahwa proyek berjalan sesuai jadwal yang ditentukan.

No.	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Sampel Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
4	Analisis Kebutuhan Tenaga Kerja dengan Metode <i>Resource Levelling (Analysis Of Labor Requirements Using The Resource Levelling Method)</i>	Ananda Radithya Yahya	Mendapatkan jumlah kebutuhan tenaga kerja dengan Metode <i>resource levelling</i> .	Proyek Pembangunan Gereja Katolik Santa Maria Penolong Abadi, Samarinda, Kalimantan Timur	Kuantitatif Deskriptif	1. Perencanaan ulang kebutuhan tenaga kerja dengan <i>auto schedule</i> menghasilkan penambahan durasi sebesar 30 hari dari durasi rencana, dan mengalami pengurangan sumber daya manusia menjadi 45 orang pekerja, 21 orang tukang, dan 4 orang kepala tukang, dan 4 orang mandor. 2. <i>Manual schedule</i> tidak mengalami perubahan durasi dari rencana, dan mengalami penambahan sumber daya manusia

No.	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Sampel Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
						menjadi 52 orang pekerja, serta pengurangan menjadi 25 orang tukang, 4 orang kepala tukang, dan 4 orang mandor.
5	Analisis Penggunaan Sumber Daya Manusia pada Penjadwalan Proyek Dengan Metode <i>Resource Leveling</i>	I Made Adi Mastrawan, Ir. I Nyoman Suardika, M.T. Ni Kadek Sri Ebtha Yuni, M.T.	Menganalisis kebutuhan tenaga kerja setelah dilakukan metode <i>resource leveling</i> .	Proyek pembangunan Majelis Desa Adat Provinsi Bai	Kuantitatif Deskriptif	1. Kebutuhan tenaga kerja <i>existing</i> tidak ideal, setelah dilakukan 2. <i>Auto resource leveling</i> durasi proyek mengalami penambahan menjadi 188 hari. 3, <i>Manual resource leveling</i> durasi proyek sesuai dengan jadwal <i>existing</i> yaitu 98 hari kalender.

No.	Judul	Penulis	Tujuan Penelitian	Sampel Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
6	Analisis <i>Resources Leveling</i> Tenaga Kerja	Yohanes Lim Dwi Adianto, Dhimas Lazuhardy Putro	Melakukan analisis penggunaan sumber daya jika ditinjau dari segi jadwal, sehingga akan diketahui jumlah penggunaan sumber daya dan melakukan analisis <i>resource leveling</i> sehingga didapatkan pemerataan penggunaan sumber daya.	Pekerjaan Struktur proyek Bank Jabar	Kuantitatif Deskriptif	1. Berkurangnya Nilai Z untuk tukang besi beton sebesar 252 orang dan pekerja sebesar 6342 orang. 2. <i>Float</i> yang dimiliki oleh kegiatan non kritis sangat berpengaruh dalam <i>leveling</i> yang dilakukan