

# Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Pembangunan Persinyalan Elektrik di Stasiun Kertapati dengan Penerapan Metode *Crash Program*

NYIMAS SYARIFAH KHODIJAH, SUGANDI YAHDIN, DAN NOVI RUSTIANA DEWI

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

**Intisari:** Pertumbuhan angkutan batubara dan peningkatan perkembangan ekonomi mengakibatkan lalu lintas perkeretaapian di lintas Kertapati – Tanjung Karang dan Kertapati – Tanjung Enim semakin padat. Hal ini mengakibatkan semakin beratnya beban kerja PPKA (Petugas Pengatur Perjalanan Kereta Api) karena Stasiun Kertapati masih menggunakan persinyalan mekanik dalam operasionalnya. Untuk mengantisipasi hal tersebut pihak Kementerian Perhubungan Republik Indonesia melalui Satuan Kerja Pengembangan Perkeretaapian Sumatera Selatan mengganti sistem persinyalan mekanik menjadi sistem persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati. Pekerjaan pembangunan persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati dilaksanakan oleh PT. Len Railways System dan disurveksi oleh konsultan CV. Wira Cipta Mandiri. Penjadwalan proyek pembangunan persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati yang semula diperhitungkan selesai selama 511 hari dengan biaya sebesar Rp 49.653.616.680,31 dapat dilakukan dengan pengefisienan waktu. Metode yang digunakan untuk menganalisis optimalisasi penjadwalan proyek ini dilakukan dengan CPM dan PERT serta bantuan *software* Lindo 6.1. Melalui perhitungan *crash program* pada metode CPM dan PERT diperoleh waktu penyelesaian proyek selama 427 hari dengan biaya sebesar Rp 49.302.424.985,4, dimana persentase percepatan waktu penyelesaian proyek adalah 16,4383562% dan persentase pengurangan biaya adalah 0,7072832%.

**Kata Kunci:** penjadwalan, CPM, PERT, lindo, *crash program*.

**Abstract:** The growth of coal transport and increased economic development resulted in railway traffic Kertapati - Tanjung Karang and Kertapati - Tanjung Enim increasingly crowded. This resulted in more work load of PPKA (Regulator Officers of Train Journey) because Kertapati Station is still operated using mechanical signaling system. To anticipate of that the Ministry of Transport Republic of Indonesia through the South Sumatera Railways Development Working Unit replace mechanical signaling system into electrical signaling systems at Kertapati Station. The construction project of electrical signaling at Kertapati station is implemented by PT. Len Railways System and supervised by consultants CV. Wira Cipta Mandiri. The scheduling of construction project of Electrical signaling systems Kertapati station originally was estimated finished for 511 days at a cost Rp 49.653.616.680,31 can be optimized by efficiency time. Analysis of optimization of the project were done by CPM and PERT methods and support by software Lindo 6.1. Through calculating with crash program on the CPM and PERT methods, project completion time is obtained during 427 days at a cost Rp 49.302.424.985,40, by the percentage of acceleration of project completion time is 16.4383562% and the percentage of reduction in cost is 0.7072832%.

**Keywords:** scheduling, CPM, PERT, lindo, crash program

## 1 PENDAHULUAN

Mengantisipasi semakin meningkatnya lalu lintas perkeretaapian, pihak Kementerian Perhubungan Republik Indonesia melalui Satuan Kerja Pengembangan Perkeretaapian Sumatera Selatan mengganti sistem persinyalan mekanik menjadi sistem persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati. Mengingat mendesaknya kebutuhan akan sistem persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati tersebut, maka penulis mencoba membuat suatu optimalisasi pelaksanaan proyek agar bisa dilaksanakan secara lebih efisien baik dalam segi waktu maupun biaya.

Optimalisasi ini akan dilakukan dengan metode *crash program*. *Crash program* adalah salah satu cara untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek, yaitu dengan mereduksi waktu penyelesaian suatu kegiatan yang akan berpengaruh terhadap waktu penyelesaian proyek. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan dalam *crash program*, yaitu penambahan jam kerja, pembagian giliran kerja, penambahan tenaga kerja, penambahan atau penggantian peralatan, penggantian atau perbaikan metode kerja, dan kombinasi dari beberapa alternatif tersebut.

CPM (*Critical Path Method*) adalah model manajemen proyek yang mengutamakan biaya sebagai

objek yang dianalisis. CPM merupakan analisa jaringan kerja yang berusaha mengoptimalkan biaya total proyek melalui pengurangan atau percepatan waktu penyelesaian total proyek yang bersangkutan. Jaringan kerja (*Network Planning*) pada prinsipnya adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram *network*.

Dalam menentukan perkiraan waktu penyelesaian akan dikenal istilah lintasan kritis, lintasan yang memiliki rangkaian-rangkaian kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan waktu penyelesaian proyek yang tercepat. Dalam sebuah jaringan kerja dapat saja terdiri dari beberapa lintasan kritis. Selain lintasan kritis terdapat lintasan lain yang mempunyai jangka waktu yang lebih pendek yang dinamakan *float*. *Float* memberikan sejumlah kelonggaran waktu dan elastisitas pada sebuah jaringan kerja dan dipakai pada waktu penggunaan jaringan kerja dalam praktek. Adapun cara perhitungan dalam menentukan waktu penyelesaian terdiri dari dua tahap, yaitu perhitungan maju (*forward computation*) dan perhitungan mundur (*backward computation*). Dengan selesainya kedua perhitungan ini, barulah *float* dapat dihitung.

**2 METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Len Railway Systems dimana data terdiri dari jenis dan waktu kegiatan, kemudian dibuat urutan pekerjaan yang berupa persiapan, pengadaan material, pekerjaan sipil, pemasangan/instalasi, dan pekerjaan khusus yang disusun dalam bentuk tabel. Setelah itu menggambar *network* sesuai dengan urutan tersebut. Kemudian melakukan langkah-langkah analisis jaringan kerja proyek, yaitu:

1. Perhitungan Maju (*forward computation*) dan Perhitungan Mundur (*backward computation*)
2. Melakukan perhitungan kelonggaran waktu (*total float*) dari aktivitas (i,j).

Menentukan lintasan kritis kemudian menggambar *network*-nya lengkap dengan lintasan kritis tersebut.

