

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam menyusun perencanaan dan penjadwalan proyek jalan, penelitian ini mengacu pada beberapa studi terdahulu, baik yang membahas metode penjadwalan menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM) maupun studi yang membahas teknis perencanaan jalan. Berikut adalah uraian dari hasil penelitian yang relevan:

1. Muhammad Rizky, Ahmad Perwira Mulia Tarigan, dan Gina Cynthia R. Hasibuan (2024) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Optimasi Penjadwalan Dengan Metode *Precedence Diagram Method* Pada Proyek Konstruksi Pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan”. pada proyek pembangunan Rumah Sakit Regina Maris di Medan. Dalam studi ini, penjadwalan disusun menggunakan Microsoft Project, dengan tujuan utama untuk mengoptimalkan waktu dan urutan pekerjaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PDM memberikan gambaran yang lebih jelas tentang hubungan antar kegiatan proyek, terutama pada aktivitas yang bersifat tumpang tindih (*overlapping*). Selain itu, PDM juga memudahkan proses identifikasi lintasan kritis tanpa perlu menggunakan dummy activity, sehingga jaringan kerja menjadi lebih ringkas dan fleksibel. Metode ini terbukti efisien untuk proyek-proyek skala besar dengan kompleksitas tinggi.
2. Siti Abadiyah, Muhammad Ali Mu'min, Taufik Ismail Rinaldi (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Evaluasi Penjadwalan Proyek Jalan Tol Kunciran-Serpong (Metode PERT dan CPM)”. Penelitian ini mengevaluasi durasi dan biaya proyek Jalan Tol Kunciran-Serpong menggunakan dua metode penjadwalan: *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation Review Technique* (PERT). Hasil analisis menggunakan metode CPM menunjukkan total durasi proyek adalah 416 hari, dengan lintasan kritis pada aktivitas A-C-D-G-J-H-I-M-P-N. Sedangkan dengan PERT, diperoleh estimasi waktu penyelesaian proyek 421 hari, dan probabilitas

penyelesaian tepat waktu pada durasi 408 hari hanya sebesar 0,19%. Peneliti menyimpulkan bahwa metode CPM lebih cocok untuk proyek ini karena memberikan jadwal yang lebih pasti, sementara PERT lebih baik digunakan untuk proyek yang memiliki ketidakpastian tinggi dalam durasi aktivitas.

3. Ahmad Risky Ardy Ansah, Totok Yulianto, Meriana Wahyu Nugroho, dan Titin Sundari (2024). mengevaluasi penjadwalan proyek gudang PT Sandang Duniatex Multi Industri. Penelitian ini memanfaatkan metode PDM dikombinasikan dengan teknik crashing. Tujuannya adalah untuk menganalisis kemungkinan percepatan jadwal melalui penambahan jam lembur, shift kerja, atau jumlah tenaga kerja. Alternatif penjadwalan diuji dan dibandingkan dari sisi durasi dan biaya. Hasilnya, alternatif keempat dengan sistem kerja dua shift mampu mempercepat penyelesaian proyek selama 5 hari dan menghemat biaya hingga Rp1,3 miliar. Penelitian ini membuktikan bahwa metode PDM efektif dalam mengevaluasi dan mengatur strategi percepatan proyek tanpa mengorbankan mutu pekerjaan.
4. Indra Khidir, Embun Sari Ayu, dan Mutiara Dwi Putri Andriani (2022) meneliti “Implementasi Metode PDM Dalam Pengendalian Proyek Konstruksi”, khususnya pada proyek pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD H. Abdul Manap Kota Jambi. Fokus utama penelitian ini adalah pada efisiensi waktu dan biaya melalui alokasi tenaga kerja secara optimal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah tenaga kerja lebih efisien dibandingkan dengan penambahan jam kerja, sehingga durasi proyek dapat dikurangi dari 209 hari menjadi 160 hari. Penelitian ini menegaskan bahwa metode PDM dapat digunakan sebagai alat bantu pengendalian proyek yang responsif terhadap tantangan eksternal seperti pandemi, cuaca, atau gangguan pasokan material.
5. Wendi Fandriansyah, Ahmad Bima Nusa (2023) melakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Optimalisasi *Time Schedule* Dengan PDM (Revitalisasi SMAN 2 Plus Panyabungan)”. Penelitian ini mengevaluasi ulang *time schedule* proyek Revitalisasi SMAN 2 Plus Panyabungan menggunakan

metode *Precedence Diagram Method* (PDM) dengan bantuan *software Microsoft Project*. Hasilnya menunjukkan bahwa durasi proyek berhasil dioptimalkan dari 147 hari menjadi 133 hari, dan jumlah aktivitas pada lintasan kritis meningkat dari 26 menjadi 29 pekerjaan. Penjadwalan ulang dilakukan dengan menyusun ulang hubungan antar kegiatan secara lebih rinci dan memperhatikan keterkaitan logis, sehingga jadwal menjadi lebih terstruktur, efisien, dan realistis. Berikut ini adalah tabel perbandingan penelitian ini dengan penelitian terdahulu:

