

OPTIMALISASI PENJADWALAN PROYEK PEKERJAAN INSTALASI RUANG CHILLER DAN COOLING TOWER MENGGUNAKAN METODE P.E.R.T.

MIFTACHUL ANAM, HARI MOEKTIWIBOWO, DAN BASUKI ARIANTO.

Program Studi Teknik Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta

ABSTRAK

Mengerjakan suatu proyek membutuhkan perencanaan yang baik agar proyek dapat berjalan secara efektif dan efisien. Sehingga, proyek dapat diselesaikan sesuai jadwal yang telah ditentukan yang hasilnya dapat memberikan kepuasan bagi pemilik proyek (Owner) dan memberikan nilai tambah bagi pelaksana proyek atau kontraktor.

Metode PERT dapat digunakan untuk membuat penjadwalan proyek yang baik. Metode ini direkayasa untuk menghadapi situasi dengan kadar ketidakpastian yang tinggi pada aspek kurun waktu kegiatan. Karena itu metode ini cocok digunakan untuk membuat penjadwalan dengan keadaan proyek yang berubah-ubah.

Proyek pekerjaan pemipaan untuk ruang Chiller dan Cooling Tower pada Green Office Park 9 yang dikerjakan oleh PT. Arista mengalami keterlambatan dari jadwal yang telah ditentukan. Penelitian dilakukan untuk mengetahui berapa durasi normal dari proyek tersebut dan apakah masih mungkin untuk dilakukan percepatan. Pengumpulan data dilakukan dilapangan dengan pengamatan secara langsung proses pekerjaan dan juga melakukan wawancara kepada pekerja dan pengawas dilapangan.

Hasil penelitian pada proyek Green Office Park 9 BSD City dengan metode PERT menunjukkan bahwa durasi normal proyek tersebut adalah 85 hari dengan biaya pelaksanaannya adalah Rp. 357.652.000. Setelah dilakukan percepatan hasilnya adalah proyek dapat dipercepat menjadi 72 hari dengan biaya pelaksanaannya naik menjadi Rp. 383.949.500. Perbandingan persentase kenaikan adalah 8% untuk durasi dan 7% untuk biaya, menunjukkan bahwa metode percepatan tersebut cukup efektif.

Kata Kunci: *PERT, Crash Programme, Penjadwalan Proyek*

PENDAHULUAN

Suatu proyek membutuhkan perencanaan yang baik agar proyek dapat berjalan secara efektif dan efisien. Sehingga, proyek dapat diselesaikan sesuai jadwal yang telah ditentukan. Dengan begitu, hasilnya dapat memberikan kepuasan bagi pemilik proyek (Owner) dan memberikan nilai tambah bagi pelaksana proyek atau kontraktor.

Proyek dapat diartikan sebagai kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu yang terbatas dengan mengalokasikan sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk atau *deliverable* yang kriteria mutunya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1999).

Semakin maju peradaban manusia, semakin besar dan kompleks proyek yang dikerjakan, dengan melibatkan

penggunaan bahan-bahan (material), tenaga kerja, dan teknologi yang makin canggih. Proyek pada umumnya memiliki batas waktu (*deadline*), artinya proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan. Berkaitan dengan masalah proyek ini maka keberhasilan pelaksanaan sebuah proyek tepat pada waktunya merupakan tujuan yang penting baik bagi pemilik proyek maupun kontraktor.

Perubahan kondisi yang begitu cepat menuntut setiap pimpinan yang terlibat dalam proyek untuk dapat mengantisipasi keadaan, serta menyusun bentuk tindakan yang diperlukan. Hal ini dapat dilakukan bila ada konsep perencanaan yang matang dan didasarkan pada data, informasi, kemampuan, dan pengalaman.

Perencanaan tidaklah selalu sempurna. Banyak hal yang mempengaruhinya, misalnya tugas tidak

selalu didefinisikan secara tepat, estimasi tidak selalu akurat, dan peristiwa tak terduga dapat mengubah proyek secara drastis. Tetapi dengan menerapkan teknik manajemen proyek akan dapat lebih sesuai dengan rencana.

Pemantauan dan pengendalian proyek dilakukan selama masa pelaksanaan untuk mengetahui prestasi dan kemajuan proyek. Informasi dari pemantauan ini dapat berguna sebagai bahan evaluasi performa yang telah dicapai saat pelaporan. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan kemajuan yang dicapai dari pemantauan dengan standar yang dibuat berdasarkan perencanaan. Hasil dari evaluasi ini dapat digunakan manajer proyek dalam pengambilan keputusan terhadap permasalahan-permasalahan yang muncul selama masa pelaksanaan proyek.

PT Arista Pratama Jaya tempat penulis bekerja, saat ini memiliki sebuah proyek pekerjaan instalasi pemipaan ruang *Chiller* pada proyek *Green Office Park 9* di BSD Serpong. Berdasarkan laporan bulanan yang telah dikirim ke kantor pusat, proyek itu mengalami keterlambatan dari jadwal yang telah ditentukan. Hal ini menimbulkan sebuah pertanyaan, perencanaan seperti apakah yang memungkinkan proyek dapat selesai tepat waktu atau perlu dipercepat.

Karena itu penulis tertarik untuk membuat penelitian tentang evaluasi penjadwalan pada proyek pekerjaan instalasi pemipaan ruang *Chiller Green Office Park 9* ini. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa waktu normal proyek tersebut dapat diselesaikan dan mencari adanya kemungkinan percepatan waktu pelaksanaan proyek. Meskipun akan berdampak pada bertambahnya biaya apabila dilakukan percepatan pelaksanaan proyek.

Identifikasi Masalah

Masalah pokok dari penelitian ini adalah terjadi keterlambatan proyek dari jadwal yang telah ditentukan. Hal ini menyebabkan timbulnya permasalahan yang harus dihadapi, antara lain :

- a. Bagaimana bentuk jaringan kerja atau diagram network PT Arista pada proyek pekerjaan instalasi

pemipaan ruang *Chiller Green Office Park 9*?

- b. Berapa durasi waktu normal pekerjaan instalasi pemipaan ruang *Chiller* oleh PT Arista pada proyek *Green Office Park 9*?
- c. Jenis pekerjaan manakah yang memungkinkan bisa dilakukan percepatan?
- d. Berapa total biaya pengerjaan instalasi pemipaan ruang *Chiller* pada proyek *Green Office Park 9* dengan durasi proyek normal dan dipercepat?

METODE

Definisi proyek menurut Nurhayati (2010), sebuah proyek merupakan suatu usaha atau *aktivitas* yang kompleks, tidak rutin, dibatasi oleh waktu, anggaran, *resources*, dan *spesifikasi performansi* yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Sebuah proyek juga dapat diartikan sebagai upaya atau *aktivitas* yang diorganisasikan untuk mencapai tujuan, sasaran, dan harapan-harapan penting dengan menggunakan anggaran dana serta sumber daya yang tersedia, yang harus diselesaikan dalam jangka waktu tertentu.