Mencari adanya kemungkinan percepatan waktu penyelesaian proyek dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan percepatan waktu penyelesaian dan *crash cost* (biaya akibat percepatan) dari masing-masing kegiatan.
2. Menghitung nilai *slope* masing-masing kegiatan

$$Slope = \frac{Biaya\ dipercepat - Biaya\ normal}{Waktu\ normal - Waktu\ dipercepat}$$

3. Memilih kegiatan kritis dengan *slope* terkecil dan melakukan analisis kembali pada *network*.
4. Mengulang kembali langkah 3 sampai seluruh kegiatan pada lintasan kritis mencapai batas waktu penyelesaiannya.
5. Menghitung *total cost* normal dan *total cost* akibat *crash program*.

Langkah terakhir yang dilakukan adalah memilih waktu penyelesaian proyek yang optimal dengan biaya penyelesaian proyek yang minimal.

**3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1) Deskripsi Data**

Proyek pembangunan persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati memiliki 25 kegiatan dimana kegiatan dimulai tanggal 18 Juli 2012 dan berakhir pada tanggal 10 Desember 2013. Daftar kegiatan proyek tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Kegiatan Proyek Pembangunan Persinyalan Elektrik di Stasiun Kertapati Persinyalan Elektrik di Stasiun Kertapati

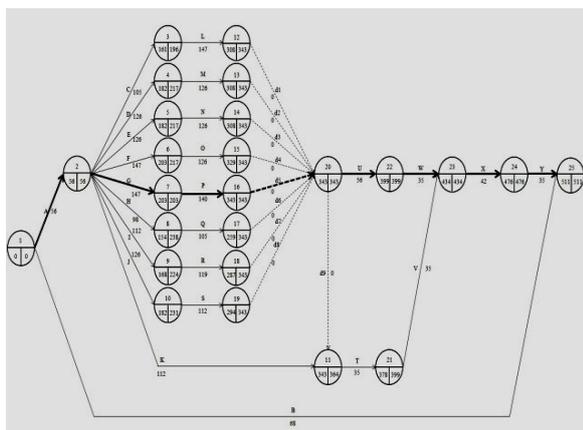
No.	Kegiatan	Waktu (Hari)	Biaya (Rp)
1.	Survey Detail Stasiun Kertapati	56	33.462.500
2.	Direksi Kit	68	15.075.000
3.	Pengadaan Elektronik Interlocking Sistem	105	6.797.627.650
4.	Pengadaan Local Control Panel (LCP)	126	1.445.556.500
5.	Pengadaan Lampu dan Rambu	126	4.746.008.400
6.	Pengadaan Penggerak dan Deteksi Wesel	147	9.934.470.000
7.	Pengadaan Axle Counter Sistem	147	10.858.950.000
8.	Pengadaan Power Sistem	98	1.211.200.000
9.	Pengadaan Telecommunication Equipment	112	496.900.000
10.	Pengadaan Outdoor Cable (Direct Burried)	126	3.744.440.000
11.	Instalasi Elektronik Interlocking Sistem	147	91.262.300
12.	Instalasi Local Control Panel (LCP)	126	36.352.500
13.	Instalasi Lampu dan Rambu	126	207.336.700
14.	Instalasi Penggerak dan Deteksi Wesel	126	984.793.700
15.	Instalasi Axle Counter Sistem	140	1.026.389.100
16.	Instalasi Power Sistem	105	58.257.800
17.	Instalasi Telecommunication Equipment	119	15.759.000
18.	Instalasi Outdoor Cable (Direct Burried)	112	1.854.595.750
19.	Instalasi Grounding	56	484.101.400
20.	Meqger and Continuity Test	49	40.582.500
21.	Local Functional Test	56	26.257.500
22.	Integrated System Test	35	26.257.500
23.	System Functional Test	42	50.130.000
24.	Pembuatan Reglemen (RPS) Stasiun Kertapati	35	15.000.000
25.	Pembuatan Ruang Interlocking Stasiun Kertapati	112	715.000.000

Berdasarkan data kegiatan dari Tabel 1 diperoleh urutan pekerjaan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Urutan Kegiatan Proyek Pembangunan Persinyalan eletrik di Stasiun Kertapati

Kegiatan	Kegiatan yang mendahului	Nama Kegiatan	Waktu (Hari)
A	-	Survey Detail Stasiun Kertapati	56
B	-	Direksi Kit	68
C	A	Pengadaan Elektronik Interlocking Sistem	105
D	A	Pengadaan Local Control Panel (LCP)	126
E	A	Pengadaan Lampu dan Rambu	126
F	A	Pengadaan Penggerak dan Deteksi Wesel	147
G	A	Pengadaan Axle Counter Sistem	147
H	A	Pengadaan Power Sistem	98
I	A	Pengadaan Telecommunication Equipment	112
J	A	Pengadaan Outdoor Cable (Direct Buried)	126
K	A	Pembuatan Ruang Interlocking Stasiun	112
L	C	Instalasi Elektronik Interlocking Sistem	147
M	D	Instalasi Local Control Panel (LCP)	126
N	E	Instalasi Lampu dan Rambu	126
O	F	Instalasi Penggerak dan Deteksi Wesel	126
P	G	Instalasi Axle Counter Sistem	140
Q	H	Instalasi Power Sistem	105
R	I	Instalasi Telecommunication Equipment	119
S	J	Instalasi Outdoor Cable (Direct Buried)	112
T	K, L, M, N, O, P, Q, R, S	Instalasi Grounding	35
U	L, M, N, O, P, Q, R, S	Local Functional Test	56
V	T	Megger and Continuity Test	35
W	U	Integrated System Test	35
X	V, W	System Functional Test	42
Y	X	Pembuatan Reglemen (RPS) Stasiun Kertapati	35

Urutan pekerjaan pada Tabel 2 dapat disusun jaringan proyek seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jaringan Kerja dengan Waktu Normal

2) Analisis Jaringan Kerja Proyek

Dengan menganalisis waktu kegiatan pada jaringan kerja dapat dilihat lintasan kritis. Penentuan lintasan kritis dilakukan dengan perhitungan maju, perhitungan mundur, dan total float.

a. Perhitungan Maju

Perhitungan bergerak mulai dari kegiatan awal sampai kegiatan akhir proyek. Perhitungan ini menghitung saat tercepat dimulainya kegiatan (ES) dan saat tercepat diselesaikannya kegiatan (EF).

