

EVALUASI PENJADWALAN PROYEK RELOKASI PIPA GAS DI JEMBATAN CIWARINGIN CIREBON DENGAN METODE *CRITICAL PATH METHOD (CPM)*

**BERRY FITRIANDI, BASUKI ARIANTO, SUNGKONO SANUSI, INDRAMAWAN
DAN DARMAWAN YULIANTO**

Program Studi Teknik Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta.

Email korespondensi: berryfitriandi@gmail.com, basukiarianto@gmail.com, indramwn@gmail.com,
yulianto.darmawan@gmail.com

ABSTRAK

Jaringan pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon perlu segera dipindahkan, proyek tersebut berstatus pekerjaan mendesak. PT. INT sebagai pemilik aset menunjuk PT. XYZ sebagai kontraktor pelaksana. Rencana kerja selama 140 hari telah ditetapkan oleh PT. XYZ untuk pelaksanaannya, Namun, proyek tersebut mengalami keterlambatan dan selesai dalam waktu 166 hari. Peneliti menggunakan Critical Path Method (CPM) untuk menentukan lamanya waktu dengan melakukan peninjauan penjadwalan berdasarkan tantangan tersebut.

Critical Path Method (CPM) adalah teknik untuk menghitung dan merotasi jaringan kerja proyek guna menentukan tugas mana yang perlu diprioritaskan agar dapat menyelesaikan proyek sesuai jadwal. Studi logistik tentang saling ketergantungan harus digunakan untuk menentukan jaringan kerja terlebih dahulu. Manajer proyek dapat menggunakan Critical Path Method (CPM) sebagai teknik untuk mengatur sumber daya proyek.

Jalur kritis yang didapat yaitu: $A \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow I$ ditentukan oleh perhitungan dan evaluasi proyek. Jalur ini mencakup tugas-tugas berikut: pekerjaan persiapan (A), pekerjaan khusus (E), pekerjaan Golden Joint (G), pekerjaan perbaikan dan rekondisi (H), dan pekerjaan penyelesaian akhir (I). Pekerjaan tersebut memakan waktu 153 hari untuk diselesaikan. Penjadwalan rencana kerja ini dibandingkan selama 140 hari, yang berarti 13 hari lebih lama dari yang direncanakan semula. Hal ini karena, rencana awal menggunakan Gantt Chart, peneliti menggunakan Metode Jalur Kritis (CPM) untuk melakukan evaluasi.

Kata kunci : *Jaringan Pipa Gas, Penjadwalan Proyek, Critical Path Method*

1. PENDAHULUAN

Gas bumi memiliki peran penting sebagai energi utama yang mendukung berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan rumah tangga. Di Indonesia, distribusi gas bumi dioperasikan oleh PT INT yang bertanggung jawab untuk memastikan jaringan distribusi gas bumi berjalan aman dan efisien.

Salah satu proyek yang relevan adalah proyek rehabilitasi Jembatan Ciwaringin di jalur Cirebon–Palimanan–Bandung. Dalam hal ini, ditemukan bahwa terdapat aset pipa gas milik PT INT berada di struktur jembatan tersebut. Posisi ini meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan serius, seperti ledakan, yang tidak hanya dapat membahayakan pengguna jalan tetapi juga mengganggu distribusi gas bumi. Kondisi ini mengharuskan PT INT untuk melakukan relokasi pipa sebagai bagian dari upaya mitigasi risiko.

Berdasarkan dari surat yang bersifat “segera” dari pemilik aset jembatan Ciwaringin untuk merelokasi pipa yang berada pada struktur jembatan, dalam proyek tersebut PT INT menunjuk perusahaan PT XYZ yang merupakan salah satu perusahaan jasa konstruksi umum sebagai pelaksana proyek relokasi pipa di Jembatan Ciwaringin, Cirebon. Proyek ini telah selesai

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

dilaksanakan mulai 10 Juli sampai dengan 23 Desember 2024, waktu penyelesaian proyek selama 140 (seratus empat puluh) hari.

Dalam proyek yang dikerjakan oleh PT XYZ bersifat “segera”, pekerjaan harus segera diselesaikan tanpa ada batasan biaya, namun terikat dengan waktu yang telah ditentukan oleh PT INT. Perencanaan waktu dan biaya yang digunakan oleh PT. XYZ biasanya hanya menggunakan diagram *bar chart* dan berdasarkan beberapa pengalaman selama ini, hasilnya sering kali tidak memenuhi waktu penyelesaian (*deadline*) yang sudah ditentukan. Hal ini tentu memberi dampak buruk bagi pemilik proyek maupun bagi pelaksana karna akan adanya sanksi akibat dari keterlambatan tersebut. Maka dari kondisi tersebut perlu dilakukan evaluasi terhadap masalah-masalah yang terjadi pada proyek yang baru selesai ini terkait manajemen waktu dan biaya agar potensi kerugian yang terjadi dapat dikurangi atau bahkan dihindari pada kondisi serupa di kesempatan berikutnya.

Proyek relokasi pipa di jembatan Ciwaringin Cirebon yang dikerjakan oleh PT. XYZ direncanakan selesai secara keseluruhan hingga tanggal 27 November 2024, namun ketika dalam masa pelaksanaannya proyek mengalami keterlambatan dimana penyelesaian proyek aktual secara menyeluruh pada tanggal 23 Desember 2024. Proyek mengalami keterlambatan 26 hari mengakibatkan penggunaan waktu dan biaya menjadi tidak optimal.

2. METODE

Manajemen proyek

Manajemen proyek adalah penggunaan informasi, kemampuan, instrumen, dan metode dalam aktivitas proyek untuk memenuhi persyaratan proyek. Tahapan proses manajemen proyek inisiasi, perencanaan, implementasi, pemantauan dan pengendalian, serta penyelesaian seluruh proses proyek diterapkan dan diintegrasikan untuk menjalankan manajemen proyek. Setiap proyek selalu dibatasi dalam pelaksanaannya oleh batasan ruang lingkup, waktu, dan biaya yang umumnya disebut sebagai segitiga kendala proyek yang saling memengaruhi. Di mana keseimbangan ketiga konstrain tersebut akan menentukan kualitas suatu proyek. Perubahan salah satu atau lebih faktor tersebut akan mempengaruhi setidaknya satu faktor lainnya. (PMBOK Guide, 2004).

Tujuan Manajemen Proyek

Tujuan utama dari manajemen proyek adalah mencapai hasil yang diinginkan dari suatu proyek dengan efektif dan efisien (Setiawan, 2019). Ini melibatkan mengoptimalkan penggunaan sumber daya yaitu tenaga kerja, waktu, biaya, dan materi untuk mencapai tujuan proyek. Tujuan khusus dari manajemen proyek meliputi:

- a. Pencapaian Tujuan Proyek: Mencapai tujuan proyek merupakan tujuan mendasar dari manajemen proyek. Hal ini mencakup penyelesaian proyek sesuai dengan pedoman yang ditetapkan, menjamin kualitas
- b. Pengendalian Waktu dan Biaya: Manajemen proyek bertujuan untuk mengelola jadwal waktu dan anggaran biaya proyek agar tetap berada dalam batas yang ditetapkan. Ini melibatkan perencanaan, pelaksanaan, dan pemantauan secara cermat untuk mencegah penundaan dan lonjakan biaya yang tidak diinginkan.
- c. Manajemen Risiko: Tujuan lain adalah mengidentifikasi, menilai, dan mengelola risiko-risiko yang dapat mempengaruhi keberhasilan proyek. Manajemen proyek berfokus pada pengurangan risiko dan pengambilan tindakan pencegahan yang diperlukan untuk mengatasi tantangan yang mungkin muncul.
- d. Pengelolaan Sumber Daya: Manajemen proyek mencakup alokasi dan penggunaan optimal sumber daya seperti tenaga kerja, peralatan, dan bahan agar sesuai dengan kebutuhan proyek. Ini membantu dalam menghindari pemborosan dan meningkatkan efisiensi.

