

## BAB V

### ANALISIS DAN HASIL

#### 5.1 Umum

Dalam pelaksanaan optimalisasi durasi dan biaya proyek akibat percepatan durasi proyek ini, digunakan data-data sekunder dari proyek penggantian jembatan Karanggayam yang berupa jenis-jenis kegiatan, harga satuan dasar (upah tenaga kerja, bahan dan harga sewa peralatan) dan volume dari masing-masing kegiatan. Dalam proses analisa data tersebut, dilakukan beberapa penyesuaian karena dalam proyek terdapat beberapa perubahan, yaitu penambahan dan pengurangan jenis dan volume kegiatan sesuai dengan data yang terdapat dalam dokumen addendum kontrak. Sedangkan data untuk analisa perhitungan kapasitas produksi, harga satuan pekerjaan, durasi dan biaya dari tiap kegiatan dilakukan perhitungan ulang. Hal ini dilakukan karena terdapat kesalahan perhitungan matematis dalam perhitungan data-data tersebut dalam dokumen penawaran proyek.

Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan penyusunan ulang kegiatan-kegiatan dalam proyek pada diagram jaringan kerja *critical path method* (CPM), sesuai dengan kaidah dasar yang berlaku dan logika ketergantungan. Pada penyusunan kegiatan-kegiatan kedalam diagram jaringan ini tidak sepenuhnya hanya didasarkan pada urutan kegiatan yang terdapat dalam *time schedule*, tetapi juga mempertimbangkan urutan pelaksanaan kegiatan di lapangan. Kemudian dilakukan analisa metode konstruksi untuk mengetahui kapasitas produksi, koefisien alat dan

tenaga kerja dari masing-masing kegiatan. Dari hasil analisa tersebut, kemudian dilakukan perhitungan harga satuan pekerjaan, durasi dan biaya dari masing-masing kegiatan. Selanjutnya dilakukan analisa percepatan durasi dengan 5 metode pemadatan durasi dan optimalisasi durasi dan biaya akibat percepatan tersebut dengan metode *simulated annealing*.

### 5.1.1 Tinjauan Umum Proyek

Proyek penggantian jembatan Karanggayam sepanjang 31 m' yang terletak di Kabupaten Bantul ini merupakan salah satu dari tiga proyek penggantian jembatan propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta di Kabupaten Sleman dan Bantul. Tujuan dari pengadaan proyek penggantian jembatan Karanggayam ini adalah untuk mengantisipasi peningkatan lalu-lintas kendaraan di jalur Sampakan-Imogiri. Berikut ini data-data umum proyek yang akan digunakan, berupa data umum proyek, daftar jenis dan volume pekerjaan :

#### 1. Data Umum

- a. Nama Proyek : Proyek Penggantian Jembatan Propinsi di Kabupaten Bantul Dan Sleman
- b. Deskripsi Proyek : Proyek Penggantian Jembatan Karanggayam
- c. Lokasi Proyek : Jalan Wonosari Km. 12, Bantul, Yogyakarta
- d. Pemilik Proyek : Pemda Propinsi DIY
- e. Kontraktor Proyek : CV. Madu Laut
- f. Konsultan Perencana/Pengawas : PT. Tatareka Paradya
- g. Tanggal Mulai Proyek : 1 Oktober 2002
- h. Hari Kerja : Senin s/d Sabtu

## 2. Daftar Jenis dan Volume Pekerjaan

Adapun jenis dan volume pekerjaan-pekerjaan tersebut adalah :

**Tabel 5.1** Daftar Jenis dan Volue Pekerjaan Proyek

No.	Uraian	Unit	Volume
1	Mobilisasi	Ls	1,000
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	m <sup>2</sup>	759,235
3	Galian biasa	m <sup>3</sup>	184,500
4	Galian batu	m <sup>3</sup>	202,500
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	m <sup>3</sup>	503,550
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	m <sup>3</sup>	180,000
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	m <sup>3</sup>	304,100
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	m <sup>3</sup>	902,960
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	m <sup>3</sup>	67,410
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	Ls	1,000
11	Lapis pondasi agregat kelas A	m <sup>3</sup>	211,560
12	Lapis pondasi agregat kelas B	m <sup>3</sup>	313,970
13	Lapis perekat aspal emulsi	Liter	1919,520
14	Lapis resap pengikat	Liter	1057,800
15	Aspal beton	m <sup>2</sup>	2399,400
16	Aspal treated base (ATB)	m <sup>3</sup>	52,890
17	Beton K-350 pada elevasi	m <sup>3</sup>	78,570
18	Beton K-225 pada elevasi	m <sup>3</sup>	361,050
19	Beton K-175 pada elevasi	m <sup>3</sup>	21,770
20	Beton K-125	m <sup>3</sup>	13,879
21	Pembesian dengan tulangan polos	Kg	1752,554
22	Pembesian dengan tulangan ulir	Kg	53830,234
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	Kg	2807,349
24	Perletakan elastomerik	Dm <sup>3</sup>	84,820
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	bh	5,000
26	Diafragma beton K-350	m <sup>3</sup>	5,820
27	Bore Pile diameter 800 mm	m'	97,000
28	Pasangan batu kali	m <sup>3</sup>	1703,149
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	m <sup>3</sup>	54,720
30	Marka jalan	m <sup>2</sup>	20,995
31	Patok penuntun	bh	22,000
32	Rambu jalan tunggal	bh	3,000
33	Expantion joint type A	bh	14,000

### 5.1.2 Diagram Jaringan *Critical Path Method* (CPM)

Sebelum menyusun kegiatan-kegiatan proyek ke dalam diagram jaringan CPM, terlebih dahulu dilakukan penentuan *predecessor* (kegiatan-kegiatan yang mendahului) dan *successor* (kegiatan-kegiatan yang didahului) dari setiap kegiatan yang sedang ditinjau. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini :

**Tabel 5.2** Daftar *Predecessor* Kegiatan-Kegiatan Proyek Jembatan Karanggayam

No.	Uraian Pekerjaan (Kegiatan)	<i>Predecessor</i>	<i>Successor</i>
1	Mobilisasi	-	2,10,5,3
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	1	9,21,22,28
3	Galian biasa	1	4
4	Galian batu	3	20, 29
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	1	6
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	5	20
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	9	8
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	7	12
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	2	7
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	1	27
11	Lapis pondasi agregat kelas A	12	12
12	Lapis pondasi agregat kelas B	8	14
13	Lapis perekat aspal emulsi	16	15
14	Lapis resap pengikat	11	16
15	Aspal beton	13, 17, 28	33
16	Aspal treated base (ATB)	14	13
17	Beton K-350 pada elevasi	22, 26	15
18	Beton K-225 pada elevasi	27	20
19	Beton K-175 pada elevasi	20	24
20	Beton K-125	4, 6, 18, 21	19
21	Pembesian dengan tulangan polos	2	20
22	Pembesian dengan tulangan ulir	2	17
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	25	32
24	Perletakan elastomerik	19	25
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31 m'	24	26

No.	Uraian Pekerjaan (Kegiatan)	Predecessor	Successor
26	Diafragma beton K-350	25	17
27	Bore Pile diameter 800 mm	10	18
28	Pasangan batu kali	2	15
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	4	31
30	Marka jalan	31, 32	-
31	Patok penuntun	29	30
32	Rambu jalan tunggal	23	30
33	Expantion joint type A	15	-

Setelah *predecessor* kegiatan-kegiatan ditetapkan kemudian kegiatan-kegiatan tersebut disusun kedalam diagram jaringan CPM (Tabel 5.3). Sedangkan gambar diagram jaringan CPM proyek penggantian jembatan Karanggayam dapat dilihat pada Lampiran 1-2. Data diagram jaringan CPM ini berfungsi sebagai fungsi kendala, yaitu berupa konfigurasi yang menentukan durasi dalam permasalahan optimalisasi durasi dan biaya akibat percepatan durasi proyek menggunakan metode *simulated annealing*. Untuk proses identifikasi jalur kritis, dilakukan setelah dilakukannya perhitungan waktu mulai dan akhir dari suatu kegiatan, yaitu dengan cara hitungan maju dan hitungan mundur. Dari hasil hitungan maju akan didapatkan waktu mulai dan akhir kegiatan yang tercepat (ES dan EF). Sedangkan hasil dari hitungan mundur akan didapatkan waktu mulai dan akhir kegiatan paling lambat (LS dan LF). Jalur kritis adalah urutan kegiatan yang memiliki *total float* (TF) sama dengan nol, yaitu  $TF = LS - ES = LF - EF = 0$ . Dalam penelitian ini perhitungan durasi proyek, waktu mulai dan berakhirnya kegiatan serta identifikasi jalur kritis, dilakukan oleh program *Anneal5* bersamaan dengan proses optimalisasi durasi dan biaya akibat percepatan proyek.

Tabel 5.3 Diagram Jaringan CPM Proyek Jembatan Karanggayam

Nomer Kegiatan	Node		Uraian Pekerjaan (Kegiatan)
	I	J	
0	1	2	Mobilisasi
1	2	3	Pembangkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah
2	3	4	Bore pile dia. 800 mm
3	4	5	Beton K-225 pada elevasi
4	5	6	Beton K-125
5	6	7	Beton K-175 pada elevasi
6	7	8	Perletakan elastomerik
7	8	9	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'
8	9	22	Diafragma beton kelas K-350
9	22	23	Beton K-350 pada elevasi
10	23	24	Aspal beton
11	24	27	Expantion joint type A
12	2	10	Pembersihan dan penyiapan badan jalan
13	10	11	Pembongkaran pasangan batu, bata, beton
14	11	12	Pemadatan tanah dasar timbunan
15	12	13	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih
16	13	14	Lapis pondasi agregat kelas B
17	14	15	Lapis pondasi agregat kelas A
18	15	16	Lapis resap pengikat
19	16	17	Asphalt Treated Base (ATB)
20	17	23	Lapis perekat aspal emulsi
21	10	5	Pembesian dengan tulangan polos
22	10	22	Pembesian dengan tulangan ulir
23	10	23	Pasangan batu kali
24	2	18	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m
25	18	5	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m
26	2	19	Galian biasa
27	19	20	Galian batu
28	20	5	Dummy (Galian batu -----> Beton K-125)
29	20	21	Pasangan batu pada perkerasan saluran air
30	21	26	Patok penuntun
31	9	25	Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>
32	25	26	Rambu jalan tunggal
33	26	27	Marka jalan

## 5.2 Waktu dan Upah Tenaga Kerja Pada Jam Kerja Normal, Lembur, dan Giliran Kerja Malam

Waktu dan upah tenaga kerja pada jam kerja normal dan pada jam kerja lembur pada penelitian kali ini ditetapkan berdasarkan data yang diperoleh dari kontraktor pelaksana serta berdasarkan SK Menteri Tenaga Kerja RI No. Kep-72/MEN/1984, tentang jam kerja dan upah lembur.

### 5.2.1 Waktu dan Upah Normal ("*Day Shift*")

Pada pelaksanaan proyek pembangunan Jembatan Karanggayam ini waktu kerja normal ditetapkan, yaitu dari pukul 08:00 s/d 16:00 dengan rincian sebagai berikut :

- a. Jumlah jam kerja di lapangan = 8 jam (08:00 s/d 16:00)
- b. Waktu istirahat = 1 jam (12:00 s/d 13:00)
- c. Jam kerja efektif = 7 jam

Upah tenaga kerja per-jam pada waktu kerja normal ditetapkan berdasarkan pada data upah tenaga kerja yang terdapat dalam harga satuan dasar proyek jembatan Karanggayam, dengan rincian sebagai berikut :

- a. Mandor = Rp. 2.500,- /jam
- b. Tukang = Rp. 2.000,- /jam
- c. Tenaga = Rp. 1.850,- /jam

### 5.2.2 Waktu dan Upah Lembur ("*Overtime*")

Dalam penelitian kali ini waktu dan upah lembur ditetapkan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan kesepakatan antara pelaksana proyek dengan pekerja ditetapkan waktu lembur adalah dari pukul 16:00 s/d 21:00, waktu lembur tersebut dibagi menjadi 2 macam waktu lembur sebagai berikut :
  - a. Waktu lembur Jam I = 16:00 s/d 18:00
  - b. Waktu lembur Jam II = 19:00 s/d 21:00
- 2) Berdasarkan SK Menaker ' 84, upah per-jam lembur ditetapkan sebagai berikut :
  - a. Untuk waktu lembur pada Jam I, ditetapkan upah per-jam lembur sebesar = 1,5 x Upah per-jam normal.
  - b. Untuk waktu lembur pada Jam II, ditetapkan upah per-jam lembur sebesar = 2 x Upah per-jam normal.