Menurut Abrar Husen (2011) proyek adalah gabungan dari sumber-sumber daya seperti manusia, material, peralatan dan modal/biaya yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara untuk mencapai sasaran dan tujuan.

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

Menurut buku karangan Nancy Mingus yang diterjemahkan oleh Triwibowo Budi Santoso (2004), pengertian yang sederhana dan inklusif dari proyek adalah urutan tugas yang dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu dalam kerangka waktu yang telah ditetapkan.

Dari pengertian di atas maka ciri pokok proyek adalah sebagai berikut:

- a. Bertujuan menghasilkan lingkup

- (scope) tertentu berupa produk akhir atau hasil kerja akhir.
- b. Dalam proses mewujudkan lingkup di atas, ditentukan jumlah biaya, jadwal, serta kriteria mutu.
- c. Bersifat sementara, dalam arti umumnya dibatasi oleh selesainya tugas. Titik awal dan akhir ditentukan dengan jelas.
- d. Nonrutin, tidak berulang-ulang. Macam dan intensitas kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung.

Pengertian Manajemen Proyek

Definisi manajemen menurut Iman Solihin (2009) adalah proses perencanaan, pengorganisasian, kepemimpinan dan pengendalian dari berbagai sumber daya organisasi untuk mencapai tujuan secara efektif dan efisien.

Terdapat beberapa urutan proses dalam manajemen proyek, urutannya sebagai berikut:

- a. Perencanaan (*Planning*)
- b. Pengorganisasian (*Organizing*)
- c. Pelaksanaan (*Actuating*)
- d. Pengendalian (*Controlling*)

Analisis Jaringan Kerja

Analisis jaringan kerja proyek (*project network analysis*) adalah suatu sistem kontrol proyek yang berisi kegiatan tunggal, kegiatan gabungan, kegiatan paralel, dan lintasan kritis. Analisis jaringan kerja berguna dalam mengkoordinir semua unsur proyek ke dalam suatu rencana utama (*master plan*) dengan menerapkan suatu metode kerja untuk melengkapi proyek sehingga diperoleh:

- a. Waktu terbaik untuk pelaksanaan kegiatan (*best time*).
- b. Pengurangan/penekanan ongkos/biaya (*least cost*).
- c. Pengurangan resiko (*least risk*).
- d. Mempelajari alternatif-alternatif yang terdapat di dalam dan di luar proyek.
- e. Untuk mendapatkan atau mengembangkan *schedule* (jadwal) yang optimum.
- f. Penggunaan sumber-sumber (*resources*) secara efektif dan efisien.
- g. Alat komunikasi antar pimpinan.

- h. Pengawasan pembangunan proyek.
- i. Memudahkan revisi atau perbaikan terhadap penyimpangan yang terjadi.

Pada penelitian ini digunakan analisis jaringan kerja dengan menggunakan metode PERT.

P.E.R.T. (*Program Evaluation and Review Technic*)

Diagram *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dikembangkan oleh *United States Navy* pada tahun 1950-an. Diagram ini digunakan sebagai cara untuk menjadwalkan secara lebih akurat dalam pembuatan kapal selam Polaris pada masa itu.

Teknik P.E.R.T. adalah suatu metode yang bertujuan untuk (semaksimal mungkin) mengurangi adanya penundaan kegiatan (proyek, produksi, dan teknik) maupun rintangan dan perbedaan-perbedaan; mengkoordinasikan dan menyelaraskan berbagai bagian sebagai suatu keseluruhan pekerjaan, dan mempercepat selesainya proyek-proyek. Teknik ini merupakan suatu metode untuk menentukan jadwal dan anggaran dari sumber-sumber, sehingga suatu pekerjaan tertentu dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Dasar pendekatan PERT, meliputi:

- a. Mengadakan seleksi berdasarkan spesifikasi dan identifikasi kejadian (*event*).
- b. Rangkaian kejadian dan penetapan saling ketergantungan antara masing-masing kejadian sehingga jaringan kerja proyek dapat dikembangkan.
- c. Estimasi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai (terciptanya) suatu event, diperhitungkan bersama dengan waktu ketidakpastian.
- d. Merencanakan suatu analisa dan penilaian untuk mengolah data.
- e. Menetapkan saluran informasi untuk mendapatkan data aktual dan data penyimpangan sebagai bahan penilaian.
- f. Penggunaan peralatan elektrik untuk menganalisanya.

Bila CPM memperkirakan waktu

komponen kegiatan proyek dengan pendekatan deterministik satu angka yang mencerminkan adanya kepastian, maka PERT direkayasa untuk menghadapi situasi dengan kadar ketidakpastian yang tinggi pada aspek kurun waktu kegiatan.

Persamaan dan Perbedaan Penyajian

Visualisasi penyajian PERT sama halnya dengan CPM, yaitu dengan menggunakan diagram anak panah (*activity on arrow*) untuk menggambarkan kegiatan proyek. Demikian pula pengertian dan perhitungan mengenai kegiatan kritis, jalur kritis dan *float* yang dalam PERT disebut *SLACK*. Salah satu perbedaan yang substansial adalah dalam estimasi kurun waktu kegiatan, dimana PERT menggunakan tiga angka estimasi, yaitu *a*, *b*, dan *m* yang mempunyai arti sebagai berikut:

- a. *a* = kurun waktu optimistik (*optimistic duration time*)
Waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan bila segala sesuatunya berjalan lancar. Waktu demikian diungguli hanya sekali dalam seratus kali bila kegiatan tersebut dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.
- b. *m* = kurun waktu paling mungkin (*most likely time*)
Kurun waktu yang paling sering terjadi dibanding dengan yang lain bila kegiatan diulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.
- c. *b* = kurun waktu pesimistik (*pessimistic duration time*)
Waktu yang paling lama untuk menyelesaikan kegiatan, yaitu bila segala sesuatunya serba tidak baik. Waktu demikian dilampaui hanya sekali dalam seratus kali bila kegiatan tersebut dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.

Estimasi Angka-Angka *a*, *b*, dan *m*

Mengingat besarnya pengaruh angka-angka *a*, *b*, dan *m* dalam metode PERT, maka beberapa hal perlu diperhatikan dalam estimasi besarnya angka-angka tersebut. Yaitu:

- a. *Estimator* perlu mengetahui fungsi

dari *a*, *b*, dan *m* dalam hubungannya dengan perhitungan-perhitungan dan pengaruhnya terhadap metode PERT secara keseluruhan. Bila tidak dikhawatirkan akan mengambil angka estimasi kurun waktu yang tidak sesuai atau tidak membawakan pengertian yang dimaksud.

- b. Di dalam proses estimasi angka-angka *a*, *b*, dan *m* bagi masing-masing kegiatan, jangan sampai dipengaruhi atau dihubungkan dengan target kurun waktu penyelesaian proyek.
- c. Bila tersedia data-data pengalaman masa lalu (*historical record*), maka data demikian akan berguna untuk bahan pembandingan dan banyak membantu mendapatkan hasil yang lebih meyakinkan. Dengan syarat data-data tersebut cukup banyak secara kuantitatif dan kondisi kedua peristiwa yang bersangkutan tidak banyak berbeda.

