

PERCEPATAN WAKTU PELAKSANAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI DENGAN METODE CPM DAN TCTO

Cut Zukhrina Oktaviani, Ibnu Abbas Majid, Risdiawati

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala

Jalan Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh

e-mail: cut.zukhrina@unsyiah.ac.id

Abstrak

Keterlambatan pada proyek konstruksi merupakan masalah umum dan utama pada sebagian besar proyek. Keterlambatan pada proyek konstruksi secara tidak langsung akan mempengaruhi kinerja proyek. Salah satu metode untuk mengatasi keterlambatan adalah dengan melakukan percepatan jadwal dengan berbagai metode. Perencanaan percepatan ini dilakukan dengan menggabungkan metode *Critical Path Method* (CPM) *Time-Cost Trade-Off* (TCTO) untuk biaya paling minimum dalam perhitungan percepatan durasi. Sebagai studi kasus dalam perhitungan percepatan waktu dan penambahan biaya yang mungkin terjadi digunakan data proyek pembangunan puskesmas A. Penjadwalan ulang yang dilakukan dengan CPM menghasilkan waktu penyelesaian pekerjaan selama 120 hari dan setelah dipercepat (*crashing*) durasi proyek menjadi 94 hari. Dengan demikian terjadi pengurangan waktu penyelesaian selama 26 hari. Percepatan durasi proyek dilakukan terhadap 18 kegiatan dari 30 kegiatan kritis hasil penjadwalan ulang dengan CPM. Perubahan biaya total proyek akibat penambahan jam kerja (lembur) untuk mempersingkat durasi proyek dengan metode *Time Cost Trade Off* sebesar Rp. 19.923.466,-. Biaya proyek pada kondisi normal sebesar Rp. 985.171.182,52 dan setelah percepatan durasi menjadi Rp. 1.005.094.648,-.

Kata kunci: percepatan waktu, pekerjaan konstruksi, *Critical Path Method* (CPM), *Time-Cost Trade-Off* (TCTO)

Abstract

Construction delays are a common and major concern in most construction projects. Construction project delay can indirectly affect of project performance. Delay resolve method is to schedule crashing with various methods. This crashing planning is done by combining the Critical Path Method (CPM) and Time-Cost Trade-Off (TCTO) method for the minimum cost in crash duration calculation. Project A data is used to be a case studi in crash duration calculation and costs increase. Rescheduling with CPM result project completion time 120 days and after crashing project duration becomes 94 days, there was a reduction 26 days project completion time. Crashing programme are do to 18 activities from 30 critical activies rescheduling with CPM result. Total project costs changes is Rp. 19.923.466,- due working time addition (overtime) to reduce project time with Time Cost Trade Off method. Normal condition project costs is Rp. 985,171,182.52 and after duration crash becomes Rp. 1,005,094,648, -.

Keywords: *crashing programme, construction work, Critical Path Method (CPM), Time-Cost Trade-Off (TCTO)*

PENDAHULUAN

Salah satu target kinerja proyek konstruksi adalah pencapaian waktu sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Pencapaian ini terkadang mendapatkan berbagai kendala, terutama jika dilihat dari kompleksitas pekerjaan yang harus dilakukan.

Keterlambatan akan memberikan dampak terhadap biaya dan mutu hasil pekerjaan konstruksi. Dengan demikian diperlukan upaya pengendalian jadwal yang baik sebagai upayaantisipasi keterlambatan yang terjadi.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menyesuaikan kembali jadwal yang ada dengan jadwal rencana adalah dengan melakukan percepatan waktu. Mempercepat durasi proyek adalah suatu usaha menyelesaikan proyek lebih awal dari waktu penyelesaian dalam keadaan normal.