- e. Pemenuhan Harapan Pemangku Kepentingan (Stakeholders): Manajemen proyek bertujuan untuk memenuhi harapan dan kepentingan berbagai pihak yang terlibat dalam proyek, termasuk klien, tim proyek, pemasok, dan masyarakat luas. Ini melibatkan komunikasi yang efektif dan manajemen hubungan yang baik.

Critical Path Method (CPM)

CPM merupakan bagian dari *Critical Path Method* (juga dikenal sebagai metode "kritis"). Dalam *Critical Path Method* (CPM), terdapat dua jenis estimasi waktu dan biaya untuk setiap aktivitas yang terjadi dalam suatu jaringan: estimasi normal, yang merupakan estimasi waktu dan biaya, dan estimasi crash, yang merupakan estimasi waktu dan biaya. *Critical Path Method*, atau CPM, digunakan untuk mengevaluasi aspek-aspek kritis suatu proyek. Ini merupakan teknik manajemen yang menggabungkan metode analisis proyek dan pengembangan proyek yang digunakan secara luas oleh semua sistem yang mengikuti prinsip-prinsip pengembangan jaringan.

Jalur kritis sangat penting untuk implementasi proyek karena mencakup sejumlah aktivitas penting yang, jika tidak diselesaikan tepat waktu, akan menyebabkan keterlambatan pada keseluruhan proyek. Mungkin ada lebih dari satu jalur kritis dalam jaringan. Jalur kritis berjalan dari aktivitas pertama hingga aktivitas terakhir proyek. Metode Jalur Kritis, atau CPM, menganggap waktu yang dibutuhkan agar menyelesaikan berbagai tahap proyek dapat diketahui dengan pasti, dengan mempertimbangkan hubungan antara waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek dan sumber daya yang dihabiskan.

Metode Jalur Kritis (CPM) adalah analisis jaringan yang berupaya meminimalkan waktu penyelesaian proyek untuk memaksimalkan biayanya dengan mempertimbangkan hubungan antara waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan proyek dan sumber daya yang diinvestasikan. Dibandingkan dengan pendekatan diagram batang, metode pendekatan Jalur Kritis (CPM) memiliki keunggulan karena dapat menunjukkan tindakan kritis, yang memfasilitasi perencanaan proses, pengendalian/pemantauan, dan pembaruan.

Identifikasi Masalah

Proyek relokasi pipa di jembatan Ciwaringin Cirebon yang dikerjakan oleh PT. XYZ direncanakan selesai secara keseluruhan pada tanggal 27 November 2024, namun dalam pelaksanaannya proyek mengalami keterlambatan dimana penyelesaian proyek aktual secara menyeluruh pada tanggal 23 Desember 2024. Proyek mengalami keterlambatan 26 hari sehingga penggunaan waktu menjadi tidak optimal dalam proses pelaksanaannya.

Akibat keterlambatan proyek yang dialami kontraktor dalam pekerjaan tersebut, perlu dilakukan evaluasi penjadwalan agar kondisi serupa tidak terjadi di kesempatan berikutnya. Penerapan metode CPM diharapkan dapat digunakan dalam mengevaluasi penjadwalan proyek relokasi pipa di jembatan Ciwaringin Cirebon agar tercapai waktu dan biaya yang optimal.

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian dilaksanakan pada proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaingin Cirebon dan direksi keet pelaksana untuk pengumpulan serta pengolahan data. Dengan demikian proses penelitian diharapkan dapat berjalan dengan lancar.

Pengumpulan Data

Sumber data yang dijadikan sebagai pusat informasi merupakan data yang valid yang dilakukan selama proyek ini mulai sampai dengan selesai. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Data Primer meliputi data kegiatan proyek, jadwal proyek, durasi pekerjaan ditentukan dan laporan proyek akhir proyek.

JTIN Jurnal Teknik Industri

Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

- b. Data Sekunder meliputi profil perusahaan, struktur organisasi, Visi dan Misi Perusahaan dan data-data lain yang relevan.

Analisis dan Evaluasi Data

Data yang dianalisis merupakan data rencana penjadwalan proyek. Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi:

- Menganalisis dari data rencana penjadwalan proyek
- Membuat *network planning*
- Membuat jaringan kerja
- Perbaikan penjadwalan.

Evaluasi data merupakan hasil dari rencana penjadwalan proyek setelah dilakukan tahapan analisis dan akan diperoleh data evaluasi penjadwalan setelah dilakukan perbaikan. Data yang dihasilkan dari evaluasi merupakan perhitungan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan data yang dihasilkan akan digunakan sebagai pembandingan dari rencana penjadwalan proyek ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Rencana Proyek

Jadwal pekerjaan yang telah disepakati dimulai pada tanggal 10 Juli 2024 dan rencana selesai di 27 November 2024, dengan total durasi waktu yang disediakan mulai dari serah terima SPK pekerjaan adalah selama 140 hari.

Tabel 1. Data Rencana Proyek Relokasi Pipa Gas

Nama Proyek	Relokasi Pipa Gas di Jembatan Ciwaringin
Lokasi	Jembatan Ciwaringin, Cirebon
Pemberi Tugas	PT. INT
Pelaksana Proyek	PT. XYZ
Waktu Pelaksanaan	10 Juli – 27 Nov 2024
Durasi Proyek	140 Hari Kalender

Jadwal Rencana Proyek Relokasi Pipa Gas yang berlokasi di Jembatan Ciwaringin dapat dilihat pada gambar 1.