Jadi yang perlu digaris-bawahi di sini adalah estimasi angka *a*, *b*, dan *m* hendaknya bersifat berdiri sendiri, artinya bebas dari pertimbangan-pertimbangan pengaruhnya terhadap komponen-komponen kegiatan lain, atau terhadap jadwal proyek secara keseluruhan.

Identifikasi Jalur Kritis dan *Slack*

Dengan menggunakan konsep *te* dan angka-angka waktu paling awal peristiwa terjadi (*the earliest time of occurrence* – TE), dan waktu paling akhir peristiwa terjadi (*the latest time of occurrence* – TL), maka identifikasi kegiatan kritis, jalur kritis dan *slack* dapat dikerjakan seperti halnya pada CPM, seperti:

$$(TE)-j = (TE)-i + te(i-j)$$

$$(TL)-i = (TL)-j - te(i-j)$$

Pada jalur kritis berlaku:

$$Slack = 0 \text{ atau } (TL) - (TE) = 0$$

Menurut buku karangan Nancy Mingus yang diterjemahkan oleh Triwibowo Budi Santoso (2004), jalur kritis adalah

terpanjang yang melintasi jaringan kerja. Berdasarkan definisinya, semua tugas pada jalur kritis tidak punya *float/slack*, yang berarti bahwa setiap penambahan dalam durasi pada setiap kegiatan kritis atau apabila terjadi keterlambatan pada setiap kegiatan kritis akan memperpanjang jadwal pekerjaan keseluruhan.

Dalam beberapa proyek, adalah cukup mudah untuk mengidentifikasi jalur kritis, yaitu dengan melihat pada diagram jaringannya. Tetapi dalam proyek yang kompleks, jalur kritis memuat semua tugas yang tidak mengandung *slack*. Proyek biasanya memiliki jalur yang bercabang sejajar dua atau tiga pada titik tertentu didalam proyek. Jalur kritis tidak mengindikasikan tugas paling penting di dalam proyek. Jalur kritis sekedar mengidentifikasi sekuensi tugas yang terpanjang.

Alasan untuk Pengurangan Durasi Proyek

Ada banyak hal yang menyebabkan mengapa durasi proyek harus dikurangi atau dipercepat, diantaranya adalah permintaan dari pemberi tugas, sebab-sebab tak terduga semisal gangguan cuaca, kesalahan perancangan atau penjadwalan awal, kerusakan mesin atau peralatan dan lain-lain. Akan tetapi dalam upaya pengurangan durasi proyek ini, manajer proyek akan dihadapkan pada kondisi *trade-off* antara kepentingan pengurangan waktu penyelesaian proyek dengan munculnya biaya yang lebih tinggi dari apa yang telah diperkirakan sebelumnya. Pertimbangan logis harus diambil oleh manajer proyek terhadap kegiatan kritis yang akan dikurangi waktunya.

Menentukan Kegiatan yang akan Dipercepat Waktunya

Pada dasarnya manajer perlu mencari kegiatan kritis yang akan dipercepat yang memiliki peningkatan biaya persatuan waktu yang terkecil. Alasan untuk pemilihan kegiatan kritis tergantung pada pengidentifikasian kegiatan-kegiatan dengan waktu normal, waktu pacu, dan biaya yang berhubungan dengannya. Untuk menunjukkan biaya yang rendah, realistis,

penggunaan metode penyelesaian yang efisien dalam kondisi yang normal. Percepatan waktu suatu kegiatan disebut *crashing*.

Pilihan untuk Mempercepat Penyelesaian Proyek

Ada beberapa metode efektif untuk melakukan *crashing* pada kegiatan proyek tertentu ketika sumber daya yang dimiliki tidak terbatas. Metode-metode tersebut antara lain:

- a. Penambahan Sumber Daya
Metode ini yang paling umum digunakan untuk memperpendek waktu proyek adalah dengan melakukan penambahan tenaga kerja dan peralatan untuk kegiatan. Hubungan antara ukuran staf dan perkembangan proyek bukanlah hal yang bersifat linear. Peningkatan jumlah tenaga kerja menjadi dua kali lipat tidak akan langsung mengurangi waktu penyelesaian proyek menjadi setengah dari waktu yang diperkirakan. Hubungan itu akan menjadi benar hanya ketika pekerjaan-pekerjaan dapat dibagi-bagi sehingga komunikasi yang dibutuhkan diantara para karyawan menjadi minimal.
- b. Melakukan Lembur
Dengan penjadwalan lembur, maka akan dapat menghindarkan biaya tambahan untuk koordinasi dan komunikasi ketika ada penambahan tenaga kerja baru. Penambahan waktu lembur memiliki kerugian yaitu biaya tenaga kerja menjadi lebih besar dari gaji normal. Melakukan lembur juga perlu dilakukan pertimbangan terhadap batasan kemampuan yang dapat dilakukan manusia, karena tingkat kelelahan yang dirasakan karyawan sudah cukup tinggi, maka akan dapat mengurangi produktivitasnya.

Analisis Biaya

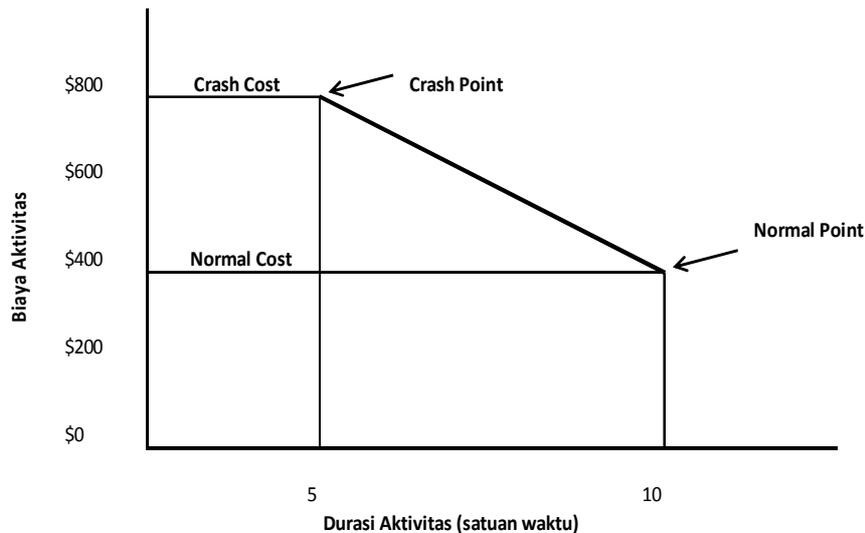
Untuk menganalisis lebih lanjut hubungan antara waktu dan biaya suatu

kegiatan, dipakai definisi sebagai berikut:

- a. Kurun Waktu Normal adalah kurun waktu yang diperlukan untuk melakukan kegiatan sampai selesai, dengan cara yang efisien tetapi diluar pertimbangan adanya kerja lembur dan usaha-usaha khusus lainnya, seperti menyewa peralatan yang lebih canggih.
- b. Biaya Normal adalah biaya langsung yang diperlukan untuk

menyelesaikan kegiatan dengan kurun waktu normal.

