

Analisis Penjadwalan Proyek Remote Terminal Unit dengan Penerapan Metode CPM dan PERT di PT. XYZ

Analysis of Remote Terminal Unit Project Scheduling with the Application of the CPM and PERT Method at PT. XYZ

Tata Sugiarta^{1*}

¹Program Studi Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal, Jalan Raya Al Kamal No.2, Kebon Jeruk, Jakarta Barat 11520, Indonesia

Diterima: 28 Januari 2021 / Disetujui: 30 Agustus 2021

ABSTRACT

Analysis of the project implementation needs to be done so that deficiency and weaknesses can be identified, as well as problems encountered so that they can be used as reference material for subsequent projects. Project delays are often caused by lack of planned project activities and lack of control over the course of the project so that project implementation activities become less effective and efficient. The Critical Path Method (CPM) and PERT (Program Evaluation and Review Technique) are carried out to get an idea of what if the project is controlled by the two tools. Analysis of research results from the Remote Terminal Unit (RTU) project using the CPM method obtained a completion time of 104 days, while completion by the PERT method obtained time of 106.7 days with a probability of 99.99% completion and by processing the Fishbone Diagram there was a cause for the delay factor the biggest is the existence of material delays and the lack of supervision from the company.

Keywords: Scheduling, CPM and PERT Methods, Fishbone Diagrams.

ABSTRAK

Analisis pelaksanaan proyek perlu dilakukan agar dapat diketahui kekurangan dan kelemahan, serta masalah masalah yang dihadapi supaya dapat digunakan sebagai bahan acuan bagi proyek-proyek berikutnya. Keterlambatan proyek seringkali disebabkan kurang terencananya kegiatan proyek serta kurangnya pengendalian terhadap jalannya proyek sehingga kegiatan pelaksanaan proyek menjadi kurang efektif dan efisien. Metode jalur kritis (Critical Path Method) dan PERT (Program Evaluation and Review Technique) dilakukan untuk mendapat gambaran bagaimana jika proyek dilakukan pengendalian dengan kedua alat tersebut. Analisis hasil penelitian dari proyek Remote Terminal Unit (RTU) dengan menggunakan metode CPM diperoleh waktu penyelesaian sebesar 104 hari, sedangkan penyelesaian dengan metode PERT memakan waktu 106,7 hari dengan probabilitas selesai 99,99% serta dengan pengolahan Diagram Tulang Ikan terdapat penyebab faktor keterlambatan terbesar adalah adanya keterlambatan material dan minimnya pengawasan dari pihak perusahaan.

Kata Kunci : Penjadwalan, Metode CPM dan PERT, Diagram Tulang Ikan.

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan pertumbuhan ekonomi bangsa Indonesia, pembangunan diberbagai sektor berkembang sangat pesat. Banyak pihak berlomba-lomba untuk melakukan pembangunan baik dari pihak swasta maupun pemerintah. Pembangunan ini bisa berupa proyek-proyek, misalnya proyek pembangunan gedung, konstruksi, infrastruktur, telekomunikasi, proyek di bidang industri,

bidang migas, dan lain-lain. Adanya pembangunan proyek diharapkan mampu meningkatkan kemajuan ekonomi diberbagai sektor.

Penyelesaian proyek yang tepat waktu tentunya memerlukan suatu metode penjadwalan yang lebih baik dan matang. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut seperti metode analisis jaringan kerja yang merupakan

*email: tatasugiarta9@gmail.com

penyempurnaan metode bagan balok. Diantara berbagai versi analisis jaringan kerja yang sangat luas pemakainnya adalah Metode Jalur Kritis (Critical Path Method-CPM), dan Evaluasi program dan Teknik Review (Program Evaluation and Review Technique – PERT).

PT. XYZ sebagai salah satu perusahaan supplier dan integrator di dunia industri maupun migas yang turut berperan penting dalam kegiatan proyek pembuatan sistem kontrol atau pengembangan suatu sistem, pada saat ini perusahaan akan melaksanakan sebuah proyek pembuatan Remote Terminal Unit (RTU) yaitu pembuatan suatu sistem kontrol kendali peralatan instrumentasi yang terpasang jauh di sebuah lokasi yang akan bisa dimonitor dan di kendalikan dari jarak jauh melalui perangkat elektronik, radio komunikasi dan sistem programmable logic controller (PLC) di pusat kontrol.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Definisi Manajemen Proyek

H. Kerzner (dikutip oleh Soeharto, 1999) menyatakan, melihat dari wawasan manajemen berdasarkan fungsi dan bila digabungkan dengan pendekatan system akan menjadi sebagai berikut: “Manajemen proyek adalah, merencanakan, menorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh, manajemen proyek menggunakan pendekatan system dan hirarki (arus kegiatan) maupun horizontal” konstruksi pembangunan fasilitas produksi.

2.2. Pengertian CPM

Menurut Levin dan Kirkpatrick (1972), metode Jalur Kritis (Critical Path Method - CPM), yakni metode untuk merencanakan dan mengawasi proyek proyek merupakan sistem yang paling banyak dipergunakan diantara semua sistem lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan.

2.3. Jaringan Kerja

Jaringan kerja (*network planning*) pada prinsipnya adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram network. Simbol-simbol yang digunakan dalam menggambarkan suatu network adalah sebagai berikut (Hayun, 2005):

a. \rightarrow (anak panah/busur), mewakili sebuah kegiatan atau aktivitas yaitu tugas yang dibutuhkan oleh proyek. Kegiatan disini didefinisikan sebagai hal yang memerlukan duration (jangka waktu tertentu) dalam pemakaian

sejumlah resources (sumber tenaga, peralatan, material, biaya). Kepala anak panah menunjukkan arah tiap kegiatan, yang menunjukkan bahwa suatu kegiatan dimulai pada permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan arah dari kiri ke kanan. Baik panjang maupun kemiringan anak panah ini sama sekali tidak mempunyai arti. Jadi, tak perlu menggunakan skala.

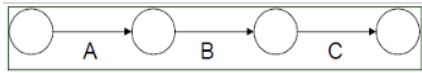
b. \bigcirc (lingkaran kecil/simpul/node), mewakili sebuah kejadian atau peristiwa atau event. Kejadian (event) didefinisikan sebagai ujung atau pertemuan dari satu atau beberapa kegiatan. Sebuah kejadian mewakili satu titik dalam waktu yang menyatakan penyelesaian beberapa kegiatan dan awal beberapa kegiatan baru. Titik awal dan akhir dari sebuah kegiatan karena itu dijabarkan dengan dua kejadian yang biasanya dikenal sebagai kejadian kepala dan ekor. Kegiatan-kegiatan yang berawal dari saat kejadian tertentu tidak dapat dimulai sampai kegiatan-kegiatan yang berakhir pada kejadian yang sama diselesaikan. Suatu kejadian harus mendahulukan kegiatan yang keluar dari simpul/node tersebut.

c. $- \rightarrow -$ (anak panah terputus-putus), menyatakan kegiatan semu atau *dummy activity*. Setiap anak panah memiliki peranan ganda dalam mewakili kegiatan dan membantu untuk menunjukkan hubungan utama antara berbagai kegiatan. *Dummy* disini berguna untuk membatasi mulainya kegiatan seperti halnya kegiatan biasa, panjang dan kemiringan *dummy* ini juga tak berarti apa-apa sehingga tidak perlu berskala. Bedanya dengan kegiatan biasa ialah bahwa kegiatan *dummy* tidak memakan waktu dan sumber daya, jadi waktu kegiatan dan biaya sama dengan nol.

d. \Rightarrow (anak panah tebal), merupakan kegiatan pada lintasan kritis.

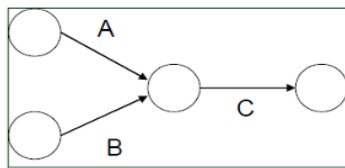
Adapun logika ketergantungan kegiatan-kegiatan itu dapat dinyatakan sebagai berikut:

a. Jika kegiatan A harus diselesaikan dahulu sebelum kegiatan B dapat dimulai dan kegiatan C dimulai setelah kegiatan B selesai, maka hubungan antara kegiatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



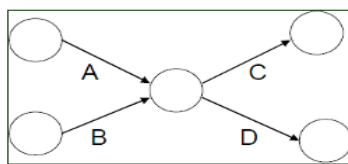
Gambar 1. Kegiatan A Pendahulu Kegiatan B & Kegiatan B Pendahulu Kegiatan C
 (Sumber: Soeharto, 1999)

b. Jika kegiatan A dan B harus selesai sebelum kegiatan C dapat dimulai, maka dapat dilihat pada Gambar 2.



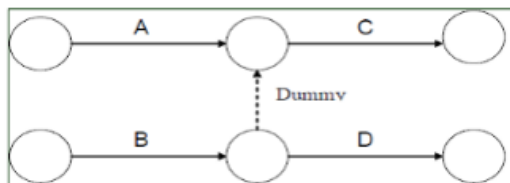
Gambar 2. Kegiatan A dan B Merupakan Pendahulu Kegiatan C
 (Sumber: Soeharto, 1999)

c. Jika kegiatan A dan B harus dimulai sebelum kegiatan C dan D maka dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kegiatan A dan B Merupakan Pendahulu Kegiatan C dan D
 (Sumber: Soeharto, 1999)

d. Jika kegiatan A dan B harus selesai sebelum kegiatan C dapat dimulai, tetapi D sudah dapat dimulai bila kegiatan B sudah selesai, maka dapat dilihat pada Gambar 4.

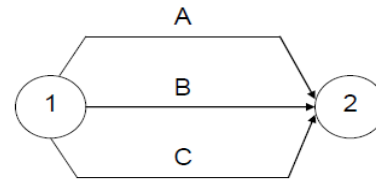


Gambar 4. Kegiatan B Merupakan Pendahulu Kegiatan C dan D
 (Sumber: Soeharto, 1999)

Fungsi *dummy* (----) adalah memindahkan seketika itu juga (sesuai dengan arah panah) keterangan tentang selesainya kegiatan B.

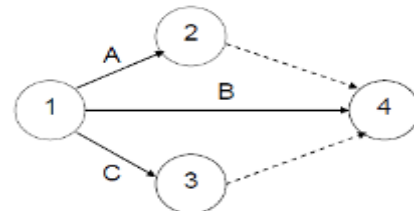
e. Jika kegiatan A, B, dan C mulai dan selesai pada lingkaran kejadian yang sama, maka kita

tidak boleh menggambarkannya seperti pada Gambar 5.

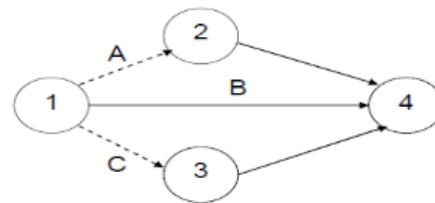


Gambar 5. Gambar yang Salah Bila Kegiatan A, B Dan C Mulai dan Selesai pada Kejadian yang Sama
 (Sumber: Soeharto, 1999)

Untuk membedakan ketiga kegiatan itu, maka masing-masing harus digambarkan *dummy* seperti pada Gambar 6 atau Gambar 7.



Gambar 6. Kegiatan A, B, dan C Mulai dan Selesai pada Kejadian yang Sama (a)
 (Sumber: Soeharto, 1999)



Gambar 7. Kegiatan A, B, dan C Mulai dan Selesai pada Kejadian yang Sama (b)
 (Sumber: Soeharto, 1999)

2.4. Perhitungan Maju dan Mundur

Suatu kegiatan yang harus selesai tepat pada waktunya. Jika terlambat, maka kegiatan berikutnya juga akan mengalami keterlambatan, bahkan dapat mengakibatkan tanggal atau jadwal proyek dapat berubah. Ada dua jenis perhitungan yang dilakukan oleh CPM sebelum menentukan jalur lintasan kritis (Soeharto, 1999):

1. Perhitungan Maju

Perhitungan kedepan dilakukan untuk mendapatkan waktu akhir dari rangkaian kegiatan selesai. Perhitungan kedepan dilakukan dari awal sampai dengan mengambil harga awal 0 dan selanjutnya diurutkan sampai akhir.