Tabel 2. 1 Studi Terdahulu

No	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	Analisis Optimasi Penjadwalan Dengan Metode <i>Precedence Diagram Method</i> Pada Proyek Konstruksi Pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan (Muhammad Rizky, Ahmad Perwira Mulia Tarigan, Gina Cynthia R Hasibuan, 2024)	Penelitian pada proyek pembangunan RS Regina Maris Medan Menunjukkan bahwa penerapan PDM dengan <i>crashing</i> mampu mempercepat durasi proyek dari 88 minggu menjadi 70 minggu serta menghemat biaya hingga Rp1,85 miliar.	Menggunakan metode <i>Precedence Diagram Method</i> , menganalisis waktu dan biaya.	Ada <i>crashing</i> , durasi berkurang 18 minggu dan biaya lebih efisien
2	Evaluasi Penjadwalan Waktu dan Biaya Proyek Jalan Tol Kunciran-Serpong PT. Waskita Karya (Persero) Tbk.	Proyek Jalan Tol Kunciran-Serpong dievaluasi dengan metode CPM dan PERT. Hasilnya, CPM menunjukkan durasi 416	Mengevaluasi jadwal proyek konstruksi jalan	Menggunakan metode CPM dan PERT dan hanya fokus pada durasi dan biaya, tidak pada penjadwalan

No	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
	. Dengan Metode PERT dan CPM (Siti Abadiyah, Muhammad Ali Mu'min, Taufik Ismail Rinaldi, 2019)	hari, sedangkan PERT 422 hari dengan probabilitas 56,75% dan 432 hari untuk 99,09%. Percepatan dengan lembur bisa memangkas durasi hingga 369 hari, tetapi biaya naik dari Rp1,42 T menjadi Rp1,93 T.		
3	Evaluasi Penjadwalan Dengan Metode PDM (<i>Precendece Digram Method</i>) Pada Pembangunan Warehouse PT Sandang Dunia Tex Multi Industri (Ahmad Risky Ardy Ansah, Totok Yulianto, Meriana Wahyu Nugroho, Titin Sundari, 2024)	Pada proyek Pembangunan <i>Warehouse</i> PT Sandang Duniatex Multi Industri, evaluasi penjadwalan dengan metode PDM dan <i>Crashing</i> menghasilkan alternatif terbaik pada penambahan <i>shift</i> kerja (2 <i>shift</i>). Hasilnya, durasi proyek berkurang dari 150 hari menjadi 145 hari dengan total biaya turun menjadi Rp1,31 miliar, sehingga terjadi percepatan waktu sekaligus efisiensi biaya.	Sama-sama membahas metode PDM sebagai dasar untuk mengevaluasi dan mempercepat jadwal pelaksanaan proyek konstruksi	Fokus pada evaluasi jadwal dengan alternatif <i>crashing</i> dan bukan pada perbandingan biaya dan akhir
4	Implementasi Metode <i>Precedence Diagram Method</i> (PDM) Dalam Pengendalian Proyek Konstrksi (Indra	Pada proyek pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD H. Abdul Manap Jambi, penerapan PDM dikombinasikan dengan	Memanfaatkan PDM untuk menyusun jadwal yang efisien dari segi durasi dan biaya pelaksanaan	Penelitian menekankan pengendalian proyek akibat dampak eksternal (cuaca, pandemi

No	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
	Khaidir, Embun Sari Ayu, Mutiara Dwi Putri Andriani, (2022)	analisis <i>time-cost trade off</i> berhasil memangkas durasi dari 209 hari menjadi 160 hari. Alternatif penambahan tenaga kerja terbukti paling efisien karena menekan biaya lebih rendah dibandingkan lembur.		
5	Evaluasi Optimalisasi <i>Time Schedule</i> Dengan PDM (Revitalisasi SMAN 2 Plus Panyabungan) (Wendi Fandriansyah, Ahmad Bima Nusa, 2023)	Pada proyek Revitalisasi SMA Negeri 2 Plus Panyabungan, evaluasi penjadwalan dengan PDM menggunakan <i>Microsoft Project</i> menunjukkan bahwa durasi proyek dapat dioptimalkan dari 147 hari menjadi 133 hari. Selain itu, jumlah pekerjaan pada lintasan kritis meningkat dari 26 menjadi 29 pekerjaan, sehingga jadwal lebih detail, terstruktur, dan mampu meminimalisir keterlambatan.	Menggunakan metode PDM, perangkat lunak yang digunakan <i>Microsoft Project</i>	Melakukan optimalisasi jadwal proyek pada proyek bangunan sekolah, mengoptimalkan penjadwalan agar durasi lebih singkat dan realistis

Sumber : (Studi literatur)

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *Precedence Diagram Method* (PDM) banyak digunakan untuk menyusun dan mengevaluasi penjadwalan proyek secara efisien, baik dari segi waktu maupun biaya. Muhammad Rizky et al.

(2024) menegaskan keunggulan PDM dalam mengoptimalkan urutan pekerjaan tanpa *dummy activity*, sedangkan Ahmad Risky A. Ansah et al. (2024) dan Wendi Fandriansyah et al. (2023) menunjukkan efektivitas PDM dalam mengevaluasi penjadwalan alternatif untuk mempercepat durasi proyek serta menghemat biaya. Penelitian Indra Khidir et al. (2022) juga membuktikan bahwa PDM dapat digunakan sebagai alat pengendalian proyek yang responsif terhadap gangguan eksternal. Meskipun Siti Abadiyah et al. (2019) tidak menggunakan PDM, studi mereka relevan karena mengevaluasi durasi dan biaya proyek jalan, memberikan perspektif perbandingan dengan metode lain seperti CPM dan PERT. Seluruh studi ini memberikan dasar kuat bagi studi ini dalam mengevaluasi penjadwalan proyek jalan menggunakan metode PDM melalui pendekatan perbandingan skenario jadwal *existing* dan optimasi.

2.2 Manajemen Proyek Konstruksi

2.2.1 Pengertian Manajemen Proyek

Manajemen proyek merupakan suatu proses perencanaan, pengorganisasian, pengkoordinasian, dan pengendalian sumber daya untuk mencapai tujuan proyek dalam batasan waktu, biaya, dan mutu yang telah ditetapkan. Secara umum, manajemen proyek bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh aktivitas dalam proyek dapat berjalan secara efektif dan efisien.