- c. Kurun Waktu Dipersingkat adalah waktu tersingkat untuk menyelesaikan suatu kegiatan yang secara teknis masih mungkin.
- d. Biaya untuk Waktu Dipersingkat adalah jumlah biaya langsung untuk menyelesaikan pekerjaan dengan kurun waktu dipersingkat.



Gambar 1 Grafik Kegiatan yang Dipercepat (Nurhayati, 2010)

Jika telah diketahui bentuk kurva waktu-biaya suatu kegiatan, artinya dengan mengetahui berapa slope atau

sudut kemiringannya, maka bisa dihitung berapa besar biaya untuk mempersingkat waktu satu hari dengan rumus:

$$\text{Slope biaya} = \frac{\text{Biaya dipersingkat} - \text{Biaya normal}}{\text{Waktu normal} - \text{Waktu dipersingkat}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Umum Proyek

Proyek PT Arista yang saat ini masih berjalan adalah proyek *Green Office Park 9 BSD City Serpong* yang penulis jadikan sebagai objek penelitian. Proyek GOP 9 ini adalah sebuah proyek perkantoran bertema *Green Office Building* yang ramah lingkungan. Terdiri dari 1 basement dan 6 lantai ditambah 1 atap. Gedung perkantoran terbaru ini akan menjadi bagian dari kawasan *BSD Green Office Park*, distrik pertama di Indonesia yang mendapat sertifikasi "*Gold*" *Green district* dari *BCA (Building Construction Authority)* Singapura. Pengembangan BSD GOP 9

sendiri mengacu akan pentingnya pelestarian lingkungan yang selalu menjadi komitmen dari setiap pembangunan yang dibangun *Sinar Mas Land*.

Pada proyek ini PT Arista mengerjakan instalasi pemipaan untuk sistem *Water Cooled Chiller*. Sistem pendingin ruangan ini adalah sistem yang banyak dipakai pada gedung-gedung bertingkat. Ruangan untuk sistem *chiller* ini berada di lantai atap. Memiliki ukuran ruangan 16 m x 11 m dengan ketinggian ruangan 8 m, instalasi *chiller* dalam ruangan inilah yang dikerjakan oleh PT Arista. Dari ruang *chiller* inilah sistem pendingin ruangan diseluruh gedung

berasal. Oleh karena itu pekerjaan ini diharapkan bisa diselesaikan tepat waktu.

Hingga bulan Agustus 2016 proyek ini masih berjalan karena memang pekerjaan belum selesai sepenuhnya. Proyek ini sendiri sebenarnya sudah habis masa kontraknya namun PT Arista masih mendapat keringanan dengan diberi perpanjangan waktu sampai akhir Agustus 2016.

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan secara langsung di proyek *Green Office Park 9 BSD Serpong*, dengan melihat dan mengamati secara langsung proses pekerjaan dilapangan. Selain itu juga

dilakukan wawancara secara langsung kepada pekerja dan juga pengawas dilapangan untuk melengkapi data yang dibutuhkan. Jika seluruh data telah terkumpul maka selanjutnya dilakukan pengolahan data.

Membuat *Work Breakdown Structure*

Untuk membuat WBS maka perlu dilakukan pengumpulan data dari lapangan. WBS berisi tahapan kegiatan pelaksanaan proyek secara menyeluruh. WBS juga dapat mempermudah peneliti dalam menyusun jaringan kerja. Dari hasil pengumpulan data dilapangan diperoleh data kegiatan-kegiatan dari setiap pekerjaan sebagai berikut:

Tabel 1 *Work Breakdown Structure* Pekerjaan Pemipaan Ruang Chiller.

	Kegiatan	Kode	Kegiatan yang mendahului
1	Pengajuan Shop Drawing	A	-
2	Pengajuan Material	B	A
3	Pembelian Material	C	B
4	Penerimaan Material Instalasi Condenser	D	C
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	E	D
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	F	E
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	G	E
8	Test Tekan	H	F & G
9	Pengecatan dan Perapihan	I	H
10	Penerimaan Material Instalasi Chiller	J	C
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	K	J
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	L	K
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	M	K
14	Test Tekan	N	L & M
15	Isolasi Pipa Chiller	O	N
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	P	I & O
17	Test. Comm. & Serah Terima	Q	P

Menghitung Durasi Waktu Tiap Kegiatan

Pada metode PERT dibutuhkan tiga angka estimasi waktu yaitu waktu optimistik (*a*), waktu pesimistik (*b*), dan waktu paling mungkin (*m*) untuk menghitung waktu yang diharapkan (*te*). Tiga angka estimasi waktu tersebut

penulis peroleh dari hasil wawancara langsung kepada pengawas lapangan dan juga manajer di lapangan. Dari tiga angka estimasi waktu tersebut penulis gunakan untuk menghitung *te* yaitu waktu yang diharapkan dengan rumus $te = (a + 4m + b) (1/6)$. Hasil dari perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Perhitungan Waktu Tiap Kegiatan.

	Kegiatan	Kode	Kegiatan yang mendahului	Optimistik (hari)	Pesimistik (hari)	Paling Mungkin (hari)	te (hari)
1	Pengajuan Shop Drawing	A	-	6	10	8	8
2	Pengajuan Material	B	A	5	7	6	6
3	Pembelian Material	C	B	3	7	5	5
4	Penerimaan Material Instalasi Condenser	D	C	6	8	7	7
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	E	D	5	7	6	6
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	F	E	30	38	34	34
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	G	E	22	28	25	25
8	Test Tekan	H	F & G	2	4	3	3
9	Pengecatan dan Perapihan	I	H	4	6	5	5
10	Penerimaan Material Instalasi Chiller	J	C	6	8	7	7
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	K	J	4	6	5	5
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	L	K	12	18	15	15
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	M	K	18	22	20	20
14	Test Tekan	N	L & M	2	4	3	3
15	Isolasi Pipa Chiller	O	N	6	8	7	7
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	P	I & O	3	5	4	4
17	Test. Comm. & Serah Terima	Q	P	5	13	6	7