### 5.2.3 Waktu dan Upah Giliran Kerja Malam (“*Night Shift*”)

Dalam penelitian kali ini waktu dan upah giliran kerja malam ditetapkan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan kesepakatan antara pelaksana proyek dengan pekerja dan SK Menaker ' 84 ditetapkan waktu giliran kerja malam tidak lebih dari 6 jam sehari, yaitu dari pukul 19:00 s/d 01:00.
- 2) Berdasarkan SK Menaker ' 84, upah giliran kerja malam ditetapkan sebagai berikut :
  - a. Untuk perhitungan upah giliran kerja malam sama dengan upah lembur pada waktu lembur jam I.
  - b. Upah perjam giliran kerja malam ditetapkan sebesar = 1,5 x Upah perjam normal.



Perbandingan upah tenaga kerja pada jam kerja normal, giliran kerja malam, lembur jam I dan lembur jam II seperti ditunjukkan pada Tabel 5.4 berikut :

**Tabel 5.4** Perbandingan Upah Tenaga Kerja Pada Jam Kerja Normal, Giliran Kerja Malam dan Lembur

Jenis Tenaga Kerja	Satuan	Upah / Jam <i>Day Shift</i> (Rp.)	Upah / Jam <i>Night Shift</i> (Rp.)	Upah / Jam <i>Overtime</i> (Rp.)	
				Jam I	Jam II
Mandor	Jam	2,500.00	3,750.00	3,750.00	5,000.00
Tukang	Jam	2,000.00	3,000.00	3,000.00	4,000.00
Tenaga	Jam	1,850.00	2,775.00	2,775.00	3,700.00

### 5.3 Perhitungan Kapasitas Produksi, Durasi dan Biaya Normal Kegiatan

#### 5.3.1 Perhitungan Kapasitas Produksi Kegiatan

Perhitungan kapasitas produksi dari tiap-tiap kegiatan dalam proyek jembatan ini didasarkan pada data metode konstruksi yang meliputi : metode pelaksanaan kegiatan dan peralatan-peralatan yang digunakan. Kapasitas produksi suatu kegiatan ditentukan berdasarkan *site output* peralatan atau tenaga kerja, tergantung pada metode konstruksi dari tiap-tiap kegiatan. Sebagai contoh adalah pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih berikut ini :

##### 1) Metode konstruksi pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih

Pada pekerjaan ini mencakup pengambilan, pengangkutan, penghamparan dan pemadatan material timbunan. Penyediaan material timbunan dilakukan dengan penggalian di *quarry* dengan *Excavator*, kemudian material timbunan diangkut ke lokasi pekerjaan menggunakan *Dump Truck*. Pada lokasi pekerjaan, material timbunan dihamparkan dengan *Motor Grader*, kemudian dipadatkan dengan

*Pedestrian Roller* dan *Pneumatic Tire Roller* serta *Water Tank Truck* untuk mengontrol kadar air optimum dari material timbunan.

2) Perhitungan *site output* (kapasitas produksi) dari masing-masing alat

Berdasarkan metode konstruksi di atas, kemudian dilakukan analisis *site output* dari masing-masing alat yang digunakan dalam pekerjaan timbunan tersebut. Perhitungan *site output* dari masing-masing alat dapat dilihat pada Lampiran 2-1. Hasil dari analisis perhitungan *site output* dari masing-masing alat adalah sebagai berikut :

a. <i>Excavator</i>	= 53,8775 m <sup>3</sup> /jam	≈ 53,88 m <sup>3</sup> /jam
b. <i>Dump Truck</i>	= 7,5093 m <sup>3</sup> /jam	≈ 7,51 m <sup>3</sup> /jam
c. <i>Motor Grader</i>	= 166,6667 m <sup>3</sup> /jam	≈ 166,67 m <sup>3</sup> /jam
d. <i>Pedestrian Roller</i>	= 54 m <sup>3</sup> /jam	
e. <i>Pneumatic Tire Roller</i>	= 157,5 m <sup>3</sup> /jam	
f. <i>Water Tank Truck</i>	= 186,6667 m <sup>3</sup> /jam	≈ 186,67 m <sup>3</sup> /jam

, untuk perhitungan digunakan *site output* alat yang terkecil, yaitu excavator dengan *site output* 53,88 m<sup>3</sup>/jam sebagai kapasitas produksi pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih. Sebelum kita menentukan *site output* suatu alat atau *site output* tenaga kerja sebagai kapasitas produksi pekerjaan tertentu, pertama-tama kita perlu mempertimbangkan :

- 1) jumlah peralatan atau tenaga kerja yang dimiliki oleh kontraktor pelaksana dan dapat dipergunakan untuk melaksanakan pekerjaan tersebut,

- 2) kondisi dari lokasi proyek (luas tempat kerja di lokasi proyek), apakah dimungkinkan untuk menggunakan peralatan (alat berat) atau tenaga kerja dalam jumlah yang besar.

Apabila ternyata kemampuan kontraktor tidak mencukupi dalam memenuhi kebutuhan alat dan tenaga kerja, maka terdapat dua alternatif yaitu dengan mengusahakan penambahan peralatan dan tenaga kerja atau meminta perpanjangan waktu dengan segala konsekuensinya. Analisis perhitungan kapasitas produksi dari kegiatan proyek yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2-1 dan kesimpulan dari analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5.

### 5.3.2 Perhitungan Durasi Normal Kegiatan

Pada penjelasan sebelumnya telah ditetapkan bahwa pelaksanaan proyek pembangunan jembatan Karanggayam ini pada waktu kerja normal (“*Day Shift*”) adalah dari pukul 08:00 s/d 16:00 dengan jam kerja per-hari sebesar 7 jam/hari. Maka durasi normal dari tiap kegiatan dapat diperoleh dengan membagi volume kegiatan dengan kapasitas produksi kegiatan tersebut dalam satu hari.

$$\text{Durasi Normal (hari)} = \frac{\text{Volume Kegiatan (unit)}}{\text{Jam Kerja } \textit{day shift} \text{ (jam/hari)} \times \text{Kapasitas Produksi (unit/jam)}}$$

Sebagai contoh adalah perhitungan durasi normal dari pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih berikut ini :

- Volume pekerjaan = 902.96 m<sup>3</sup>
- Jam kerja “*day shift*” = 7 jam/hari
- Kapasitas produksi = 53,88 m<sup>3</sup>/jam
- Durasi normal =  $\frac{902,96 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 53,88 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2,39 \text{ hari} \approx 3 \text{ hari}$

Dari perhitungan didapatkan durasi normal dari pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih adalah sebesar 2,39 hari. Karena dalam pelaksanaan dilapangan durasi dari tiap kegiatan dalam proyek harus bernilai bulat (“*integer*”), maka durasi normal dari pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih dibulatkan menjadi 3 hari. Pada penelitian kali ini durasi normal dari kegiatan yang tidak dapat dilakukan perhitungan dikarenakan tidak adanya data analisis kapasitas produksi, durasi normal ditetapkan berdasarkan durasi normal yang terdapat pada *time schedule* proyek. Hasil selengkapnya untuk perhitungan durasi normal dari kegiatan-kegiatan proyek yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.5.



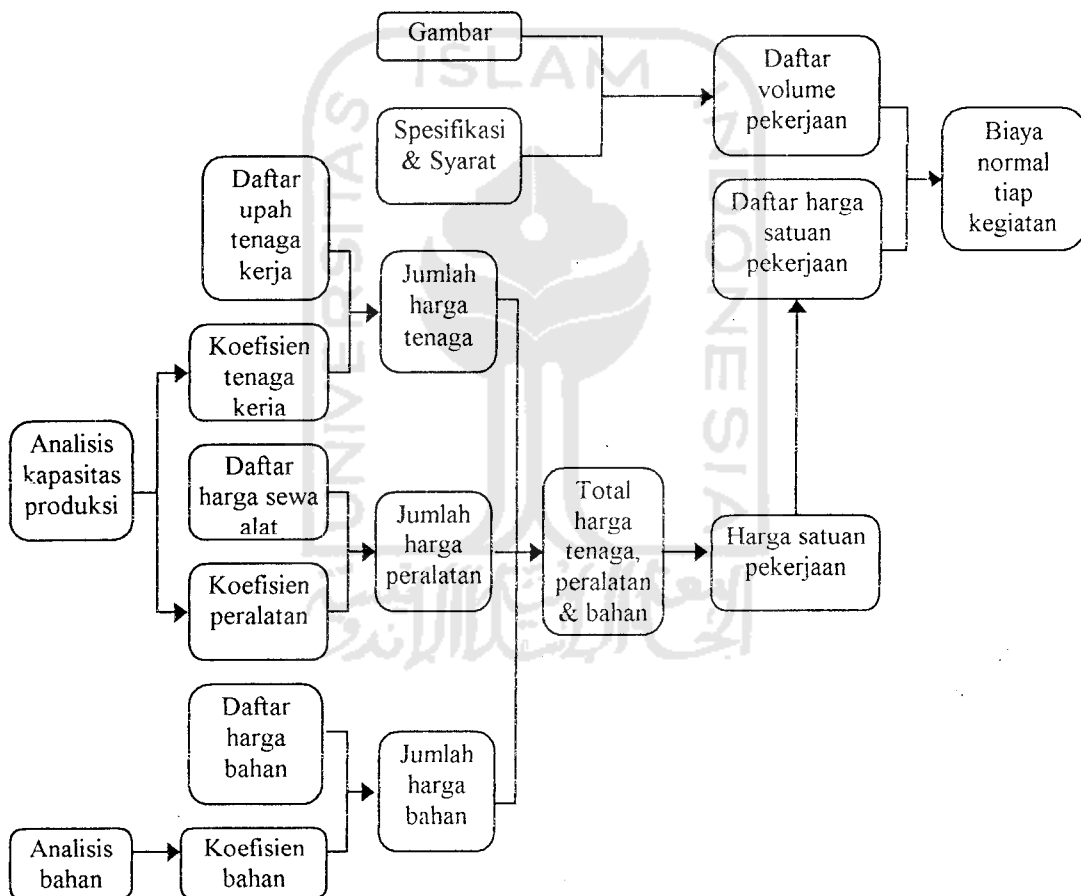
Tabel 5.5 Tabulasi Kapasitas Produksi dan Perhitungan Durasi normal Kegiatan