- Kegiatan A, tidak didahului oleh kegiatan apapun.  $ES_{(1,2)} = 0, EF_{(1,2)} = 56$

Dengan cara yang sama perhitungan maju dilakukan sampai kegiatan Y. Hasil perhitungan maju disajikan pada Tabel 2.

b. Perhitungan Mundur

Perhitungan bergerak dari kegiatan akhir menuju ke kegiatan awal proyek. Perhitungan ini menghitung saat paling lambat dimulainya kegiatan (LS) dan saat paling lambat diselesaikannya kegiatan (LF).

- Kegiatan Y, tidak mendahului kegiatan apapun.  $LS_{(24,25)} = 476, LF_{(24,25)} = 511$

Dengan cara yang sama perhitungan mundur dilakukan sampai kegiatan A. Hasil perhitungan mundur disajikan pada Tabel 2.

c. Perhitungan Total Float

Total Float dari sebuah kegiatan adalah waktu tenggang di mana kegiatan itu dapat ditunda tanpa mempengaruhi waktu penyelesaian proyek; dengan cara:  $TF = LF - EF = LS - ES$

Berdasarkan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur, selanjutnya dilakukan perhitungan total float yang disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh lintasan kritis dari proyek adalah A – G – P – d5 – U – W – X – Y. Jaringan kerja dan lintasan kritis ini disajikan pada Gambar 1.

3) Perhitungan Crash Program

Crash program adalah salah satu cara untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek, yaitu dengan mereduksi waktu penyelesaian kegiatan yang berada di lintasan kritis yang akan berpengaruh terhadap waktu penyelesaian proyek. Percepatan penyelesaian proyek stasiun kertapati ini dilakukan dengan menggunakan penambahan jam kerja/lembur. Rencana kerja yang akan dilakukan dalam mempercepat waktu penyelesaian sebuah pekerjaan dengan metode lembur adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Perhitungan Maju, Mundur, dan Total Float

No.	Kegiatan	D	ES	EF	LS	LF	TF
1.	A	56	0	56	0	56	0
2.	B	68	0	68	443	511	443
3.	C	105	56	161	91	196	35
4.	D	126	56	182	91	217	35
5.	E	126	56	182	91	217	35
6.	F	147	56	203	70	217	14
7.	G	147	56	203	56	203	0
8.	H	98	56	154	140	238	84
9.	I	112	56	168	112	224	56
10.	J	126	56	182	105	231	49
11.	K	112	56	168	252	364	196
12.	L	147	161	308	196	343	35
13.	M	126	182	308	217	343	35
14.	N	126	182	308	217	343	35
15.	O	126	203	329	217	343	14
16.	P	140	203	343	203	343	0
17.	Q	105	154	259	238	343	84
18.	R	119	168	287	224	343	56
19.	S	112	182	294	231	343	49
20.	d1	0	308	308	343	343	35
21.	d2	0	308	308	343	343	35
22.	d3	0	308	308	343	343	35
23.	d4	0	329	329	343	343	14
24.	d5	0	343	343	343	343	0
25.	d6	0	259	259	343	343	84
26.	d7	0	287	287	343	343	56
27.	d8	0	294	294	343	343	49
28.	d9	0	343	343	364	364	21
29.	T	35	343	378	364	399	21
30.	U	56	343	399	343	399	0
31.	V	35	378	413	399	434	21
32.	W	35	399	434	399	434	0
33.	X	42	434	476	434	476	0
34.	Y	35	476	511	476	511	0

- kegiatan normal menggunakan 8 jam kerja dan 1 jam istirahat (08.00-17.00), sedangkan kerja lembur dilakukan setelah waktu kerja normal selama 4 jam perhari (18.30-22.30).
- Harga upah pekerja untuk kerja lembur diperhitungkan 1,5 kali upah sejam pada waktu kerja normal.
- Produktivitas untuk kerja lembur diperhitungkan sebesar 60% dari produktivitas normal. Penurunan produktivitas ini disebabkan karena faktor kelelahan, keterbatasan pandangan pada malam hari dan kondisi cuaca yang lebih dingin.

**a. Penentuan Percepatan Waktu Penyelesaian Kegiatan**

Pada perhitungan percepatan waktu penyelesaian proyek, terlebih dahulu akan dicari percepatan waktu penyelesaian dari masing-masing kegiatan (kecuali pada pekerjaan pengadaan karena tidak termasuk dalam pekerjaan konstruksi). Adapun rincian volume pekerjaan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rincian Volume Pekerjaan, Biaya, dan Waktu Penyelesaian Normal

Kegiatan	Nama Kegiatan	Vol	Satuan	Biaya (Rp)	Waktu Penyelesaian (Hari)
A	Survey Detail Stasiun Kertapati	1	Lot	33.462.500	56
B	Direksi Kit	1	Lot	15.075.000	68
K	Pembuatan Ruang Interlocking Stasiun Kertapati	143	M <sup>2</sup>	715.000.000	112
L	Instalasi Elektronik Interlocking Sistem	1	Ls	91.262.300	147
M	Instalasi Local Control Panel (LCP)	1	Ls	36.352.500	126
N	Instalasi Lampu dan Rambu	47	Set	207.336.700	126
O	Instalasi Penggerak dan Deteksi Wheel	23	Set	984.793.700	126
P	Instalasi Axle Counter Sistem	51	Set	1.026.389.100	140
Q	Instalasi Power Sistem	1	Ls	58.257.800	105
R	Instalasi Telecommunication Equipment	1	Ls	15.759.000	119
S	Instalasi Outdoor Cable (Direct Buried)	90.210	Meter	1.854.595.750	112
T	Instalasi Grounding	77	Set	484.101.400	35
U	Local Functional Test	1	Lot	26.257.500	56
V	Megger and Continuity Test	1	Lot	40.582.500	35
W	Integrated System Test	1	Lot	26.257.500	35
X	System Functional Test	1	Lot	50.130.000	42
Y	Pembuatan Reglemen (RPS) Stasiun Kertapati	1	Lot	15.000.000	35

Dari Tabel 3 dapat dihitung produktivitas harian dan produktivitas perjam dari masing-masing kegiatan.