Waktu selesai paling awal suatu kegiatan adalah sama dengan waktu mulai paling awal ditambah dengan kurun waktu kegiatan yang bersangkutan.

$EF=ES+D$. Jika ada dua atau lebih waktu kejadian, maka waktu yang akan diambil adalah nilai yang terbesar.

Adapun perhitungannya menggunakan formula sebagai berikut:

$$EF = ES + D$$

Di mana:

EF = waktu selesai paling awal (Earliest Finish)

ES = waktu mulai paling awal (Earliest Start)

D = kurun waktu kegiatan yang bersangkutan (Duration)

Ada tiga langkah yang harus dilakukan pada perhitungan maju, yaitu sebagai berikut:

a. Saat tercepat terjadinya initial event ditentukan pada hari ke nol sehingga untuk initial event berlaku $ES=0$

b. Sebuah event hanya dapat terjadi jika aktivitas-aktivitas yang mendahuluinya telah diselesaikan. Maka saat paling cepat terjadinya sebuah event sama dengan nilai terbesar dari saat tercepat untuk menyelesaikan aktivitas-aktivitas yang berakhir pada event tersebut.

c. Di antara dua peristiwa tidak boleh ada 2 kegiatan, sehingga untuk menghindarinya digunakan kegiatan semu atau *dummy* yang tidak mempunyai durasi.

2. Perhitungan Mundur

Perhitungan mundur dilakukan untuk mendapatkan waktu awal dari rangkaian kegiatan dimulai. Perhitungan mundur dilakukan dari akhir suatu jaringan kerja dengan mengambil waktu atau durasi selesai dan selanjutnya

diurutkan sampai awal. Jika ada dua atau lebih waktu kejadian, maka waktu yang diambil adalah nilai yang terkecil.

Adapun perhitungannya menggunakan formula (1).

$$LS = LF - D \quad (1)$$

dimana:

LS = waktu mulai paling akhir (*Latest Start*)

LF = waktu selesai paling akhir (*Latest Finish*)

D = kurun waktu kegiatan yang bersangkutan (*Duration*)

Seperti halnya pada perhitungan maju, pada perhitungan mundur ini pun terdapat dua langkah, yaitu sebagai berikut :

a. Pada terminal event berlaku $LF = LS$

b. Setiap aktivitas hanya dapat dimulai apabila event yang mendahuluinya telah terjadi. Oleh karena itu, saat paling lambat terjadinya sebuah event sama dengan nilai terkecil dari saat-saat paling lambat untuk aktivitas aktivitas yang berpangkal pada event tersebut.

3. Time Slack atau kelonggaran waktu

Setelah menghitung EF dan ES juga LF dan LS, maka menjadi mudah untuk menentukan waktu longgar (time slack). Yang dimaksud dengan waktu slack yaitu waktu yang dimiliki oleh sebuah kegiatan untuk bisa diundur, tanpa menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Heizer dan Render, 2011).

Adapun perhitungannya menggunakan formula (2) atau (3).

$$TF = LF - EF \quad (2)$$

$$TF = LS - ES \quad (3)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu dari awal peristiwa hingga akhir peristiwa, nilai waktu yang paling cepat (kecil) merupakan jalur kritis yang harus diperhatikan oleh pemilik proyek.

2.5. Pengertian PERT

PERT atau Program Evaluation and Review Technique adalah sebuah model Management Science untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek. Teknik PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan produksi, serta mengkoordinasi berbagai bagian suatu pekerjaan secara menyeluruh dan mempercepat selesainya proyek. Perhitungan dengan metode PERT sama seperti CPM yaitu dengan cara perhitungan maju (forward computation) dan perhitungan mundur (backward computation). Pada perhitungan maju, perhitungan bergerak mulai dari initial event menuju terminal event, maksudnya ialah menghitung saat yang paling tercepat terjadinya events dan saat paling cepat dimulainya serta diselesaikannya aktivitas-aktivitas (TE_i dan TE_j). Pada initial event berlaku $TE = 0$.

Adapun perhitungannya $TE_j = TE_i + te(i,j)$.

Di mana:

TE_j = waktu mulai kegiatan j

TE_i = waktu mulai kegiatan i

$te(i,j)$ = kurun waktu kegiatan i ke j

Pada perhitungan mundur, perhitungan bergerak dari terminal event menuju initial event. Tujuannya ialah untuk menghitung saat paling lambat terjadinya events dan saat paling lambat dimulainya dan diselesaikannya aktivitas-aktivitas

(TE_i dan TE_j). Pada terminal event berlaku $TL = TE$.

Adapun perhitungannya $TL_j = TL_i + te(i,j)$,
dimana:

TL_j = waktu mulai kegiatan j

TL_i = waktu mulai kegiatan i

$te(i,j)$ = kurun waktu kegiatan i ke j

Menurut Soeharto (1999) estimasi kurun waktu kegiatan metode PERT memakai rentang waktu dan bukan kurun waktu yang relatif mudah dibayangkan. Rentang waktu ini menjadi derajat ketidakpastian yang berkaitan dengan proses estimasi kurun waktu kegiatan. Berapa besarnya ketidakpastian ini tergantung pada perkiraan untuk T_o dan T_p . Parameter yang menjelaskan masalah ini dikenal sebagai Deviasi Standar (S) dan Varians (V), dengan rumus sebagai berikut: (Sumber: Soeharto, 1999)

2.6. Teori Probabilitas

Teori probabilitas dengan kurva distribusinya bermaksud untuk mengkaji dan mengukur ketidakpastian serta menjelaskan secara kuantitatif. Dengan nilai probabilitas yang telah diperoleh maka dapat dilihat nilai besaran dalam satuan persentasi kemungkinan. Untuk itu rumus yang digunakan untuk mencari nilai probabilitas sebagai berikut:

dimana:

Z = Nilai Probabilitas.

TD = Target waktu penyelesaian proyek.

te = Waktu yang diharapkan (Jalur Kritis).

v = Varians (Jalur Kritis).

2.7. Mempercepat Waktu Proyek (*Crashing Project*)

Dalam suatu proyek yang dikehendaki selesai dalam jangka waktu yang telah ditentukan, dapat dilakukan percepatan durasi kegiatan dengan konsekuensi akan terjadi peningkatan biaya. Percepatan durasi pelaksanaan proyek dengan biaya serendah mungkin dinamakan *crashing project* (Badri,

1991). Pada CPM untuk mempercepat waktu pengerjaan proyek maka diadakan percepatan durasi kegiatan pada jalur-jalur kritis, dengan syarat bahwa pengurangan waktu tidak akan menimbulkan jalur kritis baru. Salah satu cara untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek diantaranya:

a. Menambah Jam kerja (lembur).

b. Menambah Jumlah pekerja.

c. Menggunakan shift.

d. Menggunakan peralatan yang lebih produktif.

e. Menggunakan material yang lebih cepat pemasangannya.

f. Menggunakan metode kontruksi lain yang lebih cepat.

Menentukan penambahan biaya langsung untuk mempercepat suatu aktivitas persatuan waktu (*cost slope*) dengan rumus (4).

$$Cost\ Slope = \frac{CC - NC}{ND - CD} \quad (4)$$

dimana:

CC = Crash Cost

NC = Normal Cost

ND = Normal Duration

CD = Crash Duration

3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, penelitian dilakukan pada proyek pembuatan "Remote Terminal Unit" dan mengambil bahan penelitian dari pelaksanaan proyek serta time schedule proyek. Kemudian data tersebut akan diolah kembali menjadi hasil penelitian dengan kasus baru. Hasil penelitian ini nantinya juga akan menjadi sumber data baru pada proyek yang akan datang. Semua data tersebut diperoleh dari PT. XYZ.

3.1. Metode Bagan Balok (*Gantt Chart*)

Dalam metode ini, dicari data uraian jenis pekerjaan atau kegiatan dengan spesifik berdasarkan wawancara, analisis, dan referensi dari berbagai sumber yang dinilai memiliki pengetahuan akan pelaksanaan proyek.

3.2. Metode Jaringan Kerja

Jika jenis pekerjaan dan waktu dalam tiap jenis pekerjaan telah ditentukan, selanjutnya adalah menyusun sebuah metode untuk mengetahui berapa lama perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek *Critical Path Method* (CPM) Setelah semua

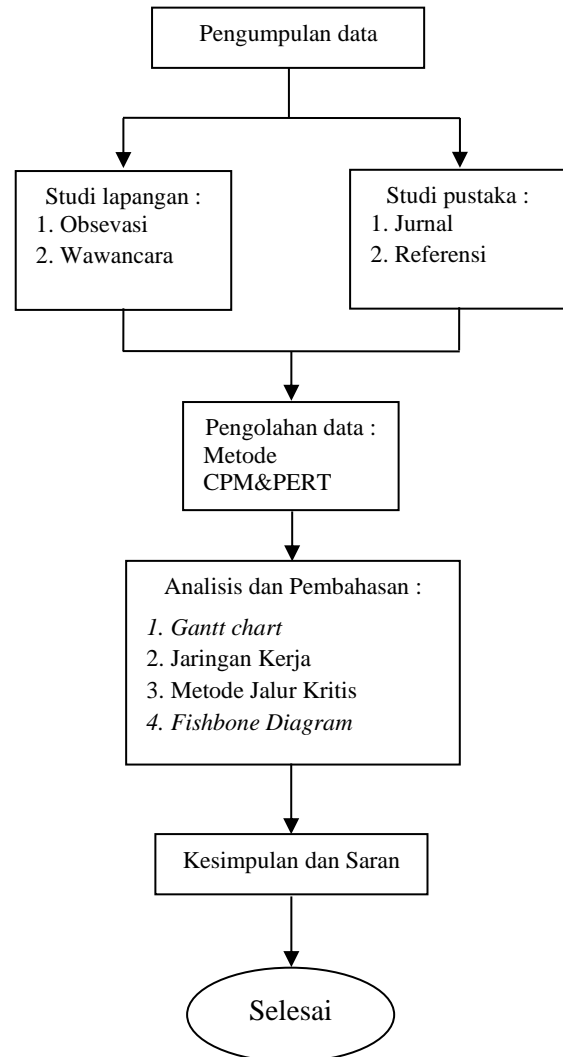
kegiatan proyek tersusun dengan urutan kegiatan lain dalam komponen pengerjaan proyek, kemudian analisis untuk menentukan jalur kegiatan yang memiliki jalur kritis, yakni jalur dimana kegiatan yang apabila dalam pelaksanaannya mengalami keterlambatan, maka akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan.

3.3. Program Evaluation and Review Technique (PERT)

Dengan metode PERT bermaksud menampung adanya unsur-unsur yang belum pasti, kemudian menganalisis kemungkinan-kemungkinan sejauh mana proyek menyimpang atau memenuhi sasaran jadwal penyelesaian

3.4. Diagram Tulang Ikan (Fishbone Diagram)

Diagram Ishikawa disebut juga diagram tulang ikan merupakan diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari sebuah even yang spesifik, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menjelaskan urutan pekerjaan yang sudah menjadi standar prosedur dalam pekerjaan RTU.

4.1. Pengolahan Data

Pengolahan data akan dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode CPM dan metode PERT. Seluruh kegiatan yang dilaksanakan untuk proyek pembuatan Remote Terminal Unit (RTU) ini dan durasi waktu untuk mengerjakan proyek dalam pengumpulan data akan digunakan untuk pembuatan diagram network yang akan menggambarkan seluruh kegiatan proyek.