No.	Uraian	Unit	Volume	Kap. Produksi (unit/jam)	Durasi (hari)	Dibulatkan (hari)
1	Mobilisasi	Ls	1.000	0.00	6.00*	6.00
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	m <sup>2</sup>	759.235	53.48	2.03	3.00
3	Galian biasa	m <sup>3</sup>	184.500	21.51	1.23	2.00
4	Galian batu	m <sup>3</sup>	202.500	15.00	1.93	2.00
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	m <sup>3</sup>	503.550	15.30	4.70	5.00
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	m <sup>3</sup>	180.000	12.24	2.10	3.00
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	m <sup>3</sup>	304.100	75.60	0.57	1.00
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	m <sup>3</sup>	902.960	53.88	2.39	3.00
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	m <sup>3</sup>	67.410	6.00	1.61	2.00
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	Ls	1.000	0.00	6.00*	6.00
11	Lapis pondasi agregat kelas A	m <sup>3</sup>	211.560	60.48	0.50	1.00
12	Lapis pondasi agregat kelas B	m <sup>3</sup>	313.970	75.60	0.59	1.00
13	Lapis perekat aspal emulsi	Liter	1.919.520	195.00	1.41	2.00
14	Lapis resap pengikat	Liter	1.057.800	195.00	0.77	1.00
15	Aspal beton	m <sup>2</sup>	2.399.400	347.83	0.99	1.00
16	Aspal treated base (ATB)	m <sup>3</sup>	52.890	13.91	0.54	1.00
17	Beton K-350 pada elevasi	m <sup>3</sup>	78.570	3.20	3.51	4.00
18	Beton K-225 pada elevasi	m <sup>3</sup>	361.050	3.20	16.12	17.00
19	Beton K-175 pada elevasi	m <sup>3</sup>	21.770	3.20	0.97	1.00
20	Beton K-125	m <sup>3</sup>	13.879	3.20	0.62	1.00
21	Pembesian dengan tulangan polos	Kg	1.752.554	100.00	2.50	3.00
22	Pembesian dengan tulangan ulir	Kg	53.830.234	120.00	64.08	65.00
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Ig. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	Kg	2.807.349	0.00	18.00*	18.00
24	Perletakan elastomerik	Dm <sup>3</sup>	84.820	0.00	8.00*	8.00
25	Gelagar beton precast standar Bina Marga (kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	bh	5.000	0.02	30.00	30.00
26	Diafragma beton K-350	m <sup>3</sup>	5.820	0.06	15.00	15.00
27	Bore Pile diameter 800 mm	m'	97.000	2.38	5.82	6.00
28	Pasangan batu kali	m <sup>3</sup>	1.703.149	8.71	27.94	28.00
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	m <sup>3</sup>	54.720	9.14	0.86	1.00
30	Marka jalan	m <sup>2</sup>	20.995	13.33	0.22	1.00
31	Patok penuntur	bh	22.000	15.24	0.21	1.00
32	Rambu jalan tunggal	bh	3.000	11.75	0.04	1.00
33	Expansion joint type A	bh	14.000	0.00	8.00*	8.00

\* durasi kegiatan ditetapkan berdasarkan durasi kegiatan dalam time schedule

### 5.3.3 Perhitungan Biaya Normal Kegiatan

Sebelum dilakukan perhitungan biaya normal dari tiap kegiatan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan harga satuan pekerjaan tiap-tiap kegiatan proyek berdasarkan data upah tenaga kerja, harga sewa peralatan, harga material dan analisis koefisien yang meliputi : koefisien tenaga kerja, bahan, dan peralatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan per-satuan unit pekerjaannya. Proses perhitungan biaya normal kegiatan dapat dilihat pada bagan alir berikut ini :



**Gambar 5.1** Diagram Alir Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan dan Biaya Normal Kegiatan

(Sumber : Diktat Manajemen Konstruksi, Tadjudin dan Modifikasi Penyusun)

### 5.3.3.1 Koefisien Peralatan dan Tenaga Kerja

Koefisien tenaga kerja dan peralatan dalam penelitian ini adalah jumlah waktu (jam) dan jumlah tenaga kerja dan peralatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit pekerjaan. Sedangkan koefisien bahan adalah jumlah/volume dari masing-masing material/bahan yang dibutuhkan dalam satu unit pekerjaan. Perhitungan koefisien tenaga kerja dan peralatan dilakukan berdasarkan hasil analisis perhitungan kapasitas produksi kegiatan. Sedangkan koefisien bahan atau material ditetapkan berdasarkan koefisien bahan yang terdapat dalam analisis dalam dokumen penawaran. Sebagai contoh adalah perhitungan koefisien tenaga kerja dan peralatan pada pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih berikut ini :

Berdasarkan metode konstruksi dan hasil analisis perhitungan kapasitas produksi pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih diambil berdasarkan *site output Excavator*, yaitu sebesar 53,88 m<sup>3</sup>/jam. Kapasitas produksi ini akan menentukan jumlah dan koefisien dari peralatan yang lain dan koefisien tenaga kerja pada pekerjaan tersebut.

#### 1) Jumlah peralatan

Jumlah peralatan (alat berat) yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan timbunan ini adalah hasil bagi antara kapasitas produksi pekerjaan dengan kapasitas produksi masing-masing peralatan.

$$\text{Jumlah Alat} = \frac{\text{Kap. Produksi Kegiatan (unit/jam)}}{\text{Kap. Produksi Alat (unit/jam)}}$$

a. <i>Excavator</i>	$= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}$	$= 1,0000 \approx 1 \text{ unit}$
b. <i>Dump Truck</i>	$= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{7,51 \text{ m}^3/\text{jam}}$	$= 7,1747 \approx 7 \text{ unit}$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Motor Grader} &= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{166,67 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,3233 \approx 1 \text{ unit} \\
 \text{d. Pedestrian Roller} &= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{54,00 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,9977 \approx 1 \text{ unit} \\
 \text{e. Pneumatic Tire Roller} &= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{157,50 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,3421 \approx 1 \text{ unit} \\
 \text{f. Water Tank Truck} &= \frac{53,88 \text{ m}^3/\text{jam}}{186,67 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,2886 \approx 1 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

## 2) Koefisien peralatan

Koefisien peralatan adalah hasil bagi antara 1 (satu) unit pekerjaan dengan kapasitas produksi dari masing-masing peralatan atau dapat juga didapatkan dari hasil bagi antara jumlah alat dari masing-masing jenis peralatan dengan kapasitas produksi kegiatan.

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien Peralatan (jam)} &= \frac{1 \text{ (satu) Unit Pekerjaan (unit)}}{\text{Kap. Produksi Alat (unit/jam)}} \\
 &= \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Kap. Produksi Kegiatan (unit/jam)}}
 \end{aligned}$$

Koefisien masing-masing alat :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Excavator} &= 1 / 53,88 = 0,0186 \text{ jam} \\
 \text{b. Dump Truck} &= 7 / 53,88 = 0,1299 \text{ jam} \\
 \text{c. Motor Grader} &= 1 / 53,88 = 0,0186 \text{ jam} \\
 \text{d. Pedestrian Roller} &= 1 / 53,88 = 0,0186 \text{ jam} \\
 \text{e. Pneumatic Tire Roller} &= 1 / 53,88 = 0,0186 \text{ jam} \\
 \text{f. Water Tank Truck} &= 1 / 53,88 = 0,0186 \text{ jam}
 \end{aligned}$$



### 3) Koefisien tenaga kerja

Koefisien tenaga kerja adalah hasil bagi antara jumlah tenaga kerja mandor, tukang dan pekerja dengan kapasitas produksi kegiatan. Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan timbunan ini berdasarkan data yang terdapat dalam metode konstruksi proyek.

Untuk mengoperasikan satu set peralatan di atas diperlukan :

- Mandor = 2 orang
- Tukang = 0 orang
- Pekerja = 8 orang

Maka koefisien masing-masing tenaga kerja adalah :

- Koefisien Mandor =  $2 / 53,88 = 0,0371$  jam
- Koefisien Tukang =  $0 / 53,88 = 0$  jam
- Koefisien Pekerja =  $8 / 53,88 = 0,1485$  jam

Hasil selengkapnya untuk perhitungan koefisien peralatan dan tenaga kerja dari kegiatan-kegiatan proyek yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2-1 dan 2-2.

#### 5.3.3.2 Harga Satuan Pekerjaan dan Biaya Kegiatan Pada Keadaan Normal

Harga satuan pekerjaan adalah jumlah dari upah tenaga kerja, harga bahan dan harga sewa peralatan berdasarkan hasil perhitungan analisis koefisien. Harga satuan ini merupakan harga per satuan unit kegiatan. Pada perhitungan harga satuan pekerjaan ini koefisien sama dengan kuantitas normal ( $K_n$ ) adalah kuantitas tenaga kerja dan alat dalam keadaan produktivitas normal. Sebagai contoh adalah perhitungan harga satuan pekerjaan pada kegiatan timbunan dengan bahan-bahan terpilih berikut ini. Untuk harga bahan dan harga sewa peralatan dapat dilihat pada

Lampiran 1-1 sedangkan upah tenaga kerja pada jam kerja normal (“*day shift*”) dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Contoh perhitungan harga satuan pekerjaan**

Jenis Pekerjaan : Timbunan dengan bahan-bahan terpilih

Satuan Pekerjaan : m<sup>3</sup>

No.	Uraian	Satuan	Kuantitas Normal (Kn)	Day Shift	
				Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>	<b>Tenaga Kerja</b>				
1	Mandor	jam	0.0371	2,500.00	92.80
2	Tukang	jam	0.0000	2,000.00	0.00
3	Pekerja	jam	0.1485	1,850.00	274.70
<b>B</b>	<b>Material</b>				
1	Material Pilihan	m <sup>3</sup>	1.2000	15,000.00	18,000.00
2					
<b>C</b>	<b>Peralatan</b>				
1	Excavator	jam	0.0186	106,885.27	1,983.86
2	Dump Truck 3-4 m <sup>3</sup>	jam	0.1299	39,915.84	5,186.04
3	Motor Grader	jam	0.0186	88,392.12	1,640.61
4	Pedestrian Roller	jam	0.0186	15,076.19	279.82
5	Pneumatic Roller	jam	0.0186	50,557.09	938.37
6	Water Tanker	jam	0.0186	43,556.14	808.43
7	Alat Bantu	Ls	1.0000	500.00	500.00
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan ( A + B + C )</b>				<b>29,704.63</b>

Pada penelitian kali ini harga satuan pekerjaan dari kegiatan yang tidak dapat dilakukan perhitungan dikarenakan tidak adanya data analisis, harga satuan pekerjaan ditetapkan berdasarkan harga satuan pekerjaan yang terdapat pada dokumen penawaran proyek.

Biaya normal kegiatan adalah perkalian volume kegiatan dengan harga satuan pekerjaan dari kegiatan yang bersangkutan. Sedangkan biaya total proyek adalah jumlah total biaya normal dari kegiatan-kegiatan dalam proyek.

$$\text{Biaya Normal Kegiatan} = \text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}$$

Sebagai contoh adalah perhitungan biaya normal pada pekerjaan timbunan dengan bahan-bahan terpilih berikut ini :

- Volume Pekerjaan =  $902,96 \text{ m}^3$
- Harga Satuan Pekerjaan =  $\text{Rp. } 32.675,09 / \text{m}^3$
- Biaya Normal Kegiatan =  $902,96 \text{ m}^3 \times \text{Rp. } 32.675,09 / \text{m}^3$   
=  $\text{Rp. } 29.504.298,68$

Hasil selengkapnya untuk perhitungan harga satuan pekerjaan dan biaya normal dari kegiatan-kegiatan proyek yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2-3 dan kesimpulan dari analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6.