Menurut Soeharto (1999), Kegiatan proyek dapat diartikan sebagai satu kegiatan sementara yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk atau *deliverable* yang kriterianya telah digariskan dengan jelas.

Dalam praktiknya, manajemen proyek melibatkan sejumlah proses penting, antara lain inisiasi, perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan penutupan proyek. Setiap tahap memiliki peranan krusial untuk memastikan bahwa proyek dapat memenuhi kebutuhan pemangku kepentingan dan berjalan sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan.

Melalui pendekatan manajemen proyek yang sistematis, organisasi atau individu dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi risiko keterlambatan, mengendalikan biaya, serta meningkatkan kualitas hasil akhir proyek.

2.2.2 Fungsi Manajemen Proyek

Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya, dan mutu. Waktu atau jadwal, biaya, dan mutu dalam konteks proyek merupakan sasaran yang harus dicapai (Rani, 2016).

2.2.3 Manajemen Proyek Konstruksi

Pengelolaan proyek yang dikenal sebagai manajemen proyek konstruksi adalah suatu metode pengelolaan yang dikembangkan secara ilmiah dan intensif sejak pertengahan abad ke-20 untuk menghadapi kegiatan khusus yang berbentuk proyek konstruksi (Rani, 2016)

2.3 Penjadwalan Proyek

2.3.1 Definisi Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah proses mengatur urutan kegiatan, menentukan durasi setiap aktivitas, dan mengalokasikan sumber daya untuk memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang direncanakan. Perencanaan waktu proyek meliputi langkah-langkah yang bertujuan agar proyek dapat diselesaikan sesuai sasaran waktu yang ditetapkan. Hasil langkah-langkah tersebut kemudian dianalisis dengan berbagai metode dan teknik untuk menyusun jadwal proyek (Soeharto, 1999). Penjadwalan membantu mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis yang dapat mempengaruhi keseluruhan durasi proyek jika terjadi keterlambatan.

Penjadwalan juga digunakan sebagai dasar untuk pemantauan dan pengendalian proyek, sehingga manajer proyek dapat mengambil tindakan korektif dengan cepat jika terjadi penyimpangan terhadap rencana.

2.3.2 Tujuan dan Manfaat Penjadwalan

Tujuan utama penjadwalan proyek adalah untuk mengembangkan rencana kerja yang terstruktur agar proyek dapat diselesaikan secara efisien dalam batasan

waktu, biaya, dan sumber daya yang tersedia. Adapun manfaat dari penjadwalan proyek meliputi:

- Memberikan gambaran urutan dan hubungan antar aktivitas proyek sehingga semua pihak terkait memahami jalannya proyek.
- Mendeteksi jalur kritis proyek sehingga fokus pengawasan dapat diarahkan pada aktivitas yang memiliki dampak besar terhadap durasi total proyek.
- Mengoptimalkan penggunaan sumber daya (tenaga kerja, material, alat) melalui identifikasi kebutuhan sumber daya pada setiap periode waktu.
- Sebagai dasar untuk monitoring dan evaluasi, sehingga setiap penyimpangan rencana awal dapat segera diidentifikasi dan dikoreksi.

2.3.3 Hubungan Waktu, Biaya, dan Sumber Daya

Dalam proses mencapai tujuan proyek, ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran), jadwal, serta mutu yang harus dipenuhi. Ketiga hal tersebut merupakan parameter penting yang sering diasosiasikan sebagai sasaran proyek, disebut tiga kendala (*triple constraint*) (Soeharto, 1999).

- Waktu mengacu pada periode yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh aktivitas proyek. Semakin cepat waktu penyelesaian, umumnya semakin tinggi kebutuhan sumber daya atau percepatan kerja yang berdampak pada biaya.
- Biaya adalah total pengeluaran yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, termasuk biaya tenaga kerja, bahan, peralatan, dan biaya tidak langsung lainnya.
- Sumber daya meliputi tenaga kerja, material, dan alat yang diperlukan untuk menyelesaikan aktivitas proyek

Perubahan pada salah satu elemen ini akan mempengaruhi dua elemen lainnya. Misalnya, mempercepat proyek (mengurangi waktu) biasanya memerlukan tambahan sumber daya, yang pada akhirnya meningkatkan biaya. Oleh karena itu,

penjadwalan yang baik harus mempertimbangkan keseimbangan antara ketiga aspek tersebut untuk mencapai hasil proyek yang optimal.

2.4 Arrow Diagramming Method (ADM)

Dalam metode *Activity-On-Arrow* (AOA) atau dikenal juga sebagai *Arrow Diagramming Method* (ADM), setiap aktivitas proyek direpresentasikan dengan anak panah (*arrow*) yang menghubungkan dua titik peristiwa atau *node*, di mana *node* ini melambangkan peristiwa penting seperti dimulainya atau selesainya aktivitas (Siswanto, 2019).

Anak panah menunjukkan arah dan urutan logis, sedangkan *node* pertama disebut *node* “i” dan *node* akhir disebut *node* “j”. Dalam metode *Arrow Diagramming Method* (ADM) hanya hubungan *Finish-to-Start* (FS) yang digunakan, artinya suatu aktivitas hanya dapat dimulai setelah aktivitas pendahulunya selesai sepenuhnya. Dalam beberapa kasus diperlukan *dummy activity*, yakni panah berdurasi nol untuk memperjelas ketergantungan logis yang tidak dapat digambarkan langsung oleh aktivitas nyata (Siswanto, 2019). Dengan demikian, diagram jaringan yang dihasilkan dalam digunakan untuk menentukan jalur kritis (*Critical path*), yaitu rangkaian aktivitas dengan durasi kumulatif terpanjang yang menentukan waktu penyelesaian proyek.