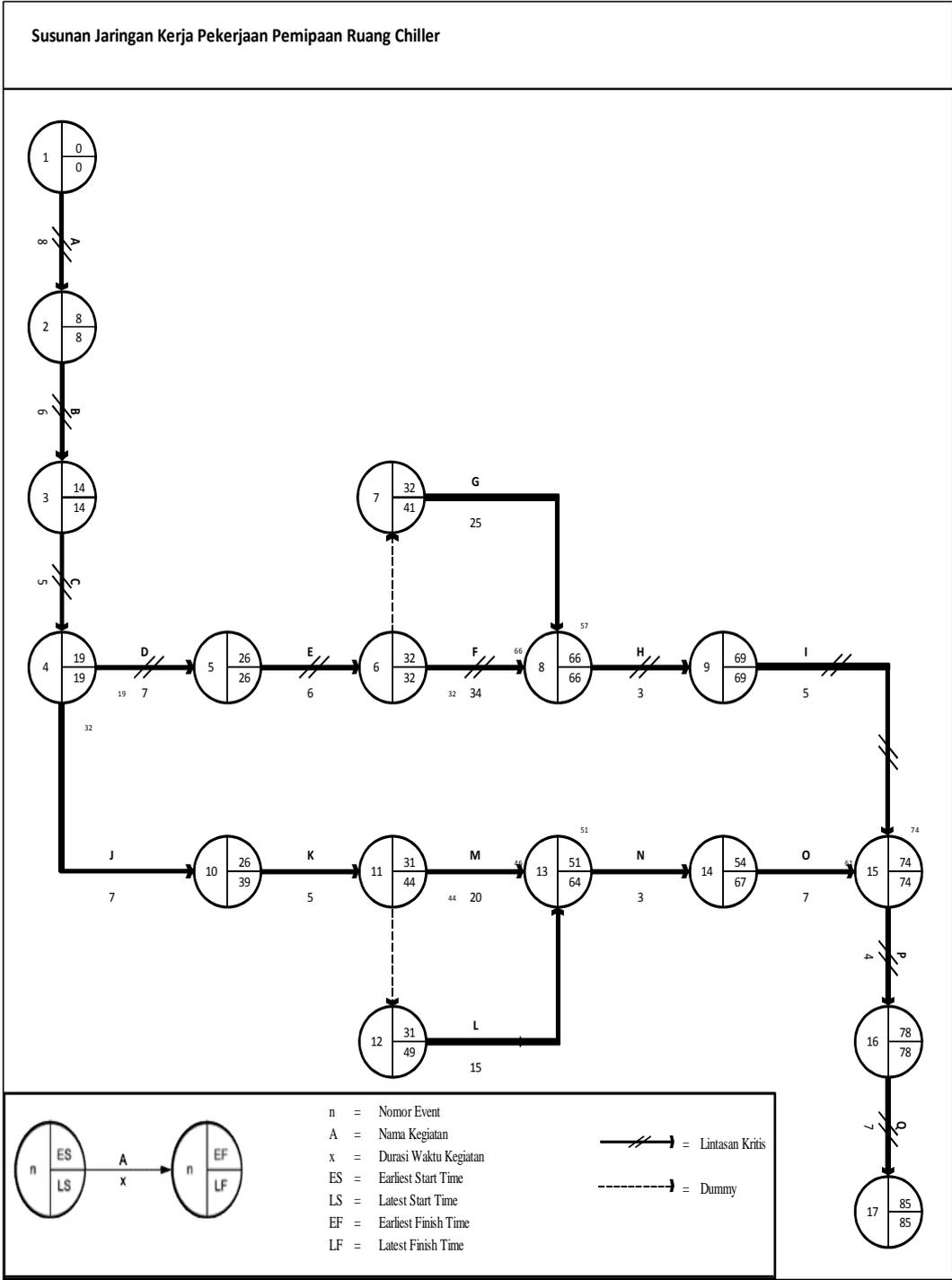
Menyusun Jaringan Kerja

Setelah *Work Breakdown Structure* selesai dibuat dan durasi tiap kegiatan telah dihitung, maka kita dapat menyusun jaringan kerja. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan keseluruhan pekerjaan. Selain itu jaringan kerja juga berguna untuk mengetahui kegiatan-kegiatan kritisnya.

Kegiatan kritis adalah kegiatan yang tidak boleh terlambat dari awal memulai dan penyelesaian pekerjaannya. Karena

apabila terjadi keterlambatan pada salah satu dari kegiatan kritis, maka akan berdampak pada terlambatnya pekerjaan secara keseluruhan.

Hal yang menyebabkan kegiatan kritis sangat vital karena pada jaringan kerja setiap kegiatan saling berurutan dan saling berkesinambungan. Dari sepanjang rangkaian jaringan kerja tersebut kegiatan kritislah yang paling utama. Dari WBS yang telah dibuat, bentuk jaringan kerjanya adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Jaringan Kerja Pelaksanaan Pekerjaan Proyek Pemipaan Ruang Chiller.

Dari jaringan kerja yang telah selesai disusun selanjutnya dibuat tabel perhitungan maju mundur untuk

menentukan kegiatan kritisnya. Tabelnya adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Identifikasi Jalur Kritis Berdasarkan Jaringan Kerja (hari)

	Kegiatan	Kode	Durasi	ES	LS	EF	LF	SLACK
1	Pengajuan Shop Drawing	A	8	0	0	8	8	0
2	Pengajuan Material	B	6	8	8	14	14	0
3	Pembelian Material	C	5	14	14	19	19	0
4	Penerimaan Material Instalasi Condenser	D	7	19	19	26	26	0
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	E	6	26	26	32	32	0
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	F	34	32	32	66	66	0
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	G	25	32	41	66	66	9
8	Test Tekan	H	3	66	66	69	69	0
9	Pengecatan dan Perapihan	I	5	69	69	74	74	0
10	Penerimaan Material Instalasi Chiller	J	7	19	19	26	39	-13
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	K	5	26	39	31	44	0
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	L	15	31	44	51	64	0
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	M	20	31	49	51	64	5
14	Test Tekan	N	3	51	64	54	67	0
15	Isolasi Pipa Chiller	O	7	54	67	74	74	13
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	P	4	74	74	78	78	0
17	Test. Comm. & Serah Terima	Q	7	78	78	85	85	0

Melalui perhitungan jaringan kerja di atas dapat diketahui bahwa durasi waktu normal keseluruhan pekerjaan adalah 85 hari dengan kegiatan kritisnya adalah kegiatan A-B-C-D-E-F-H-I-P-Q = 85 hari.

Data Biaya Pekerjaan

Data lain yang perlu dikumpulkan

adalah data mengenai kebutuhan tenaga kerja beserta peralatannya. Data tersebut penulis butuhkan untuk menghitung total biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Perhitungan data kebutuhan tenaga kerja dan biaya pelaksanaan pekerjaannya sebagai berikut:

Tabel 4 Total Biaya Yang Dibutuhkan Untuk Menyelesaikan Proyek.