Salah satu metode mempercepat waktu penyelesaian proyek yaitu metode *crashing*. *Crashing* merupakan suatu proses yang disengaja, sistematis, dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis (Ervianto, 2004). Terdapat beberapa cara untuk mereduksi durasi suatu proyek, yaitu : penambahan jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja, pembagian giliran kerja (*shift*), menggunakan alat berat, konsentrasi pada kegiatan tertentu kombinasi dari alternatif yang ada Setyorini dan Wiharjo (2005:7)

Perencanaan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran percepatan yang dapat dilakukan pada suatu proyek

konstruksi yang mengalami keterlambatan cukup besar. Perencanaan ini dilakukan dengan menggabungkan metode *Critical Path Method* (CPM) *Time-Cost Trade-Off* (TCTO) untuk biaya paling minimum dalam perhitungan percepatan durasi.

Sebagai studi kasus dalam perhitungan percepatan waktu dan pertambahan biaya yang mungkin terjadi digunakan data proyek pembangunan puskesmas A. Penjadwalan ulang dilakukan dengan menggunakan CPM yang merupakan analisa jaringan kerja untuk mengoptimalkan total biaya proyek atau percepatan waktu penyelesaian proyek (Kajatno, 1977).

METODE PERENCANAAN

Perencanaan percepatan durasi pekerjaan konstruksi ini dilakukan dengan asumsi penambahan jam kerja lembur selama 3 jam per-hari. Data pendukung yang digunakan antara lain: gambar bestek, jadwal pelaksanaan dan rencana anggaran biaya. Perencanaan dilakukan dengan menganalisa jumlah waktu yang dapat dipercepat pada pekerjaan kritis.

Tahapan perencanaan yang dilakukan yaitu :

1. Melakukan analisa terhadap uraian pekerjaan, hubungan antara pekerjaan dan durasi pekerjaan berdasarkan *time schedule* yang telah ada. Analisa dilakukan terhadap pekerjaan-pekerjaan yang belum selesai.
2. Menyusun network diagram dengan menggunakan CPM serta mengidentifikasi kegiatan kritis pada network tersebut.

3. Menentukan *cash duration* dengan menghitung produktivitas harian proyek setelah percepatan. Perhitungan dilakukan dengan tahapan :

a. Menentukan volume dan *normal duration* (diketahui berdasarkan data kontrak)

b. Menghitung produktivitas harian dengan persamaan :

$$\text{produktivitas harian} = \frac{\text{volume}}{\text{durasi normal}}$$

c. Produktivitas tiap jam dihitung dengan persamaan :

$$\text{produktivitas per - jam} = \frac{\text{produktivitas harian}}{7 \text{ jam}}$$

d. Menghitung produktivitas harian sesudah crash untuk alternative penambahan jam kerja dengan persamaan :

$$P_d = (7 \text{ jam} \times \text{produktivitas tiap jam}) + (a \times b \times \text{produktivitas tiap jam})$$

Dimana :

a = jumlah jam kerja lembur

b = koefisien penurunan produktivitas kerja lembur

e. Perhitungan *crash duration* dilakukan dengan persamaan :

$$\text{Crash duration} = \frac{\text{volume}}{\text{produksi harian sesudah crash}}$$

4. Perhitungan waktu/ jumlah hari lembur dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$D_{\min} = N - M \times b = N - D \times b$$

$$D_{\min} = \frac{N}{(b + 1)}$$

$$D_L = N - M \times b$$

Dimana :

$D_{\min}$ = jumlah hari selesai kegiatan minimum (hari)

DL = jumlah waktu yang telah dipersingkat (hari)

N = jumlah pelaksanaan kegiatan semula (hari)

M = jumlah hari lembur (hari)

b = indeks produktivitas kerja lembur

5. Perhitungan *crash cost*. *Crash cost* merupakan biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan kegiatan dengan waktu yang telah dipercepat. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Crash cost} = \text{Normal cost} + (\text{harga satuan} \times \text{produktivitas} \times \text{crash duration})$$

6. Menentukan *cost slope* masing-masing aktivitas berdasarkan grafik hubungan antara *normal duration* dan *normal cost* dengan *crash cost* dan *crash duration*. Perhitungan dilakukan dengan persamaan :