Tabel 5.6 Tabulasi Volume, Harga Satuan Pekerjaan dan Biaya Normal Kegiatan

No.	Uratan	Unit	Volume	Harga Satuan day shift (Rp.)	Biaya (Rp.)
1	Mobilisasi	Ls	1.000	3,603,050.00	3,603,050.00
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	m <sup>2</sup>	759.235	3,284.67	2,493,833.31
3	Galian biasa	m <sup>3</sup>	184.500	9,639.19	1,778,431.17
4	Galian batu	m <sup>3</sup>	202.500	29,002.19	5,872,942.67
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	m <sup>3</sup>	503.550	13,351.99	6,723,394.89
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	m <sup>3</sup>	180.000	16,564.99	2,981,697.90
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	m <sup>3</sup>	304.100	3,505.61	1,066,057.34
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	m <sup>3</sup>	902.960	29,704.63	26,822,089.66
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	m <sup>3</sup>	67.410	20,505.28	1,382,260.92
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	Ls	1.000	19,462,960.00	19,462,960.00
11	Lapis pondasi agregat kelas A	m <sup>3</sup>	211.560	63,704.24	13,477,268.96
12	Lapis pondasi agregat kelas B	m <sup>3</sup>	313.970	58,546.01	18,381,692.15
13	Lapis perekat aspal emulsi	Liter	1,919.520	2,793.88	5,362,901.84
14	Lapis resap pengikat	Liter	1,057.800	2,393.68	2,532,031.02
15	Aspal beton	m <sup>2</sup>	2,399.400	21,408.85	51,368,404.13
16	Aspal treated base (ATR)	m <sup>3</sup>	52.890	516,899.05	27,338,790.92
17	Beton K-350 pada elevasi	m <sup>3</sup>	78.570	400,714.61	31,484,147.02
18	Beton K-225 pada elevasi	m <sup>3</sup>	361.050	352,718.51	127,349,018.55
19	Beton K-175 pada elevasi	m <sup>3</sup>	21.770	181,818.18	3,958,181.81
20	Beton K-125	m <sup>3</sup>	13.879	181,818.18	2,523,454.54
21	Pembesian dengan tulangan polos	Kg	1,752.554	3,481.50	6,101,516.75
22	Pembesian dengan tulangan ulir	Kg	53,830.234	3,689.58	198,611,134.20
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	Kg	2,807.349	7,500.00	21,055,117.50
24	Perletakan elastomerik	Dm <sup>3</sup>	84.820	150,000.00	12,723,000.00
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	bh	5.000	75,235,047.16	376,175,235.82
26	Diaphragma beton K-350	m <sup>3</sup>	5.820	490,714.61	2,332,159.04
27	Bore Pile diameter 800 mm	m'	97.000	449,048.27	43,557,682.02
28	Pasangan batu kali	m <sup>3</sup>	1,703.149	139,760.14	238,032,343.15
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	m <sup>3</sup>	54.720	139,000.13	7,606,087.31
30	Marka jalan	m <sup>2</sup>	20.995	45,000.00	944,775.00
31	Patok penuntun	bl.	22.000	50,000.00	1,100,000.00
32	Rambu jalan tunggal	bh	3.000	150,000.00	450,000.00
33	Expansion joint type A	bh	14.000	800,000.00	11,200,000.00

#### 5.4 Percepatan Durasi Proyek

Percepatan durasi proyek pada penelitian kali ini ini dilakukan dengan 5 macam metode pemadatan durasi kegiatan, yaitu :

- 1) pemadatan durasi dengan kerja lembur (“*overtime*”),
- 2) pemadatan durasi dengan giliran kerja (“*night shift*”),
- 3) pemadatan durasi dengan penambahan tenaga kerja,
- 4) pemadatan durasi dengan penggantian dan penambahan alat.
- 5) pemadatan durasi dengan kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam

Pada pemecahan permasalahan optimalisasi waktu dan biaya proyek akibat percepatan durasi proyek dengan metode *simulated annealing* ini, seluruh durasi kegiatan didalam proyek diasumsikan dapat dilakukan percepatan dan mempunyai peluang yang sama untuk menghasilkan percepatan durasi dan biaya proyek yang optimal. Untuk itu sebelum dilakukan percepatan durasi kegiatan-kegiatan dalam proyek, terlebih dahulu dilakukan identifikasi kegiatan-kegiatan mana saja yang durasinya dapat dilakukan percepatan. Dalam penelitian ini diasumsikan durasi kegiatan yang dapat dipercepat harus memenuhi syarat-syarat, yaitu :

- 1) Durasi normal kegiatan harus lebih besar dari 1 (satu) hari
- 2) Kegiatan tersebut memiliki data-data yang diperlukan untuk melakukan percepatan durasi. Data-data tersebut adalah : volume pekerjaan, analisis kapasitas produksi dan analisis harga satuan pekerjaan.
- 3) Untuk kegiatan yang tidak memiliki data analisis harga satuan pekerjaan, tidak dapat dilakukan percepatan durasi. Sedangkan kegiatan yang memiliki data

analisis harga satuan pekerjaan tetapi tidak memiliki data analisis kapasitas produksi, kegiatan tersebut masih dapat dilakukan percepatan durasi.

Pada Lampiran 2-4, dapat dilihat kegiatan-kegiatan mana saja yang memenuhi syarat-syarat di atas dan dapat dilakukan percepatan durasi.

Dalam pelaksanaan percepatan ini untuk mengetahui apakah percepatan durasi dengan 5 metode pemadatan tersebut pada suatu kegiatan dapat mempercepat durasi dari kegiatan tersebut, dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan durasi percepatan (“*crash*”) kegiatan dengan hasil perhitungan durasi sebelumnya. Di bawah ini terdapat aturan dalam proses percepatan durasi kegiatan, yaitu :

- 1) jika durasi *crash* kegiatan tersebut  $<$  perhitungan durasi kegiatan sebelumnya, maka durasi kegiatan dipercepat,
- 2) jika durasi *crash* kegiatan tersebut  $\geq$  perhitungan durasi kegiatan sebelumnya, maka durasi kegiatan tidak dipercepat atau tetap.
- 3) jika percepatan menghasilkan durasi yang sama dengan durasi sebelumnya tetapi menghasilkan biaya percepatan yang lebih rendah, maka durasi kegiatan dipercepat menggunakan perhitungan durasi dengan biaya yang terendah.

Tujuan dilakukannya penyeleksian ini adalah untuk mendapatkan metode pemadatan durasi yang dapat menyebabkan durasi dari suatu kegiatan lebih singkat dari durasi normal kegiatan tersebut.

### 5.4.1 Pemadatan Durasi Kegiatan Dengan Kerja Lembur (“*Overtime*”)

#### 5.4.1.1 Perhitungan Durasi Percepatan Kegiatan Akibat Kerja Lembur

Maksud dari penambahan waktu kerja ini bertujuan untuk meningkatkan keluaran pekerjaan atau kapasitas produksi kegiatan per-jamnya. Penambahan waktu kerja per-hari tersebut akan mengakibatkan adanya lembur (“*overtime*”), yaitu penambahan jam kerja setelah jam kerja normal per-hari. Penambahan jam kerja ini menyebabkan durasi kegiatan menjadi lebih singkat dari durasi normal karena meningkatnya kapasitas produksi kegiatan per-harinya. Durasi kegiatan yang lebih singkat dari durasi normal ini disebut dengan durasi *crash* ( $D_c$ ).

$$D_c = \frac{\text{Volume Pekerjaan (unit)}}{(\text{JN} \times \text{Kp}) + (\text{JOT-I} \times \text{Kp} \times \text{F}) + (\text{JOT-2} \times \text{Kp} \times \text{F}) \text{ (unit/hari)}}$$

Keterangan :

JN : jumlah jam kerja normal (“*day shift*”) (jam/hari)

JOT : jumlah jam kerja lembur (“*overtime*”) (jam/hari)

Kp : kapasitas produksi (unit/jam)

F : faktor penurunan kapasitas produksi pada jam kerja lembur

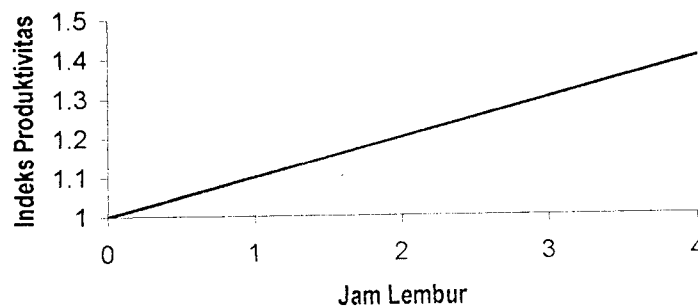
Pada penelitian ini, percepatan durasi dilakukan dengan menambahkan waktu lembur secara bertahap (1jam, 2jam, 3jam dan 4jam).

Percepatan durasi proyek dengan kerja lembur ini juga akan mengakibatkan menurunnya produktivitas tenaga kerja dan peralatan pada jam kerja lembur. Akibat dari menurunnya produktivitas ini, maka kapasitas produksi kegiatan dalam proyek (unit/jam-nya) akan menurun. Sehingga koefisien tenaga kerja dan peralatan dalam hal ini jumlah waktu (jam) yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dan peralatan untuk menyelesaikan 1 (satu) unit pekerjaan akan menjadi lebih besar. Bertambahnya

waktu ini akan mengakibatkan naiknya upah tenaga kerja dan harga sewa peralatan serta naiknya harga satuan pekerjaan dan biaya dari kegiatan tersebut .

Menurut Iman Suharto (1995), penurunan produktivitas ini sama dengan naiknya indeks produktivitas. Karena indeks produktivitas adalah perbandingan antara jumlah jam-orang (waktu) yang sesungguhnya untuk menyelesaikan pekerjaan tertentu dengan jumlah jam-orang yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan yang sama pada keadaan normal. Sehingga jika jumlah waktu (jam) yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dan peralatan untuk menyelesaikan pekerjaan tertentu lebih besar dari jumlah waktu yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dan peralatan untuk menyelesaikan pekerjaan yang sama, maka indeks produktivitasnya akan menjadi lebih besar dari pada indeks produktivitas normal. Pada penelitian ini kenaikan indeks produktivitas ditetapkan berdasarkan grafik kenaikan indeks produktivitas karena kerja lembur milik Iman Suharto dan rinciannya adalah sebagai berikut :

- a. Indek produktivitas pada jam kerja normal = 1
- b. Indek produktivitas pada jam lembur I (1-2 jam lembur) =  $(1,1+1,2)/2 = 1,15$
- c. Indek produktivitas pada jam lembur II (3-4 jam lembur) =  $(1,3+1,4)/2 = 1,35$



**Gambar 5.2** Grafik Indeks Produktivitas *I*'s Kerja Lembur  
(Sumber : Iman Suharto, 1995)



Bertambahnya waktu kerja karena naiknya indeks produktivitas ini sama dengan menurunnya kapasitas produksi pada jam kerja lembur sebesar :

a. Jam lembur I =  $100\% - ((1/1,15) \times 100\%) = 13\%$

b. Jam lembur II =  $100\% - ((1/1,35) \times 100\%) = 26\%$

Dalam penelitian kali ini indeks produktivitas akan digunakan dalam perhitungan harga satuan pekerjaan karena kerja lembur, yaitu sebagai faktor penambahan waktu dari koefisien (kuantitas normal (Kn)) tenaga kerja dan alat. Sedangkan prosentase penurunan kapasitas produksi pada jam kerja lembur merupakan faktor penurunan kapasitas produksi dalam perhitungan durasi percepatan kegiatan.

Sebagai contoh adalah perhitungan durasi *crash* pada pekerjaan pembesian dengan tulangan ulir berikut ini :

Diketahui :

- Volume pekerjaan = 53.830,234 Kg
- Kapasitas produksi = 120 Kg/jam
- Jam kerja normal = 7 jam/hari
- Durasi normal = 65 hari

1) Perhitungan durasi kegiatan untuk 1 jam lembur

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja "*day shift*" + Jam kerja lembur

$$= 7 \text{ jam/hari} + 1 \text{ jam/hari} = 8 \text{ jam/hari}$$

- Durasi *crash* =  $\frac{53.830,234}{(7 \times 120) + (1 \times 120 \times 0,87)} = 57,00 \text{ hari} \approx 57 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 57 hari lebih kecil dari durasi normal 65 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

## 2) Perhitungan durasi kegiatan untuk 2 jam lembur

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja “*day shift*” + Jam kerja lembur  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 2 \text{ jam/hari} = 9 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{53.830,234}{(7 \times 120) + (2 \times 120 \times 0,87)} = 51,33 \text{ hari} \approx 52 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 52 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 57 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

## 3) Perhitungan durasi kegiatan untuk 3 jam lembur

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja “*day shift*” + Jam kerja lembur  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 3 \text{ jam/hari} = 10 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{53.830,234}{(7 \times 120) + (2 \times 120 \times 0,87) + (1 \times 120 \times 0,74)} = 47,32 \text{ hari} \approx 48 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 48 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 52 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

## 4) Perhitungan durasi kegiatan untuk 4 jam lembur

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja “*day shift*” + Jam kerja lembur  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 4 \text{ jam/hari} = 11 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{53.830,234}{(7 \times 120) + (2 \times 120 \times 0,87) + (2 \times 120 \times 0,74)} = 43,89 \text{ hari} \approx 44 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 44 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 48 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

Perhitungan percepatan durasi untuk kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-1 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.8.