TIME LINE RENCANA (TENTATIVE)																								
Pekerjaan		Pekerjaan Relokasi Pipa 6 Inch di Jembatan Ciwaringin Jalan Cirebon - Bandung Lokasi Proyek																						
SPK		11-Jul-24																						
Jangka Waktu		140 Hari Kalender (Tentative)																						
KETERANGAN		BULAN 1 (JULI)			BULAN 2 (AGUSTUS)					BULAN 3 (SEPTEMBER)					BULAN 4 (OKTOBER)					BULAN 5 (NOVEMBER)				KETERANGAN
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20			
		11-Jul-24	18-Jul-24	25-Jul-24	1-Aug-24	8-Aug-24	15-Aug-24	22-Aug-24	29-Aug-24	5-Sep-24	12-Sep-24	19-Sep-24	26-Sep-24	3-Oct-24	10-Oct-24	17-Oct-24	24-Oct-24	31-Oct-24	7-Nov-24	14-Nov-24	21-Nov-24			
		17-Jul-24	24-Jul-24	31-Jul-24	7-Aug-24	14-Aug-24	21-Aug-24	28-Aug-24	4-Sep-24	11-Sep-24	18-Sep-24	25-Sep-24	2-Oct-24	9-Oct-24	16-Oct-24	23-Oct-24	30-Oct-24	6-Nov-24	13-Nov-24	20-Nov-24	27-Nov-24			
I	PEKERJAAN PERSIAPAN	1	2	3	4	5	6														Survey Lokasi, Perijinan & Koordinasi, Pengangkutan Material, Mobilisasi, Direktori, Pembuatan Banner & Rambu, Pembersihan lahan, Test pit, Pemasangan Dinding Franchise Galian.			
II	PENYEDIAAN MATERIAL							1	2	3	4	5										Material Pipa di Gudang Kleuder, Fitting dan Aksesoris by Kontraktor		
III	PEKERJAAN BONGKARAN DAN GALIAN									1	2	3	4	5	6							Bongkaran & Galian menggunakan Alat berat dan Manual		
IV	PEKERJAAN PEMASANGAN											1	2	3	4	5	6	7				Penjajaran Pipa, Pemotongan, Pembevelan, Penurunan Pipa, Pengelasan Tie in & Line Up, & Field Joint Coating		
V	PEKERJAAN KHUSUS (HDD)						1	2	3	4	5	6	7	8	9							Pekerjaan Manual Boring & Horizontal Directional Drilling		
VI	PEKERJAAN PENGUJIAN												1	2	3	4	5	6	7			NDT Radiography, Dye Penetrant, UT, Cleaning, Hydrostatic Test, Dewatering, Swabbing, Purging, Peel Test, Holdday test, Commissioning & Gas in		
VII	PEKERJAAN GOLDEN JOINT																	1	2			Golden Joint Pipa Baru ke Pipa Existing		
VIII	PEKERJAAN PERBAIKAN/ REKONDISI																	1	2	3	4	Pengaturan Galian, Perbaikan Aeri yang terdampak Pekerjaan, Penambahan Tanah Bekas Galian, dan Pengambilan Sisa Pipa & Pipa Ekor Jaringan ke Gudang PGC		
IX	PEKERJAAN PENYELESAIAN AKHIR																			1	2	Laporan Pekerjaan, Dokumentasi Foto, Gambar Rencana, As Built Drawing, dan Dokumen QA/QC		

Rencana Kontrolasi

Rencana Golden Joint

Gambar 1 Jadwal Rencana Proyek Relokasi Pipa Gas

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

Tenaga Kerja

Sumber daya tenaga kerja pada proyek ini merupakan pekerja yang telah dipilih oleh kontraktor sesuai dengan keahliannya. Berikut ini data tenaga kerja untuk proyek yang telah dijalankan.

Tabel 2. Daftar Tenaga Kerja Proyek Relokasi Pipa Gas

No	Pekerja	Jumlah
1	Mechanical	20
2	Civil	15
3	HDD	10
4	Surveyor	5
5	Engineer	4
6	Staff	5
Jumlah Tenaga Kerja		59

Elemen Kegiatan Pekerjaan

Untuk mengidentifikasi kegiatan secara beruntun, maka tiap pekerjaan harus di breakdown terlebih dahulu sehingga mudah dalam mengatur pelaksanaan kegiatan. Berikut ini adalah data work breakdown structure untuk elemen-elemen kegiatan pekerjaan :

Tabel 3 Elemen Pekerjaan Proyek Relokasi Pipa Gas

No	Jenis Kegiatan
1	Pekerjaan Persiapan a) Survei Lokasi b) Engineering design c) Perizinan dinas terkait d) Pekerjaan pengangkutan pipa dan <i>fitting</i> e) Pembuatan dinding pengaaman <i>banner</i> f) Pembuatan rambu-rambu g) Pembuatan papan nama proyek h) Pembuatan direksi keet i) Pembersihan lokasi untuk pekerjaan j) Peralatan K3PL
2	Pengadaan Material a) Pengadaan pipa b) Pengadaan <i>fitting</i> pipa c) Pengadaan sandbag Pengadaan <i>Heat shrink sleve</i>
3	Pekerjaan Bongkaran dan Galian a) Galian tanah keras b) Bongkaran pondasi batu kali c) Bongkaran saluran air d) Bongkaran rabat beton
No	Jenis Kegiatan
4	Pekerjaan Pemasangan a) Penjajaran pipa b) Pemotongan pipa c) Pembevelan pipa d) Pengelasan pipa e) Pekerjaan <i>field joint coating</i>
5	Pekerjaan Khusus a) Pekerjaan <i>horizontal directional drilling</i> (<i>crossing</i> Sungai)
6	Pekerjaan Pengujian a) Pengujian <i>holiday test</i> b) Pengujian <i>non destructive test</i> (NDT) c) Pengujian <i>cleaning</i> pipa

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

	d) Pengujian hidrostatik e) Pengujian <i>dewatering</i> f) Pengujian <i>swabbing</i> g) Pengujian <i>N2 purging</i>
7	Pekerjaan <i>Golden Joint</i>
8	Pekerjaan Rekondisi a) Pengurugan galian tanah b) Perbaikan rabat beton c) Perbaikan pondasi batu kali d) Pembuangan tanah bekas galian e) Pengangkutan pipa eks jaringan f) Pekerjaan <i>housekeeping area</i>
9	Pekerjaan Penyelesaian Akhir a) Laporan pekerjaan b) Foto dokumentasi c) Pembutan gambar

Pengolahan Data

Berdasarkan data-data dan identifikasi masalah maka pada penelitian ini akan menggunakan pengolahan data dengan metode CPM sehingga bisa menentukan lintasan kritis dalam penjadwalan proyek relokasi pipa gas jembatan Ciwaringin Cirebon, dan untuk perhitungan pada pengolahan data menggunakan perangkat *microsoft excel*.

Breakdown Rencana Pekerjaan Proyek

Proyek pekerjaan relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon dibagi dalam beberapa bagian, berikut ini adalah tabel yang berisikan kegiatan apa saja yang dilaksanakan selama proyek yang telah direncanakan. Pada tabel dibawah akan terlihat pekerjaan apa saja yang dilakukan, durasi pekerjaan dan kapan pekerjaan dimulai dan kapan pekerjaan berakhir. Selanjutnya melakukan pengolahan data dari rencana penjadwalan proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon dengan menggunakan cara seperti yang dilakukan pada tabel 4.

Tabel 4 Breakdown Rencana Pekerjaan Proyek Relokasi Pipa Gas

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Start	End
1	Pekerjaan Persiapan	42	11-Jul-24	21-Aug-24
	Perizinan dinas terkait	38	15-Jul-24	21-Aug-24
	Engineering design	21	11-Jul-24	31-Jul-24
	Pekerjaan pengangkutan pipa dan fitting	22	31-Jul-24	21-Aug-24
	Survei lokasi	21	1-Aug-24	21-Aug-24
	Pembuatan direksi keet	8	20-Jul-24	27-Jul-24
	Pembuatan dinding pengaaman banner	25	28-Jul-24	21-Aug-24
	Pembuatan rambu-rambu	33	28-Jul-24	29-Aug-24
	Pembuatan papan nama proyek	6	28-Jul-24	2-Aug-24
	Pembersihan Lokasi untuk pekerjaan	37	16-Jul-24	21-Aug-24
	Peralatan K3PL	21	1-Aug-24	21-Aug-24
2	Pengadaan Material	35	22-Aug-24	25-Sep-24
	Pengadaan pipa	20	22-Aug-24	10-Sep-24
	Pengadaan fitting pipa	30	22-Aug-24	20-Sep-24
	Pengadaan sandbag	11	22-Aug-24	1-Sep-24
	Pengadaan Heat shrink sleve	35	22-Aug-24	25-Sep-24
3	Pekerjaan Bongkaran dan Galian	42	5-Sep-24	16-Oct-24
	Galian tanah keras	36	26-Sep-24	31-Oct-24
	Bongkaran pondasi batu kali	36	26-Sep-24	31-Oct-24