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi Pekerjaan}}$$

$$\text{Produktivitas Perjam} = \frac{\text{Produktivitas Harian}}{8 \text{ jam}}$$

• Kegiatan A

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{1}{56} = 0,017857142857$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Perjam} &= \frac{0,017857142857}{8} \\ &= 0,0022321 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama perhitungan produktivitas perjam dilanjutkan sampai kegiatan Y.

Produktivitas kerja harian yang terjadi setelah diadakan percepatan waktu penyelesaian pada setiap kegiatan adalah bekerja 8 jam dalam sehari ditambah kerja lembur selama 4 jam, sehingga produktivitas harian setelah *crash* tersebut

$$= (8 \text{ Jam} \times \text{Produktivitas Perjam}) + (4 \text{ jam} \times 0,6 \times \text{Produktivitas Perjam})$$

Selanjutnya waktu penyelesaian kegiatan setelah diadakan *crash*

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas harian setelah crash}}$$

• Kegiatan A

$$\text{Produktivitas Harian} = (8 \times 0,0022321) + (4 \times 0,6 \times 0,0022321) = 0,0232138$$

$$\text{Waktu penyelesaian kegiatan} = \frac{1}{0,0232143} = 43,0778244 = 43$$

• Kegiatan B

$$\text{Produktivitas Harian} = (8 \times 0,0018382) + (4 \times 0,6 \times 0,0018382) = 0,0191173$$

$$\text{Waktu penyelesaian kegiatan} = \frac{1}{0,0191173} = 52,3086419 = 52$$

Dengan cara yang sama perhitungan dilanjutkan sampai kegiatan Y. Hasil perhitungan produktivitas harian dan produktivitas perjam normal serta waktu penyelesaian kegiatan setelah crash ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Produktivitas Harian, Produktivitas Perjam Normal dan Waktu Penyelesaian Kegiatan Setelah Crash

Kegiatan	Nama Kegiatan	Produktivitas Harian	Produktivitas Perjam	Waktu Penyelesaian (Hari)
A	Survey Detail Stasiun Kertapati	0,0178571	0,0022321	43
B	Direksi Kit	0,0147059	0,0018382	52
K	Pembuatan Ruang Interlocking Stasiun Kertapati	1,2767857	0,1595982	86
L	Instalasi Elektronik Interlocking Sistem	0,0068027	0,0008503	113
M	Instalasi Local Control Panel (LCP)	0,0079365	0,0009921	97
N	Instalasi Lampu dan Rambu	0,3730159	0,046627	97
O	Instalasi Penggerak dan Deteksi Wesel	0,1825397	0,0228175	97
P	Instalasi Axle Counter Sistem	0,3642857	0,0455357	108
Q	Instalasi Power Sistem	0,0095238	0,0011905	81
R	Instalasi Telecommunication Equipment	0,0084034	0,0010504	92
S	Instalasi Outdoor Cable (Direct Buried)	805,4464286	100,6808036	86
T	Instalasi Grounding	2,2	0,275	27
U	Local Functional Test	0,0178571	0,0022321	43
V	Megeer and Continuity Test	0,0285714	0,0035714	27
W	Integrated System Test	0,0285714	0,0035714	27
X	System Functional Test	0,0238095	0,0029762	32
Y	Pembuatan Reglemen (RPS) Stasiun Kertapati	0,0285714	0,0035714	27

**b. Perhitungan Crash Cost Pekerja**

Akibat percepatan waktu penyelesaian kegiatan dari Tabel 4 terjadi peningkatan biaya dalam hal pembayaran upah pekerja atau dikenal dengan istilah *crash cost* pekerja.

Dalam menghitung *crash cost* pekerja proyek pembangunan persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati tidak diberikan secara rinci harga pembayaran upah pekerja untuk masing-masing kegiatan karena

harga satuan upah pekerja merupakan data rahasia proyek. Namun secara garis besar perhitungan dilakukan sebagai berikut:

- Menghitung upah kerja perhari normal
 
$$= \frac{\text{Harga total upah kerja}}{\text{waktu penyelesaian kegiatan normal}}$$
- Menghitung upah kerja perjam normal
 
$$= \frac{\text{Upah kerja perhari normal}}{8 \text{ jam}}$$
- Menghitung upah kerja lembur untuk 1 hari
 
$$= 4(1,5 \times \text{upah sejam normal})$$
- Menghitung *crash cost* pekerja perhari
 
$$= (8 \times \text{upah kerja perjam normal}) + \text{upah kerja lembur}$$
- Menghitung *crash cost total*

$$= (\text{crash cost pekerja} \times \text{crash duration})$$

Berikut disajikan perhitungan *crash cost* pekerja untuk pekerjaan survey detail Stasiun Kertapati (Kegiatan A):

Pekerja	Vol	Harga Satuan	Harga Total
Development			
Engineer	60 oh	Rp378.000,00	Rp22.680.000,00
Teknisi	45 oh	Rp216.000,00	Rp 9.720.000,00
Harga total upah kerja			Rp32.400.000,00

$$\begin{aligned} \text{Upah kerja perhari normal} &= \frac{\text{Rp } 32.400.000,00}{56} \\ &= \text{Rp } 578.571,43 \\ \text{Upah kerja perjam normal} &= \frac{\text{Rp } 578.571,43}{8} \\ &= \text{Rp } 72.321,43 \end{aligned}$$

$$\text{Upah kerja lembur} = 4(1,5 \times \text{Rp } 72.321,43) = \text{Rp } 433.928,58$$

$$\text{Crash cost pekerja perhari} = (8 \times \text{Rp } 72.321,43) + \text{Rp } 433.928,58 = \text{Rp } 1.012.500,02$$

$$\text{Crash cost total} = \text{Rp } 1.012.500,02 \times 43 = \text{Rp } 43.537.500,86 = \text{Rp } 43.537.501,00$$

Perhitungan *crash cost* pekerja dilakukan pada semua kegiatan (kecuali kegiatan pengadaan karena tidak termasuk kegiatan konstruksi) sehingga diperoleh daftar kegiatan dengan waktu penyelesaian dan daftar upah kerja baru akibat *crash* tersebut. Daftar kegiatan proyek dengan *crash*-nya ini disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Daftar Kegiatan Proyek dengan *Crash Duration* dan *Crash Cost*