2.4.2 Perbandingan metode ADM dan PDM

Arrow Diagramming Method (ADM) dan *Precedence diagram method* (PDM) adalah dua metode yang digunakan dalam perencanaan dan penjadwalan proyek untuk menentukan urutan kegiatan dan durasi pelaksanaan proyek. Keduanya bertujuan untuk mengidentifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian kegiatan yang menentukan waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Penggunaan diagram jaringan juga digunakan untuk merepresentasikan jaringan untuk menggambarkan hubungan antar kegiatan.

Pada *Arrow Diagramming Method* (ADM) menggunakan diagram berbasis aktivitas (*Activity-on-Arrow*), di mana kegiatan direpresentasikan oleh panah dan simpul yang menunjukkan peristiwa. Sedangkan pada metode *Precedence Diagram*

Method (PDM), simpul dan panah digunakan untuk merepresentasikan ketergantungan antar kegiatan yaitu *Finish-to-Start* (FS)

Tabel 2. 2 Perbandingan Metode ADM dan PDM

Aspek	<i>Arrow Diagramming Method</i> (ADM)	<i>Precedence Diagram Method</i> (PDM)
Representasi Kegiatan	Aktivitas digambarkan sebagai panah, <i>node</i> sebagai peristiwa (<i>event</i>)	Aktivitas digambarkan sebagai kotak (<i>node</i>), panah menunjukkan hubungan
Jenis Ketergantungan	Hanya <i>Finish-to-Start</i> (FS)	Mendukung FS, SS, FF, dan SF
Fleksibilitas Penjadwalan	Kurang fleksibel dalam hubungan kompleks	Lebih fleksibel dan realistis dalam menggambarkan ketergantungan
Kompleksitas Diagram	Lebih kompleks dan sulit dipahami	Lebih sederhana dan mudah dipahami
Penggunaan dalam perangkat lunak	Kurang umum digunakan dalam perangkat lunak modern	Umum digunakan dalam perangkat lunak manajemen proyek modern

Sumber : (Studi literatur)

2.5 Metode Penjadwalan menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM)

2.5.1 Pengertian *Precedence Diagram Method* (PDM)

Metode *Precedence Diagram Method* (PDM) adalah jaringan kerja yang termasuk klasifikasi AON (*Activity on Node*), di mana kegiatan dituliskan di dalam node berbentuk segi empat, dan anak panah sebagai petunjuk hubungan antar kegiatan (Soeharto, 1999).

Pada metode PDM, Definisi dan peristiwa sama seperti ADM, hanya perlu ditekankan pada PDM kotak tersebut menandai sebagai kegiatan, dengan demikian harus dicantumkan identitas kegiatan dan kurun waktunya. Setiap node mempunyai dua peristiwa yaitu peristiwa awal dan akhir. Pada kotak *node* dibagi menjadi beberapa kompartemen kecil yang berisi keterangan spesifik dari kegiatan dan peristiwa yang bersangkutan dan dinamakan atribut. Beberapa atribut yang dicantumkan diantaranya adalah kurun waktu kegiatan (D), identitas kegiatan (nomor dan nama), mulai dan selesainya kegiatan yakni *Early Start* (ES), *Latest Start* (LS), *Early Finish* (EF), *Latest Finish* (LF).

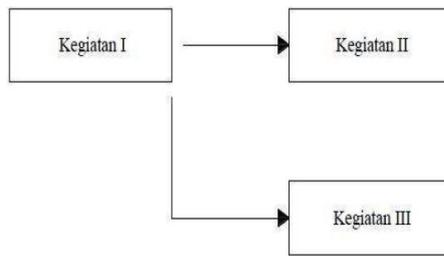
Nomor Urut			
ES	Nama Kegiatan	Kurun Waktu (D)	EF
LS	(tanggal)	(tanggal)	LF

Gambar 2. 1 Denah pada *node* PDM

Sumber : (Soeharto 1999)

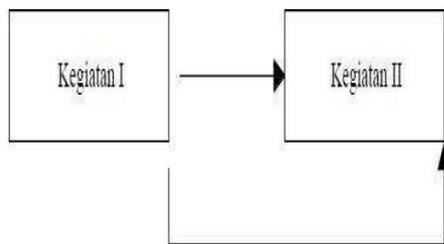
2.5.2 Tanda *Konstrain* Dalam Jaringan Kerja

Dalam metode PDM digunakan panah untuk menunjukkan keterkaitan antar kegiatan. Ada kalanya satu kegiatan memiliki lebih dari satu jenis hubungan atau disebut multikonstain, yaitu ketika dua kegiatan dihubungkan dengan lebih dari satu jenis keterkaitan.