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

	Bongkaran saluran air	28	4-Oct-24	31-Oct-24
	Bongkaran rabat beton	42	26-Sep-24	6-Nov-24
4	Pekerjaan Pemasangan	49	19-Sep-24	6-Nov-24
	Penjajaran pipa	13	19-Sep-24	1-Oct-24
	Pemotongan pipa	37	1-Oct-24	6-Nov-24
	Pembevelan pipa	44	1-Oct-24	13-Nov-24
	Pengelasan pipa	35	3-Oct-24	6-Nov-24
	Pekerjaan field joint coating	38	7-Oct-24	13-Nov-24
5	Pekerjaan Khusus	54	18-Aug-24	10-Oct-24
	Pekerjaan horizontal directional drilling (crossing Sungai)	54	18-Aug-24	10-Oct-24
6	Pekerjaan Pengujian	43	19-Sep-24	31-Oct-24
	Pengujian holiday test	43	19-Sep-24	31-Oct-24
	Pengujian non destructive test (NDT)	42	19-Sep-24	31-Oct-24
	Pengujian cleaning pipa	19	12-Oct-24	30-Oct-24
	Pengujian hydrostatic test	19	12-Oct-24	30-Oct-24
	Pengujian dewatering	7	15-Oct-24	31-Oct-24
	Pengujian swabbing	7	15-Oct-24	31-Oct-24
	Pengujian n2 purging	3	29-Oct-24	31-Oct-24
7	Pekerjaan Golden Joint	8	31-Oct-24	7-Nov-24
8	Pekerjaan Perbaikan/ Rekondisi	34	25-Oct-24	27-Nov-24
	Pengurugan galian tanah	8	20-Nov-24	27-Nov-24
	Perbaikan rabat beton	26	2-Nov-24	27-Nov-24
	Perbaikan pondasi batu kali	8	20-Nov-24	27-Nov-24
	Pembuangan tanah bekas galian	8	20-Nov-24	27-Nov-24
	Pengangkutan pipa eks jaringan	8	20-Nov-24	27-Nov-24
	Pekerjaan housekeeping area	34	25-Oct-24	27-Nov-24
9	Pekerjaan Penyelesaian Akhir	14	14-Nov-24	27-Nov-24
	Laporan pekerjaan	14	14-Nov-24	27-Nov-24
	Foto dokumentasi	14	14-Nov-24	27-Nov-24
	Pembuatan gambar	14	14-Nov-24	27-Nov-24

Tabel 4 di atas terlihat ada beberapa pekerjaan yang merupakan kegiatan pada jalur kritis. Jalur kritis merupakan rantai terpanjang dari kejadian yang berhubungan, ini merupakan urutan tunggal tugas yang mengkombinasikan waktu yang diperlukan untuk menentukan waktu penyelesaian minimum yang mungkin untuk sekumpulan tugas. Jalur kritis proyek ditandai dengan garis tebal. Identifikasi jalur kritis adalah penting karena keterlambatan dalam salah satu tugas kritis akan menyebabkan peningkatan lamanya proyek. Bagian lain memiliki toleransi waktu, artinya keterlambatan pada satu tugas yang tidak kritis, tidak secara langsung namun berdampak mengakibatkan keterlambatan pada seluruh proyek.

Dengan melakukan *breakdown* kegiatan terlebih dahulu sehingga dapat diatur ulang dengan lebih mudah. *Breakdown* pekerjaan dibuat menjadi dua, yaitu *breakdown* pekerjaan secara umum dan *breakdown* pekerjaan secara detail.

Breakdown Pekerjaan secara Umum

Selanjutnya melakukan *breakdown* rencana pekerjaan secara umum untuk memudahkan dalam proses pengolahan data, yaitu sesuai tabel dibawah ini:

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

Tabel 5 Breakdown Pekerjaan Proyek Relokasi Pipa Gas secara Umum

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Kode	Pekerjaan Sebelumnya
1	Pekerjaan Persiapan	42	A	-
2	Pengadaan Material	35	B	A
3	Pekerjaan Bongkaran dan Galian	42	C	A
4	Pekerjaan Pemasangan	49	D	A
5	Pekerjaan Khusus	54	E	A
6	Pekerjaan Pengujian	43	F	A
7	Pekerjaan Golden Joint	8	G	B-C-D-E-F
8	Pekerjaan Perbaikan/ Rekondisi	34	H	G
9	Pekerjaan Penyelesaian Akhir	14	I	H

Tabel 5 menjelaskan terdapat 9 pekerjaan inti, di mana masing-masing pekerjaan tersebut memerlukan waktu durasi pekerjaan, kode pekerjaan dan alur pekerjaannya. Dapat dilihat dari tabel hasil olah data diatas pekerjaan yang memerlukan waktu pekerjaan terpendek adalah pekerjaan *Golden Joint* selama 8 hari pekerjaan, dan pekerjaan yang memerlukan waktu terlama adalah pekerjaan khusus selama 54 hari pekerjaan.

Breakdown Pekerjaan secara Detail

Setelah didapat data pekerjaan secara umum, kemudian Peneliti melakukan pengolahan dengan breakdown rencana pekerjaan secara detail, yaitu sesuai tabel di bawah ini:

Tabel 6 *Breakdown* Rencana Pekerjaan Proyek Relokasi Pipa Gas secara Detail

No	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Kode	Pekerjaan Sebelumnya
1	Pekerjaan Persiapan	42	A	-
2	Perizinan dinas terkait	38	A1	-
3	Engineering design	21	A2	-
4	Pekerjaan pengangkutan pipa dan fitting	22	A3	A2
5	Survei Lokasi	21	A4	-
6	Pembuatan direksi keet	8	A5	-
7	Pembuatan dinding pengaaman banner	25	A6	A5
8	Pembuatan rambu-rambu	33	A7	A5
9	Pembuatan papan nama proyek	6	A8	A5
10	Pembersihan Lokasi untuk pekerjaan	37	A9	-
11	Peralatan K3PL	21	A10	-
12	Pengadaan Material	35	B	A
13	Pengadaan pipa	20	B1	-
14	Pengadaan fitting pipa	30	B2	-
15	Pengadaan sandbag	11	B3	-
16	Pengadaan Heat shrink sleeve	35	B4	-
17	Pekerjaan Bongkaran dan Galian	42	C	A
18	Galian tanah keras	36	C1	-
19	Bongkaran pondasi batu kali	36	C2	-
20	Bongkaran saluran air	28	C3	-
21	Bongkaran rabat beton	42	C4	-
22	Pekerjaan Pemasangan	49	D	A