	Kegiatan	Tenaga Kerja (orang)	Durasi (hari)	Biaya Mandays (Rp)	Biaya Peralatan (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Pengajuan Shop Drawing	2	8	2.400.000	-	2.400.000
2	Pengajuan Material	1	6	900.000	-	900.000
3	Pembelian Material	1	5	750.000	-	750.000
4	Penerimaan Material Instalasi Condenser	8	7	8.400.000	78.000	8.478.000
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	6	6	5.400.000	10.947.000	16.347.000
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	12	34	61.200.000	27.852.000	89.052.000
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	12	25	45.000.000	27.852.000	72.852.000
8	Test Tekan	6	3	2.700.000	1.622.000	4.322.000
9	Pengecatan dan Perapihan	4	5	3.000.000	412.000	3.412.000
10	Penerimaan Material Instalasi Chiller	8	7	8.400.000	78.000	8.478.000
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	6	5	4.500.000	10.947.000	15.447.000
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	8	15	18.000.000	24.791.000	42.791.000
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	12	20	36.000.000	27.852.000	63.852.000
14	Test Tekan	6	3	2.700.000	1.622.000	4.322.000
15	Isolasi Pipa Chiller	6	7	6.300.000	142.000	6.442.000
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	8	4	4.800.000	3.989.000	8.789.000
17	Test. Comm. & Serah Terima	8	7	8.400.000	618.000	9.018.000
					Total	357.652.000

Dari tabel perhitungan di atas kita dapat mengetahui bahwa total keseluruhan biaya yang dibutuhkan untuk mengerjakan proyek dengan durasi normal adalah Rp. 357.652.000.

Percepatan Durasi Pekerjaan Proyek

Percepatan durasi pekerjaan proyek perlu dilakukan apabila proyek mengalami keterlambatan. Percepatan proyek juga perlu dilakukan demi mencapai target waktu yang telah ditetapkan oleh pemilik proyek. Proyek ini mengalami keterlambatan dari jadwalnya dan sudah diberi tambahan waktu hingga akhir bulan Agustus 2016. Sehingga untuk menghindari keterlambatan penyelesaian pekerjaan perlu dilakukan percepatan..

Sebelumnya diketahui bahwa kegiatan kritisnya ada pada kegiatan A-B-C-D-E-F-H-I-P-Q = 85 hari. Dari kegiatan kritis tersebut masih ada beberapa kegiatan yang dapat dipersingkat durasi waktunya dengan cara salah satunya adalah penambahan tenaga kerja beserta peralatannya untuk beberapa kegiatan tersebut.

Selain menambah tenaga kerja dan peralatan sebenarnya masih ada cara lain yang bisa dilakukan yaitu dengan menambah jam kerja atau dilakukan

lembur. Tetapi pada proyek ini penambahan jam kerja lapangan tidak dapat dilakukan karena daya listrik yang digunakan untuk bekerja pada proyek ini menggunakan genset. Oleh karena itu jam kerja dibatasi dari jam 8 pagi sampai jam 9 malam dalam sehari untuk menghemat penggunaan genset. PT Arista sendiri menentukan jam kerja normal untuk staff adalah 8 jam (8:00 sampai 17:00), sedangkan untuk pekerja lapangan adalah 10 jam (8:00 sampai 17:00 dilanjutkan 18:30 sampai 20:30).

Proses Percepatan Durasi Pekerjaan

Kegiatan pertama yang masih bisa dipercepat adalah kegiatan A, B, dan C. Tenaga kerja dari ketiga kegiatan tersebut statusnya adalah staff/karyawan sehingga jam kerjanya adalah jam kerja normal tanpa lembur. Maka untuk mempercepat durasi waktunya bisa dilakukan kerja lembur selama 2 jam per harinya. Hal ini dikarenakan ketentuan jam kerja dari proyek yang memberikan batasan waktu jam kerja maksimal sampai jam 9 malam. Perhitungan lemburnya dalam dua jam pertama adalah : total jam lembur x 1,5 x (1/173) x upah sebulan. Dengan ketentuan itu maka akan diperoleh perhitungan sebagai berikut:

Tabel 5 Perhitungan Biaya Lembur Kegiatan A, B, dan C
Perhitungan Lembur

Kode	Kegiatan	Tenaga Kerja	Waktu Normal	Biaya Normal (Rp.)	Waktu Dipercepat	Biaya (Rp.)	Biaya Lembur	Total (Rp.)
						Tenaga Kerja	2 jam (Rp.)	
A	Pengajuan Shop Drawing	2	8 hari	2.400.000	6 hari	1.800.000	825.000	2.625.000
B	Pengajuan Material	1	6 hari	900.000	5 hari	750.000	352.500	1.102.500
C	Pembelian Material	1	5 hari	750.000	4 hari	600.000	285.000	885.000
Total				4.050.000				4.612.500
								Rupiah
Total Biaya Percepatan								4.612.500
Total Biaya Normal								4.050.000
Selisih								562.500
Kenaikan (%)								14%

Tabel di atas menunjukkan kenaikan biaya apabila dilakukan kerja lembur dari biaya normalnya Rp. 4.050.000 naik menjadi Rp. 4.612.500. Dengan selisih Rp. 562.500 persentase kenaikan biayanya adalah 14% dari biaya normalnya.

Kegiatan selanjutnya yang masih dapat dipersingkat adalah kegiatan D. Dengan durasi 7 hari dan total tenaga kerjanya adalah 8 orang. Perhitungan percepatannya adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Data Perhitungan Biaya Percepatan Kegiatan D

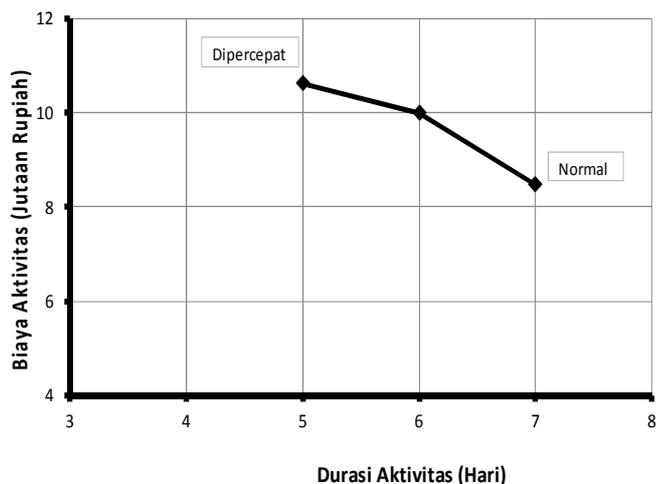
Penerimaan Material Instalasi Pipa Condenser

Alat	Harga Satuan	Durasi	7 hari		6 hari		5 hari	
		Tenaga Kerja	8 orang		11 orang		14 orang	
			buah	Rp.	buah	Rp.	buah	Rp.
Meteran	26.000		3	78.000	4	104.000	5	130.000
Total Biaya Peralatan			78.000		104.000		130.000	
Total Upah Tenaga Kerja			8.400.000		9.900.000		10.500.000	
Total Biaya Percepatan					10.004.000		10.630.000	
Total Biaya Normal			8.478.000		8.478.000		8.478.000	
Selisih					1.526.000		2.152.000	
Kenaikan (%)					18%		25%	

Untuk percepatan durasi diasumsikan kenaikan biaya yang dibolehkan adalah di bawah 25%. Maka kegiatan D bisa dipercepat menjadi 6 hari dengan tenaga kerja 11 orang dan biaya pekerjaan Rp. 10.004.000. Biaya tersebut naik sebesar 18% dari biaya dengan waktu normalnya. Jika kegiatan D dipercepat menjadi 5 hari, dibutuhkan tenaga kerja 14 orang dan

biaya naik menjadi Rp. 10.630.000. Namun opsi ini tidak bisa dipilih karena persentase kenaikannya melebihi asumsi awal yaitu di bawah 25%.