Tahap pertama dalam penyusunan jaringan kerja adalah memperinci setiap aktivitas. Kemudian tahap selanjutnya adalah menentukan urutan ketergantungan antara kegiatan satu dengan kegiatan yang lain, karena

dalam pembuatan jaringan kerja harus diketahui kegiatan yang mendahului (*predecessor*).

4.2. Metode CPM

Perhitungan pada metode CPM menggunakan perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*). Untuk menghitung waktu selesai. Adapun hubungan ketergantungan antar pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, peneliti menggambarkan diagram jaringan kerja proyek pembuatan Remote Terminal Unit seperti terlihat pada Gambar 9.

Berdasarkan Tabel 2, terdapat beberapa kegiatan yang memiliki kelonggaran waktu atau *slack time* yaitu misalnya pada kegiatan J selama 16 hari, dan pada kegiatan lainnya dimana waktu kegiatan dapat ditunda tanpa menunda penyelesaian proyek.

Contoh perhitungan maju pada kegiatan B:

$$EF = ES + D$$

Di mana:

EF = waktu selesai paling awal (*Earliest Finish*)

ES = waktu mulai paling awal (*Earliest Start*)

D = kurun waktu kegiatan yang bersangkutan (*Duration*)

$$EF = 1 + 10 \\ = 11$$

Waktu mulai paling awal ditambah dengan durasi kegiatan maka dihasilkan kegiatan selesai awal selama 11 hari.

Contoh perhitungan mundur pada kegiatan B :

$$LS = LF - D$$

dimana:

LS = waktu mulai paling akhir (*Latest Start*)

LF = waktu selesai paling akhir (*Latest Finish*)

D = kurun waktu kegiatan yang bersangkutan (*Duration*)

$$LS = 11 - 10 \\ = 1$$

Waktu selesai paling akhir dikurangi dengan durasi kegiatan maka dihasilkan waktu kegiatan akhir selama 1 hari.

Contoh perhitungan *slack time* (kelonggaran waktu) pada kegiatan J :

$$Slack = LF - EF$$

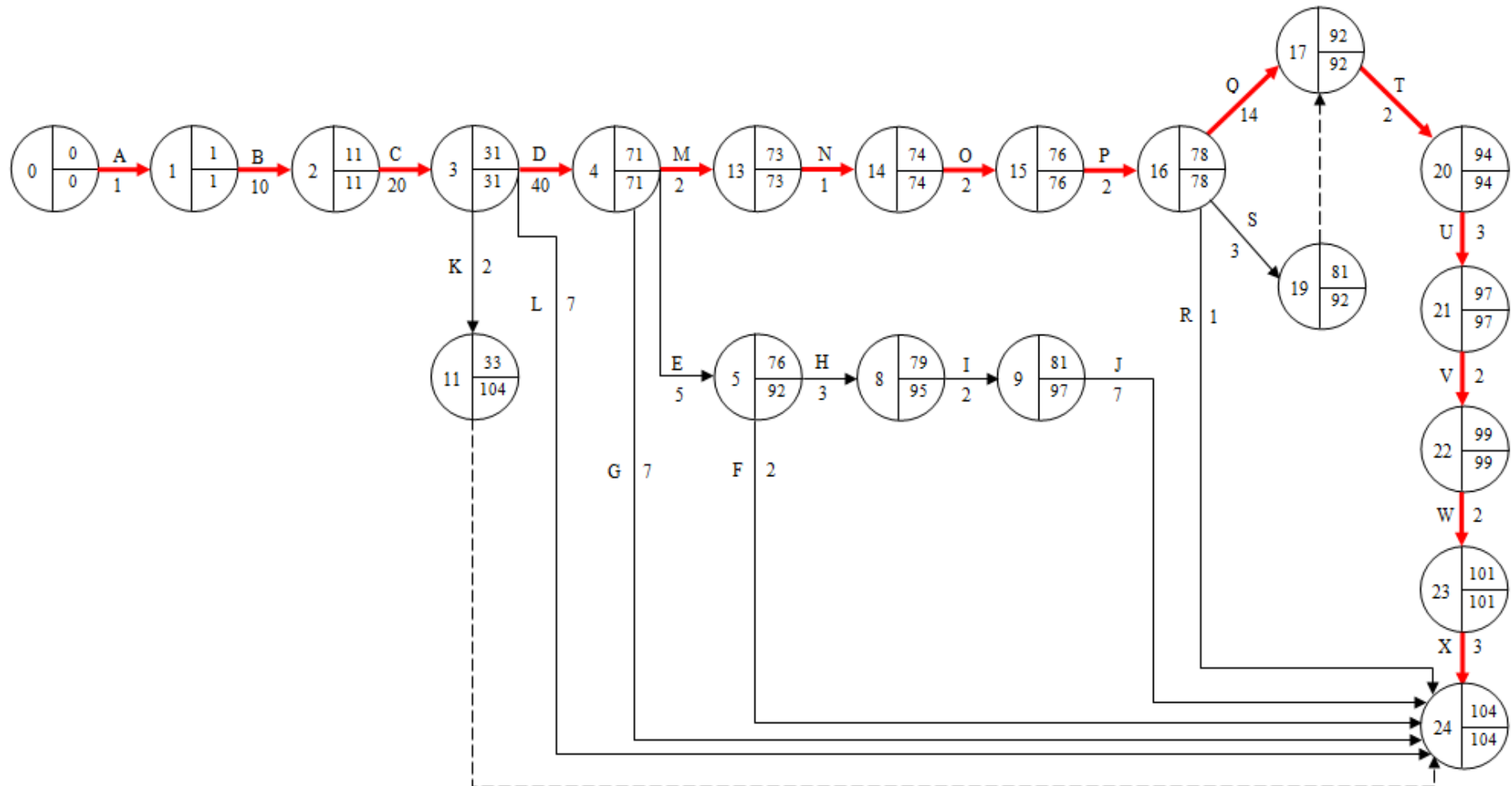
Atau

$$Slack = LS - ES$$

$$Slack = 104 - 88 \\ = 16$$

Tabel 1. Data Waktu dan Urutan Pekerjaan RTU

No.	Kode	Aktivitas	Urutan	Durasi (Hari)
1	A	Kick off Meeting	-	1
2	B	Process Engineering	A	10
3	C	Approval Drawing	B	20
4	D	Material Procurement	C	40
5	E	RTU Panel Assembly	D	5
6	F	Programming	E	2
7	G	Fabrication Support Panel	D	7
8	H	RTU Panel Test	E	3
9	I	Packing	H	2
10	J	Delivery	I	7
11	K	Piling Monopole	C	2
12	L	Pekerjaan Galian Pondasi	C	7
13	M	Pekerjaan Pembuatan Besi Sloof	D	2
14	N	Pemasangan Pondasi Sloof	M	1
15	O	Pemasangan Wiremesh	N	2
16	P	Pengecoran Area RTU	O	2
17	Q	Pekerjaan Fence RTU	P	14
18	R	Pemasangan Monopole	P	1
19	S	Pemasangan Support Panel	P	3
20	T	Pemasangan RTU Panel	Q&S	2
21	U	Pulling Cable	T	3
22	V	Wiring and Termination	U	2
23	W	Loop Test	V	2
24	X	Test & Commissioning	W	3



Gambar 9. Jaringan Kegiatan Metode CPM

Tabel 2. Perhitungan dengan Metode CPM

Kegiatan	Urutan	Waktu (Hari)	ES	EF	LS	LF	Slack	Keterangan
A	-	1	0	1	0	1	0	Kritis
B	A	10	1	11	1	11	0	Kritis
C	B	20	11	31	11	31	0	Kritis
D	C	40	31	71	31	71	0	Kritis
E	D	5	71	76	87	92	16	Non Kritis
F	E	2	76	78	102	104	26	Non Kritis
G	D	7	71	78	97	104	26	Non Kritis
H	E	3	76	79	92	95	16	Non Kritis
I	H	2	79	81	95	97	16	Non Kritis
J	I	7	81	88	97	104	16	Non Kritis
K	C	2	31	33	102	104	71	Non Kritis
L	C	7	31	38	97	104	66	Non Kritis
M	D	2	71	73	71	73	0	Kritis
N	M	1	73	74	73	74	0	Kritis
O	N	2	74	76	74	76	0	Kritis
P	O	2	76	78	76	78	0	Kritis
Q	P	14	78	92	78	92	0	Kritis
R	P	1	78	79	103	104	25	Non Kritis
S	P	3	78	81	89	92	11	Non Kritis
T	Q&S	2	92	94	92	94	0	Kritis
U	T	3	94	97	94	97	0	Kritis
V	U	2	97	99	97	99	0	Kritis
W	V	2	99	101	99	101	0	Kritis
X	W	3	101	104	101	104	0	Kritis

Tabel 3. Perhitungan dengan Metode PERT

No	Kode	Aktivitas	Urutan Kegiatan	Waktu Optimis (a)	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	TE
1	A	<i>Kick of Meeting</i>	-	1	1	2	1,2
2	B	<i>Process Engineering</i>	A	8	10	15	10,5
3	C	<i>Approval Drawing</i>	B	18	20	26	20,7
4	D	<i>Material Procurement</i>	C	35	40	49	40,7
5	E	<i>RTU Panel Assembly</i>	D	4	5	9	5,5
6	F	<i>Programming</i>	E	1	2	4	2,2
7	G	<i>Fabrication Support Panel</i>	D	6	7	10	7,3
8	H	<i>RTU Panel Test</i>	E	2	3	5	3,2
9	I	<i>Packing</i>	H	1	2	3	2,0
10	J	<i>Delivery</i>	I	6	7	9	7,2
11	K	<i>Piling Monopole</i>	C	1	2	4	2,2
12	L	<i>Pekerjaan Galian Pondasi</i>	C	6	7	9	7,2
13	M	<i>Pekerjaan Pembuatan Besi Sloof</i>	D	1	2	4	2,2
14	N	<i>Pemasangan Pondasi Sloof</i>	M	0,5	1	2	1,1

No	Kode	Aktivitas	Urutan Kegiatan	Waktu Optimis (a)	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	TE
15	O	Pemasangan Wiremesh	N	1	2	3	2,0
16	P	Pengecoran Area RTU	O	1	2	4	2,2
17	Q	Pekerjaan Fence RTU	P	11	14	16	13,8
18	R	Pemasangan Monopole	P	0,5	1	2	1,1
19	S	Pemasangan Support Panel	P	2	3	5	3,2
20	T	Pemasangan RTU Panel	Q&S	1	2	3	2,0
21	U	Pulling Cable	T	2	3	4	3,0
22	V	Wiring & Termination	U	1	2	4	2,2
23	W	Loop Test	V	0,5	2	3	1,9
24	X	Test & Commissioning	W	2	3	5	3,2

Kelonggaran waktu pada kegiatan J yaitu selama 16 hari dimana kegiatan ini dapat ditunda tanpa memengaruhi atau menunda penyelesaian proyek.

Berdasarkan jaringan kerja perhitungan dengan menggunakan Critical Path Method (CPM) identifikasi kegiatan Jalur kritis (tanda panah tebal warna merah) yaitu ada pada kegiatan : A – B – C – D – M – N – O – P – Q – T – U – V – W – X , dengan durasi kegiatan pekerjaan dilakukan selama 104 hari.

Dari perhitungan dengan metode CPM tersebut proyek pembuatan Remote Terminal Unit (RTU) dapat diselesaikan dengan durasi selama 104 hari.