#### 5.4.1.2 Perhitungan Biaya Percepatan Kegiatan Akibat Kerja Lembur

Penggunaan kerja lembur untuk mempercepat durasi kegiatan ini akan mempengaruhi komponen harga satuan bagi tenaga kerja, karena tarif (upah) per-jam lembur yang diterima tenaga kerja lebih besar daripada tarif tenaga kerja pada jam kerja normal. Penambahan waktu kerja per-hari setelah jam kerja normal dan besarnya tarif per-jam kerja lembur dalam penelitian ini telah ditetapkan seperti telah dijelaskan pada Subbab 5.2.2, yaitu tentang waktu dan upah lembur. Pada penelitian ini, harga sewa peralatan diasumsikan tidak mengalami kenaikan harga sewa akibat kerja lembur.

Karena pada jam lembur terjadi penurunan produktivitas, maka sesuai dengan uraian subbab sebelumnya dalam perhitungan harga satuan pekerjaan pada jam lembur ini koefisien tenaga kerja dan alat dikalikan dengan indeks produktivitas pada jam lembur. Sebagai contoh adalah perhitungan harga satuan pekerjaan pada jam kerja lembur dari pekerjaan penulangan dengan tulangan ulir di bawah ini. Harga bahan dan harga sewa peralatan yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1-2 sedangkan upah tenaga kerja pada jam kerja normal, jam kerja lembur I dan jam kerja lembur II dapat dilihat pada Tabel 5.4. Perhitungan harga satuan pekerjaan akibat adanya kerja lembur untuk kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2-3 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Contoh perhitungan harga satuan pekerjaan pada jam kerja lembur**

Jenis Pekerjaan : Penulangan dengan tulangan ulir

Satuan : Kg

No.	Uraian	Satuan	Kuantitas normal (Kn)	Day Shift		Kuantitas Overtime =Kn x 1,15	Overtime (Jam I)		Kuantitas Overtime =Kn x 1,35	Overtime (Jam II)		
				Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)		Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)		Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)	
<b>A Tenaga Kerja</b>												
1	Mandor	jam	0.0083	2,500.00	20.83	0.0096	3,750.00	35.94	0.0113	5,000.00	56.25	
2	Tukang	jam	0.0250	2,000.00	50.00	0.0288	3,000.00	86.25	0.0338	4,000.00	135.00	
3	Pekerja	jam	0.0750	1,850.00	138.75	0.0863	2,775.00	239.34	0.1013	3,700.00	374.63	
<b>B Material</b>												
1	Besi Beton	Kg	1.1000	2,600.00	2,860.00	1.1000	2,600.00	2,860.00	1.1000	2,600.00	2,860.00	
2	Kawat Beton	Kg	0.0200	6,000.00	120.00	0.0200	6,000.00	120.00	0.0200	6,000.00	120.00	
3												
4												
<b>C Peralatan</b>												
1	Alat Bantu	Ls	1.0000	500.00	500.00	1.0000	500.00	500.00	1.0000	500.00	500.00	
2												
<b>D Harga Satuan Pekerjaan (A + B + C)</b>				<b>3,689.58</b>				<b>3,841.53</b>				<b>4,045.88</b>

Tabel 5.7 Daftar Harga Satuan Pekerjaan Kegiatan Akibat Pemadatan Durasi Dengan Kerja Lembur

No.	Uraian	Unit	Harga Satuan day shift (Rp.)	Harga satuan overtime Jam I (Rp.)	Harga satuan overtime Jam II (Rp.)
1	Mobilisasi	Ls	3,603,050.00	-	-
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	m <sup>2</sup>	3,284.67	3,924.25	4,779.17
3	Galian biasa	m <sup>3</sup>	9,639.19	11,274.67	13,459.15
4	Galian batu	m <sup>3</sup>	29,002.19	33,657.01	39,868.95
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	m <sup>3</sup>	13,351.99	15,651.88	18,723.80
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	m <sup>3</sup>	16,564.99	19,439.85	23,279.75
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	m <sup>3</sup>	3,505.61	-	-
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	m <sup>3</sup>	29,704.63	31,596.63	34,122.37
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	m <sup>3</sup>	20,505.28	25,048.99	31,129.63
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	Ls	19,462,960.00	-	-
11	Lapis pondasi agregat kelas A	m <sup>3</sup>	63,704.24	-	-
12	Lapis pondasi agregat kelas B	m <sup>3</sup>	58,546.01	-	-
13	Lapis peretak aspal emulsi	Liter	2,793.88	3,050.71	3,395.21
14	Lapis resap pengikat	Liter	2,393.68	-	-
15	Aspal beton	m <sup>2</sup>	21,408.85	-	-
16	Aspal treated base (ATB)	m <sup>3</sup>	516,899.05	-	-
17	Beton K-350 pada elevasi	m <sup>3</sup>	400,714.61	405,583.86	412,112.00
18	Beton K-225 pada elevasi	m <sup>3</sup>	352,718.51	357,587.76	364,115.90
19	Beton K-175 pada elevasi	m <sup>3</sup>	181,818.18	-	-
20	Beton K-125	m <sup>3</sup>	181,818.18	-	-
21	Pembesian dengan tulangan polos	Kg	3,481.50	3,663.84	3,909.05
22	Pembesian dengan tulangan ulir	Kg	3,689.58	3,841.53	4,045.88
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	Kg	7,500.00	-	-
24	Perletakan elastomerik	Dm <sup>3</sup>	150,000.00	-	-
25	Geleгар beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	bh	75,235,047.16	75,278,885.06	75,337,514.30
26	Diaphragma beton K-350	m <sup>3</sup>	400,714.61	405,583.86	412,112.00
27	Bore Pile diameter 800 mm	m'	449,048.27	472,278.08	503,480.85
28	Pasangan batu kali	m <sup>3</sup>	139,760.14	142,283.36	145,673.49
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	m <sup>3</sup>	139,000.13	-	-
30	Marka jalan	m <sup>2</sup>	45,000.00	-	-
31	Patok penuntun	bh	50,000.00	-	-
32	Rambu jalan tunggal	bh	150,000.00	-	-
33	Expansion joint type A	bh	800,000.00	-	-

Setelah harga satuan pekerjaan akibat percepatan durasi kegiatan diketahui, kemudian dilakukan perhitungan biaya akibat percepatan durasi kegiatan. Biaya percepatan adalah penjumlahan biaya kegiatan pada jam kerja normal dengan biaya kegiatan pada kerja lembur.

$$\text{Biaya Normal} = JN \times Kp \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Normal}$$

$$\text{Biaya Lembur I} = JOT \text{ I} \times Kp \times F \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Overtime I}$$

$$\text{Biaya Lembur II} = JOT \text{ II} \times Kp \times F \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Overtime II}$$

$$\text{Biaya Percepatan} = \text{Biaya Normal} + \text{Biaya Lembur I} + \text{Biaya Lembur II}$$

Contoh perhitungan biaya percepatan adalah pada perhitungan biaya percepatan akibat adanya kerja lembur pada pekerjaan penulangan dengan tulangan ulir berikut ini :

- Diketahui :
- Kapasitas produksi = 120 Kg/jam
  - Jam kerja normal = 7 jam/hari
  - Harga satuan pekerjaan pada jam kerja normal = Rp. 3.689,58 / Kg
  - Harga satuan pekerjaan pada jam kerja lembur I = Rp. 3.841,53 / Kg
  - Harga satuan pekerjaan pada jam kerja lembur II = Rp. 4.045,88 / Kg

1) Perhitungan biaya percepatan kegiatan untuk 1 jam lembur

- Durasi *crash* = 57 hari
- Biaya normal = 7 jam/hari x 120 Kg/jam x 57 hari x Rp. 3.689,58/Kg  
= Rp. 176.657.250,00,-
- Biaya lembur I = 1 jam/hari x 120 Kg/jam x 0,87 x 57 hari x Rp. 3.841,53/Kg  
= Rp. 22.860.184,16,-
- Biaya percepatan = Biaya jam kerja normal + Biaya jam kerja lembur I

$$= \text{Rp. } 176.657.250,00 + \text{Rp. } 22.860.184,16$$

$$= \text{Rp. } 199.517.434,16,-$$

2) Perhitungan biaya percepatan kegiatan untuk 3 jam lembur

- Durasi *crash* = 48 hari
- Biaya normal = 7 jam/hari x 120 Kg/jam x 48 hari x Rp. 3.689,58 /Kg  
= Rp. 146.764.000,00,-
- Biaya lembur I = 2 jam/hari x 120 Kg/jam x 0,87 x 48 hari x Rp. 3.841,53/Kg  
= Rp. 38.501.362,80,-
- Biaya lembur II = 1 jam/hari x 120 Kg/jam x 0,74 x 48 hari x Rp. 4.045,88/Kg  
= Rp. 17.245.137,60,-
- Biaya percepatan = Biaya jam kerja (normal + lembur I + lembur II)  
= Rp. (148.764.000,00 + 38.501.362,80 + 17.245.137,60)  
= Rp. 204.501.500,40,-

Perhitungan biaya percepatan akibat adanya kerja lembur untuk kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-1 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.8.





## 5.4.2 Pemadatan Durasi Kegiatan Dengan Giliran Kerja Malam (“*Night Shift*”)

### 5.4.2.1 Perhitungan Durasi Percepatan Kegiatan Akibat Giliran Kerja Malam

Mengadakan giliran kerja malam atau *shift* tambahan setelah jam kerja per-hari bagi tenaga kerja *shift* pertama dilampaui (jam kerja normal) dan dikehendaki untuk tetap meneruskan pekerjaan, dapat dilakukan dengan merekrut tenaga kerja untuk *shift* berikutnya. Waktu kerja pada giliran kerja malam per-harinya setelah jam kerja normal dan besarnya tarif per-jam kerja giliran malam dalam penelitian ini telah ditetapkan seperti telah dijelaskan pada Subbab 5.2.3, yaitu tentang waktu dan upah giliran kerja malam. Penambahan waktu kerja per-hari ini menyebabkan durasi kegiatan menjadi lebih singkat dari durasi normal. Karena pada penambahan waktu kerja dengan giliran kerja ini tidak terjadi penurunan produktivitas, maka :

$$D_c = \frac{\text{Volume Pekerjaan (unit)}}{(\text{JN} + \text{JNS}) \times K_p \text{ (unit/hari)}}$$

Keterangan :

JN : jumlah jam kerja normal (“*day shift*”) (jam/hari)

JNS : jumlah jam kerja giliran kerja malam (“*night shift*”) (jam/hari)

Kp : kapasitas produksi (unit/jam)

Jumlah jam kerja maksimal dalam sehari bagi tenaga kerja (2 *shift*) dan peralatan pada proyek ditentukan sebesar 13 jam. Pada penelitian ini, percepatan durasi dilakukan dengan menambahkan waktu giliran kerja malam secara bertahap (1jam, 2jam, 3jam, ..., 6jam). Sebagai contoh adalah perhitungan durasi *crash* pada pekerjaan galian konstruksi 0-2 m berikut ini :

Diketahui : – Volume pekerjaan = 503,55 m<sup>3</sup>

- Kapasitas produksi =  $15,30 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Jam kerja normal =  $7 \text{ jam/hari}$
- Durasi normal =  $5 \text{ hari}$

1) Perhitungan durasi kegiatan untuk 1 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  
 $= 7 \text{ jam/hari} + 1 \text{ jam/hari} = 8 \text{ jam/hari}$
- Durasi *crash* =  $\frac{503,55 \text{ m}^3}{8 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 4,11 \text{ hari} \approx 5 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 5 hari sama dengan durasi normal 5 hari, maka durasi kegiatan tidak dipercepat.

2) Perhitungan durasi kegiatan untuk 2 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  
 $= 7 \text{ jam/hari} + 2 \text{ jam/hari} = 9 \text{ jam/hari}$
- Durasi *crash* =  $\frac{503,55 \text{ m}^3}{9 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 3,66 \text{ hari} \approx 4 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 4 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 5 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

3) Perhitungan durasi kegiatan untuk 3 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  
 $= 7 \text{ jam/hari} + 3 \text{ jam/hari} = 10 \text{ jam/hari}$
- Durasi *crash* =  $\frac{503,55 \text{ m}^3}{10 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 3,29 \text{ hari} \approx 4 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 4 hari sama dengan perhitungan durasi *crash* sebelumnya 4 hari, maka durasi kegiatan tidak dipercepat.