JTIN Jurnal Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

23	Penjajaran pipa	13	D1	-
24	Pemotongan pipa	36	D2	D1
25	Pembevelan pipa	44	D3	
26	Pengelasan pipa	35	D4	A
27	Pekerjaan field joint coating	38	D5	-
28	Pekerjaan Khusus	54	E	A
29	Pekerjaan horizontal directional drilling (crossing Sungai)	54	E	A
30	Pekerjaan Pengujian	43	F	A
31	Pengujian holiday test	43	F1	-
32	Pengujian non destructive test (NDT)	42	F2	-
33	Pengujian cleaning pipa	19	F3	-
34	Pengujian hydrostatic test	19	F4	-
35	Pengujian dewatering	7	F5	F4
36	Pengujian swabbing	7	F6	F4
37	Pengujian n2 purging	3	F7	F5
38	Pekerjaan Golden Joint	8	G	B-C-D-E-F
39	Pekerjaan Perbaikan/ Rekondisi	34	H	G
40	Pengurugan galian tanah	8	H1	-
41	Perbaikan rabat beton	26	H2	-
42	Perbaikan pondasi batu kali	8	H3	-
43	Pembuangan tanah bekas galian	8	H4	-
44	Pengangkutan pipa eks jaringan	8	H5	-
45	Pekerjaan housekeeping area	34	H6	-
46	Pekerjaan Penyelesaian Akhir	14	I	H
47	Laporan pekerjaan	14	I1	-
48	Foto dokumentasi	14	I2	-
49	Pembuatan gambar	14	I3	-

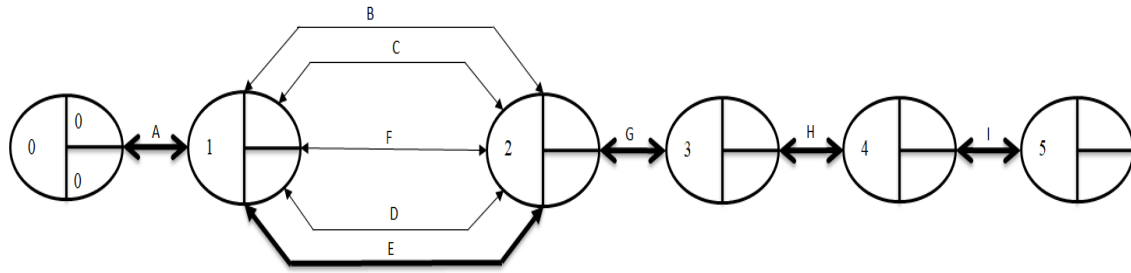
Dari tabel 6 telah diketahui pekerjaan-pekerjaan yang dikerjakan pada proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon. Masing-masing pekerjaan memiliki pengaruh pada pekerjaan lainnya, jadi untuk mengatasi kondisi tersebut, masing-masing pekerjaan ini dijabarkan kembali menjadi sub pekerjaan agar dapat mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitiannya. Kemudian durasi pekerjaan dan kode pekerjaan juga perlu sebagai bagian dari pengolahan data yang dilakukan oleh peneliti. Selanjutnya peneliti melakukan pengolahan data terkait jaringan kerja.

Jaringan Kerja

Dari *data breakdown* pekerjaan yang telah dilakukan diatas, selanjutnya melakukan pengolahan data dengan membuat jaringan kerja :

Jaringan Kerja Pekerjaan Secara Umum

Sebelum dilakukan perbaikan maka harus dibuat jaringan kerja terlebih dahulu sehingga dapat diatur ulang dengan lebih mudah penjadwalan proyek ini.



Gambar 2 Jaringan Kerja Proyek Relokasi Pipa Gas Secara Umum.

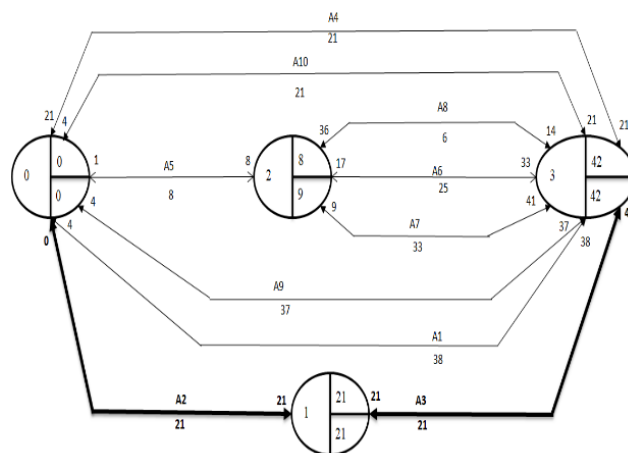
Dari gambar 2 diperoleh jaringan kerja pekerjaan inti pada proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon, ditemukan ada pekerjaan yang bisa dilakukan secara bersamaan dan ada pekerjaan yang dapat dikerjakan setelah pekerjaan sebelumnya diselesaikan. Dari gambar jaringan kerja pekerjaan inti diatas kemudian akan dijabarkan lebih lanjut dan dilakukan perhitungan pada pembahasan dibawah.

Jaringan Kerja Proyek Relokasi Pipa Gas Secara Detail

Setelah pengolahan data jaringan kerja pekerjaan secara umum, kemudian selanjutnya peneliti melakukan pengolahan data untuk mendapatkan jaringan kerja secara detail, yaitu sebagai berikut:

Pekerjaan A

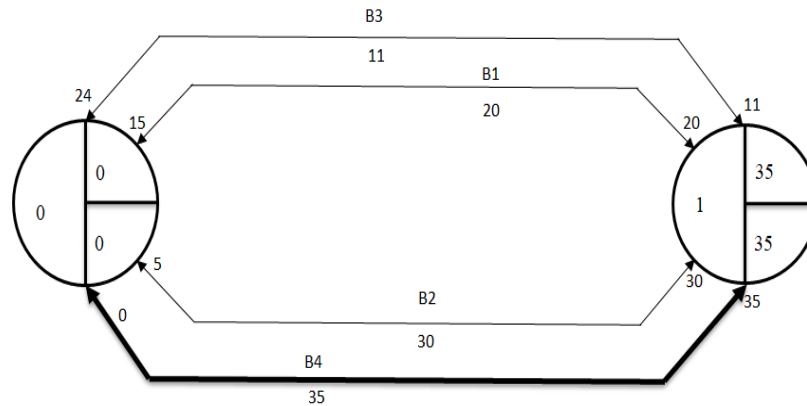
Berikut ini jaringan kerja pada pekerjaan persiapan, didalamnya terdapat pekerjaan: perizinan dinas terkait (A1), engineering design (A2), pekerjaan pengangkutan pipa dan *fitting* (A3), survei lokasi (A4), pembuatan *direksi keet* (A5), pembuatan dinding pengaaman *banner* (A6), pembuatan rambu-rambu (A7), pembuatan papan nama proyek (A8), pembersihan lokasi untuk pekerjaan (A9), peralatan *K3PL* (A10). Dari seluruh pekerjaan persiapan ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi kerja terlama ialah perizinan dinas (A1) selama 38 hari dan pekerjaan yang harus diselesaikan secara berkelanjutan ialah pekerjaan *engineering design* (A2) selama 21 hari ditambah dengan pekerjaan survei lokasi (A3) selama 21 hari, pekerjaan $A2 + A3 = 42$ hari kerja.