Gambar 2. 2 suatu kegiatan terhubung pada banyak kegiatan

Sumber : (Soeharto 1999)



Gambar 2. 3 multikonstain antar kegiatan

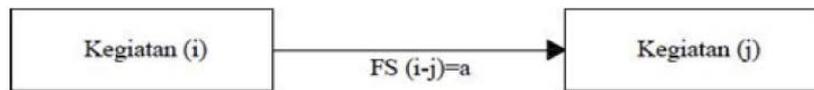
Sumber : (Soeharto 1999)

2.5.3 Jenis Hubungan (*Dependency Relationships*) dalam PDM

Berbeda dengan aturan pada jaringan kerja ADM yang menggunakan satu kegiatan dimulai setelah kegiatan pendahulunya selesai, dalam PDM hubungan antar kegiatan berkembang menjadi beberapa jenis *konstrain*. setiap *node* memiliki titik, yaitu titik awal (*Start/S*) dan titik akhir (*Finish/F*), sehingga ada empat jenis hubungan *overlapping*, yaitu *Finish to Start* (FS), *Start to Start* (SS), *Finish to Finish* (FF), dan *Start to Finish* (SF). Pada garis *konstrain* disertakan informasi mengenai *lead* maupun *lag*. *Lead* adalah waktu percepatan, yaitu selisih kegiatan (j) yang dapat dimulai sebelum kegiatan (i) selesai, biasanya pada hubungan FS dan FF. sedangkan *lag* adalah waktu tunggu, yaitu jeda periode kegiatan (j) setelah kegiatan (i) dimulai, biasanya pada hubungan SS dan SF. Empat jenis hubungan *overlapping* tersebut dikemukakan oleh Soeharto (1999):

- *Finish to Start* (FS): Aktivitas berikutnya tidak dapat dimulai sebelum aktivitas sebelumnya selesai. Ini adalah hubungan paling umum. Hubungan ini dinyatakan sebagai FS (i-j) = a, yang berarti kegiatan (j) mulai a hari,

setelah kegiatan yang mendahuluinya (i) selesai. Nilai a disebut juga *lead time*.

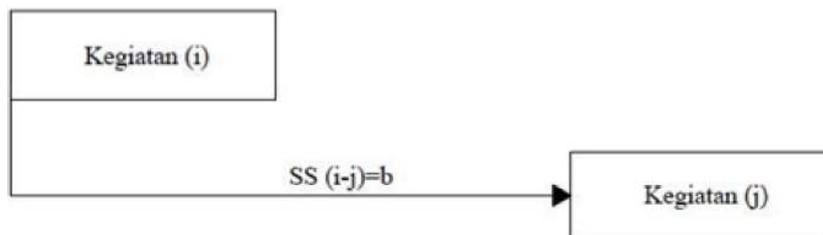


Gambar 2. 4 denah FS pada *node* PDM

Sumber : (Soeharto 1999)

Contoh: pengecoran beton tidak bisa dimulai sebelum pekerjaan bekisting selesai.

- *Start to Start* (SS): Aktivitas berikutnya dapat dimulai setelah aktivitas sebelumnya mulai. Hubungan ini dinyatakan sebagai $SS (i-j) = b$. nilai a disebut juga sebagai *lag time*.

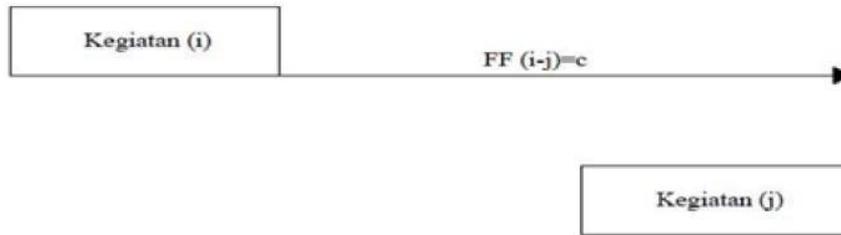


Gambar 2. 5 denah SS pada *node* PDM

Sumber : (Soeharto 1999)

Contoh: Pemasangan besi tulangan dapat dimulai segera setelah pekerjaan bekisting dimulai.

- *Finish to Finish* (FF): Aktivitas berikutnya tidak dapat selesai sebelum aktivitas sebelumnya selesai. Hubungan ini dinyatakan sebagai $FF (i-j) = c$. nilai c disebut juga sebagai *lead time*.

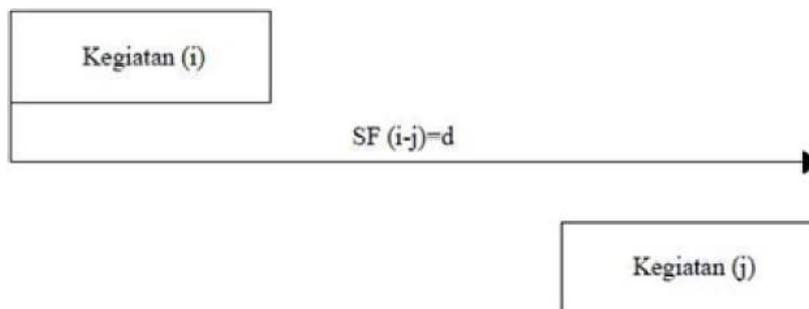


Gambar 2. 6 denah FF pada *node* PDM

Sumber : (Soeharto 1999)

Contoh: Pekerjaan pengaspalan tidak bisa selesai sebelum penyebaran agregat selesai.

- *Start to Finish* (SF): Aktivitas berikutnya tidak dapat selesai sebelum aktivitas sebelumnya dimulai. Hubungan ini dinyatakan sebagai $SF (i-j) = d$ yang berarti kegiatan (j) selesai setelah d hari kegiatan (i) terdahulu mulai. Nilai d disebut juga *lag time*.