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

7. Melakukan analisis TCTO dari lintasan kritis dan aktivitas lain yang sudah didapatkan dimulai dari aktivitas yang mempunyai *cost slope* terendah sampai tertinggi. Perhitungan dilakukan dengan menghitung total biaya proyek berdasarkan jumlah biaya langsung dan biaya tidak langsung. Total biaya tersebut didapatkan dari hasil percepatan durasi pekerjaan sesuai dengan alternatif percepatan dari masing-masing aktivitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perencanaan ini meliputi waktu lembur yang dihasilkan dari perencanaan kerja

lembur untuk kegiatan-kegiatan kritis pada proyek A yaitu proyek pembangunan puskesmas. Bangunan merupakan konstruksi lantai 2 dengan nilai kontrak sebesar Rp. 1.198.372.500,-.

Sampai dengan hari ke 49 proyek ini telah mengalami keterlambatan sebesar 14,47% dari rencana awal sebesar 24,03%. Dengan demikian untuk mencapai waktu penyelesaian proyek sesuai jadwal rencana diperlukan adanya upaya percepatan waktu. Percepatan dilakukan menambah jam kerja atau lembur.

Aktivitas normal dalam satu hari selama 8 jam yaitu dari pukul 08.00 – 12.00 WIB dan 13.00 – 17.00 WIB dimana antara pukul 12.00 sampai pukul 13.00 digunakan untuk istirahat. Sedangkan waktu lembur direncanakan setelah jam kerja normal selama 3 jam per-hari yang dimulai dari pukul 18.00 – 19.00 WIB dan pukul 20.00 – 22.00 WIB dimana jam istirahat antara pukul 19.00 – 20.00 WIB.

Harga upah pekerja untuk kerja lembur diperhitungkan 1,5 kali upah/jam pada jam kerja normal dan untuk jam berikutnya sebesar 2 kali upah/jam. Produktivitas untuk kerja lembur diperhitungkan sebesar 60% produktivitas normal.

Penurunan produktivitas ini diasumsikan akibat kelelahan pekerja, keterbatasan pandangan pada waktu malam hari dan faktor kondisi cuaca yang agak lebih dingin dibandingkan dengan siang hari. Upaya pencapaian waktu normal penyelesaian proyek dilakukan dengan mempercepat kegiatan non-kritis dengan metode *crashing* dan selanjutnya dilakukan analisis TCTO.

Perencanaan diawali dengan melakukan identifikasi pekerjaan-pekerjaan yang telah selesai dilaksanakan dan pekerjaan yang

belum dilaksanakan. Identifikasi dilakukan dengan mengacu pada data laporan kemajuan pekerjaan yang diperoleh dari lapangan.

Penjadwalan ulang terhadap sisa pekerjaan yang ada dilakukan dengan menggunakan CPM. Hubungan ketergantungan antara kegiatan disusun secara seri dan paralel berdasarkan pertimbangan ketergantungan teknis. Hasil penjadwalan ulang dengan CPM diperoleh 30 kegiatan kritis.

1. Perhitungan *crash duration*

Berdasarkan 30 kegiatan kritis hasil penjadwalan CPM tidak semuanya dilakukan *crash*, hanya pada 18 kegiatan yang mempunyai analisa harga satuan saja sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Sedangkan 12 pekerjaan lainnya merupakan pekerjaan dengan analisa taksir.

Tabel 1. Kegiatan kritis yang akan di *crash*

No.	Jenis Pekerjaan	Simbol
1	Pembesian sloof 25/40	A
2	Bekisting sloof 25/40	B
3	Pembesian kolom 40/30	C
4	Pembesian balok lantai 25/40	D
5	Bekisting balok lantai 25/40	E
6	Pasangan bata 1 : 4 lantai 1	F
7	Pembesian plat lantai t=12 cm	G
8	Bekisting plat lantai t = 12 cm	H
9	Pembesian kolom 40/30	I
10	Pembesian balok lantai 13/13	J
11	Pembesian ringbalk 25/40	K
12	Pasangan bata 1 : 4 lantai 2	L
13	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 1	M
14	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 2	N
15	Atap seng genteng	O
16	Plafon multiplek 3,6 mm dan list profil	P
17	Kusen pintu aluminium pintu dan jendela	Q
18	Pengecatan dinding dan plafon	R