Gambar 3 Jaringan Kerja Pekerjaan Persiapan Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan B

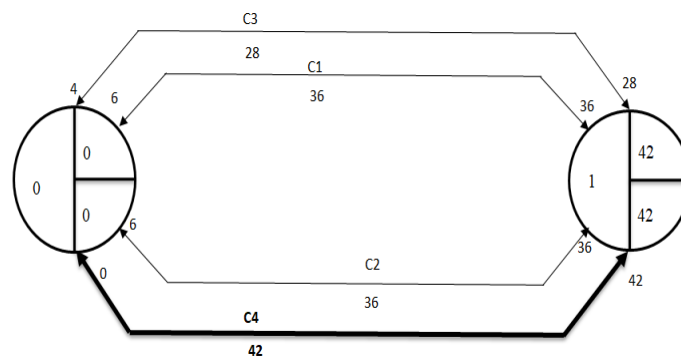
Berikut jaringan kerja pekerjaan pengadaan material, didalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut: pengadaan pipa (B1), pengadaan *fitting* pipa (B2), pengadaan sandbag (B3), pengadaan *heat shrink sleeve* (B4). Dari seluruh pekerjaan pengadaan material ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi pekerjaan terlama ialah pengadaan *heat shrink sleeve* (B4) dengan durasi selama 35 hari.



Gambar 4 Jaringan Kerja Pengadaan Material Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan C

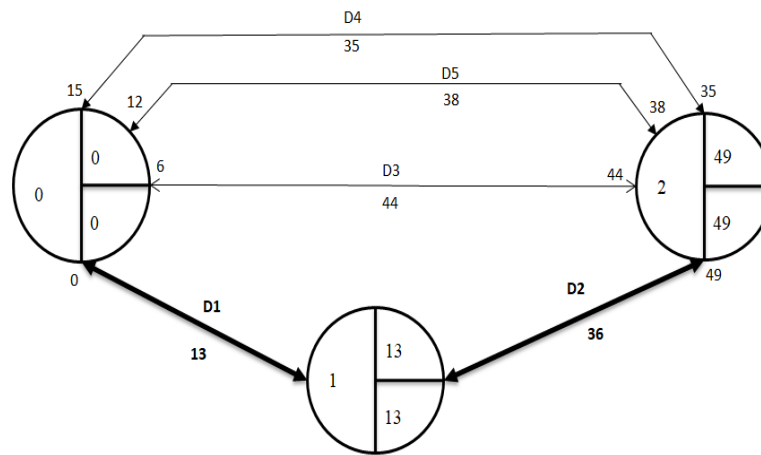
Berikut jaringan kerja pekerjaan bongkaran dan galian, didalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut: galian tanah keras (C1), bongkaran pondasi batu kali (C2), bongkaran saluran air (C3), bongkaran rabat beton (C4). Dari pekerjaan bongkaran dan galian ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi pekerjaan terlama ialah pekerjaan bongkaran rabat beton (C4) selama 42 hari kerja.



Gambar 5 Jaringan Kerja Bongkaran dan Galian Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan D

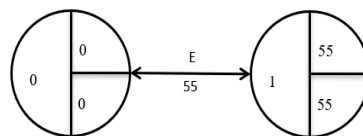
Berikut jaringan kerja pekerjaan pemasangan, di dalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut: penjajaran pipa (D1), pemotongan pipa (D2), pembevelan pipa (D3), pengelasan pipa (D4), pekerjaan *field joint coating* (D5). Dari pekerjaan pemasangan ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi pekerjaan terlama ialah pekerjaan gabungan antara pekerjaan penjajaran pipa (D1) selama 13 hari ditambah dengan pekerjaan pemotongan pipa (D2) selama 36 hari. Dimana pekerjaan $D1+D2=49$ hari kerja.



Gambar 6 Jaringan Kerja Pekerjaan Pemasangan Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan E

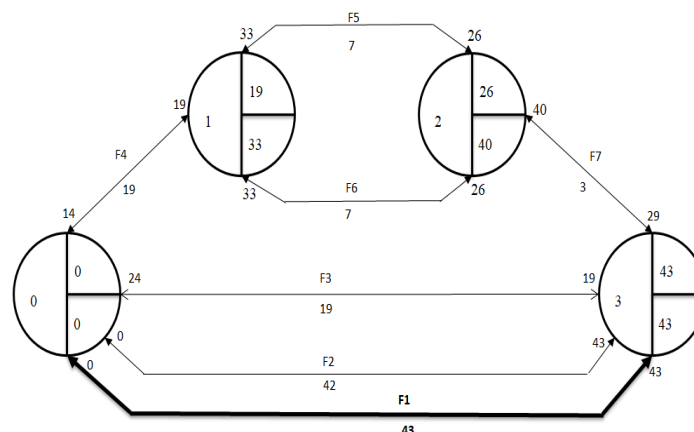
Berikut jaringan kerja pekerjaan khusus, pekerjaan ini merupakan pekerjaan *horizontal directional drilling* (E) dengan durasi pekerjaan selama 55 hari. Pekerjaan ini berdiri sendiri karna membutuhkan mesin, alat dan keahlian khusus pada pelaksanaan pekerjaannya.



Gambar 7 Jaringan Kerja Pekerjaan Khusus Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan F

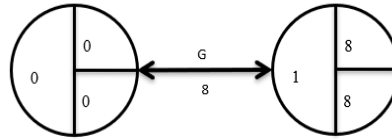
Berikut jaringan kerja pekerjaan pengujian, didalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut: pengujian *holiday test* (F1), pengujian *non destructive test* (F2), pengujian *cleaning* pipa (F3), pengujian *hydrostatic test* (F4), pengujian *dewatering* (F5), pengujian *N2 purging* (F6). Dari pekerjaan pengujian ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi pekerjaan terlama ialah pekerjaan *holiday test* (F1) selama 43 hari.



Gambar 8 Jaringan Kerja Pekerjaan Pengujian Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan G

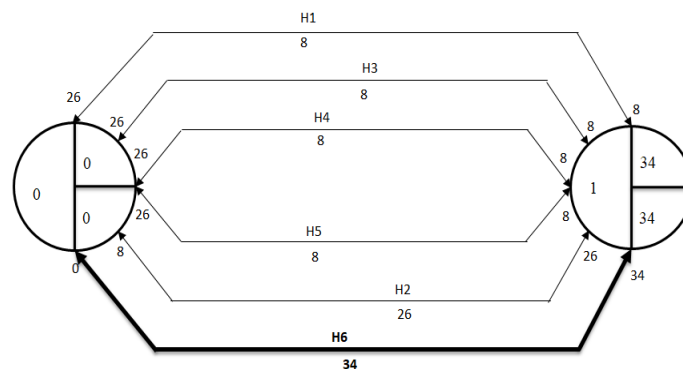
Berikut jaringan kerja pekerjaan *Golden Joint* ditandai dengan G. Pekerjaan ini membutuhkan durasi waktu selama 8 hari kerja, namun pekerjaan ini hanya bisa dilaksanakan jika pekerjaan B-C-D-E-F telah selesai dilaksanakan.



Gambar 9 Jaringan Kerja Pekerjaan Golden Joint Proyek Relokasi Pipa Gas

Pekerjaan H

Berikut jaringan kerja pekerjaan perbaikan atau rekondisi, didalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut : pengurugan galian tanah (H1), perbaikan rabat beton (H2), perbaikan pondasi batu kali (H3), pembuangan tanah bekas galian (H4), pengangkutan pipa eks jaringan (H5), dan pekerjaan housekeeping area kerja (H6). Dari pekerjaan perbaikan ini, pekerjaan yang membutuhkan durasi pekerjaan terlama ialah pekerjaan housekeeping (H6) dengan durasi pekerjaan selama 34 hari.