## 4) Perhitungan durasi kegiatan untuk 4 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 4 \text{ jam/hari} = 11 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{503,55 \text{ m}^3}{11 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2,99 \text{ hari} \approx 3 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 3 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 4 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

## 5) Perhitungan durasi kegiatan untuk 5 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 5 \text{ jam/hari} = 12 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{503,55 \text{ m}^3}{12 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2,74 \text{ hari} \approx 3 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 3 hari sama dengan perhitungan durasi *crash* sebelumnya 3 hari, maka durasi kegiatan tidak dipercepat.

## 6) Perhitungan durasi kegiatan untuk 6 jam giliran kerja malam

- Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja normal + Jam kerja *shift* malam  

$$= 7 \text{ jam/hari} + 6 \text{ jam/hari} = 13 \text{ jam/hari}$$
- Durasi *crash* = 
$$\frac{503,55 \text{ m}^3}{13 \text{ jam/hari} \times 15,3 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2,53 \text{ hari} \approx 3 \text{ hari}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 3 hari sama dengan perhitungan durasi *crash* sebelumnya 3 hari, maka durasi kegiatan tidak dipercepat.

Hasil selengkapnya dari perhitungan percepatan durasi untuk kegiatan-kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-2 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel

5.10.

#### 5.4.2.2 Perhitungan Biaya Percepatan Kegiatan Akibat Giliran Kerja Malam

Penggunaan giliran kerja malam untuk mempercepat durasi kegiatan ini akan mempengaruhi komponen harga satuan bagi tenaga kerja, karena tarif (upah) per-jam giliran kerja malam yang diterima tenaga kerjas lebih besar daripada tarif tenaga kerja pada jam kerja normal. Pada penelitian ini, harga sewa peralatan diasumsikan tidak mengalami kenaikan harga sewa akibat digunakan pada waktu kerja malam hari. Upah per-jam tenaga kerja pada giliran kerja malam per-harinya setelah jam kerja normal dalam penelitian ini telah ditetapkan seperti telah dijelaskan pada Subbab 5.2.3, yaitu tentang waktu dan upah giliran kerja malam. Produktivitas per-jam bagi tenaga kerja giliran kerja malam diasumsikan sama dengan produktivitas tenaga kerja pada siang hari, karena kelompok ("group") tenaga kerja pada giliran kerja malam berbeda dengan kelompok tenaga kerja pada siang hari.

Biaya percepatan akibat giliran kerja malam adalah penjumlahan biaya kegiatan pada jam kerja normal dengan biaya kegiatan pada giliran kerja malam.

Biaya Normal =  $JN \times Kp \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Normal}$

Biaya Giliran Kerja Malam =  $JNS \times Kp \times Dcx \text{ Harga Satuan Pekerjaan } \textit{Night Shift}$

Biaya Percepatan = Biaya Normal + Biaya Giliran Kerja Malam

Sebagai contoh adalah perhitungan biaya percepatan durasi kegiatan dengan giliran kerja malam pada pekerjaan galian konstruksi 0-2 m' di bawah ini. Sebelumnya perlu dihitung terlebih dahulu harga satuan pekerjaan pada giliran kerja malam dari pekerjaan tersebut. Harga bahan dan harga sewa peralatan yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1-2, sedangkan upah

tenaga kerja pada jam kerja normal dan upah giliran kerja malam dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Contoh perhitungan harga satuan pekerjaan pada giliran kerja malam**

Jenis Pekerjaan : Galian Konstruksi 0-2 m<sup>2</sup>

Satuan : m<sup>3</sup>

No.	Uraian	Satuan	Kuantitas normal (Kn)	Day Shift		Kuantitas Night Shift = Kn x 1	Night Shift	
				Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)		Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A Tenaga Kerja</b>								
1	Mandor	jam	0.0654	2,500.00	163.41	0.0654	3,750.00	245.12
2	Tukang	jam	0.0000	2,000.00	0.00	0.0000	3,000.00	0.00
3	Pekerja	jam	0.2615	1,850.00	483.71	0.2615	2,775.00	725.56
<b>B Material</b>								
1								
<b>C Peralatan</b>								
1	Excavator	jam	0.0654	106,885.27	6,986.62	0.0654	106,885.27	5,986.62
2	Dump Truck 3-4 m <sup>3</sup>	jam	0.1307	39,915.84	5,218.25	0.1307	39,915.84	5,218.25
3	Alat Bantu	Ls	1.0000	500.00	500.00	1.0000	500.00	500.00
4								
<b>D Harga Satuan Pekerjaan (A+B+C)</b>					<b>13,351.99</b>			<b>13,675.55</b>

Perhitungan harga satuan pekerjaan akibat giliran kerja malam untuk kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2-3 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Daftar Harga Satuan Pekerjaan Kegiatan Akibat Pemadatan Durasi Dengan Giliran Kerja Malam

No.	Urutan	Unit	Volume	Harga Satuan day shift (Rp.)	Harga satuan night shift (Rp.)
1	Mobilisasi	Ls	1.000	3,603,050.00	-
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	m <sup>2</sup>	759,235	3,284.67	3,412.39
3	Galian biasa	m <sup>3</sup>	184.500	9,639.19	9,869.28
4	Galian batu	m <sup>3</sup>	202.500	29,002.19	29,332.19
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	m <sup>3</sup>	503.550	13,351.99	13,675.55
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	m <sup>3</sup>	180.000	16,564.99	16,969.44
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	m <sup>3</sup>	304.100	3,505.61	-
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	m <sup>3</sup>	902.960	29,704.63	29,888.38
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	m <sup>3</sup>	67.410	20,505.28	21,846.95
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	Ls	1.000	19,462,960.00	-
11	Lapis pondasi agregat kelas A	m <sup>3</sup>	211.560	63,704.24	-
12	Lapis pondasi agregat kelas B	m <sup>3</sup>	313.970	58,546.01	-
13	Lapis perekat aspal emulsi	Liter	1,919.520	2,793.88	2,917.21
14	Lapis resap pengikat	Liter	1,057.800	2,393.68	-
15	Aspal beton	m <sup>2</sup>	2,399.400	21,408.85	-
16	Aspal treated base (ATB)	m <sup>3</sup>	52.890	516,899.05	-
17	Beton K-350 pada elevasi	m <sup>3</sup>	78.570	400,714.61	402,863.05
18	Beton K-225 pada elevasi	m <sup>3</sup>	361.050	352,718.51	354,866.95
19	Beton K-175 pada elevasi	m <sup>3</sup>	21.770	181,818.18	-
20	Beton K-125	m <sup>3</sup>	13.879	181,818.18	-
21	Pembesian dengan tulangan polos	Kg	1,752.554	3,481.50	3,607.25
22	Pembesian dengan tulangan ulir	Kg	53,830.234	3,689.58	3,794.38
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 28 Kg/m <sup>2</sup>	Kg	2,807.349	7,500.00	-
24	Perletakan elastomerik	Dm <sup>3</sup>	84.820	150,000.00	-
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	bh	5.000	75,235,047.16	75,245,769.62
26	Diafragma beton K-350	m <sup>3</sup>	5.820	400,714.61	402,863.05
27	Bore Pile diameter 800 mm	m'	97.000	449,048.27	462,829.63
28	Pasangan batu kali	m <sup>3</sup>	1,703.149	139,760.14	141,310.53
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	m <sup>3</sup>	54.720	139,000.13	-
30	Marka jalan	m <sup>2</sup>	20.995	45,000.00	-
31	Patok penuntun	bh	22.000	50,000.00	-
32	Rambu jalan tunggal	bh	3.000	150,000.00	-
33	Expansion joint type A	bh	14.000	800,000.00	-

Setelah harga satuan pekerjaan pekerjaan pada waktu giliran kerja malam didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan biaya percepatan. Sebagai contoh adalah pada perhitungan biaya pekerjaan galian konstruksi 0-2 m<sup>3</sup> berikut ini :

- Diketahui :
- Kapasitas produksi = 15,30 m<sup>3</sup>/jam
  - Jam kerja normal = 7 jam/hari
  - Harga satuan pekerjaan normal = Rp. 13.351,99 ,- / m<sup>3</sup>
  - Harga satuan pekerjaan *night shift* = Rp. 13.675,55 ,- / m<sup>3</sup>

Perhitungan biaya percepatan kegiatan untuk 2 jam giliran kerja malam

- Durasi *crash* = 4 hari
- Biaya normal = 7 jam/hari x 15,30 m<sup>3</sup>/jam x 4 hari x Rp. 13.351,99 ,- / m<sup>3</sup>  
= Rp. 5.719.454,44,-
- Biaya *night shift* = 2 jam/hari x 15,30 m<sup>3</sup>/jam x 4 hari x Rp. 13.675,55 ,- / m<sup>3</sup>  
= Rp. 1.673.729,84,-
- Biaya percepatan = Biaya normal + Biaya *night shift*  
= Rp. 5.719.454,44 + Rp.1.673.729,84  
= Rp. 7.393.184,28 ,-

Hasil selengkapnya untuk perhitungan biaya percepatan akibat adanya giliran kerja malam untuk kegiatan-kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-2 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.10.

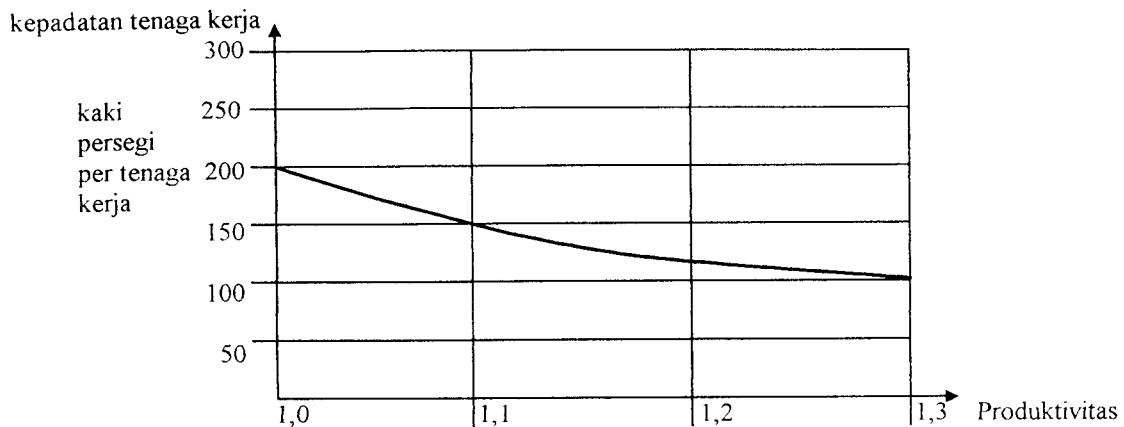




### 5.4.3 Pemadatan Durasi Kegiatan Dengan Penambahan Tenaga Kerja

Beberapa kegiatan dalam proyek dapat dipersingkat durasinya dengan melakukan penambahan alokasi sumberdaya tenaga kerja dan peralatan. Sebagaimana terlihat dalam metode konstruksi, *site output* (kapasitas produksi) dari suatu kegiatan ditentukan oleh suatu peralatan atau tenaga kerja yang dipakai sebagai tolok ukur. Maka untuk meningkatkan *site output* kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan penambahan jumlah peralatan atau tenaga kerja. Meningkatnya *site output* suatu kegiatan menyebabkan terjadinya percepatan durasi, perubahan harga satuan pekerjaan dan biaya dari kegiatan tersebut. Percepatan durasi dengan penambahan tenaga kerja ini pada penelitian ini, percepatan dilakukan hanya kepada kegiatan-kegiatan yang kapasitas produksinya ditentukan oleh tenaga kerja. Pada proyek penggantian jembatan Karanggayam ini, kegiatan yang *site output*-nya ditentukan oleh tenaga kerja adalah kegiatan penulangan dengan tulangan polos dan kegiatan penulangan dengan tulangan ulir.