Kegiatan	Kegiatan yang mendahului	Waktu Penyelesaian (Hari)		Harga Total Upah Pekerja (Hari)	
		Normal	Crash	Normal	Crash
A	-	56	43	32.400.000	43.537.501
B	-	68	52	14.676.000	19.639.941
K	A	112	86	178.750.000	240.195.313
L	C	147	113	85.667.760	115.243.857
M	D	126	97	35.985.000	48.479.792
N	E	126	97	53.687.000	72.328.319
O	F	126	97	177.064.000	238.544.556
P	G	140	108	237.712.800	320.912.280
Q	H	105	81	14.780.000	19.953.000
R	I	119	92	15.318.000	20.724.353
S	J	112	86	1.468.952.500	1.973.904.922
T	K, L, M, N, O, P, Q, R, S	35	27	79.192.000	106.909.200
U	L, M, N, O, P, Q, R, S	56	43	26.250.000	35.273.438
V	T	35	27	40.582.500	54.786.375
W	U	35	27	26.250.000	35.437.500
X	W	42	32	50.130.000	66.840.000
Y	X	35	27	15.000.000	20.250.000

Berdasarkan Tabel 6 dapat dihitung *cost slope* dari masing-masing kegiatan.

$$Slope = \frac{\text{Biaya Dipercepat} - \text{Biaya Normal}}{\text{Waktu Normal} - \text{Waktu Dipercepat}}$$

Hasil perhitungan *cost slope* ini disajikan dengan urutan daftar kegiatan dari *cost slope* terendah pada Tabel 7.

Tabel 7. Urutan Kegiatan dengan *Cost Slope* terendah

Kegiatan	Biaya Normal (Rp)	Biaya Dipercepat (Rp)	Waktu Normal (Hari)	Waktu Dipercepat (Hari)	Cost Slope (Rp)
R	15.318.000	20.724.353	119	92	200.235,30
Q	14.780.000	19.953.000	105	81	215.541,67
B	14.676.000	19.639.941	68	52	310.246,31
M	35.985.000	48.479.792	126	97	430.854,90
N	53.687.000	72.328.319	126	97	642.804,10
Y	15.000.000	20.250.000	35	27	656.250,00
U	26.250.000	35.273.438	56	43	694.110,62
A	32.400.000	43.537.501	56	43	856.730,85
L	85.667.760	115.243.857	147	113	869.885,21
W	26.250.000	35.437.500	35	27	1.148.437,50
X	50.130.000	66.840.000	42	32	1.671.000,00
V	40.582.500	54.786.375	35	27	1.775.484,38
O	177.064.000	238.544.556	126	97	2.120.019,17
K	178.750.000	240.195.313	112	86	2.363.281,27
P	237.712.800	320.912.280	140	108	2.599.983,75
T	79.192.000	106.909.200	35	27	3.464.650,00
S	1.468.952.500	1.973.904.922	112	86	19.421.247,00

**c. Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek dan Perhitungan Total Cost**

Percepatan waktu penyelesaian proyek dilakukan pada semua kegiatan yang berada pada lintasan kri-

tis dan dimulai dari kegiatan yang mempunyai *cost slope* terendah. Dari tahap-tahap percepatan waktu penyelesaian tersebut kemudian dicari waktu optimal dengan biaya total proyek (*total cost*) yang minimal.

*Total cost* adalah total biaya penyelesaian proyek yang merupakan jumlah dari biaya langsung proyek ditambah biaya tak langsung proyek. Biaya langsung (*direct cost*) merupakan biaya yang langsung berhubungan dengan pekerjaan konstruksi dilapangan. Dari tabel 1 dapat diketahui besarnya total biaya langsung proyek pembangunan persinyalan elektrik di Stasiun Kertapati adalah Rp 41.968.144.310,00.

Biaya tak langsung (*indirect cost*) adalah biaya yang tidak secara langsung berhubungan dengan konstruksi, tetapi harus ada dan tidak dapat dilepaskan dari proyek tersebut. Yang termasuk biaya tak langsung dalam proyek ini adalah biaya *overhead* dan biaya tak terduga. Biaya *overhead* terdiri dari biaya gaji staf proyek dan biaya operasional proyek. Rincian biaya *overhead* ini disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rincian Biaya *Overhead*

No.	Jenis Biaya	Biaya Perhari
1.	Biaya Gaji Staf Perhari (Project manager, Site manager, Logistik, Pelaksana dan staf administrasi proyek)	Rp600.000,00
2.	Biaya Operasional Proyek Perhari (telepon, listrik, air, akomodasi personil, transportasi personil, administrasi proyek, sewa kantor proyek, sewa gudang, dan penjagaan keamanan)	Rp1.500.000,00
<b>Total biaya overhead perhari</b>		<b>Rp2.100.000,00</b>

Biaya tak terduga merupakan biaya cadangan yang disediakan untuk pengeluaran yang di luar perencanaan. Berdasarkan surat perjanjian pemborongan (kontrak) besarnya adalah 5% dari total biaya langsung penyelesaian proyek.

$$\text{Biaya tak terduga} = 5\% \times \text{Rp } 41.968.144.310,00$$

$$= \text{Rp } 2.098.407.215,50$$

$$\text{Biaya tak terduga perhari} = \frac{\text{Rp } 2.098.407.215,50}{511 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 4.106.472,05$$

Sehingga,

$$\text{Biaya tak langsung perhari}$$

$$= \text{Biaya overhead perhari} + \text{Biaya tak terduga perhari}$$

$$= \text{Rp } 2.100.000,00 + \text{Rp } 4.106.472,05$$

$$= \text{Rp } 6.206.472,05$$

Pada proyek ini diterapkan metode kerja lembur untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek. Akibatnya terdapat tambahan biaya dalam pembayaran gaji staf yang terlibat langsung dalam pelaksanaan lembur yaitu Site manager dan pelaksana.

$$\begin{aligned} \text{Biaya gaji staf perhari} &= \text{Rp } 280.000,00 \\ \text{Biaya gaji staf perjam} &= \frac{\text{Rp } 280.000,00}{8 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp } 35.000,00 \\ \text{Biaya lembur staf perhari} &= \text{Rp } 35.000,00 \times 1,5 \times 4 \\ &= \text{Rp } 210.000,00 \end{aligned}$$