4.3. Metode PERT

Perhitungan metode PERT dan metode CPM memiliki kesamaan yaitu dengan perhitungan jalur kritis, namun dalam PERT terdapat tiga estimasi waktu yang menjadi unsurnya. Tiga unsur waktu tersebut adalah waktu optimis (a), waktu pesimis (b), dan waktu paling mungkin (m), dimana penentuan waktu pesimis (b) dan waktu optimis (a) didapatkan dari wawancara dengan manager proyek dan pihak yang terlibat dengan pelaksanaan proyek. Waktu ditentukan berdasarkan pengalaman pekerjaan sebelum-sebelumnya, literature serta kondisi atau cuaca dapat dijadikan pertimbangan. Setelah itu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai durasi optimal (TE).

Selain itu dalam PERT juga ditentukan sebuah standar deviasi (s) dan varians (\sqrt{TE}). Kedua perhitungan tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar ketidakpastian

sebuah proyek. Tabel 3 adalah hasil pengolahan dengan menggunakan metode PERT.

a. Menentukan rata-rata dari ketiga durasi kegiatan (TE).

Rata-rata dari ketiga durasi kegiatan ini yang nanti akan digunakan dalam penyusunan *network diagram*. Dalam menghitung rata-rata durasi kegiatan (TE) menggunakan rumus (1). Contoh perhitungan rata-rata durasi kegiatan (Te) adalah sebagai berikut:

1) Pekerjaan *Process engineering*

a = 8 hari

m = 10 hari

b = 15 hari

$$\begin{aligned} \text{maka } (Te) &= (a + 4m + b) / 6 \\ &= (8 + (4 \times 10) + 15) / 6 \\ &= 10.5 \text{ hari} \end{aligned}$$

2) Pekerjaan *Approval drawing*

a = 18 hari

m = 20 hari

b = 26 hari

$$\begin{aligned} \text{maka } (TE) &= (a + 4m + b) / 6 \\ &= (18 + (4 \times 20) + 26) / 6 \\ &= 20.7 \text{ hari} \end{aligned}$$

3) Pekerjaan *Material procurement*

a = 35 hari

m = 40 hari

b = 49 hari

$$\begin{aligned} \text{maka } (TE) &= (a + 4m + b) / 6 \\ &= (35 + (4 \times 40) + 49) / 6 \\ &= 40.7 \text{ hari} \end{aligned}$$

b. Menghitung standar deviasi (S) dan varians (V)

Setelah menghitung rata-rata durasi kegiatan, selanjutnya dilakukan perhitungan standar deviasi dan varians.

Contoh perhitungan standar deviasi dan varians adalah sebagai berikut:

1) Pekerjaan *Process engineering*

$a = 8$ hari

$m = 10$ hari

$b = 15$ hari

maka Standar deviasi (S) adalah

$$(S) = (b - a) / 6 \\ = (15 - 8) / 6 \\ = 1.17$$

$$\text{Varians (V)} = (S)^2 \\ = (1.17)^2 \\ = 1.36$$

2) Pekerjaan *Approval drawing*

$a = 18$ hari

$m = 20$ hari

$b = 26$ hari

maka Standar deviasi (S) adalah

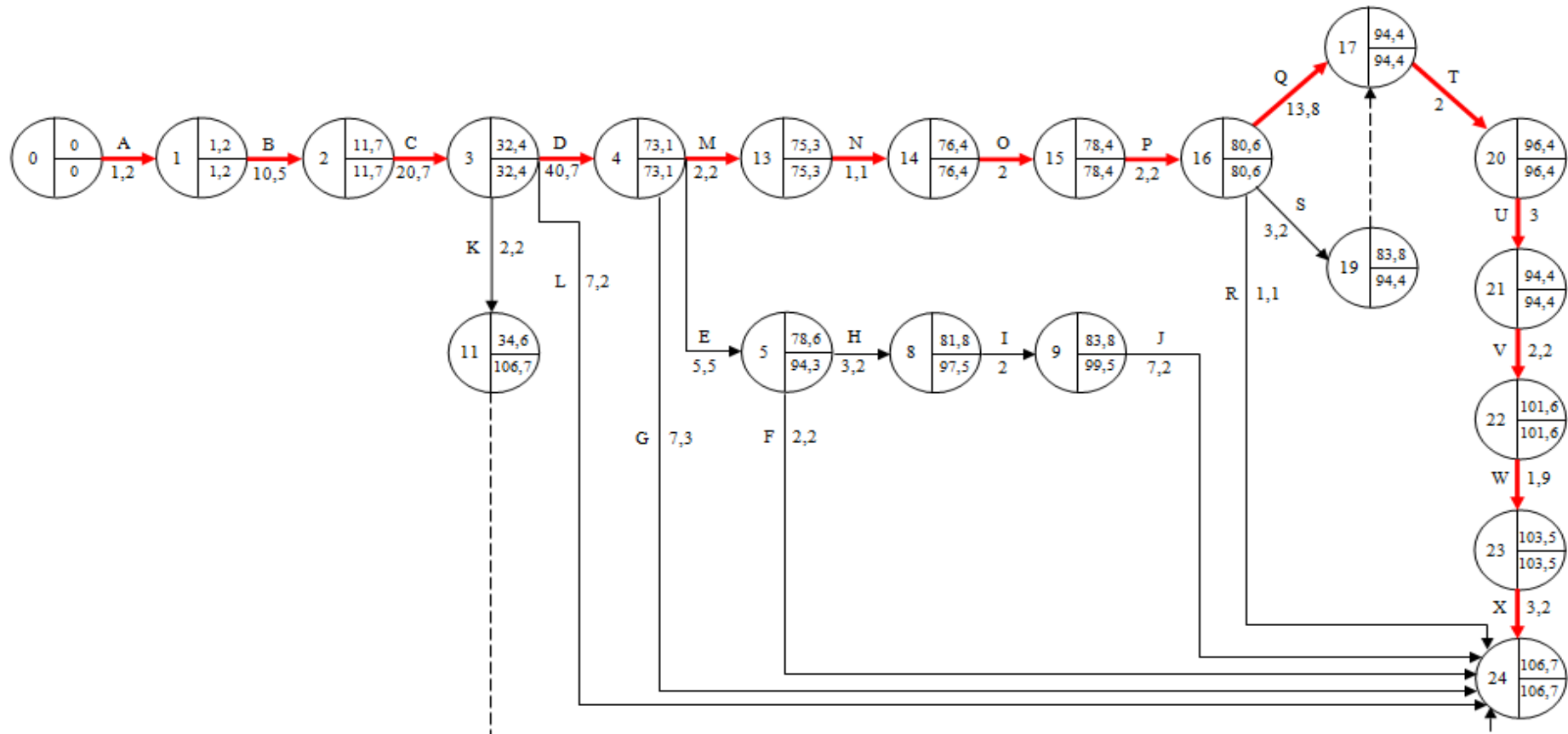
$$(S) = (b - a) / 6 \\ = (26 - 18) / 6 \\ = 1.33$$

$$\text{Varians (V)} = (S)^2 \\ = (1.33)^2 \\ = 1.78$$

Hasil selengkapnya dari perhitungan rata-rata durasi kegiatan (TE), perhitungan standar deviasi (S), dan perhitungan variance (V) dapat dilihat pada Tabel 4. Urutan kegiatan bisa dilihat pada jaringan kerja pada Gambar 10, tanda panah tebal warna merah merupakan jalur kritis. Kegiatan-kegiatan yang ada pada jalur kritis dapat dilihat seperti pada Tabel 5.

Tabel 4. Probabilitas Waktu Pelaksanaan Kegiatan

No.	Kode	Aktivitas	Te	(ES)	(EF)	(LS)	(LF)	Slack	S	V(te)	Critical
1	A	<i>Kick of Meeting</i>	1,2	0	1,2	0,0	1,2	0	0,17	0,03	Yes
2	B	<i>Process engineering</i>	10,5	1,2	11,7	1,2	11,7	0	1,17	1,36	Yes
3	C	<i>Approval drawing</i>	20,7	11,7	32,4	11,7	32,4	0	1,33	1,78	Yes
4	D	<i>Material procurement</i>	40,7	32,4	73,1	32,4	73,1	0	2,33	5,44	Yes
5	E	<i>RTU panel assembly</i>	5,5	73,1	78,6	73,1	94,3	16	0,83	0,69	No
6	F	<i>Programming</i>	2,2	78,6	80,8	94,3	80,3	0	0,50	0,25	Yes
7	G	<i>Fabrication support panel</i>	7,3	73,1	80,4	73,1	106,7	26	0,67	0,44	No
8	H	<i>RTU panel test</i>	3,2	78,6	81,8	94,3	97,5	16	0,50	0,25	No
9	I	<i>Packing</i>	2,0	81,8	83,8	97,5	99,5	16	0,33	0,11	No
10	J	<i>Delivery</i>	7,2	83,8	91,0	99,5	106,7	16	0,50	0,25	No
11	K	<i>Piling monopole</i>	2,2	32,4	34,6	32,4	106,7	72	0,50	0,25	No
12	L	Pekerjaan galian pondasi	7,2	32,4	39,6	32,4	106,7	67	0,50	0,25	No
13	M	Pekerjaan pembuatan besi sloof	2,2	73,1	75,3	73,1	75,3	0	0,50	0,25	Yes
14	N	Pemasangan pondasi sloof	1,1	75,3	76,4	75,3	76,4	0	0,25	0,06	Yes
15	O	Pemasangan wiremesh	2,0	76,4	78,4	76,4	78,4	0	0,33	0,11	Yes
16	P	Pengecoran area RTU	2,2	78,4	80,6	78,4	80,6	0	0,50	0,25	Yes
17	Q	Pekerjaan fence RTU	13,8	80,6	94,4	80,6	94,4	0	0,83	0,69	Yes
18	R	Pemasangan monopole	1,1	80,6	81,7	80,6	106,7	25	0,25	0,06	No
19	S	Pemasangan support panel	3,2	80,6	83,8	80,6	94,4	11	0,50	0,25	No
20	T	Pemasangan RTU panel	2,0	94,4	96,4	94,4	96,4	0	0,33	0,11	Yes
21	U	<i>Pulling cable</i>	3,0	96,4	99,4	96,4	99,4	0	0,33	0,11	Yes
22	V	<i>Wiring & Termination</i>	2,2	99,4	101,6	99,4	101,6	0	0,50	0,25	Yes
23	W	<i>Loop test</i>	1,9	101,6	103,5	101,6	103,5	0	0,42	0,17	Yes
24	X	<i>Test & Commissioning</i>	3,2	103,5	106,7	103,5	106,7	0	0,50	0,25	Yes



Gambar 10. Jaringan Kegiatan Metode PERT

Tabel 5. Kegiatan Jalur Kritis

No.	Kode	Aktivitas	Te	(ES)	(EF)	(LS)	(LF)	Slack	S	V(te)	Critical
1	A	Kick of Meeting	1,2	0	1,2	0,0	1,2	0	0,17	0,03	Yes
2	B	Process engineering	10,5	1,2	11,7	1,2	11,7	0	1,17	1,36	Yes
3	C	Approval drawing	20,7	11,7	32,4	11,7	32,4	0	1,33	1,78	Yes
4	D	Material procurement	40,7	32,4	73,1	32,4	73,1	0	2,33	5,44	Yes
5	M	Pekerjaan pembuatan besi sloof	2,2	73,1	75,3	73,1	75,3	0	0,50	0,25	Yes
6	N	Pemasangan pondasi sloof	1,1	75,3	76,4	75,3	76,4	0	0,25	0,06	Yes
7	O	Pemasangan wiremesh	2,0	76,4	78,4	76,4	78,4	0	0,33	0,11	Yes
8	P	Pengecoran area RTU	2,2	78,4	80,6	78,4	80,6	0	0,50	0,25	Yes
9	Q	Pekerjaan fence RTU	13,8	80,6	94,4	80,6	94,4	0	0,83	0,69	Yes
10	T	Pemasangan RTU panel	2,0	94,4	96,4	94,4	96,4	0	0,33	0,11	Yes
11	U	Pulling cable	3,0	96,4	99,4	96,4	99,4	0	0,33	0,11	Yes
12	V	Wiring & Termination	2,2	99,4	101,6	99,4	101,6	0	0,50	0,25	Yes
13	W	Loop test	1,9	101,6	103,5	101,6	103,5	0	0,42	0,17	Yes
14	X	Test & Commissioning	3,2	103,5	106,7	103,5	106,7	0	0,50	0,25	Yes

Waktu = 106,7

V(te) = 11,86

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa jalur kritis berada pada kegiatan: **A – B – C – D – M – N – O – P – Q – T – U – V – W – X**, dengan durasi kegiatan pekerjaan selama 106,7 hari dibulatkan menjadi 107 hari.

a. Menentukan standar deviasi jalur kritis.