Sebelum dilakukan perhitungan percepatan durasi terlebih dahulu dilakukan analisis kepadatan tenaga kerja. Analisis kepadatan tenaga kerja ini didasarkan pada grafik kepadatan tenaga kerja (Iman Suharto, 1995) dan luasan tempat kerja sesuai gambar situasi proyek jembatan Karanggayam (Lampiran 4-1). Pada penentuan luas tempat kerja ini dilakukan dengan asumsi bahwa luas tempat kerja suatu kegiatan sesuai dengan luasan dari kegiatan pada gambar situasi proyek sampai pada batasan keadaan yang masih memungkinkan untuk tenaga kerja atau alat untuk melakukan pekerjaannya.



**Gambar 5.3** Kepadatan tenaga kerja vs produktivitas  
(Sumber : Iman Suharto, 1995)

Berdasarkan grafik kepadatan tenaga kerja di atas, produktivitas tertinggi (1,0) tercapai pada kepadatan tenaga kerja 200 s/d 300 kaki persegi per-tenaga kerja.

Konversi : 1 kaki = 1 ft = 30,48 cm

$$1 \text{ kaki persegi} = 1 \text{ sq.ft} = 30,48 \times 30,48 = 929,0304 \text{ cm}^2 = 0,0929 \text{ m}^2$$

Pada penelitian kali ini, setiap tenaga kerja ditetapkan mempunyai luasan kerja ideal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Luasan kerja ideal} &= (200+300)/2 = 250 \text{ kaki persegi / tenaga kerja} \\ &= 250 \times 0,0929 \\ &= 23,225 \text{ m}^2 / \text{tanaga kerja (orang)} \end{aligned}$$

Kemudian berdasarkan gambar situasi proyek jembatan Karanggayam didapatkan luasan tempat kerja bagi kegiatan-kegiatan dalam proyek (Lampiran 4-2). Luasan tempat kerja untuk kegiatan penulangan dengan tulangan polos adalah 538,5 m<sup>2</sup> dan luasan tempat kerja bagi pelaksanaan kegiatan penulangan dengan tulangan ulir adalah 845,7 m<sup>2</sup>. Maka jumlah tenaga kerja ideal untuk kegiatan :

- Penulangan dengan tulangan polos =  $\frac{538,5 \text{ m}^2}{23,225 \text{ m}^2} = 23,186 \text{ orang} \approx 23 \text{ orang}$

$$- \text{ Penulangan dengan tulangan ulir} = \frac{845,7 \text{ m}^2}{23,225 \text{ m}^2} = 36,413 \text{ orang} \approx 36 \text{ orang}$$

Berdasarkan pada data perhitungan kapasitas produksi, jumlah tenaga kerja dalam 1 *group* yang digunakan untuk melaksanakan kegiatan penulangan polos = 13 orang dan jumlah tenaga kerja dalam 1 *group* yang digunakan untuk melaksanakan kegiatan penulangan ulir = 13 orang. Maka berdasarkan data tersebut dapat dilakukan penambahan tenaga kerja pada kegiatan penulangan polos sebanyak  $(23-13) = 10$  orang dan penambahan jumlah tenaga kerja pada kegiatan penulangan ulir sebanyak  $(36-13) = 23$  orang. Pada penelitian kali ini penambahan tenaga kerja tiap kegiatan dilakukan dengan menaikkan jumlah kelompok ("*group*") tenaga kerja. Dengan menaikkan jumlah *group* ini otomatis komposisi jumlah tenaga kerja (mandor, tukang dan pekerja) akan berubah. Sebagai contoh adalah perhitungan percepatan durasi kegiatan pembesian dengan penulangan ulir dengan penambahan tenaga kerja di bawah ini.

1) Alternatif-1 : Komposisi tenaga kerja pada keadaan normal

Komponen tenaga kerja terdiri dari 1 *group* dengan komposisi tenaga kerja :

a. Mandor	:	1 orang	
b. Tukang	:	3 orang	
c. Pekerja	:	9 orang	
		+ 13 orang	
Jumlah tenaga kerja	:	13 orang	

Dengan *site output* setiap 1 *group* tenaga kerja sebesar 120 Kg/jam

Koefisien atau waktu yang dibutuhkan tenaga kerja untuk menyelesaikan pekerjaan pembesian dengan tulangan ulir per-Kg nya adalah :

- a. Mandor =  $1 / 120 = 0,0083$  jam
- b. Tukang =  $3 / 120 = 0,0250$  jam
- c. Pekerja =  $9 / 120 = 0,0750$  jam

2) Alternatif-7 : Penambahan tenaga kerja dengan menambah jumlah group

Pada penambahan jumlah group ini dilakukan secara bertahap dengan tujuan untuk mendapatkan variasi komposisi dan jumlah tenaga kerja yang dapat menyelesaikan pekerjaan penulangan per-Kg nya dengan waktu yang lebih singkat.

Pada alternatif ke-7 ini dilakukan penambahan jumlah group tenaga kerja sebanyak 2,8 group, sehingga komposisi tenaga kerja berubah menjadi :

- a. Mandor =  $1 \times 2,8 = 2,8 \approx 3$  orang
  - b. Tukang =  $3 \times 2,8 = 8,4 \approx 8$  orang
  - c. Pekerja =  $9 \times 2,8 = 25,2 \approx 25$  orang
- +  
 Jumlah tenaga kerja = 36 orang  $\leq$  jumlah tenaga kerja ideal 36 orang

Dengan *site output* setiap group tenaga kerja =  $120 \text{ Kg/jam} \times 2,8 = 336 \text{ Kg/jam}$

Koefisien atau waktu yang dibutuhkan tenaga kerja untuk menyelesaikan pekerjaan pembesian dengan tulangan ulir per-Kg nya adalah :

- a. Mandor =  $3 / 336 = 0,0089$  jam
- b. Tukang =  $8 / 336 = 0,0238$  jam
- c. Pekerja =  $25 / 336 = 0,0744$  jam

Untuk perhitungan percepatan durasi kegiatan, perhitungan harga satuan pekerjaan dan perhitungan biaya percepatan kegiatan karena penambahan tenaga kerja selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4-3, 4-4 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.11. Pada perhitungan percepatan durasi dengan penambahan

tenaga kerja pada penelitian ini, ketentuan penetapan durasi kegiatan yang dipersingkat sama seperti dalam percepatan durasi dengan kerja lembur dan giliran kerja. Tetapi pada penambahan tenaga kerja ini juga dipertimbangkan percepatan durasi yang menghasilkan biaya percepatan yang terkecil.

**Tabel 5.11** Tabulasi Hasil Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan, Jumlah Tenaga Kerja, Kapasitas Produksi, Durasi dan Biaya Kegiatan Akibat Percepatan Durasi Dengan Penambahan Tenaga Kerja

Pembesian dengan tulangan polos						
	Harga Satuan <i>day shift</i> (Rp.)	Jumlah Group	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Kapasitas Produksi (Kg/jam)	Durasi (hari)	Biaya (Rp.)
Alternatif-1	3,481.50	1.00	13	100	3.00	6,101,516.75
Alternatif-2	3,487.08	1.20	16	120	-	-
Alternatif-3	3,481.54	1.30	17	130	-	-
Alternatif-4	3,476.79	1.40	18	140	2.00	6,093,254.71
Alternatif-5	3,502.67	1.50	21	150	-	-
Alternatif-6	3,485.63	1.60	21	160	-	-
Alternatif-7	3,481.47	1.70	22	170	-	-
Alternatif-8	3,477.78	1.80	23	180	-	-

Pembesian dengan tulangan ulir						
	Harga Satuan <i>day shift</i> (Rp.)	Jumlah Group	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Kapasitas Produksi (Kg/jam)	Durasi (hari)	Biaya (Rp.)
Alternatif-1	3,689.58	1.00	13	120	65.00	198,611,134.20
Alternatif-2	3,689.62	1.30	17	156	50.00	198,612,859.52
Alternatif-3	3,693.02	1.60	21	192	41.00	198,796,175.63
Alternatif-4	3,692.50	1.90	25	228	34.00	198,768,139.05
Alternatif-5	3,692.12	2.20	29	264	30.00	198,747,748.80
Alternatif-6	3,700.17	2.50	34	300	26.00	199,180,837.51
Alternatif-7	3,687.59	2.80	36	336	23.00	198,503,794.15
Alternatif-8	-	-	-	-	-	-

#### **5.4.4 Pematatan Durasi Kegiatan Dengan Penggantian dan Penambahan Peralatan**

Beberapa kegiatan dalam proyek dapat dipersingkat durasinya dengan melakukan penggantian peralatan yang mempunyai *site output* alat yang lebih besar. Sebagaimana dapat dilihat analisis kapasitas produksi, bahwa kapasitas produksi dari suatu kegiatan ditentukan oleh *site output* dari salah satu peralatan yang digunakan. Sehingga dengan penggantian atau penambahan peralatan ini, diharapkan kapasitas produksi dari kegiatan akan menjadi lebih besar sehingga durasi proyek menjadi lebih singkat.

##### **5.4.4.1 Perhitungan Durasi dan Biaya Percepatan Kegiatan Akibat Penggantian Peralatan**

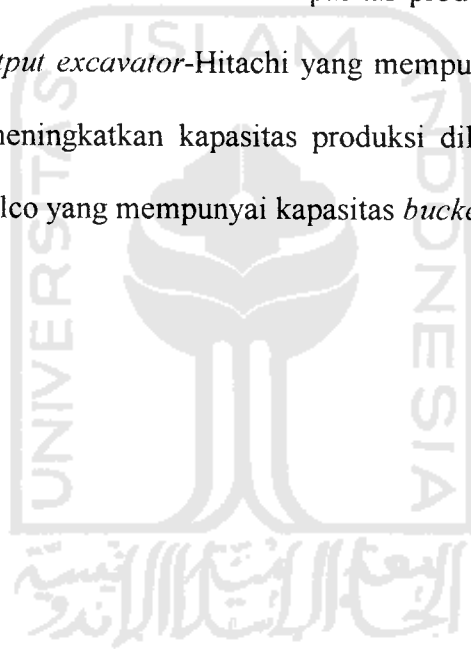
Pada penelitian kali ini, dalam mempercepat durasi kegiatan dengan penggantian peralatan dilakukan dengan 2 cara penggantian alat sebagai berikut :

- 1) penggantian alat dengan alat yang sama jenisnya tetapi dengan tipe yang berbeda (yang memiliki kapasitas alat yang lebih besar),
- 2) penggantian alat dengan alat yang berbeda jenis dan tipenya.

Untuk penggantian alat dengan cara yang pertama dilakukan pada kegiatan-kegiatan yang kapasitas produksinya ditentukan oleh *site output* dari alat berat. Penggantian alat dilakukan dengan mengganti dengan alat berat yang sama jenisnya tetapi dengan tipe berbeda yang mempunyai kapasitas alat yang lebih besar. Pada penggantian ini diasumsikan koefisien-koefisien dari alat berat yang mempengaruhi perhitungan *site output* alat berat diasumsikan sama, kecuali koefisien kapasitas alat dan waktu siklus ("*cycle time*") dari alat berat tergantung dari masing-masing tipe dari alat berat

tersebut. Harga sewa peralatan dengan jenis yang sama tetapi kapasitasnya lebih besar dianggap sama dengan peralatan dengan kapasitas yang lebih kecil.

Sebagai contoh perhitungan durasi dan biaya percepatan dengan penggantian peralatan dengan alat yang sama jenisnya tetapi mempunyai kapasitas yang lebih besar adalah pada kegiatan galian biasa berikut. Pada contoh tersebut dapat dilihat analisis perhitungan *site output*, kapasitas produksi, koefisien dan harga satuan pekerjaan dari kegiatan galian biasa pada keadaan normal dan setelah dilakukan penggantian peralatan. Pada keadaan normal kapasitas produksi galian biasa tersebut ditentukan oleh *site output excavator-Hitachi* yang mempunyai kapasitas *bucket* 0,8 m<sup>3</sup>, kemudian untuk meningkatkan kapasitas produksi dilakukan penggantian alat dengan *excavator-Kobelco* yang mempunyai kapasitas *bucket* sebesar 0,9 m<sup>3</sup>.