Dari perhitungan diatas jika kita gambarkan kedalam grafik hubungan durasi dan biaya akan menjadi seperti berikut:



Gambar 3 Grafik Hubungan Biaya dan Durasi Untuk Kegiatan D

Dari Grafik diatas terlihat ada kenaikan biaya dari waktu normal apabila dilakukan percepatan. Semakin diperpendek durasinya semakin besar biaya yang dibutuhkan.

Kegiatan selanjutnya yang masih bisa dipercepat adalah kegiatan E, F, dan P. Percepatan ketiga kegiatan tersebut sama caranya seperti kegiatan D. Untuk

kegiatan kritis lainnya seperti test tekan dan test comm, durasi pada kegiatan-kegiatan itu adalah durasi minimal untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut, sehingga sudah tidak bisa lagi dipersingkat waktu pelaksanaannya.

Dari semua kegiatan kritis yang telah dilakukan percepatan maka jika dirangkum akan menjadi seperti berikut:

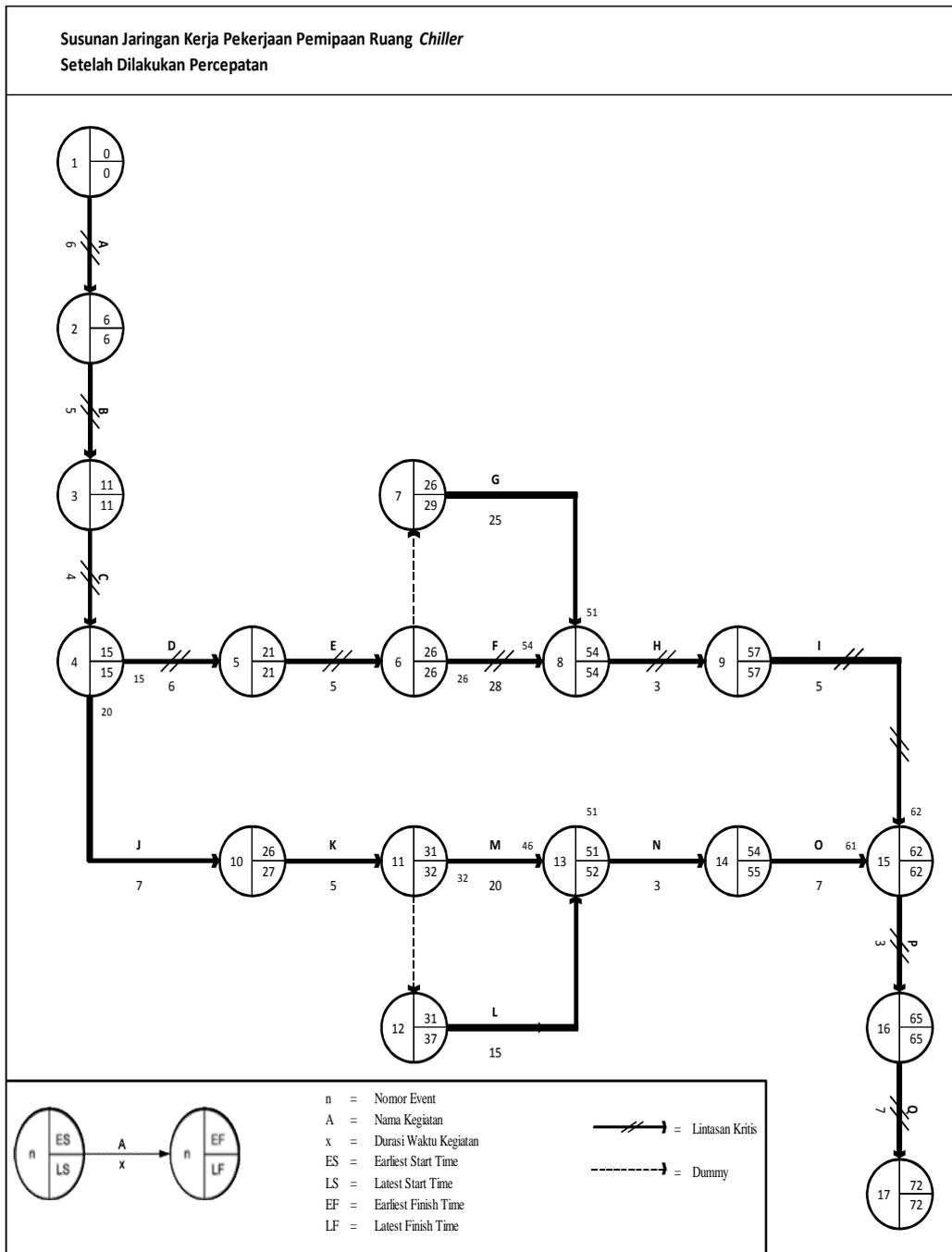
Tabel 7 Total Biaya Pekerjaan Pemipaan Ruang Chiller Setelah Dilakukan Percepatan

No	Kegiatan	Tenaga Kerja	Durasi (hari)	Biaya (Rp.) Upah	Biaya (Rp.) Peralatan	Total Biaya (Rp.)
		(orang)				
1	Pengajuan Shop Drawing	2	6	2.625.000	-	2.625.000
2	Pengajuan Material	1	5	1.102.500	-	1.102.500
3	Pembelian Material	1	4	885.000	-	885.000
4	Penerimaan Material Instalasi Pipa Condenser	11	6	9.900.000	78.000	9.978.000
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	8	5	6.000.000	11.322.000	17.322.000
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	18	28	75.600.000	34.774.000	110.374.000
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	12	25	45.000.000	27.852.000	72.852.000
8	Test Tekan	6	3	2.700.000	1.622.000	4.322.000
9	Pengecatan dan Perapihan	4	5	3.000.000	412.000	3.412.000
10	Penerimaan Material Instalasi Pipa Chiller	8	7	8.400.000	78.000	8.478.000
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	6	5	4.500.000	10.947.000	15.447.000
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	8	15	18.000.000	24.791.000	42.791.000
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	12	20	36.000.000	27.852.000	63.852.000
14	Test Tekan	6	3	2.700.000	1.622.000	4.322.000
15	Isolasi Pipa Chiller	6	7	6.300.000	142.000	6.442.000
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	12	3	5.400.000	5.327.000	10.727.000
17	Test. Comm. & Serah Terima	8	7	8.400.000	618.000	9.018.000
					Total	383.949.500

Jaringan Kerja dan Kebutuhan Biaya Setelah Percepatan

Jika kegiatan-kegiatan pada jalur kritis sudah dilakukan program percepatan maka kita dapat memperbarui jaringan

kerja untuk mengetahui total durasi pekerjaan setelah dilakukan percepatan. Jaringan kerja setelah dilakukan percepatan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Jaringan Kerja Pemipaan Ruang Chiller Setelah Dilakukan Percepatan