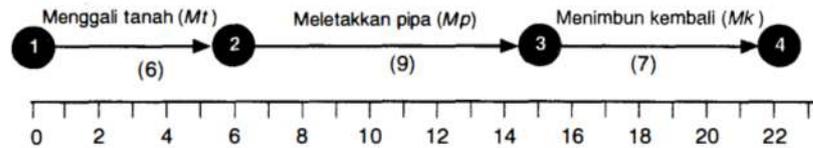


Gambar 2. 7 denah SF pada *node* PDM

Sumber : (Soeharto 1999)

2.5.4 Menyusun *Network Diagram* PDM

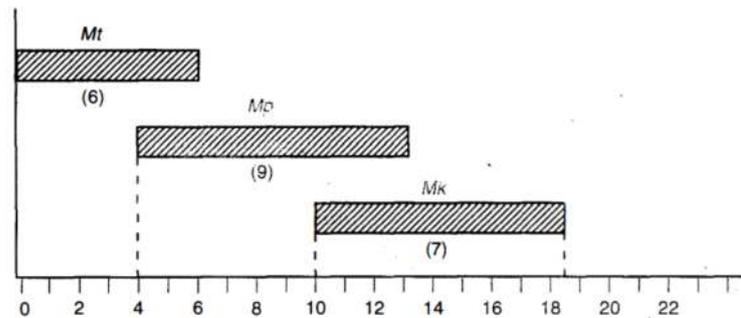
PDM suatu proyek terdiri dari tiga kegiatan lengkap dengan atribut dan parameter yang bersangkutan, yang semula disajikan dalam *Activity on Arrow* (AOA) (Soeharto, 1999).



Gambar 2. 8 kegiatan berurutan penyelesaian proyek total 22 hari

Sumber : (Soeharto 1999)

Kegiatan pada gambar di atas dikerjakan berurutan dan proyek selesai dalam waktu 22 hari. Sedangkan potensi penghematan waktu, dijelaskan dengan metode bagan balok (*bar chart*).

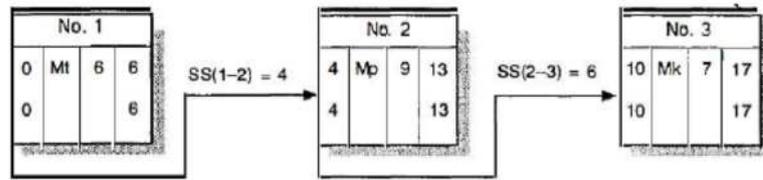


Gambar 2. 9 *bar chart* tumpang tindih

Sumber : (Soeharto 1999)

Pada gambar sebelumnya ditunjukkan bagan balok kegiatan yang tumpang tindih sehingga durasi total dapat dipersingkat menjadi 18 hari. Hal ini terjadi karena adanya *overlap* antara kegiatan Mt dengan Mp, serta Mp dengan Mk. Contohnya, setelah Mt berlangsung selama 4 hari, kegiatan Mp dapat dimulai (Soeharto, 1999).

Demikian pula, kegiatan Mk dapat dimulai setelah kegiatan Mp berjalan 6 hari. Dengan demikian, suatu kegiatan tidak harus menunggu kegiatan sebelumnya selesai sepenuhnya. Bila gambar 2.2 disajikan dengan PDM/AON akan terlihat seperti gambar 2.3 penyelesaian proyek total = 17 hari (Soeharto, 1999).



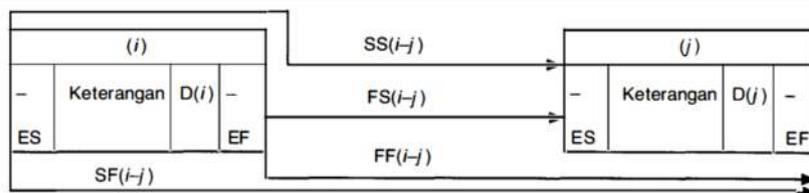
Gambar 2. 10 activity on node

Sumber : (Soeharto 1999)

2.5.5 Identifikasi Jalur Kritis

Kegiatan kritis adalah kegiatan yang sangat peka terhadap keterlambatan. Jika sebuah kegiatan kritis tertunda satu hari, maka proyek secara keseluruhan juga akan mundur satu hari, meskipun kegiatan lainnya berjalan sesuai jadwal. Pada metode PDM, jalur dan kegiatan kritis memiliki sifat yang sama seperti pada CPM, sehingga cara identifikasi maupun perhitungannya juga serupa. Adapun ciri-ciri kegiatan kritis adalah sebagai berikut :

1. Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama (ES=LS).
2. Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama (EF=LF).
3. Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal (LF-ES=D).
4. Bila hanya sebagian dari kegiatan bersifat kritis, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis.



Gambar 2. 11 menghitung ES dan EF

Sumber : (Soeharto 1999)

Menghitung maju :

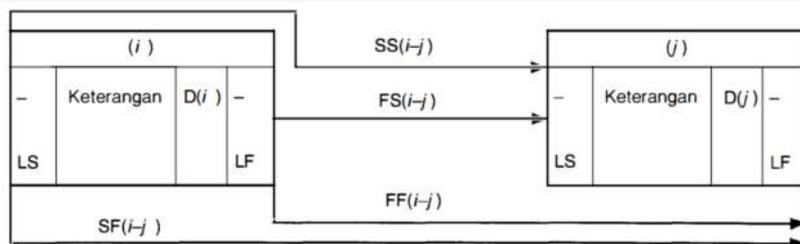
Berlaku dan ditunjukkan untuk hal-hal sebagai berikut (Iman Soeharto, 1999):

- Menghasilkan ES, EF dan kurun waktu penyelesaian proyek.
- Diambil angka ES terbesar bila lebih dari satu kegiatan bergabung.
- Notasi (i) bagi kegiatan terdahulu (*predecessor*) dan (j) kegiatan yang sedang ditinjau (*sucessor*).
- Waktu awal dianggap nol.