Hasil perhitungan *crash duration* sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

2. Perhitungan jumlah hari lembur

Berdasarkan indeks produktivitas kerja lembur sebesar 60% kerja normal, diperoleh

jumlah hari lembur yang hasilnya tersaji pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Crash Duration*

a	b	c	d	e = d/c (hari)	f (hari)
1	A	2271,8 kg	376,023	6	8
2	B	3,68 m ²	1,624	2	3
3	C	1894,4 kg	278,717	7	9
4	D	1786,9 kg	394,363	5	6
5	E	6,498 m ²	2,868	2	3
6	F	278,12 m ²	122,757	2	3
7	G	2478 kg	468,747	5	7
8	H	10,62 m ²	2,812	4	5
9	I	1661,3 kg	314,257	5	7
10	J	73,6 kg	32,486	2	3
11	K	300 m ²	132,414	2	3
12	L	387,43 m ²	171,004	2	3
13	M	556,24 m ²	105,220	5	7
14	N	387,43 m ²	73,288	5	7
15	O	177 m ²	78,124	2	3
16	P	295 m ²	43,402	7	9
17	Q	534,5 m ²	101,108	5	7
18	R	851,24 m ²	281,791	3	4

Keterangan :

- Nomor
- Jenis Pekerjaan
- Volume
- Produktivitas harian sesudah crash
- Crash duration*
- Durasi normal

Tabel 3. Hasil Perhitungan Jumlah Hari Lembur

a	b	c	d	D _{min} (hari)	D _L (hari)	Percepatan Maks. (hari)
1	A	8	0,6	5	6	2
2	B	3	0,6	1,9	2	1
3	C	9	0,6	5,6	7	2
4	D	6	0,6	3,8	5	1
5	E	3	0,6	1,9	2	1
6	F	3	0,6	1,9	2	1
7	G	7	0,6	4,4	5	2
8	H	5	0,6	3,1	4	1
9	I	7	0,6	4,4	5	2
10	J	3	0,6	1,9	2	1
11	K	3	0,6	1,9	2	1
12	L	3	0,6	1,9	2	1
13	M	7	0,6	4,4	5	2
14	N	7	0,6	4,4	5	2
15	O	3	0,6	1,9	2	1
16	P	9	0,6	5,6	7	2
17	Q	7	0,6	4,4	5	2
18	R	4	0,6	2,5	3	1

Keterangan :

- Nomor
- Jenis Pekerjaan
- Durasi normal
- Produktivitas kerja lembur

3. Perhitungan upah lembur

Percepatan dilakukan dengan kerja lembur selama 3 jam/hari. Hasil perhitungan upah lembur tenaga kerja sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Upah Lembur Tenaga Kerja

Tenaga Kerja	Pekerja	Kepala Tukang	Mandor	Tukang
Upah (OH)	71.428,57	107.142,86	89.285,17	89.285,17
Normal Cost/hari (Rp.)	10.204,08	15.306,12	12.755,10	12.755,10
Upah 1 Jam pertama (Rp.)	15.306,12	22.959,18	19.132,65	19.132,65
Upah jam berikutnya (Rp.)	40.816,33	61.224,49	51.020,41	51.020,41
Upah jam berikut (Rp.)	56.122,45	84.183,68	70.135,06	70.135,06

Setelah harga satuan tenaga kerja diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya total pekerjaan lembur pada pekerjaan yang dipercepat. Hasil perhitungan sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Biaya Lembur Tenaga Kerja