Tabel 8. Perhitungan Durasi Pekerjaan Dari Jaringan Kerja Setelah Dilakukan Percepatan

	Kegiatan	Kode	Durasi (hari)	ES (hari)	LS (hari)	EF (hari)	LF (hari)	SLACK (hari)
1	Pengajuan Shop Drawing	A	6	0	0	6	6	0
2	Pengajuan Material	B	5	6	6	11	11	0
3	Pembelian Material	C	4	11	11	15	15	0
4	Penerimaan Material Instalasi Pipa Condenser	D	6	15	15	21	21	0
5	Fabrikasi Support Pipa Condenser	E	5	21	21	26	26	0
6	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Condenser	F	28	26	26	54	54	0
7	Pemasangan Instalasi Pipa Condenser dan Valve	G	25	26	29	54	54	3
8	Test Tekan	H	3	54	54	57	57	0
9	Pengecatan dan Perapihan	I	5	57	57	62	62	0
10	Penerimaan Material Instalasi Pipa Chiller	J	7	15	15	22	27	-5
11	Fabrikasi Support Pipa Chiller	K	5	22	27	27	32	0
12	Fabrikasi dan Pemasangan Header Pipa Chiller	L	15	27	32	47	52	0
13	Pemasangan Instalasi Pipa Chiller dan Valve	M	20	27	37	47	52	5
14	Test Tekan	N	3	47	52	50	55	0
15	Isolasi Pipa Chiller	O	7	50	55	62	62	5
16	Jointing Instalasi Pipa ke Unit Chiller dan Cooling Tower	P	3	62	62	65	65	0
17	Test. Comm. & Serah Terima	Q	7	65	65	72	72	0

Dari data tersebut kita dapat mengetahui total durasi setelah dilakukan percepatan adalah 72 hari. Durasi itu menjadi lebih cepat 13 hari dari durasi normalnya 85 hari, meskipun kegiatan kritisnya masih tetap sama dengan durasi

normal yaitu dikegiatan A-B-C-D-E-F-H-I-P-Q. Jika dibuat perbandingan antara durasi normal dengan durasi percepatan, maka akan seperti berikut:

Tabel 9 Perbandingan Biaya Antara Waktu Normal dan Waktu Dipercepat

Perbandingan Biaya Normal dengan Biaya Dipercepat

No	Kegiatan	Normal			Dipercepat			Selisih	
		Tenaga kerja	Durasi	Total Biaya	Tenaga kerja	Durasi	Total Biaya	Durasi	Biaya
		(orang)	(hari)	(Rp.)	(orang)	(hari)	(Rp.)	(hari)	(Rp.)
1	A	2	8	2.400.000	2	6	2.625.000	2	225.000
2	B	1	6	900.000	1	5	1.102.500	1	202.500
3	C	1	5	750.000	1	4	885.000	1	135.000
4	D	8	7	8.478.000	11	6	9.978.000	1	1.500.000
5	E	6	6	16.347.000	8	5	17.322.000	1	975.000
6	F	12	34	89.052.000	18	28	110.374.000	6	21.322.000
7	G	12	25	72.852.000	12	25	72.852.000	0	-
8	H	6	3	4.322.000	6	3	4.322.000	0	-
9	I	4	5	3.412.000	4	5	3.412.000	0	-
10	J	8	7	8.478.000	8	7	8.478.000	0	-
11	K	6	5	15.447.000	6	5	15.447.000	0	-
12	L	8	15	42.791.000	8	15	42.791.000	0	-
13	M	12	20	63.852.000	12	20	63.852.000	0	-
14	N	6	3	4.322.000	6	3	4.322.000	0	-
15	O	6	7	6.442.000	6	7	6.442.000	0	-
16	P	8	4	8.789.000	12	3	10.727.000	1	1.938.000
17	Q	8	7	9.018.000	8	7	9.018.000	0	-
Total			167	357.652.000		154	383.949.500	13	26.297.500
								(hari)	(Rp.)
Total Waktu Normal								167	357.652.000

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pada proyek pekerjaan instalasi pemipaan ruang *chiller* dan *cooling tower*, kemudian proses pengumpulan dan pengolahan data sampai dengan dilakukannya analisis terhadap hasil penelitian, maka penulis menyimpulkan sebagai berikut:

- Dari pembuatan WBS kemudian disusun menjadi jaringan kerja dapat diketahui bahwa kegiatan kritisnya adalah **A-B-C-D-E-F-H-I-P-Q = 85**.
- Durasi waktu normal** untuk mengerjakan proyek instalasi pemipaan ruang *chiller* dan *cooling tower* pada proyek GOP 9 ini adalah **85 hari** dengan total biaya pekerjaan adalah **Rp. 357.652.000,00**.
- Setelah dilakukan percepatan pada kegiatan kritisnya diketahui bahwa durasi pekerjaan dapat dipercepat menjadi **72 hari** dengan total biaya naik menjadi **Rp. 383.949.500,00**.
- Selisih percepatan durasinya adalah **13 hari** dari waktu normal dengan kenaikan biaya sebesar **Rp. 26.297.500,00** dengan tingkat persentase **8% untuk durasi** dan **7% untuk biaya**.
- Dari perbandingan persentase antara durasi percepatan dengan kenaikan biaya menunjukkan bahwa percepatan durasi tersebut cukup efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo, Istimawan, "**Manajemen Proyek dan Konstruksi**", Jilid 1, Kanisius, Yogyakarta 1996.
- Ervianto, Wulfram I., "**Teori-Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi**", ANDI, Yogyakarta 2004.
- Husen, Abrar, "**Manajemen Proyek : Perencanaan, Penjadwalan dan Pengendalian Proyek**", Edisi II, ANDI, Yogyakarta 2011.
- Koolma, A. & C.J.M van de Schoot, "**Manajemen Proyek**", (diterjemahkan Soeheba Kramadibrata dari Bahasa Belanda diterbitkan Samson Nive). UI-Press, Jakarta 1988.
- Mingus, Nancy, "**Project Management dalam 24 Jam**", (diterjemahkan oleh Triwibowo Budhi Santoso dari Bahasa Inggris diterbitkan Alpa Teach Yourself), Prenada Media, Bandung 2004.
- Misrali, Eka Bambang G., & Ariwan Joko N, "**Evaluasi Penjadwalan Waktu dan Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung Kelas di Fakultas Ekonomi Universitas Jember Dengan Metode PERT**", Universitas Jember, Jember 2015.
- Nurhayati, "**Manajemen Proyek**", Graha Ilmu, Yogyakarta 2010.
- Teknika, Rian, "**Evaluasi Pengendalian Waktu dan Biaya Menggunakan Metode PERT Pada Pelaksanaan Pekerjaan Jembatan Di desa Pengkol Kecamatan Karanggede Kabupaten Boyolali**", Universitas Muhamadiyah Surakarta, Surakarta 2014.
- Soeharto, Iman, "**Management Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional**", Erlangga, Ciracas, Jakarta 1995.
- Sugiono, "**Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D**", Cetakan ke-22, Alfabeta, Bandung 2015.