Berdasarkan perhitungan Tabel 5 telah diketahui jalur kritis selama 107 hari dan memiliki rentang waktu sebesar:

$$\begin{aligned} \sum V(te) \text{ kegiatan pada jalur kritis} \\ &= A + B + C + D + E + F + H + I + J + M + O + \\ &P + Q \\ &= 0,03 + 1,36 + 1,78 + 5,44 + 0,25 + 0,06 + 0,11 \\ &+ 0,25 + 0,69 + 0,11 + 0,11 + \\ &0,25 + 1,17 + 0,25 \\ &= \mathbf{11,86} \end{aligned}$$

Diperoleh V(te) = 11,86 maka standar deviasi adalah:

$$S = \sqrt{11,86} = \mathbf{3,44}$$

b. Menghitung probabilitas penyelesaian proyek.

Berdasarkan hasil analisis jaringan kerja pada tahapan sebelumnya didapatkan jalur kritis, sehingga dapat kita lihat umur proyek dan kegiatan-kegiatan apa saja yang tergolong kedalam kegiatan kritis. Selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan durasi probabilitas apabila diukur sesuai waktu perencanaan sebesar 120 hari.

Rumus:

$$Z = \frac{T - TE}{\sqrt{\sigma^2}} \quad (5)$$

dimana:

Z = Nilai pada tabel distribusi normal

T(d) = Rencana durasi

TE = Project Expected times Completion

$\sqrt{\sigma^2}$ = Standard deviasi jalur kritis

Contoh perhitungan durasi probabilitas sebagai berikut:

Apabila rencana penyelesaian proyek yang ditetapkan oleh perusahaan selama 120 hari, maka:

$$Z = \frac{120 - 106,7}{\sqrt{11,86}} = \frac{13,3}{3,44} = 3,866 \approx 3,87$$

Dengan menggunakan tabel Distribusi Normal: P (Z = 3,87), maka diperoleh hasil 0,9999. Ini menunjukkan bahwa kemungkinan proyek untuk selesai pada jangka waktu sesuai perencanaan adalah 99 persen. Artinya untuk menyelesaikan proyek selama 120 hari, memiliki peluang sebesar 99 persen. Untuk analisis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6 yang menjelaskan durasi probabilitas.

Tabel 6. Durasi Probabilitas

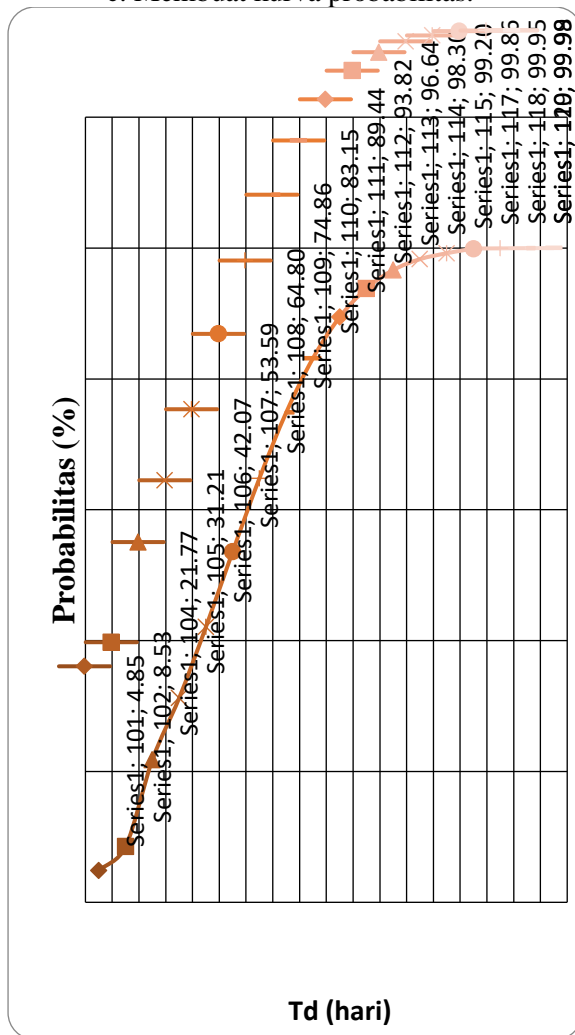
Td (hari)	Z	Distribusi Normal Kumulatif	Probabilitas (%)
101	-1,66	0,0485	4,85
102	-1,37	0,0853	8,53
104	-0,78	0,2177	21,77
105	-0,49	0,3121	31,21
106	-0,20	0,4207	42,07
107	0,09	0,5359	53,59
108	0,38	0,6480	64,8
109	0,67	0,7486	74,86
110	0,96	0,8315	83,15
111	1,25	0,8944	89,44
112	1,54	0,9382	93,82
113	1,83	0,9664	96,64
114	2,12	0,9830	98,3
115	2,41	0,9920	99,2
117	2,99	0,9986	99,86
118	3,28	0,9995	99,95
119	3,58	0,9998	99,98
120	3,87	0,9999	99,99

4.4. Crashing Project

Pada sebuah pelaksanaan proyek ketika mengalami keterlambatan dari jadwal yang telah ditentukan, maka terdapat sebuah alat yang dapat digunakan untuk mempercepat penyelesaian proyek yaitu dengan *Carshing Project*. Berdasarkan hasil wawancara dengan manager proyek, dikatakan bahwa untuk mempercepat proses penyelesaian proyek dapat dilakukan dengan sumber daya, yaitu dengan menambah jam kerja (lembur). Dalam percepatan proyek untuk alternatif penambahan jam kerja ini hanya berlaku pada kegiatan-kegiatan yang berada pada lintasan kritis karena pada lintasan kritis merupakan kegiatan yang yang tidak boleh tertunda, maka akan diambil salah satu lintasan kritis yang didapat dari pembuatan penjadwalan proyek dengan metode sebelumnya.

Adapun kegiatan yang berada pada lintasan kritis berdasarkan metode CPM atau PERT yaitu terletak pada kegiatan **A – B – C – D – M – N – O – P – Q – T – U – V – W – X**, dan berikut ini adalah percepatan waktu kegiatan proyek dengan penambahan jam kerja.

c. Membuat kurva probabilitas.



Gambar 11. Kurva Probabilitas

Tabel 7. Percepatan Waktu Proyek dengan Penambahan Jam Kerja

No.	Kode	Aktivitas	Durasi Realita (Hari)	Durasi Percepatan Penambahan 1 jam kerja (Hari)	Durasi Percepatan Penambahan 3 jam kerja (Hari)
1	A	<i>Kick of Meeting</i>	1	0,89	0,73
2	B	<i>Process Engineering</i>	10	8,89	7,27
3	C	<i>Approval Drawing</i>	20	17,78	14,55
4	D	<i>Material Procurement</i>	40	35,56	29,09
5	E	<i>RTU Panel Assembly</i>	5	5,00	5,00
6	F	<i>Programing</i>	2	2,00	2,00
7	G	<i>Fabrication Support Panel</i>	7	7,00	7,00
8	H	<i>RTU Panel Test</i>	3	3,00	3,00
9	I	<i>Packing</i>	2	2,00	2,00
10	J	<i>Delivery</i>	7	7,00	7,00
11	K	<i>Piling Monopole</i>	2	2,00	2,00
12	L	<i>Pekerjaan Galian Pondasi</i>	7	7,00	7,00
13	M	<i>Pekerjaan Pembuatan Besi Sloof</i>	2	1,78	1,45
14	N	<i>Pemasangan Pondasi Sloof</i>	1	0,89	0,73
15	O	<i>Pemasangan Wiremesh</i>	2	1,78	1,45
16	P	<i>Pengecoran Area RTU</i>	2	1,78	1,45
17	Q	<i>Pekerjaan Fence RTU</i>	14	12,44	10,18
18	R	<i>Pemasangan Monopole</i>	1	1,00	1,00
19	S	<i>Pemasangan Support Panel</i>	3	3,00	3,00
20	T	<i>Pemasangan RTU Panel</i>	2	1,78	1,45
21	U	<i>Pulling Cable</i>	3	2,67	2,18
22	V	<i>Wiring and Termination</i>	2	1,78	1,45
23	W	<i>Loop Test</i>	2	1,78	1,45
24	X	<i>Test & Commissioning</i>	3	2,67	2,18
Durasi Penyelesaian Proyek			143	131	115

Tabel 8. Perhitungan Biaya Sumber Daya Jam Kerja Normal

No.	Uraian Pekerjaan	Upah per jam	Jumlah	Upah per hari	Total Upah	Total Upah per hari	Upah per satu kegiatan	Durasi
A	<i>Kick of Meeting</i>							1
	<i>Engineer</i>	37.572	2	300.578	601.156	601.156	601.156	
B	<i>Process Engineering</i>							10
	<i>Engineer</i>	37.572	2	300.578	601.156	601.156	6.011.561	
C	<i>Approval Drawing</i>							20
	<i>Engineer</i>	37.572	2	300.578	601.156	601.156	12.023.121	
D	<i>Material Procurement</i>							40
	<i>Staf</i>	34.682	2	277.457	554.913	554.913	22.196.532	
M	<i>Pekerjaan Pembuatan Besi Sloof</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185	1.063.584	2.127.168	
	<i>Helper</i>	20.231	4	161.850	647.399			
N	<i>Pemasangan Pondasi Sloof</i>							1
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	4	161.850	647.399	1.317.919	1.317.919	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
O	<i>Pemasangan Wiremesh</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	5	161.850	809.249	1.479.769	2.959.538	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
P	<i>Pengecoran Area RTU</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	3	208.092	624.277			
	<i>Helper</i>	20.231	9	161.850	1.456.647	2.635.838	5.271.676	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
	<i>Engineer</i>	37.572	1	300.578	300.578			
Q	<i>Pekerjaan Fence RTU</i>							14
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	6	161.850	971.098	1.942.197	27.190.751	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
	<i>Engineer</i>	37.572	1	300.578	300.578			
T	<i>Pemasangan RTU Panel</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	2	161.850	323.699	994.220	1.988.439	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
U	<i>Pulling Cable</i>							3
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	2	161.850	323.699	994.220	2.982.659	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
V	<i>Wiring and Termination</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	2	161.850	323.699	1.294.798	2.589.595	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
	<i>Engineer</i>	37.572	1	300.578	300.578			
W	<i>Loop Test</i>							2
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	2	161.850	323.699	1.595.376	3.190.751	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
	<i>Engineer</i>	37.572	2	300.578	601.156			
X	<i>Test & Commissioning</i>							3
	<i>Technician</i>	26.012	2	208.092	416.185			
	<i>Helper</i>	20.231	2	161.850	323.699	1.895.954	5.687.861	
	<i>Supervisor</i>	31.792	1	254.335	254.335			
	<i>Engineer</i>	37.572	3	300.578	901.734			
					Total	17.572.254	96.138.728	104