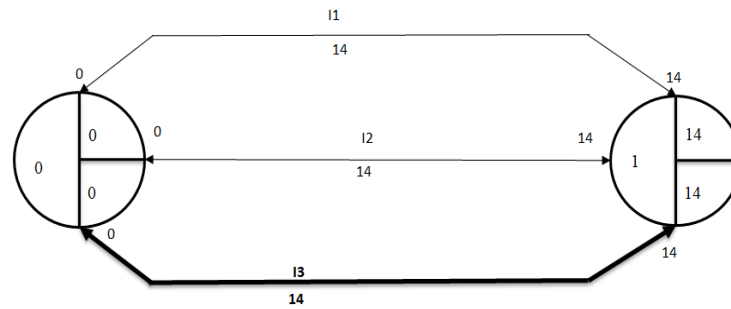


Gambar 10 Jaringan Kerja Perbaikan atau Rekondisi Proyek Relokasi Pipa Gas

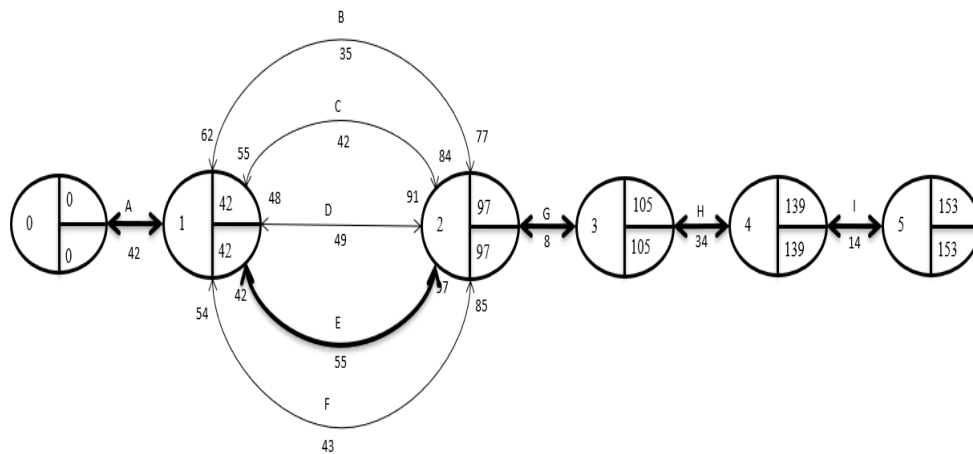
Pekerjaan I

Berikut jaringan kerja pekerjaan penyelesaian akhir, didalamnya terdapat pekerjaan sebagai berikut: laporan pekerjaan (I1), foto dokumentasi (I2), pembuatan gambar (I3). Dari ketiga pekerjaan penyelesaian akhir ini membutuhkan durasi yang sama, yaitu selama 14 hari pekerjaan.

Berikut jaringan kerja pekerjaan secara keseluruhan pada proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon setelah dilakukan penjabarkan dan perhitungan dengan menggunakan metode Critical Path Method CPM, rencana pekerjaan yang dihasilkan berdurasi selama 153 hari, lebih lama dari rencana pekerjaan yang telah direncanakan oleh pihak kontraktor selama 140 hari. Hasilnya teradapat pada gambar dibawah ini.



Gambar 11 Jaringan Kerja Pekerjaan Penyelesaian Akhir Proyek Relokasi Pipa Gas



Gambar 12 Jaringan Kerja Hasil Perhitungan CPM Proyek Relokasi Pipa Gas

Penentuan Jalur Kritis dan Durasi Proyek.

Dalam penentuan jalur kritis dan durasi proyek, perlu dilakukan proses perhitungan agar didapat data jalur kritis dan durasi proyeknya, yaitu sebagai berikut :

a. Penentuan jalur kritis dan durasi proyek.

Perhitungan Maju (ES dan EF)

$$E(1)=0 \quad EF(i-j) = ES(i-j)+t(i-j)$$

<i>Forward</i> (Menghitung ES dan EF)	<i>Pass</i>	<i>Backward</i> (Menghitung LS dan LF)	<i>Pass</i>
A: ES=0, EF=42		I: LS=139, LF=153	
B: ES=42, EF=77		H: LS=105, LF=139	
C: ES=42, EF=84		G: LS=97, LF=105	
D: ES=42, EF=91		F: LS=42, LF=85	
E: ES=42, EF=97		E: LS=42, LF=97	
F: ES=42, EF=85		D: LS=42, LF=91	
G: ES=97, EF=105		C: LS=42, LF=84	
H: ES=105, EF=139		B: LS=42, LF=77	
I: ES=139, EF=153		A: LS=0, LF=42	

b. Menentukan Jalur Kritis

Jalur kritis pada proyek pekerjaan relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon ini yaitu **A → E → G → H → I**. Durasi proyek didapat setelah evaluasi ialah selama **153 hari**

c. Perhitungan *Float*

Tabel 7 Hasil Perhitungan Float Proyek Relokasi Pipa Gas

Job	Paling Awal		Paling Akhir		Total Float	Free Float
	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai		
A-I	ES	EF	LS	LF	TF	FF
A	0	42	0	42	0	0
B	42	77	49	84	7	7
C	42	84	49	91	7	7
D	42	91	49	98	7	7
E	42	97	42	97	0	0
F	42	85	49	92	7	7
G	97	105	97	105	0	0
H	105	139	105	139	0	0
I	139	153	139	153	0	0

Pembahasan dari Evaluasi Penjadwalan Proyek Relokasi Pipa Gas

Penjadwalan rencana sebuah pekerjaan hal yang sangat penting untuk dirancang dengan baik, terutama perencanaan pada pekerjaan relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon. Berdasarkan rencana penjadwalan awal proyek ini dirancang dengan durasi waktu selama 140 hari kerja. Namun penjadwalan pekerjaan ini dirancang menggunakan metode gantt chart, yang sudah sering digunakan pada proyek yang sudah berjalan selama ini. Dari kondisi tersebut peneliti melakukan penelitian terkait penjadwalan proyek pekerjaan relokasikasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon ini dengan menggunakan metode Critical Path Method (CPM).