Waktu mulai paling awal dari kegiatan yang sedang ditinjau ES (j), adalah sama dengan angka terbesar dari jumlah angka terdahulu ES (i) atau EF (i) ditambah *konstrain* yang bersangkutan. Karena terdapat empat *konstrain*, maka bila ditulis dengan rumus menjadi :

$$ES(j) = \left| \begin{array}{l} \text{Pilih angka terbesar dari} \\ ES(i)+SS(i-j) \\ \text{atau} \\ ES(i)+SF(i-j)-D(j) \\ \text{atau} \\ ES(i)+FS(i-j) \\ \text{atau} \\ EF(i)+FF(i-j)-D(j) \end{array} \right.$$

Angka waktu selesai paling awal kegiatan yang sedang ditinjau ES (j), adalah sama dengan angka waktu mulai paling awal kegiatan tersebut ES (j), ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan D (j). atau di tulis dengan rumus, menjadi $EF(j) = ES(j) + D(j)$.



Gambar 2. 12 menghitung LS dan LF

Sumber : (Soeharto 1999)

Hitung mundur:

Berlaku dan ditunjukkan untuk hal-hal sebagai berikut (Soeharto 1999):

- Menentukan LS, LF dan kurun waktu *float*.
- Bila lebih dari satu kegiatan bergabung diambil angka LS terkecil.
- Notasi (i) bagi kegiatan yang sedang ditinjau sedangkan (j) adalah kegiatan berikutnya. Hitungan LF (i), waktu selesai paling akhir kegiatan (i) yang sedang ditinjau, yang merupakan angka terkecil dari jumlah kegiatan LS dan LF plus *konstrain* yang bersangkutan.

$$ES(j) = \left| \begin{array}{l} \text{Pilih angka terbesar dari} \\ ES(i)+SS(i-j) \\ \text{atau} \\ ES(i)+SF(i-j)-D(j) \\ \text{atau} \\ ES(i)+FS(i-j) \\ \text{atau} \\ EF(i)+FF(i-j)-D(j) \end{array} \right|$$

Waktu mulai paling akhir suatu kegiatan LS (i), diperoleh dari waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut LF (i), dikurangi durasi kegiatan yang bersangkutan. Secara matematis ditulis : $LS(i) = LF(i) - D(i)$.

Jalur dan kegiatan kritis PDM mempunyai sifat yang sama seperti CPM/AOA (Soeharto, 1999), yaitu :

- Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama ($ES=LS$).
- Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama ($EF=LF$).
- Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal ($LF - ES = D$).
- Bila hanya sebagian dari kegiatan bersifat kritis, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis.

Tabel 2. 3 Notasi yang digunakan pada PDM

No	Notasi	Penjelasan
1	ES	Waktu mulai paling awal suatu kegiatan (<i>earliest start time</i>)

No	Notasi	Penjelasan
2	EF	Waktu selesai paling awal suatu kegiatan (<i>earlist finish time</i>)
3	LS	Waktu plaing akhir kegiatan boleh mulai (<i>lates allowable start time</i>)
4	LF	Waktu paling akhir kegiatan boleh selesai (<i>lates allowable finish time</i>)

Sumber : (Soeharto 1999)

2.6 Microsoft Project

Microsoft project merupakan salah satu perangkat lunak manajemen proyek yang umum digunakan dalam industri konstruksi untuk membantu proses perencanaan dan pengendalian pelaksanaan proyek. Perangkat lunak ini menyediakan berbagai fitur utama, seperti penjadwalan berbasis aktivitas, alokasi sumber daya, pemantauan kemajuan pekerjaan, evaluasi kinerja, serta pelaporan proyek. Salah satu fitur unggulannya adalah kemampuan untuk menghasilkan *Gantt Chart* dan *Network Diagram* secara otomatis berdasarkan data aktivitas, durasi, serta hubungan ketergantungan antar pekerjaan.

Gantt Chart menampilkan jadwal proyek dalam bentuk visual batang horizontal pada skala waktu, yang merepresentasikan durasi dan urutan aktivitas, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kemajuan dan membandingkan antara rencana dengan pelaksanaan aktual di lapangan. Sementara itu, *Network Diagram* berfungsi untuk menggambarkan hubungan logis antar aktivitas proyek, menggunakan pendekatan seperti *Precedence Diagram Method* (PDM) dan *Arrow Diagramming Method* (ADM). Analisis menggunakan PDM mendukung penerapan metode jalur kritis (*Critical Path Method*), yang digunakan untuk mengidentifikasi jalur aktivitas terpanjang dalam proyek dan menentukan aktivitas yang memiliki *slack* atau *float* minimum.

Selain itu, *Microsoft Project* memiliki kemampuan integrasi dengan perangkat lunak *Microsoft* lainnya, seperti *Excel* dan *Word*, yang memudahkan

dalam pengolahan data dan penyusunan laporan. Dengan fitur-fitur tersebut, *Microsoft Project* menjadi alat bantu yang efektif dan efisien dalam mendukung proses manajemen waktu, terutama dalam proyek-proyek konstruksi yang kompleks dan memiliki banyak aktivitas saling bergantung.

2.7 Manajemen Biaya

Manajemen biaya proyek melibatkan segala proses yang diperlukan dalam pengelolaan proyek guna memastikan pencapaian proyek sesuai dengan anggaran biaya yang telah disepakati. Fokus utama dari manajemen biaya proyek adalah mengendalikan biaya yang terkait dengan sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek.

2.7.1 Estimasi Biaya Proyek

Estimasi biaya memegang peranan krusial dalam penyelenggaraan proyek. Proses ini bertujuan untuk memperkirakan besarnya dana yang dibutuhkan dalam pembangunan atau investasi, sekaligus menjadi instrumen pengendalian terhadap penggunaan sumber daya proyek. Estimasi biaya juga berkaitan erat dengan analisis biaya, yaitu kegiatan menelaah dan menilai biaya pada pekerjaan sebelumnya sebagai dasar penyusunan perkiraan biaya yang lebih akurat.