No.	Jenis Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp.)
1	Pembesian sloof 25/40	92.137.392,60
2	Bekisting sloof 25/40	7.500.266,65
3	Pembesian kolom 40/30	76.831.180,80
4	Pembesian balok lantai 25/40	72.473.331,15
5	Bekisting balok lantai 25/40	13.229.297,69
6	Pasangan bata 1 : 4 lantai 1	24.944.026,56
7	Pembesian plat lantai t=12 cm	100.500.246,00
8	Bekisting plat lantai t = 12 cm	21.621.289,86
9	Pembesian kolom 40/30	67.377.344,10
10	Pembesian balok lantai 13/13	2.984.995,20
11	Pembesian ringbalk 25/40	12.572.670,00
12	Pasangan bata 1 : 4 lantai 2	34.747.821,84
13	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 1	54.296.255,12
14	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 2	37.818.204,59
15	Atap seng genteng	22.078.987,08
16	Plafon multiplex 3,6 mm dan list profil	35.988.961,60
17	Kusen pintu aluminium pintu dan jendela	158.180.464,50
18	Pengecatan dinding dan plafon	25.135.414,72

4. Perhitungan *cost slope*

Perhitungan *cost slope* dilakukan pada kegiatan kritis karena pengkompresian durasi dimulai pada kegiatan dengan *cost slope* yang paling rendah. Hasil perhitungan *cost slope* pada masing-masing kegiatan sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Cost Slope*

No.	Jenis Pekerjaan	<i>Cost Slope (Rp).</i>
1	Pembesian balok lantai 13/13	1.500.501,60
2	Bekisting sloof 25/40	2.393.137,45
3	Pasangan bata 1 : 4 lantai 1	3.171.680,48
4	Bekisting balok lantai 25/40	4.221.120,29
5	Pembesian ringbalk 25/40	4.235.840,00
6	Pasangan bata 1 : 4 lantai 2	4.418.251,72
7	Atap seng genteng	4.531.207,08
8	Plafon multiplek 3,6 mm dan list profil	6.425.318,30
9	Bekisting plat lantai t = 12 cm	6.898.783,86
10	Pengecatan dinding dan plafon	8.847.788,56
11	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 2	10.434.071,05
12	Pembesian kolom 40/30	11.350.001,60
13	Pembesian kolom 40/30	12.294.540,80
14	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 1	14.980.377,56
15	Pembesian sloof 25/40	15.520.937,60
16	Pembesian plat lantai t=12 cm	16.929.696,00
17	Pembesian balok lantai 25/40	24.416.884,80
18	Kusen pintu aluminium pintu dan jendela	35.747.627,25

5. Perhitungan biaya tidak langsung

Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya tidak langsung. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan asumsi biaya langsung sebesar 81,5 % dari total Rencana Anggaran Biaya setelah dikurangi PPN 10%. Hal ini dilakukan karena data yang diperoleh hanya biaya pelaksanaan pekerjaan tanpa perincian biaya langsung dan biaya tidak langsung. Pada kondisi normal, biaya langsung proyek A adalah sebesar Rp. 802.914.514,12 sedangkan biaya tidak langsung diasumsikan sebesar 18,5% yaitu Rp. 182.256.668,85. Secara terperinci sebagaimana terlihat pada uraian berikut :

Nilai Kontrak : Rp. 1.198.372.500,00
 PPN 10 % : Rp. 108.942.959,72
 Nilai RAB : Rp. 1.809.429.595,23
 Nilai RAB x 90,4% : Rp. 985.171.182,97
 Biaya langsung : Rp. 802.914.514,12
 Biaya tak langsung : Rp. 182.256.668,85

Dengan rincian sebagai berikut :

- Overhead 8 % : Rp. 78.813.694,64
 - Contingency 3 % : Rp. 29.555.135,49
 - Profit 7,5% : Rp. 73.887.838,72

6. Analisa *time cost trade off*

Tahap penekanan (kompresi) durasi proyek dimulai dari kegiatan kritis yang memiliki nilai *cost slope* yang paling rendah yaitu pembesian balok lantai 13/13. Hasil analisa TCTO pada semua kegiatan kritis yang dilemburkan sebagaimana terlihat pada Lampiran 1.