➤ Analisis Tahap Normal

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y

$$\begin{aligned} \text{Waktu penyelesaian normal} &= 511 \text{ hari} \\ \text{Total cost} &= \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tak langsung} \\ &= \text{Biaya langsung} + (511 \times \text{Biaya tak langsung perhari}) \\ &= \text{Rp } 41.968.144.310,00 + (511 \times \text{Rp } 6.206.472,05) \\ &= \text{Rp } 45.139.651.527,55 \\ \text{PPN (10\% x Rp } 45.139.651.527,55) &= \text{Rp } 4.513.965.152,76 \\ \text{Total cost} &= \text{Rp } 45.139.651.527,55 + \text{Rp } 4.513.965.152,76 = \text{Rp } 49.653.616.680,31 \end{aligned}$$

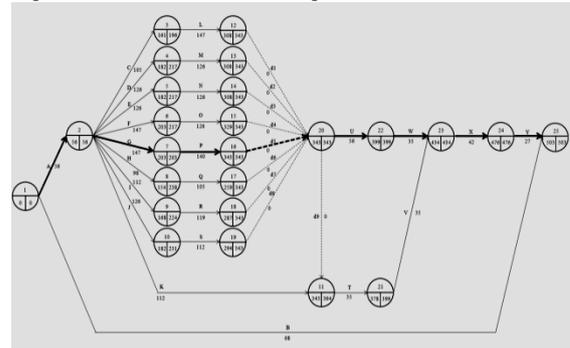
➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap I

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y

$$\begin{aligned} \text{Kegiatan yang dipercepat} &= \text{Kegiatan Y} \\ \text{Waktu penyelesaian normal} &= 35 \text{ hari} \\ \text{Waktu penyelesaian dipercepat} &= 27 \text{ hari} \\ \text{Total percepatan} &= 8 \text{ hari} \\ \text{Total waktu penyelesaian proyek} &= 503 \text{ hari} \quad (\text{Jaringan kerja disajikan pada Gambar 2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tambahan Biaya} &= \text{Cost slope} \times \text{Total percepatan} \\ &= \text{Rp } 656.250,00 \times 8 = \text{Rp } 5.250.000,00 \\ \text{Biaya Langsung} &= \text{Rp } 41.968.144.310,00 + \text{Rp } 5.250.000,00 = \text{Rp } 41.973.394.310,00 \\ \text{Biaya lembur staf} &= \text{Biaya lembur staf perhari} \times \text{Total percepatan} \\ &= \text{Rp } 210.000,00 \times 8 = \text{Rp } 1.680.000,00 \\ \text{Biaya tak langsung} &= (503 \times \text{Biaya tak langsung perhari}) + \text{Biaya lembur staf} \\ &= (503 \times \text{Rp } 6.206.472,05) + \text{Rp } 1.680.000,00 \\ &= \text{Rp } 3.121.855.441,15 + \text{Rp } 1.680.000,00 \\ &= \text{Rp } 3.123.535.441,15 \\ \text{Total cost} &= \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tak langsung} \\ &= \text{Rp } 41.973.394.310,00 + \text{Rp } 3.123.535.441,15 \\ &= \text{Rp } 45.096.929.751,15 \\ \text{PPN (10\% x Rp } 45.096.929.751,15) &= \text{Rp } 4.509.692.975,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total cost} &= \text{Rp } 45.096.929.751,15 + \text{Rp } 4.509.692.975,12 = \text{Rp } 49.606.622.726,27 \end{aligned}$$

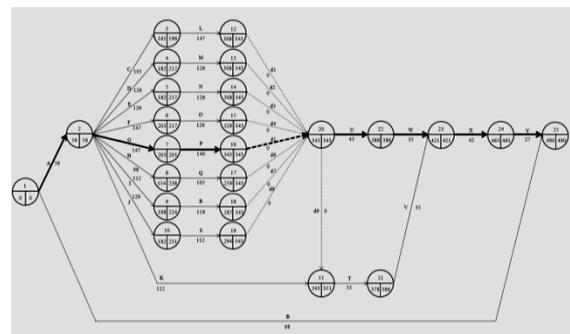


Gambar 2. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan Y

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap II

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y  
 Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan U  
 Waktu penyelesaian normal = 56 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 43 hari  
 Total percepatan = 13 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 490 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 3)

$$\begin{aligned} \text{Tambahan Biaya} &= \text{Rp } 694.110,62 \times 13 \\ &= \text{Rp } 9.023.438,06 \\ \text{Biaya Langsung} &= \text{Rp } 41.973.394.310,00 + \text{Rp } 9.023.438,06 = \text{Rp } 41.982.417.748,06 \\ \text{Biaya lembur staf} &= \text{Rp } 210.000,00 \times 13 \\ &= \text{Rp } 2.730.000,00 \\ \text{Biaya tak langsung} &= (490 \times \text{Rp } 6.206.472,05) + \text{Rp } 2.730.000,00 = \text{Rp } 3.043.901.304,50 \\ \text{Total cost} &= \text{Rp } 41.982.417.748,06 + \text{Rp } 3.043.901.304,50 = \text{Rp } 45.026.319.052,56 \\ \text{PPN (10\% x Rp } 45.026.319.052,56) &= \text{Rp } 4.502.631.905,26 \\ \text{Total cost} &= \text{Rp } 45.026.319.052,56 + \text{Rp } 4.502.631.905,26 = \text{Rp } 49.528.950.957,82 \end{aligned}$$

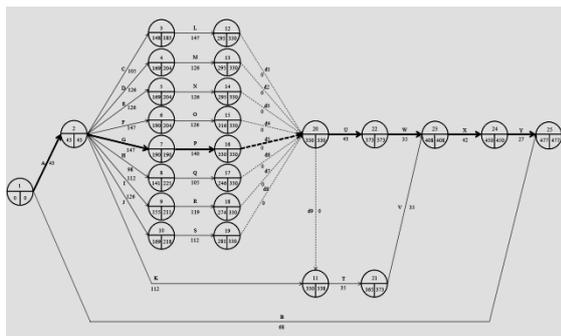


Gambar 3. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan U

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap III

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y  
 Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan A