Tabel 9. Perhitungan Biaya dengan Penambahan 1 Jam Kerja

No.	Uraian Pekerjaan	Upah per jam	Jumlah	Upah per hari	Total Upah	Total Upah per hari	Upah per satu kegiatan	Realita	Selisih	Crashing
A	<i>Kick of Meeting</i>							1	0,11	0,89
B	<i>Process Engineering</i>	Engineer 37.572	2	356.936	713.873	713.873	634.554	10	1,11	8,89
C	<i>Approval Drawing</i>	Engineer 37.572	2	356.936	713.873	713.873	6.345.536	20	2,22	17,78
D	<i>Material Procurement</i>	Staff 34.682	2	329.480	658.960	658.960	23.429.672	40	4,44	35,56
M	<i>Pekerjaan Pembuatan Desi Sloof</i>	Technician 26.012	2	247.110	494.220	1.263.006	2.245.344	2	0,22	1,78
N	<i>Pemasangan Pondasi Sloof</i>	Helper 20.231	4	192.197	768.786	1.263.006	1.122.672	1	0,11	0,89
O	<i>Pemasangan Wiramanah</i>	Supervisor 31.792	1	302.023	302.023	1.757.225	3.123.956	2	0,22	1,78
P	<i>Pengecoran Area RTU</i>	Technician 26.012	3	247.110	741.329	3.130.058	5.584.517	2	0,22	1,78
Q	<i>Pekerjaan Fence RTU</i>	Helper 20.231	9	192.197	1.729.769	302.023	356.936	14	1,56	12,44
T	<i>Pemasangan RTU Panel</i>	Supervisor 31.792	1	302.023	302.023	1.180.636	2.098.908	2	0,22	1,78
U	<i>Pulling Cable</i>	Technician 26.012	2	247.110	494.220	1.180.636	3.148.362	3	0,33	2,67
V	<i>Wiring and Termination</i>	Helper 20.231	2	192.197	384.393	1.537.572	2.733.462	2	0,22	1,78
W	<i>Loop Test</i>	Supervisor 31.792	1	302.023	302.023	1.894.509	3.368.015	2	0,22	1,78
X	<i>Test & Commissioning</i>	Engineer 37.572	2	356.936	713.873	2.251.445	6.003.854	3	0,33	2,67
					Total	20.565.029	101.211.304	104	12	92

Tabel 10. Perhitungan Biaya dengan Penambahan 3 Jam Kerja

No.	Uraian Pekerjaan	Upah per jam	Jumlah	Upah per hari	Total Upah	Total Upah per hari	Upah per satu kegiatan	Durasi (hari)			
								Realita	Selisih	Crashing	
A	<i>Kick of Meeting</i>							1	0,27	0,73	
B	<i>Process Engineering</i>	Engineer	37.572	2	507.225	1.014.451	1.014.451	737.782	10	2,73	7,27
		Engineer	37.572	2	507.225	1.014.451	1.014.451	7.377.824			
C	<i>Approval Drawing</i>	Engineer	37.572	2	507.225	1.014.451	1.014.451	14.755.649	20	5,45	14,55
		Engineer	37.572	2	507.225	1.014.451	1.014.451	14.755.649			
D	<i>Material Procurement</i>	Staf	34.682	2	468.208	936.416	936.416	27.241.198	40	10,91	29,09
		Staf	34.682	2	468.208	936.416	936.416	27.241.198			
M	<i>Pekerjaan Pembuatan Besi Sloof</i>	Technician	26.012	2	351.156	702.312	1.794.798	2.610.615	2	0,55	1,45
		Helper	20.231	4	273.121	1.092.486					
		Helper	20.231	4	273.121	1.092.486					
N	<i>Pemasangan Pondasi Sloof</i>	Technician	26.012	2	351.156	702.312	1.794.798	1.305.307	1	0,27	0,73
		Helper	20.231	4	273.121	1.092.486					
		Helper	20.231	4	273.121	1.092.486					
		Supervisor	31.792	1	429.191	429.191					
O	<i>Pemasangan Wiremesh</i>	Technician	26.012	2	351.156	702.312	2.497.110	3.632.160	2	0,55	1,45
		Helper	20.231	5	273.121	1.365.607					
		Helper	20.231	5	273.121	1.365.607					
		Supervisor	31.792	1	429.191	429.191					
P	<i>Pengecoran Area RTU</i>	Technician	26.012	3	351.156	1.053.468	4.447.977	6.469.785	2	0,55	1,45
		Helper	20.231	9	273.121	2.458.092					
		Helper	20.231	9	273.121	2.458.092					
		Supervisor	31.792	1	429.191	429.191					
Q	<i>Pekerjaan Fence RTU</i>	Engineer	37.572	1	507.225	507.225	3.277.457	33.370.468	14	3,82	10,18
		Technician	26.012	2	351.156	702.312					
		Helper	20.231	6	273.121	1.638.728					
		Helper	20.231	6	273.121	1.638.728					
		Supervisor	31.792	1	429.191	429.191					
T	<i>Pemasangan RTU Panel</i>	Engineer	37.572	1	507.225	507.225	1.677.746	2.440.357	2	0,55	1,45
		Technician	26.012	2	351.156	702.312					
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
		Supervisor	31.792	1	429.191	429.191					
U	<i>Pulling Cable</i>	Technician	26.012	2	351.156	702.312	1.677.746	3.660.536	3	0,82	2,18
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
V	<i>Wiring and Termination</i>	Supervisor	31.792	1	429.191	429.191	2.184.971	3.178.140	2	0,55	1,45
		Engineer	37.572	1	507.225	507.225					
		Technician	26.012	2	351.156	702.312					
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
W	<i>Loop Test</i>	Supervisor	31.792	1	429.191	429.191	2.692.197	3.915.922	2	0,55	1,45
		Engineer	37.572	2	507.225	1.014.451					
		Technician	26.012	2	351.156	702.312					
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
X	<i>Test & Commissioning</i>	Supervisor	31.792	1	429.191	429.191	3.199.422	6.980.557	3	0,82	2,18
		Engineer	37.572	3	507.225	1.521.676					
		Technician	26.012	2	351.156	702.312					
		Helper	20.231	2	273.121	546.243					
					Total	29.223.988	117.676.301	104	28	76	

Tabel 11. *Cost Slope* Penambahan Jam Kerja

No.	Keterangan	Waktu penyelesaian proyek (hari)	Jumlah waktu yang dipercepat (hari)	Besar biaya proyek (Rp)	Besar tambahan (Rp)	<i>Cost slope</i> (Rp)
1	Waktu normal	143	0	96.138.728	-	-
2	Penambahan 1 Jam kerja	131	12	101.211.304	5.072.575	422.715
3	Penambahan 3 Jam kerja	115	28	117.676.301	21.537.572	769.199

Pada Tabel 7 menunjukkan durasi percepatan waktu dengan penambahan 1 jam dan 3 jam waktu kerja pada tiap kegiatan yang terletak pada lintasan kritis yang kemudaiannya akan diolah dengan *crashing project*.

Berdasarkan Tabel 8 biaya sumber daya manusia pada tiap lintasan kritis dengan perhitungan jam kerja normal dapat diketahui total upah per hari sebesar Rp. 17.572.254 dan total biaya seluruh kegiatan sebesar Rp. 96.138.728.

Setelah mengetahui jumlah biaya sumber daya manusia pada jam kerja normal selanjutnya menghitung biaya jika dilakukan *crashing* pada durasi waktu realita dengan penambahan 1 jam dan 3 jam kerja. Berikut adalah perhitungan biaya *crash* nya.

Tabel 9 dan Tabel 10 merupakan perhitungan biaya sumber daya manusia yang dilakukan *crashing* pada lintasan kegiatan kritis yaitu dengan penambahan 1 jam dan 3 jam kerja. Dari hasil analisis dan perhitungan tersebut maka diperoleh nilai *cost slope* untuk masing-masing penambahan jam kerja seperti pada Tabel 11.

Dari Tabel 11 dijelaskan bahwa terdapat perbedaan durasi waktu penyelesaian proyek antara waktu normal dengan alternatif penambahan 1 jam dan 3 jam waktu kerja serta terdapat perbedaan besaran biaya sumber daya manusia setelah dilakukan *crashing*. Dalam waktu normal penyelesaian proyek *Remote Terminal Unit* (RTU) memakan waktu selama 143 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 96.138.728 dan dengan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja maka proyek dapat diselesaikan dengan waktu 131 hari dengan penambahan biaya Rp. 5.072.575 jadi total biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis dengan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja menjadi Rp. 101.211.304. Sedangkan dengan alternatif penambahan 3 jam waktu kerja proyek dapat diselesaikan dengan waktu 115 hari dengan penambahan biaya Rp. 21.537.572 jadi total

biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis dengan adanya penambahan 3 jam waktu kerja adalah sebesar Rp. 117.676.301.

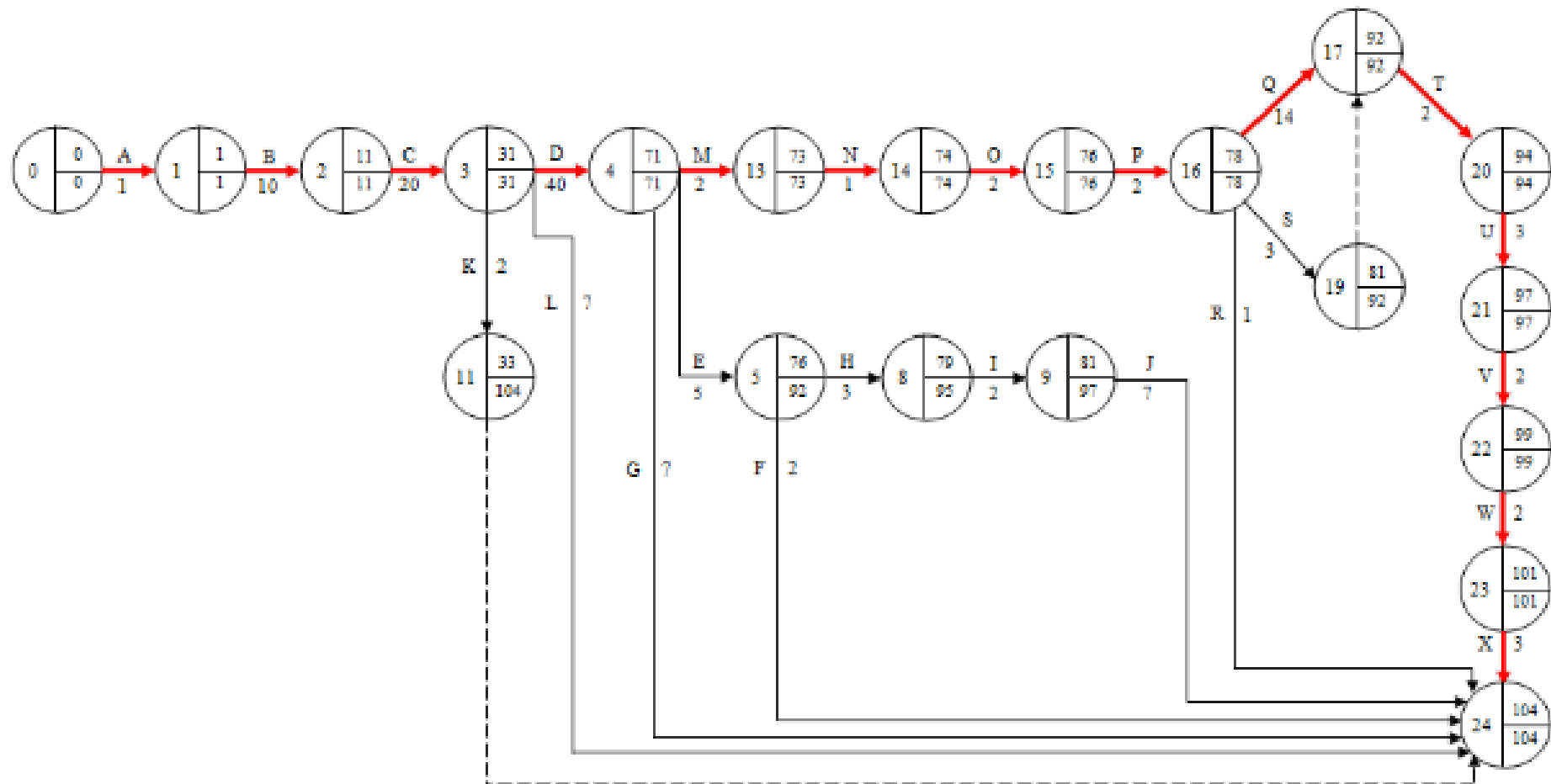
Tercatat bahwa dengan menggunakan *crashing project* terhadap sumber daya manusia kita dapat memangkas waktu pekerjaan sehingga pekerjaan bisa terselesaikan sesuai dengan jadwal yang direncanakan.