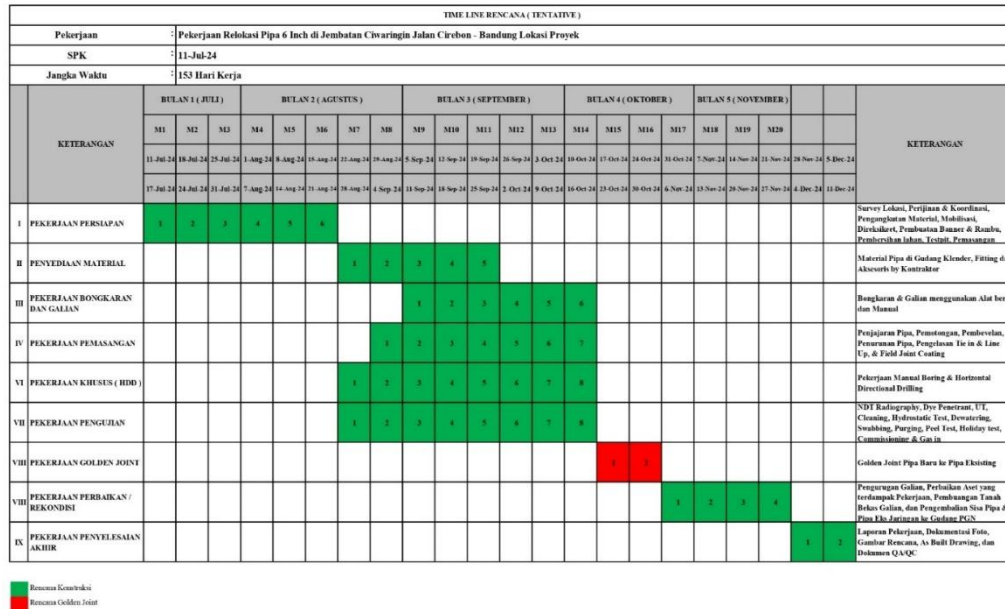
Pada proyek ini terdapat Sembilan pekerjaan inti yaitu : pekerjaan persiapan (A) dengan durasi pekerjaan selama 42 hari, pengadaan material (B) dengan durasi pekerjaan selama 35 hari, pekerjaan bongkaran dan galian (C) dengan durasi pekerjaan selama 42 hari, pekerjaan pemasangan (D) dengan durasi pekerjaan selama 49 hari, pekerjaan khusus (E) dengan durasi pekerjaan selama 55 hari, pekerjaan pengujian (F) dengan durasi pekerjaan selama 43 hari, pekerjaan Golden Joint (G) dengan durasi pekerjaan selama 8 hari, pekerjaan perbaikan dan rekondisi (H) dengan durasi pekerjaan selama 34 hari, dan pekerjaan penyelesaian akhir (I) dengan durasi pekerjaan selama 14 hari.

Kemudian peneliti melakukan perhitungan dan evaluasi terkait penjadwalan rencana proyek ini menggunakan metode Critical Path Method (CPM), Berdasarkan perhitungan dan penentuan jalur kritis dari pekerjaan proyek ini terdapat pekerjaan yang berada dalam jalur kritis, jalur kritis yang didapat berada pada pekerjaan A → E → G → H → I yaitu sebagai berikut : pekerjaan persiapan (A), pekerjaan khusus (E), pekerjaan Golden Joint (G), pekerjaan perbaikan dan rekondisi (H), pekerjaan penyelesaian akhir (I) serta didapat durasi pekerjaan selama 153 hari.

JTIN Jurnal Teknik Industri

Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarama, Jakarta

Kemudian dilakukan perbandingan penjadwalan rencana pekerjaan ini selama 140 hari dengan setelah dilakukan perhitungan dan evaluasi penjadwalan pekerjaan ini berdurasi selama 153 hari, terdapat perbedaan selama 13 hari lebih lama dari rencana. Perbedaan tersebut didasari dengan perbedaan penggunaan metode pembuatan rencana penjadwalan kerja. Sementara jika dibandingkan dengan realisasi pekerjaan selesai selama 166 hari. ini berarti bahwa dengan perbaikan yang dilakukan pekerjaan dapat selesai 13 hari lebih cepat dari pekerjaan realisasi yang telah selesai. Hasil dari perhitungan CPM ini dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Timeline Pekerjaan Setelah Dilakukan Evaluasi Proyek Relokasi Pipa Gas

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Terdapat 9 pekerjaan inti yaitu pekerjaan persiapan, penyediaan material, pekerjaan bongkaran dan galian, pekerjaan pemasangan, pekerjaan khusus, pekerjaan pengujian, pekerjaan Golden Joint, pekerjaan perbaikan atau rekondisi dan pekerjaan penyelesaian akhir pada proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon dengan Analisis jaringan kerja menggunakan metode Critical Path Method (CPM). Didapati pekerjaan dengan durasi pekerjaan tercepat ialah pekerjaan Golden Joint dengan durasi waktu selama 8 hari, dan pekerjaan dengan durasi pekerjaan terlama ialah pekerjaan khusus Horizontal Directional Drilling (HDD) dengan durasi waktu pekerjaan selama 55 hari.
- Dari hasil perhitungan dan evaluasi penjadwalan proyek ini, peneliti mendapatkan data perbandingan antara rencana penjadwalan dengan durasi pekerjaan selama 140 hari sedangkan hasil dari perhitungan peneliti mendapatkan hasil durasi pekerjaan selama 153 hari, terkait waktu durasi pekerjaan yang dilakukan oleh peneliti menggunakan metode Critical Path Method (CPM) yang membuat penjadwalan pekerjaan lebih lama 13 hari dari rencana awal yang dibuat oleh pelaksana dengan metode gantt chart.
- Hasil evaluasi penjadwalan yang optimal pada pekerjaan proyek relokasi pipa gas di jembatan Ciwaringin Cirebon didapat dari hasil perhitungan jalur kritis, dimana jalur kritis pada pekerjaan ini ialah pekerjaan A-E-G-H-I (pekerjaan persiapan - pekerjaan khusus - pekerjaan Golden Joint – pekerjaan perbaikan dan rekondisi – pekerjaan penyelesaian akhir) dengan total durasi waktu perbaikan penjadwalan selama 153 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Cho, K., Hong, T., & Hyun, C. (2010). Integrated schedule and cost model for repetitive construction process. *Journal of Management in Engineering*, ASCE, April 2010
- Dipohusodo, I. (1996). *Manajemen proyek dan konstruksi: Jilid 2*. Penerbit Kanisius.
- Hammad, A. A. A., Ali, S. M. A., Sweis, G. J., & Sweis, R. J. (2010). Statistical analysis on the cost and duration of public building projects. *Journal of Management in Engineering*, ASCE, April 2010,
- Kerzner, H. (2010). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (11th ed.). Wiley.
- Kim, Y. W., & Ballard, G. (2010). Management thinking in the earned value method system and the Last Planner System. *Journal of Management in Engineering*, ASCE, October 2010,
- Marshall, R. A. (2007). The contribution of earned value management to project success on contracted efforts. *Journal of Contract Management*, Summer 2007
- Moreno, F., Forcael, E., Romo, R., Orozco, F., Moroni, G., & Baesler, F. (2024). Agile project management in the pre-construction stage: Facing the challenges of projectification in the construction industry. *Buildings*, 14(11).
- Pacheco, P. O., Coello-Montecel, D., Tello, M., Lasio, V., & Armijos, A. (2023). How do project managers' competencies impact project success? A systematic literature review. *PLOS ONE*, 18(12), 1–23.
- Rahman, I. (2010). *Manajemen proyek konstruksi*. Andi.
- Ritz, G. J. (2013). *Total construction project management* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Shah, F. H., Bhatti, O. S., & Ahmed, S. (2023a). A review of the effects of project management practices on cost overrun in construction projects. *Engineering Proceedings*, 44 (1), 1–5.
- Shah, F. H., Bhatti, O. S., & Ahmed, S. (2023b). Project management practices in construction projects and their roles in achieving sustainability—A comprehensive review. *Engineering Proceedings*, 44(1), 1–5.
- Soeharto, I. (1997). *Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional*. Erlangga.
- Widiasantri, I., & Linggogeni, L. (2013). *Manajemen Konstruksi*. Penerbit Rosda.