Waktu penyelesaian normal = 56 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 43 hari  
 Total percepatan = 13 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 477 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 4)  
 Tambahan Biaya = Rp 856.730,85 x 13  
 = Rp 11.137.501,05  
 Biaya Langsung = Rp 41.982.417.748,06 +  
 Rp 11.137.501,05 = Rp 41.993.555.249,11  
 Biaya lembur staf = Rp 210.000,00 x 13  
 = Rp 2.730.000,00  
 Biaya tak langsung = (477 x Rp 6.206.472,05) +  
 Rp 2.730.000,00 = Rp 2.960.487.167,85 +  
 Rp 2.730.000,00 = Rp 2.963.217.167,85  
 Total cost = Biaya langsung + Biaya tak langsung  
 = Rp 41.993.555.249,11 + Rp 2.963.217.167,85  
 = Rp 44.956.772.416,96  
 PPN (10% x Rp 44.956.772.416,96)  
 = Rp 4.495.677.241,70  
 Total cost = Rp 44.956.772.416,96 +  
 Rp 4.495.677.241,70 = Rp 49.452.449.658,66

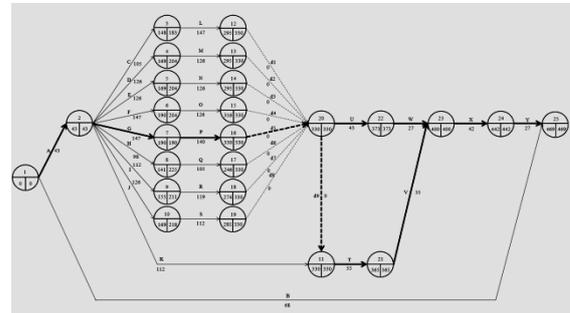


Gambar 4. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan A

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap IV

Lintasan kritis = A - G - P - d5 - U - W - X - Y  
 Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan W  
 Waktu penyelesaian normal = 35 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 27 hari  
 Total percepatan = 8 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 469 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 5)  
 Tambahan Biaya = Rp 1.148.437,50 x 8  
 = Rp 9.187.500,00  
 Biaya Langsung = Rp 41.993.555.249,11 +  
 Rp 9.187.500,00 = Rp 42.002.742.749,11  
 Biaya lembur staf = Rp 210.000,00 x 8  
 = Rp 1.680.000,00  
 Biaya tak langsung = (469 x Rp 6.206.472,05) +  
 Rp 1.680.000,00 = Rp 2.910.835.391,45 +  
 Rp 1.680.000,00 = Rp 2.912.515.391,45  
 Total cost = Rp 42.002.742.749,11 +  
 Rp 2.912.515.391,45 = Rp 44.915.258.140,56

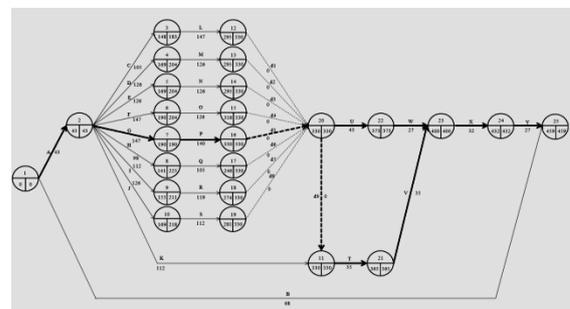
PPN (10% x Rp 44.915.258.140,56)  
 = Rp 4.491.525.814,06  
 Total cost = Rp 44.915.258.140,56 +  
 Rp 4.491.525.814,06 = Rp 49.406.783.954,62



Gambar 5. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan W

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap V

Lintasan kritis = A - G - P - d5 - U - W - X - Y  
 dan A - G - P - d5 - d9 - T - V - X - Y  
 Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan X  
 Waktu penyelesaian normal = 42 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 32 hari  
 Total percepatan = 10 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 459 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 6)  
 Tambahan Biaya = Rp 1.671.000,00 x 10  
 = Rp 16.710.000,00  
 Biaya Langsung = Rp 42.002.742.749,11 +  
 Rp 16.710.000,00 = Rp 42.019.452.749,11  
 Biaya lembur staf = Rp 210.000,00 x 10  
 = Rp 2.100.000,00  
 Biaya tak langsung = (459 x Rp 6.206.472,05) +  
 Rp 2.100.000,00 = Rp 2.848.770.670,95 +  
 Rp 2.100.000,00 = Rp 2.850.870.670,95  
 Total cost = Rp 42.019.452.749,11 +  
 Rp 2.850.870.670,95 = Rp 44.870.323.420,06  
 PPN (10% x Rp 44.870.323.420,06)  
 = Rp 4.487.032.342,01  
 Total cost = Rp 44.870.323.420,06 +  
 Rp 4.487.032.342,01 = Rp 49.357.355.762,07



Gambar 6. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan X

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap VI

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y dan A – G – P – d5 – d9 – T – V – X – Y

Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan P  
 Waktu penyelesaian normal = 140 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 108 hari  
 Total percepatan = 32 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 445 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 7)  
 Tambahan Biaya = Rp 2.599.983,75 x 32  
 = Rp 83.199.480,00

Biaya Langsung = Rp 42.019.452.749,11 +  
 Rp 83.199.480,00 = Rp 42.102.652.229,11

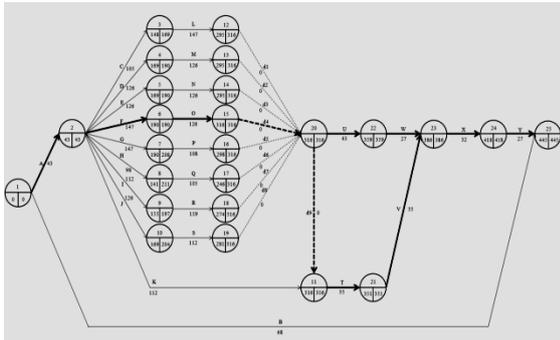
Biaya lembur staf = Rp 210.000,00 x 32  
 = Rp 6.720.000,00

Biaya tak langsung = (445 x Rp 6.206.472,05) +  
 Rp 6.720.000,00 = Rp 2.761.880.062,25 +  
 Rp 6.720.000,00 = Rp 2.768.600.062,25