4.5. Analisis Jaringan Kegiatan Proyek *Remote Terminal Unit* (RTU)

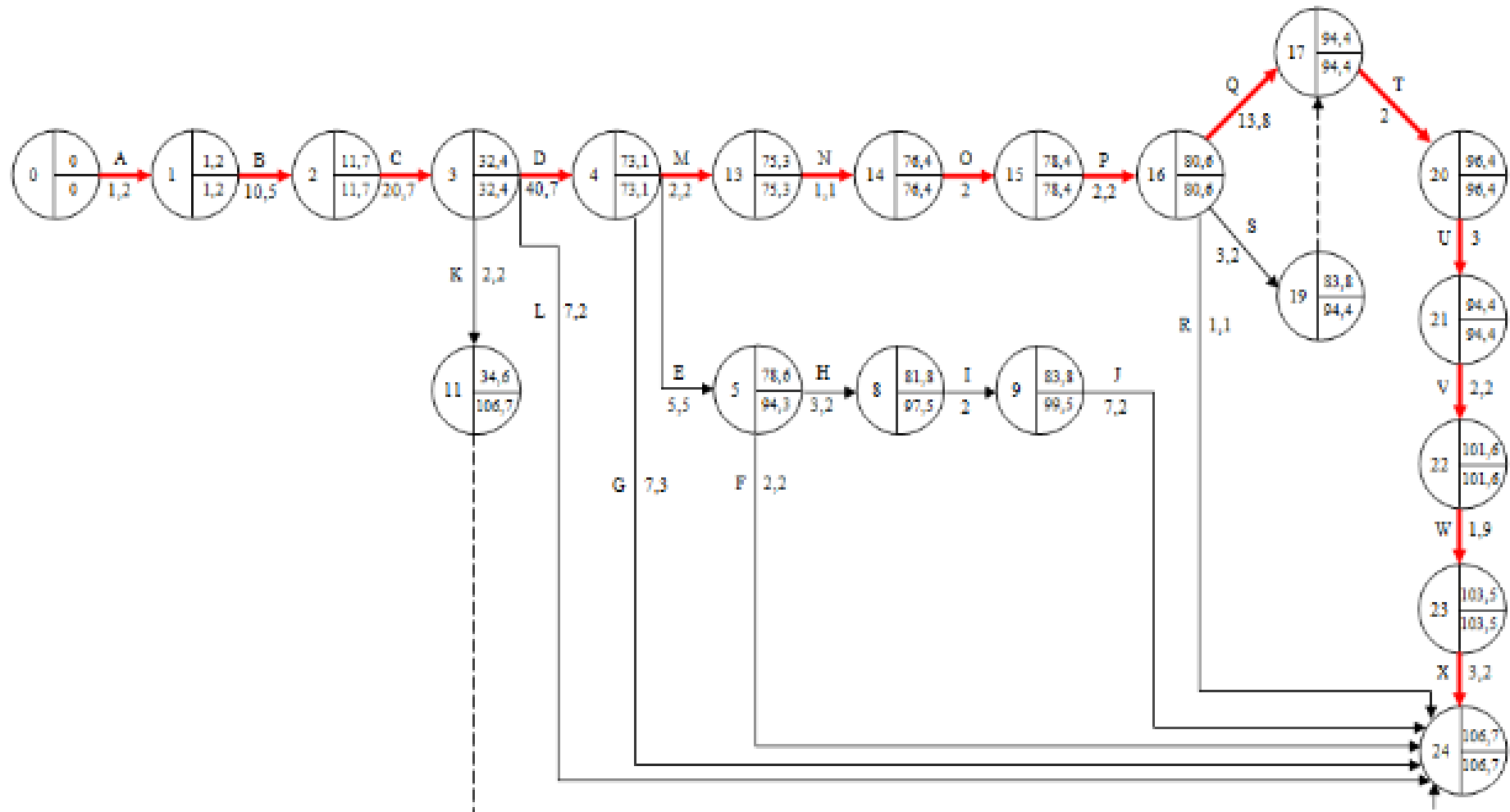
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan metode CPM dan PERT, maka jaringan kerja proyek *Remote Terminal Unit* yang merupakan jalur kritis atau durasi paling lama dalam kegiatan pekerjaan proyek dapat dilihat seperti pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Dalam jaringan kegiatan proyek tersebut jalur yang bertanda anak panah tebal merupakan kegiatan pada lintasan kritis. Jalur lintasan kritis berada pada kegiatan **A – B – C – D – M – N – O – P – Q – T – U – V – W – X** dan jenis kegiatan pekerjaan bisa dilihat pada urutan berikut ini.

1. *Kick of Meeting* (A)
2. *Proses Engineering* (B)
3. *Approval Drawing* (C)
4. *Material Procurement* (D)
5. Pekerjaan pembuatan besi *sloof* (M)
6. Pemasangan pondasi *sloof* (N)
7. Pemasangan *wiremesh* (O)
8. Pengecoran area RTU (P)
9. Pekerjaan *fence* RTU (Q)
10. Pemasangan RTU Panel (T)
11. *Pulling cable* (U)
12. *Wiring & termination* (V)
13. *Loop test* (W)
14. *Test & commissioning* (X)



Gambar 12. Jaringan Kegiatan Metode CPM



Gambar 13. Jaringan Kegiatan Metode PERT

Kegiatan proyek pada lintasan kritis terdapat 14 jenis kegiatan dimana kegiatan-kegiatan tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus karena jika pada kegiatan tersebut terdapat penundaan atau keterlambatan maka dampaknya dapat menyebabkan keterlambatan pada penyelesaian proyek RTU dan tentunya akan memberikan dampak kerugian baik dari segi waktu, biaya, maupun nama baik perusahaan.

4.6. Analisis Metode CPM dan PERT

Berdasarkan informasi dan data yang diperoleh, pelaksanaan proyek pembuatan RTU ini direncanakan akan membutuhkan waktu sebesar 120 hari yang mengalami keterlambatan sebesar 23 hari dari jadwal proyek atau *time schedule* yang seharusnya dijadwalkan. Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan metode jalur kritis (CPM) seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek RTU yaitu didapatkan selama 104 hari yang artinya dengan metode jalur kritis (CPM) penyelesaian proyek tersebut dapat diselesaikan 16 hari lebih cepat dari jadwal waktu yang direncanakan. Bilamana dilihat dari actual pelaksanaan proyek pekerjaan RTU yang terselesaikan selama 143 hari, maka jika dibandingkan dengan rencana kerja (*time schedule*) ada keterlambatan selama 23 hari dan jika dengan menggunakan metode jalur kritis (CPM) proyek pekerjaan RTU ini mengalami keterlambatan 39 hari. Artinya dengan metode jalur kritis proyek tersebut dapat diselesaikan lebih cepat 39 hari dari waktu pelaksanaan. Hasil analisis dengan menggunakan metode PERT waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek RTU yaitu didapatkan selama 106,7 hari. Dengan standar deviasi sebesar 3,44 apabila durasi pelaksanaan proyek sesuai dengan rencana (*time schedule*) yaitu selama 120 hari, maka peluang untuk menyelesaikan proyek pembuatan RTU adalah sebesar 99 persen.

Berdasarkan hasil analisis dengan pengolahan menggunakan metode jalur kritis dan PERT dapat merujuk kita sebagai pelaksanaan proyek untuk dapat merencanakan jadwal proyek dengan mengoptimalkan. Jika proyek pembuatan RTU tersebut direncanakan dengan menggunakan metode jalur kritis dan PERT, maka kita dapat mengetahui jalur kritis pada setiap pekerjaan, waktu selesainya, rentang waktu serta tingkat

kemungkinan proyek selesai yang dihitung dalam satuan persen. Menurut hasil wawancara dengan project manager PT. XYZ, bahwa selama pelaksanaan proyek RTU ini tidak ada metode yang digunakan untuk merencanakan dan mengendalikan jadwal proyek. Artinya bahwa jika proyek tersebut dilakukan dengan menggunakan metode jalur kritis dan PERT, maka setiap kegiatan yang dilakukan akan dapat dikontrol dengan dua metode tersebut.

4.7. Analisis *Crashing Project*

Hasil analisis yang dilakukan dengan *crashing project* terhadap kegiatan pelaksanaan proyek melalui sumber daya manusia yaitu dengan penambahan jam kerja (lembur). Digunakan dua alternatif penambahan jam kerja yaitu dengan penambahan 1 jam waktu kerja dan 3 jam waktu kerja dimana penambahan jam kerja ini hanya berlaku pada kegiatan-kegiatan yang berada pada lintasan kritis.

Dalam waktu normal seperti yang terlihat pada Tabel 4.10 pada kegiatan lintasan kritis memakan waktu selama 104 hari dengan biaya sumber daya sebesar Rp. 96.138.728. Setelah dilakukan *crashing* dengan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja maka didapatkan percepatan waktu menjadi 92 hari selisih 12 hari dari waktu normal dengan penambahan biaya Rp. 5.072.575 jadi total biaya sumber daya dengan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja menjadi Rp. 101.211.304 seperti yang terlihat pada Tabel 11. Sedangkan dengan alternatif penambahan 3 jam waktu kerja seperti yang terlihat pada Tabel 12 didapatkan percepatan waktu selama 76 hari selisih 28 hari dari waktu normal dengan penambahan biaya Rp. 21.537.572 jadi total biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis dengan adanya penambahan 3 jam waktu kerja adalah sebesar Rp. 117.676.301.