Menurut Wahyudin et al. (2023) dalam konteks pekerjaan proyek, biaya dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Biaya langsung (*Direct cost*)

Secara umum, biaya langsung dalam proyek dapat dibagi menjadi lima kategori utama, yaitu :

- a. Biaya bahan material
- b. Biaya upah kerja
- c. Biaya alat
- d. Biaya subkontraktor

2. Biaya tidak langsung (*Indirect cost*)

Adalah semua biaya yang tidak secara langsung terkait dengan kegiatan proyek. Biaya ini umumnya terjadi di luar lingkup proyek. Biaya tidak langsung mencakup biaya pemasaran, pajak, biaya risiko, keuntungan

kontraktor, dan lain sebagainya. Biaya tidak langsung cenderung memiliki nilai yang relatif kecil dibandingkan dengan biaya langsung.

3. Biaya kesempatan yang hilang (*Opportunity cost*)

Merupakan potensi keuntungan yang hilang jika proyek mengalami keterlambatan penyelesaian. Keuntungan ini dapat diperoleh jika proyek dapat diselesaikan tepat waktu. Biaya kesempatan yang hilang akan meningkat seiring dengan penundaan waktu proyek.

2.7.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan salah satu komponen penting dalam tahap perencanaan proyek konstruksi. Penyusunan RAB dilaksanakan sebelum kegiatan konstruksi dimulai dengan tujuan memperkirakan secara rinci kebutuhan biaya yang meliputi material dan tenaga kerja. Proses ini memerlukan analisis kuantitas pekerjaan melalui perhitungan volume setiap jenis pekerjaan agar estimasi biaya yang dihasilkan lebih akurat dan dapat dijadikan acuan dalam pengendalian pelaksanaan proyek.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada satu bangunan dapat berbeda dengan bangunan lainnya jika lokasi pembangunannya berbeda, karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja di setiap daerah berbeda. Secara umum penyusunan biaya dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\text{RAB} = \text{Jumlahkan (Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan) (2.1)$$

Dalam penyusunan anggaran biaya, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan secara sistematis. Tahap pertama adalah menghitung volume pekerjaan, mencakup seluruh item mulai dari pekerjaan awal hingga tahap penyelesaian (*Finishing*). Selanjutnya dilakukan analisis harga satuan pekerjaan (HSP) untuk menentukan biaya per satuan pekerjaan. Setelah itu, volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan yang telah dianalisis guna memperoleh nilai RAB. Tahap akhir adalah penyusunan rekapitulasi biaya dengan menjumlahkan seluruh item pekerjaan dari awal hingga akhir, sehingga diperoleh estimasi total anggaran proyek.

2.8 Ketentuan dan Perhitungan Upah Lembur

Pelaksanaan proyek konstruksi sering kali menghadapi keterbatasan waktu akibat faktor cuaca, keterlambatan material, atau tuntutan percepatan jadwal. Salah satu strategi yang umum digunakan untuk mengatasi hal ini adalah penambahan jam kerja atau lembur.

Menurut Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia No. 102/MEN/VI/2004 tentang Waktu Kerja Lembur dan Upah Kerja Lembur, ketentuan perhitungan upah lembur adalah sebagai berikut :

1. Jam lembur pertama dibayar sebesar 1,5 kali upah sejam pekerja.
2. Jam lembur berikutnya dibayar sebesar 2 kali upah sejam pekerja.
3. Upah lembur dihitung berdasarkan upah bulanan dibagi 173 jam (standar jam kerja bulanan).

Dalam konteks proyek konstruksi, penerapan lembur harus mempertimbangkan dua hal utama :

- Produktivitas Tenaga Kerja : penambahan jam kerja tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan produktivitas. Pada jam lembur, umumnya produktivitas tenaga kerja menurun 10-20% akibat faktor kelelahan (Ervianto, 2005).
- Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) : pekerjaan lembur meningkatkan risiko kecelakaan kerja, terutama pada proyek konstruksi jalan yang melibatkan alat berat.

Dengan demikian, lembur hanya efektif digunakan sebagai strategi jangka pendek untuk mengejar keterlambatan atau mempercepat penyelesaian proyek dengan tetap memperhitungkan dampak biaya dan risiko keselamatan. Dalam penelitian ini, lembur dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif percepatan durasi penjadwalan dengan metode PDM.

2.9 Alat Berat

Pada proyek konstruksi jalan, alat berat memainkan peran vital karena sebagian besar pekerjaan konstruksi seperti galian, timbunan, pemadatan, hingga pengecoran sangat bergantung pada kinerja alat. Oleh sebab itu, produktivitas alat

berat menentukan durasi pekerjaan, sedangkan nilai koefisien alat digunakan untuk menghitung biaya pekerjaan.

Menurut Soeharto (1999) kapasitas produksi alat (Q) dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = \frac{V \times f}{T_s} \times 60 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

- Q = kapasitas produksi (m³/jam)
- V = kapasitas *bucket/dump* (m³)
- f = faktor efisiensi alat (0,7-0,9)
- T_s = waktu siklus (menit), terdiri atas waktu muat, angkut, bongkar, dan kembali.

Koefisien alat (K) kemudian ditentukan dengan :

$$K = \frac{1}{Q} \dots\dots\dots (2.3)$$

Nilai K menunjukkan berapa jam kerja alat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 1 m³ pekerjaan.