Total cost = Rp 42.102.652.229,11 +  
 Rp 2.768.600.062,25 = Rp 44.871.252.291,36

PPN (10% x Rp 44.871.252.291,36)  
 = Rp 4.487.125.229,14

Total cost = Rp 44.871.252.291,36 +  
 Rp 4.487.125.229,14 = Rp 49.358.377.520,50



Gambar 7. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan P

➤ Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Tahap VII

Lintasan kritis = A – G – P – d5 – U – W – X – Y dan A – G – P – d5 – d9 – T – V – X – Y

Kegiatan yang dipercepat = Kegiatan O  
 Waktu penyelesaian normal = 126 hari  
 Waktu penyelesaian dipercepat = 97 hari  
 Total percepatan = 29 hari  
 Total waktu penyelesaian proyek = 427 hari  
 (Jaringan kerja disajikan pada Gambar 8)  
 Tambahan Biaya = Rp 2.120.019,17 x 29  
 = Rp 61.480.555,93

Biaya Langsung = Rp 42.102.652.229,11 +  
 Rp 61.480.555,93 = Rp 42.164.132.785,04

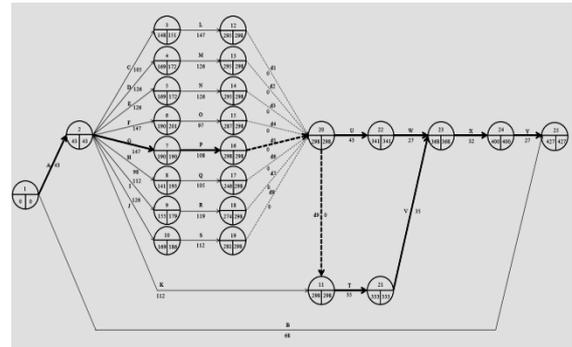
Biaya lembur staf = Rp 210.000,00 x 29  
 = Rp 6.090.000,00

Biaya tak langsung = (427 x Rp 6.206.472,05) +  
 Rp 6.090.000,00 = Rp 2.650.163.565,35 +  
 Rp 6.090.000,00 = Rp 2.656.253.565,35

Total cost = Rp 42.164.132.785,04 +  
 Rp 2.656.253.565,35 = Rp 44.820.386.350,39

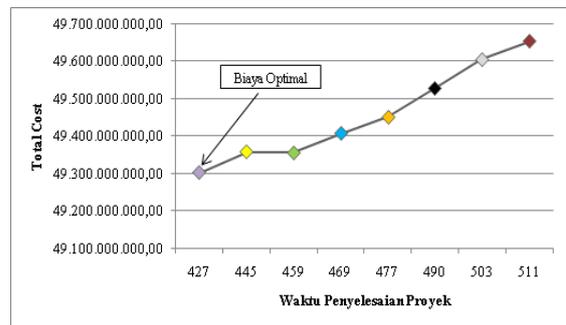
PPN (10% x Rp 44.820.386.350,39)  
 = Rp 4.482.038.635,04

Total cost = Rp 44.820.386.350,39 +  
 Rp 4.482.038.635,04 = Rp 49.302.424.985,43



Gambar 8. Jaringan Kerja dan Lintasan Kritis dengan Percepatan Waktu Penyelesaian kegiatan O

Grafik perubahan total cost proyek terhadap waktu penyelesaian proyek tersebut disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perubahan Total Cost terhadap Waktu Penyelesaian Proyek

Keterangan:

- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 427 hari dengan biaya sebesar Rp 49.302.424.985,43
- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 445 hari dengan biaya sebesar Rp 49.358.377.520,50
- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 459 hari dengan biaya sebesar Rp 49.357.355.762,07
- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 469 hari dengan biaya sebesar Rp 49.406.783.954,62
- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 477 hari dengan biaya sebesar Rp 49.452.449.658,66
- ◆ : Waktu penyelesaian proyek selama 490 hari dengan biaya sebesar Rp 49.528.950.957,82

—◆— : Waktu penyelesaian proyek selama 503 hari dengan biaya sebesar Rp 49.606.622.726,27

—◇— : Waktu penyelesaian proyek selama 511 hari dengan biaya sebesar Rp 49.653.616.680,31

Berdasarkan Gambar 4.1 diperoleh waktu dan biaya penyelesaian proyek yang optimal adalah 427 hari dengan biaya sebesar Rp 49.302.424.985,43. Persentase pengurangan waktu penyelesaian proyek adalah

$$= \frac{511 - 427}{511} \times 100\% = 16,4383562\%$$

Persentase pengurangan biaya akibat percepatan waktu penyelesaian proyek adalah

$$= \frac{\text{Rp}351.191.694,88}{\text{Rp}49.653.616.680,31} \times 100\% = 0,7072832\%$$

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan *total float* pada keadaan normal dari 25 kegiatan inti proyek diperoleh bahwa kegiatan A, G, P, U, W, X, dan Y adalah kegiatan kritis yang harus menjadi prioritas dalam proyek. Proyek ini dapat dilakukan dengan pengefisienan waktu. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah

penerapan metode kerja lembur pada kegiatan-kegiatan kritis. Melalui perhitungan *crash program* dengan menerapkan kerja lembur pada kegiatan Y selama 27 hari, kegiatan U selama 43 hari, kegiatan A selama 43 hari, kegiatan W selama 27 hari, kegiatan X selama 32 hari, kegiatan P selama 108 hari, dan kegiatan O selama 97 hari diperoleh waktu yang optimal untuk menyelesaikan proyek adalah 427 hari dan biaya sebesar Rp 49.302.424.985,43. Sehingga didapat persentase percepatan waktu penyelesaian proyek adalah 16,4383562% dan persentase pengurangan biaya adalah 0,7072832%.

#### REFERENSI

- [1] Dimiyati, T. T. & Dimiyati, A. 1992. *Operations Research Model-Model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Penerbit Sinar Baru.
- [2] Hermawan, A. 2010. Bab IV - Analisa dan Pembahasan Crash Program. <http://www.scribd.com/doc/44596414/Bab-IV-Analisa-Dan-Pembahasan-Crash-Program>. Diakses 21 Desember 2012.
- [3] Siswanto. 2007a. *Operations Research Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Siswanto. 2007b. *Operations Research Jilid II*. Jakarta: Erlangga.