Berdasarkan analisis dan perhitungan tersebut maka diperoleh nilai *cost slope* untuk masing-masing kegiatan penambahan jam kerja seperti yang terlihat pada Tabel 13 dimana dalam waktu normal penyelesaian proyek Remote Terminal Unit (RTU) memakan waktu selama 143 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 96.138.728 dan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja penyelesaian proyek selama 131 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 101.211.304 sedangkan dengan alternatif penambahan 3 jam waktu kerja proyek

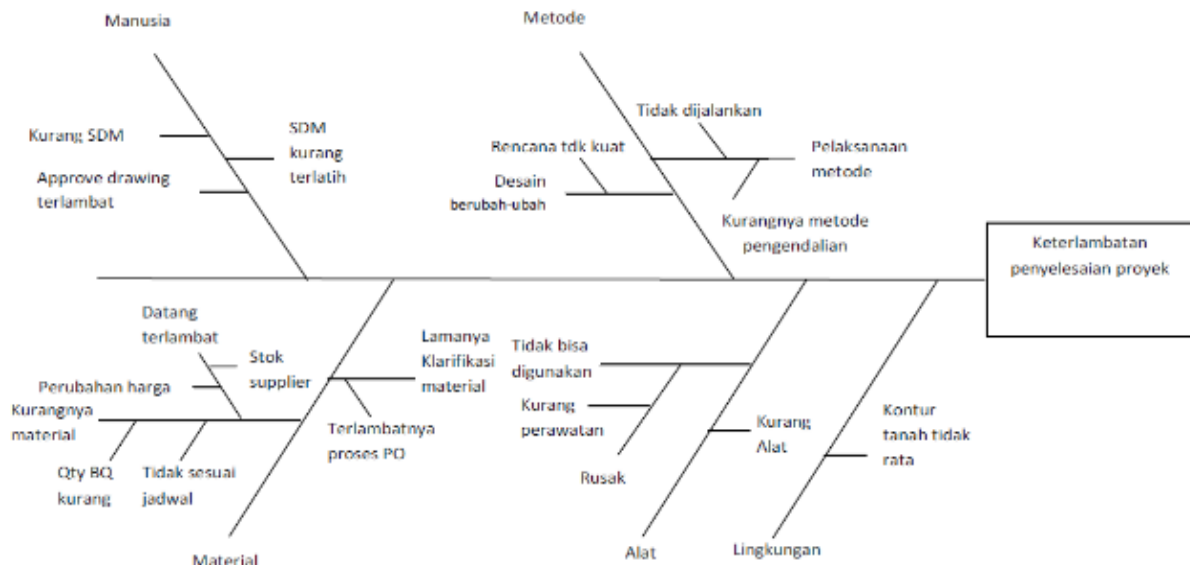
dapat terselesaikan selama 115 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 117.676.301.

4.8. Analisis Diagram Tulang Ikan

Dalam pelaksanaan proyek tentunya tidak tertutup kemungkinan ada yang tidak sesuai dengan yang telah direncanakan ada beberapa masalah-masalah yang timbul. Masalah-

masalah yang timbul dalam pelaksanaan proyek diuraikan kedalam salah satu alat kualitas yang berfungsi sebagai pemecahan masalah yaitu diagram tulang ikan.

Berikut adalah diagram tulang ikan sebagai alat analisis faktor-faktor yang memengaruhi jalannya proyek yang didapatkan dari hasil wawancara dengan manajer proyek diantaranya:



Gambar 14. Diagram Tulang Ikan

Tabel 12. Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan

No	Gantt Chart	CPM	PERT
1.	Jaringan berupa bagan balok menggambarkan tanggal mulai dan berakhirnya proyek yang menunjukkan hubungan setiap fase atau tingkatan pekerjaan.	Jaringan kegiatan dengan metode CPM menggunakan satu rencana yang pasti (<i>deterministic</i>).	Jaringan kegiatan dengan metode PERT menggunakan tiga waktu (probabilistik), yaitu waktu optimis (<i>a</i>), waktu paling mungkin (<i>m</i>), waktu pesimis (<i>b</i>).
2.	Sederhana, mudah dibuat dan dipahami. Dapat digunakan baik pada proyek yang sudah atau sering dikerjakan atau pada proyek baru (belum pernah dikerjakan).	Cocok digunakan pada proyek yang sudah sering dikerjakan, sehingga durasi kerja dari setiap kegiatan dapat diperkirakan dengan tepat. Namun tidak cocok digunakan pada proyek yang baru atau belum pernah dikerjakan.	Cocok digunakan pada proyek yang baru dikerjakan atau belum pernah dikerjakan sebelumnya. Karena menggunakan durasi probabilitas yang memperhitungkan beberapa kemungkinan.
3.	Tidak dapat menunjukkan secara spesifik hubungan ketergantungan antar yang satu kegiatan dengan kegiatan yang lain. Kegiatan yang ada pada jalur kritis tidak diketahui. Durasi penyelesaian proyek selama 120 hari.	Dengan menggunakan metode CPM kegiatan yang berada dalam jalur kritis dapat diketahui, yaitu berada kegiatan A-B-C-D-M-N-O-P-Q-T-U-V-W-X dengan durasi penyelesaian keseluruhan proyek selama 104 hari. Lebih cepat 16 hari bila dibandingkan dengan waktu perencanaan 120 hari.	Dengan metode PERT jalur kritis terdapat pada kegiatan A-B-C-D-M-N-O-P-Q-T-U-V-W-X dengan durasi penyelesaian proyek selama 106,7 hari dengan standar deviasi 3,44. Apabila durasi proyek ditetapkan sesuai rencana (<i>time schedule</i>) 120 hari, maka peluang untuk dapat menyelesaikan proyek pembuatan RTU sebesar 99%.

Dari analisis keterlambatan penyelesaian proyek dengan diagram tulang ikan dapat disimpulkan bahwa terdapat lima faktor penyebab utama. Berikut adalah faktor-faktor penyebab keterlambatan penyelesaian proyek:

1. Manusia

Kurangnya sumber daya manusia di lapangan, yang menyebabkan terlambatnya penyelesaian pekerjaan, lalu beberapa sumber daya manusia yang ada belum sepenuhnya menguasai pekerjaan, itu terbukti dari banyaknya kesalahan yang dilakukan pekerja. Sebelum pekerjaan dilakukan harus ada gambar kerja terlebih dahulu yang sudah mendapatkan persetujuan dari User. Proses untuk persetujuan tersebut terkadang mengalami kendala baik dari segi waktu maupun kesediaan User yang mengakibatkan terlambatnya persetujuan gambar kerja tersebut.

2. Metode

Pada sisi metode terdapat penyebab berupa pelaksanaan metode tidak berjalan dengan baik atau bahkan dalam prakteknya metode tidak dijalankan akibatnya kurang kontrol sehingga kurang pengendalian terhadap berjalannya metode tersebut. Desain yang berubah-ubah akibat perencanaan yang tidak cukup kuat bisa menyebabkan pekerjaan berulang-ulang hingga dapat memengaruhi pada penyelesaian proyek.

3. Material

Yaitu terdapat keterlambatan pada material yang sudah ditentukan saat perencanaan untuk digunakan terkadang datang tidak sesuai dengan jadwal yang diberikan proyek, saat material akan digunakan, material tersebut belum didatangkan ke proyek. Ada beberapa sebab mengapa material tersebut terlambat yaitu, stock di supplier yang tidak tersedia. Terkadang harga ada perubahan karena mengikuti pasar sehingga menyebabkan perubahan kesepakatan dari penawaran harga sebelumnya hingga mengakibatkan terjadinya negosiasi ulang sehingga menyebabkan terlambatnya pembukaan PO (*purchase order*).

4. Alat

Alat kerja jumlahnya kurang dari yang dibutuhkan proyek penyebabnya berupa peralatan hilang akibat kurangnya pengawasan, terdapat peralatan yang rusak yang disebabkan tenaga kurang ahli dalam

melaksanakan pekerjaan, penggunaan alat yang tidak tepat tidak sesuai dengan peruntukannya dan alat kerja kurang diberikan perawatan sehingga alat kerja sering terjadi kerusakan yang menghambat pekerja melakukan pekerjaan.

5. Lingkungan

Pada sisi lingkungan terdapat penyebab berupa kontur tanah yang tidak rata sehingga diperlukan perataan tanah terlebih dahulu sehingga berpengaruh terhadap keterlambatan proyek.

4.9. Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan dengan dua metode CPM dan PERT kemudian dibandingkan dengan penjadwalan perencanaan awal menggunakan *Gantt Chart (time schedule)*, Analisis perhitungan dari ketiga metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.

5. SIMPULAN

Dengan menggunakan metode CPM di peroleh waktu penyelesaian keseluruhan proyek dengan durasi 104 hari lebih cepat 16 hari dibandingkan dengan durasi perencanaan 120 hari. Kegiatan-kegiatan yang masuk dalam jalur kritis adalah pekerjaan *Kick of meeting (A) – Process engineering (B) – Approval drawing (C) – Material procurement (D) – Pekerjaan pembuatan besi sloof (M) – Pemasangan pondasi sloof (N) – Pemasangan wiremesh (O) – Pengecoran area RTU (P) – Pekerjaan fence RTU (Q) – Pemasangan RTU panel (T) – Pulling cable (U) – Wiring & Termination (V) – Loop test (W) – Test & Commissioning (X)*.

Dengan menggunakan metode PERT peluang penyelesain keseluruhan proyek dengan durasi waktu sesuai perencanaan 120 hari sebesar 99,9%. Untuk mendapatkan probabilitas penyelesaian proyek di atas 99% dibutuhkan durasi pelaksanaan sebesar 115–120 hari.

Dengan metode CPM dan PERT, penjadwalan menjadi lebih detail dibandingkan hanya dengan menggunakan perencanaan dengan diagram batang atau *gantt chart*. Dengan menggunakan metode CPM dan PERT kegiatan-kegiatan yang masuk jalur kritis dapat diketahui dan diidentifikasi sehingga keterlambatan penyelesaian proyek dapat diantisipasi atau dihindari.

Crashing project atau percepatan proyek dapat dilakukan dengan mempercepat pada tiap kegiatan dalam lintasan kritis. Diketahui dalam waktu normal penyelesaian proyek *Remote Terminal Unit* (RTU) memakan waktu selama 143 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 96.138.728 dan dengan alternatif penambahan 1 jam waktu kerja (lembur) penyelesaian proyek selama 131 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 101.211.304 sedangkan dengan alternatif penambahan 3 jam waktu kerja proyek dapat terselesaikan selama 115 hari dengan biaya sumber daya pada kegiatan lintasan kritis sebesar Rp. 117.676.301.

DAFTAR PUSTAKA

- Badri, S. 1997. Dasar-dasar *Network Planning* (Dasar-Dasar Perencanaan Jaringan Kerja). Rineka Cipta, Jakarta.
- Ezekiel, R. M. I., Jermias T., dan Pingkan, A. K. P. 2016. Penerapan Metode CPM Pada Proyek Kontruksi. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 4. No.9. September 2016 (551-558) ISSN: 2337-6732.
- Hayun, A. 2005. Perencanaan dan Pengendalian Proyek dengan metode PERT-CPM : Studi Kasus Flyover Ahmad Yani, Karawang. *Journal The Winners*, Vol. 6, No. 2, h. 155-174.
- Heizer, J., dan Render, B. 2011. *Operation Management, 11th Editon*. New Jersey, USA: Pearson Prentoce Hall.
- Maharesi, R. 2002. Penjadwalan Proyek dengan Menggabungkan Metode *PERT* dan *CPM*. *Proceeding*, Komputer dan Sistem intelejen (KOMMIT), Jakarta.
- Arifudin, Riza. Optimasi Penjadwalan Proyek dengan Penyeimbang Biaya Menggunakan Kombinasi CPM dan Algoritma Genetika. *Jurnal Matematika FMIPA, Jurnal Masyarakat Informatika, Vol. 2, No. 4, Universitas Negeri Semarang*.
- Nurwahidin, M., Suparno., dan Ahmadi. 2016. Analisa *Network Planning* dan Sumber daya pada Proyek Pengembangan Dermaga Semampir dengan *Critical Path Method* (CPM). *Proseding Seminar Nasional Pascasarjana STTAL*.
- Subagyo., Pangestu., Asri, M., dan Handoko, T. 2000. Buku Dasar-Dasar *Operations Research*. BPFE, Yogyakarta.
- Soeharto, I. 1999. Manajemen Proyek dari Konseptual Sampai Operasional. Erlangga, Jakarta.
- Tampubolon, M.P. 2004. Manajemen Operasional. Ghaila Indonesia, Jakarta.
- Caeseron, D., dan Thio, A. 2013. Analisa Penjadwalan Waktu Dengan Metode Jalur Kritis dan PERT Pada Proyek Pembangunan Ruko (Jl. Pasar Lama No. 20, Glodok). *Jurnal Of Industrial Engineering & Management System* Vol.8, No. 2