Pada tahap kompresi ke-VI kegiatan kritis mengalami perubahan sehingga harus dihitung kembali *cost slope* dari kegiatan kritis pada lintasan kritis baru sebagaimana terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Cost Slope* ke-2

No.	Jenis Pekerjaan	<i>Cost Slope (Rp).</i>
1	Atap seng genteng	4.531.207,08
2	Plafon multiplek 3,6 mm dan list profil	6.425.318,30
3	Bekisting plat lantai t = 12 cm	6.898.783,86
4	Pengecatan dinding dan plafon	8.847.788,56
5	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 2	10.434.071,05
6	Pembesian kolom 40/30 lt 2	11.350.001,60
7	Pembesian kolom 40/30	12.294.540,80
8	Plesteran dinding bata 1 : 4 lantai 1	14.980.377,56
9	Pembesian sloof 25/40	15.520.937,60
10	Pembesian plat lantai t=12 cm	16.929.696,00
11	Pembesian balok lantai 25/40	24.416.884,80
12	Kusen pintu aluminium pintu dan jendela	35.747.627,25

Pengkompresian pada kegiatan kritis 1 dilakukan sampai dengan tahap kompresi XVIII yaitu pada pekerjaan kusen aluminium pintu dan jendela yang dipercepat selama 2 hari dengan total durasi proyek menjadi 94 hari dan total biaya sebesar Rp. 1.005.094.648,-. Pada tahap ini tidak ada kegiatan kritis yang dapat dikompresi lagi.

Hasil kompresi durasi dari masing-masing kegiatan dari tahap normal sampai pada tahap proyek dipersingkat dengan jumlah hari dipercepat ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Total Biaya Proyek setelah dipercepat

a	b	c	d	D _{min} (hari)	D _L (hari)	Percepatan Maks. (hari)
1	A	8	0,6	5	6	2
2	B	3	0,6	1,9	2	1
3	C	9	0,6	5,6	7	2
4	D	6	0,6	3,8	5	1
5	E	3	0,6	1,9	2	1
6	F	3	0,6	1,9	2	1
7	G	7	0,6	4,4	5	2
8	H	5	0,6	3,1	4	1
9	I	7	0,6	4,4	5	2
10	J	3	0,6	1,9	2	1
11	K	3	0,6	1,9	2	1
12	L	3	0,6	1,9	2	1
13	M	7	0,6	4,4	5	2
14	N	7	0,6	4,4	5	2
15	O	3	0,6	1,9	2	1
16	P	9	0,6	5,6	7	2
17	Q	7	0,6	4,4	5	2
18	R	4	0,6	2,5	3	1

Sebagai akibat penambahan jam kerja untuk mempersingkat durasi proyek terjadi perubahan biaya total proyek sebesar Rp. 19.923.466,-. Biaya proyek pada kondisi normal adalah sebesar Rp. 985.171.182,52 dan setelah percepatan durasi menjadi Rp. 1.005.094.648,-.

SIMPULAN

Perencanaan ini telah menghasilkan beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Penjadwalan ulang yang dilakukan dengan CPM menghasilkan waktu penyelesaian pekerjaan selama 120 hari dan setelah dipercepat (*crashing*) durasi proyek menjadi 94 hari. Dengan demikian terjadi pengurangan waktu penyelesaian selama 26 hari.
2. Percepatan durasi proyek dilakukan terhadap 18 kegiatan dari 30 kegiatan kritis hasil penjadwalan ulang dengan CPM.
3. Perubahan biaya total proyek akibat penambahan jam kerja (lembur) untuk mempersingkat durasi proyek dengan

metode *Time Cost Trade Off* sebesar Rp. 19.923.466,-. Biaya proyek pada kondisi normal sebesar Rp. 985.171.182,52 dan setelah percepatan durasi menjadi Rp. 1.005.094.648,-.

DAFTAR PUSTAKA

- Ervianto, W. I., 2004, **Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi**, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Kajatno, S., 1977, **Uraian Lengkap Metode Network Planning**, Jilid 1 – 3, Jajaran Penerbit Pekerjaan Umum
- Setyorini, A. D., dan A. K. Wiharjo, 2005, **Optimasi Waktu dan Biaya dengan PDM pada Proyek Solo Grand Mall**, Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang

Lampiran Tabel Perhitungan TCTO

Tahap Kompresi	Jenis Pekerjaan	Cost Slope (Rp).	Durasi (Hari)				Biaya (Rp.)			
			Normal	Crash	Total Crash	Total Proyek	Tambahan Lembur	Langsung	Tidak Langsung	Total
Perhitungan TCTO Tahap-1										
-	Normal	-	-	-	-	120	-	802.914.514,12	182.256.668,40	985.171.182,52
I	Pembesian balok lantai 13/13	1.500.501,60	3	2	1	119	561.224,40	803.475.738,52	182.256.668,40	985.732.406,92
II	Bekisting sloof 25/40	2.393.137,45	3	2	1	118	561.224,40	804.036.962,92	182.256.668,40	986.293.631,32
III	Pasangan bata 1 : 4 lantai 1	3.171.680,48	3	2	1	117	561.224,40	804.598.187,32	182.256.668,40	986.854.855,72
IV	Bekisting balok lantai 25/40	4.221.120,29	3	2	1	116	561.224,40	805.159.411,72	182.256.668,40	987.416.080,12
V	Pembesian ringbalk 25/40	4.235.840,00	3	2	1	115	561.224,40	805.720.636,12	182.256.668,40	987.977.304,52
VI	Pasangan bata 1 : 4 lantai 2	4.418.251,72	3	2	1	114	561.224,40	806.281.860,52	182.256.668,40	988.538.528,92
	Jumlah				6		3.367.346,40			
Perhitungan TCTO Tahap-2										
VII	Atap seng genteng	4.531.207,08	3	2	1	113	561.224,40	806.281.860,52	182.256.668,40	989.099.753,32
VIII	Plafon multiplek 3,6 mm dan list profil	6.425.318,30	9	7	2	111	1.964.285,40	808.807.370,32	182.256.668,40	991.064.032,72
IX	Bekisting plat lantai t = 12 cm	6.898.783,86	5	4	1	110	1.122.448,80	809.929.819,12	182.256.668,40	992.186.487,52
X	Pengecatan dinding dan plafon	8.847.788,56	4	3	1	109	841.836,60	810.771.655,72	182.256.668,40	993.028.324,12
XI	Plesteran dinding bata 1 : 4 lt.2	10.434.071,05	9	7	2	107	1.964.285,40	812.735.941,12	182.256.668,40	994.992.609,52
XII	Pembesian kolom 40/30	11.350.001,60	7	5	2	105	1.403.061,00	814.139.002,12	182.256.668,40	996.395.670,52
XIII	Pembesian kolom 40/30	12.294.540,80	7	5	2	103	1.403.061,00	815.542.063,12	182.256.668,40	997.798.731,52
XIV	Plesteran dinding bata 1 : 4 lt. 1	14.980.377,56	7	5	2	101	1.403.061,00	816.945.124,12	182.256.668,40	999.201.792,52
XV	Pembesian sloof 25/40	15.520.937,60	8	6	2	99	1.683.673,20	818/628.797,32	182.256.668,40	1.000.885.465,72
XVI	Pembesian plat lantai t=12 cm	16.929.696,00	7	5	2	97	1.403.061,00	820.031.858,32	182.256.668,40	1.002.288.526,72
XVII	Pembesian balok lantai 25/40	24.416.884,80	6	5	1	96	1.403.061,00	821.434.919,32	182.256.668,40	1.003.691.587,72
XVIII	Kusen pintu aluminium pintu dan jendela	35.747.627,25	7	5	2	94	1.403.061,00	822.873.980,32	182.256.668,40	1.005.094.648,72
	Jumlah				26		19.923.466,30			