**Alternatif-I (dalam kondisi normal)**

Uraian	Kode	Koef.	Satuan
<b>Excavator-Hitachi 0,8 m3</b>			
Kapasitas bucket	q	0.8000	m3
Faktor bucket	fb	0.5000	
Faktor manajemen peralatan = (EexEoxEt)	E	0.5976	
a. Faktor alat	Ee	0.8000	
b. Faktor operator	Eo	0.8300	
c. Faktor lokasi	Et	0.9000	
Cycle Time = (Wg+Wsi+Wb+Wsk)	Cm	32.0000	detik
a. Waktu untuk mengisi bucket	Wg	15.0000	detik
b. Waktu untuk mengangkut dan swing	Wsi	6.0000	detik
c. Waktu untuk menumpah	Wb	5.0000	detik
c. Waktu untuk swing kembali	Wsk	6.0000	detik
Faktor konversi tanah	f	0.8000	
Site output alat = $\frac{3600 \times q \times fb \times E \times f}{Cm}$	Q	21.5136	m3/jam
<b>Dump Truck 3-4 m3</b>			
<i>Site output excavator</i>	Qe	21.5136	m3/jam
Kapasitas bak	qs	4.0000	m3
Rata-rata jarak angkut	D	0.5000	Km
Rata-rata kecepatan	V	30.0000	Km/jam
Efisiensi alat	E	0.8000	
Cycle time dump truck = T1+T2+T3+T4	Cm	17.1557	menit
a. Waktu untuk mengisi bak = (60 x qs)/Qe	T1	11.1557	menit
b. Waktu mengangkut dan kembali = (60 x 2 x D)/V	T2	2.0000	menit
c. Waktu untuk menumpah	T3	1.0000	menit
d. Waktu untuk menunggu	T4	3.0000	menit
Faktor konversi tanah	f	0.8000	
Kapasitas angkut <i>dump truck</i> = $\frac{60 \times qs \times E \times f}{Cm}$	Q	8.9533	m3/jam

**Alternatif-III (penggantian alat)**

Uraian	Kode	Koef.	Satuan
<b>Excavator-Kobelco</b>			
Kapasitas bucket	q	0.9000	m3
Faktor bucket	fb	0.5000	
Faktor manajemen peralatan = (EexEoxEt)	E	0.5976	
a. Faktor alat	Ee	0.8000	
b. Faktor operator	Eo	0.8300	
c. Faktor lokasi	Et	0.9000	
Cycle Time = (Wg+Wsi+Wb+Wsk)	Cm	28.0000	detik
a. Waktu untuk mengisi bucket	Wg	15.0000	detik
b. Waktu untuk mengangkut dan swing	Wsi	4.0000	detik
c. Waktu untuk menumpah	Wb	5.0000	detik
c. Waktu untuk swing kembali	Wsk	4.0000	detik
Faktor konversi tanah	f	0.8000	
Site output alat = $\frac{3600 \times q \times fb \times E \times f}{Cm}$	Q	27.6603	m3/jam
<b>Dump Truck 3-4 m3</b>			
<i>Site output excavator</i>	Qe	27.6603	m3/jam
Kapasitas bak	qs	4.0000	m3
Rata-rata jarak angkut	D	0.5000	Km
Rata-rata kecepatan	V	30.0000	Km/jam
Efisiensi alat	E	0.8000	
Cycle time dump truck = T1+T2+T3+T4	Cm	14.6767	menit
a. Waktu untuk mengisi bak = (60 x qs)/Qe	T1	8.6767	menit
b. Waktu mengangkut dan kembali = (60 x 2 x D)/V	T2	2.0000	menit
c. Waktu untuk menumpah	T3	1.0000	menit
d. Waktu untuk menunggu	T4	3.0000	menit
Faktor konversi tanah	f	0.8000	
Kapasitas angkut <i>dump truck</i> = $\frac{60 \times qs \times E \times f}{Cm}$	Q	10.4656	m3/jam



**Contoh perhitungan koefisien kegiatan karena penggantian peralatan**

Jenis Pekerjaan : Galian Biasa

**Alternatif-1**

Berdasarkan kapasitas produksi alat diambil kapasitas <i>Excavator</i> -Hitachi 0,8 m3	=	21.51	m3/jam
<i>Excavator</i>		=	1.0000
<i>Dump Truck</i> 3-4 m3		=	2.4029
Koefisien masing-masing alat :			
<i>Excavator</i>	1 /	21.51	= 0.0465
<i>Dump Truck</i> 3-4 m3	2 /	21.51	= 0.0930

Untuk mengoperasikan 1 set alat-alat diperlukan tenaga kerja sebagai berikut :

Mandor	1	orang	
Pekerja	4	orang	
Koefisien Mandor	1 /	21.51	= 0.0465
Koefisien Pekerja	4 /	21.51	= 0.1859

**Alternatif-3**

Berdasarkan kapasitas produksi alat diambil kapasitas <i>Excavator</i> -Kobelco	=	27.66	m3/jam
<i>Excavator</i>		=	1.0000
<i>Dump Truck</i> 3-4 m3		=	2.6430
Koefisien masing-masing alat :			
<i>Excavator</i>	1 /	27.66	= 0.0362
<i>Dump Truck</i> 3-4 m3	3 /	27.66	= 0.1085

Untuk mengoperasikan 1 set alat-alat diperlukan tenaga kerja sebagai berikut :

Mandor	1	orang	
Pekerja	4	orang	
Koefisien Mandor	1 /	27.66	= 0.0362
Koefisien Pekerja	4 /	27.66	= 0.1446

**Contoh perhitungan harga satuan pekerjaan karena penggantian alat**

Jenis Pekerjaan : Galian Biasa  
 Satuan : m<sup>3</sup>

No.	Uraian	Satuan	Alternatif-1			Alternatif-3		
			Excavator-Hitachi 0,8 m3			Excavator-Kobelco		
			Harga Satuan (Rp.)	Kuantitas	Jumlah Harga (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)	Kuantitas	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A Tenaga Kerja</b>								
1	Mandor	jam	2,500.00	0.0465	116.21	2,500.00	0.0362	90.38
2	Tukang	jam	2,000.00	0.0000	0.00	2,000.00	0.0000	0.00
3	Pekerja	jam	1,850.00	0.1859	343.97	1,850.00	0.1446	267.53
<b>B Material</b>								
1								
<b>C Peralatan</b>								
1	Excavator	jam	106,885.27	0.0465	4,968.27	106,885.27	0.0362	3,864.21
2	Dump Truck 3-4 m3	jam	39,915.84	0.0930	3,710.75	39,915.84	0.1085	4,329.21
3	Alat Bantu	Ls	500.00	1.0000	500.00	500.00	1.0000	500.00
4								
<b>D Harga Satuan Pekerjaan (A+B+C)</b>					<b>9,639.19</b>			<b>9,051.33</b>

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *site output* dari masing-masing alat yang digunakan dalam kegiatan galian biasa pada keadaan normal di atas, maka yang menentukan kapasitas produksi kegiatan galian biasa adalah *site output* dari *Excavator-Hitachi* = 21,51 m<sup>3</sup>/jam. Jadi durasi dan biaya normal dari kegiatan ini adalah :

- Volume pekerjaan = 184,5 m<sup>3</sup>
- Jam kerja normal = 7 jam/hari
- Kapasitas produksi = 21,51 m<sup>3</sup>/jam
- Harga satuan pekerjaan = Rp. 9.639,19 / m<sup>3</sup>
- Durasi normal =  $\frac{184,5 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 21,51 \text{ m}^3/\text{jam}}$  = 1,23 hari ≈ 2 hari
- Biaya normal = 184,5 m<sup>3</sup> x Rp. 9.639,19 / m<sup>3</sup> = Rp. 1.778.431,17,-

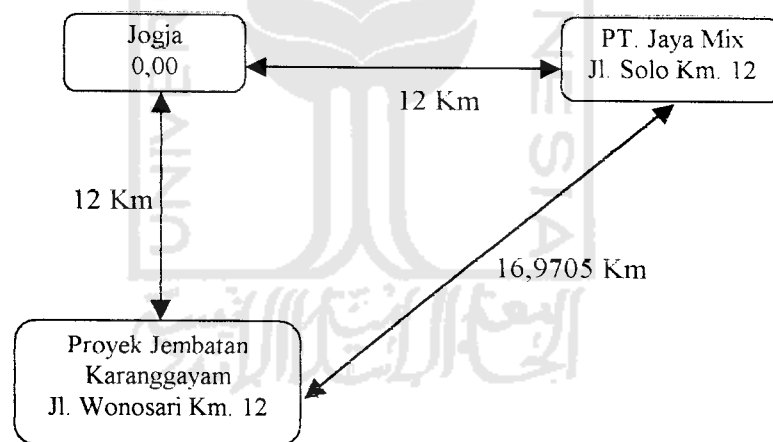
Kemudian dilakukan percepatan durasi dari kegiatan galian biasa, yaitu dengan mengganti *Excavator*-Hitachi dengan *Excavator*-Kobelco yang memiliki kapasitas bucket yang lebih besar. Berdasarkan hasil analisis perhitungan *site output* dan koefisien dari masing-masing alat yang digunakan dalam kegiatan galian biasa pada keadaan normal di atas, maka yang menentukan kapasitas produksi kegiatan galian biasa adalah *site output* dari *Excavator*-Hitachi = 27,66 m<sup>3</sup>/jam. Jadi durasi dan biaya normal dari kegiatan ini adalah :

- Kapasitas produksi = 27,66 m<sup>3</sup>/jam
- Harga satuan pekerjaan = Rp. 9.051,33 / m<sup>3</sup>
- Durasi percepatan =  $\frac{184,5 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 27,66 \text{ m}^3/\text{jam}}$  = 0,95 hari  $\approx$  1 hari
- Biaya percepatan = 184,5 m<sup>3</sup> x Rp. 9.051,33 / m<sup>3</sup> = Rp.1.669.970,85,-

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi percepatan (“*crash*”) sebesar 1 hari lebih kecil dari perhitungan durasi sebelumnya 2 hari, maka durasi kegiatan dipercepat. Juga didapatkan penambahan jumlah *Dump Truck* dari 2 unit menjadi 3 unit, hal ini dikarenakan *site output* yang dihasilkan oleh *Excavator*-Kobelco lebih besar sehingga membutuhkan penambahan *Dump Truck*. Biaya percepatan = Rp. 1.669.970,85 lebih kecil dari biaya normal = Rp. 1.778.431,17, hal ini disebabkan karena meningkatnya kapasitas produksi sehingga koefisien tenaga kerja dan peralatan dalam hal ini jumlah waktu (jam) yang dibutuhkan oleh tenaga kerja dan peralatan untuk menyelesaikan 1 (satu) unit pekerjaan menjadi lebih kecil dari pada koefisien dalam keadaan normal. Hasil selengkapnya perhitungan analisis kapasitas produksi, perhitungan harga satuan pekerjaan, percepatan durasi dan perhitungan

biaya percepatan kegiatan karena penggantian alat selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2-1, 5-1, 5-2 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Sedangkan untuk cara yang kedua, yaitu penggantian alat dengan alat yang berbeda jenis dan tipenya pada penelitian kali ini dilakukan khusus hanya pada kegiatan-kegiatan pembetonan. Sebagai contoh adalah pada kegiatan beton K-225 berikut, percepatan durasi dilakukan dengan mengganti *Concrete Mixer* dengan peralatan dengan jenis dan tipe yang berbeda. *Concrete Mixer* ini diganti dengan Beton *Ready Mix* dimana kapasitas produksinya ditentukan oleh *site output* dari *Transit Mixer*. Pada penelitian kali ini, asumsi untuk perhitungan *site output Transit Mixer* ini dilakukan berdasarkan pada data-data *Transit Mixer* milik PT. Jaya ready Mix yang terdapat pada Lampiran 1-3.



**Gambar 5.4** Asumsi Jarak PT. Jaya Mix Dengan Lokasi Proyek

Pada pelaksanaan kegiatan beton K-225 ini, jarak dari *batch plant* sampai dengan lokasi proyek diasumsikan sejauh 16,9705 Km dan pada saat menuju lokasi proyek *Transit Mixer* melewati jalan di dalam kota dengan kecepatan dalam keadaan *mixer* terisi = 30 Km/jam dan kecepatan dalam keadaan *mixer* kosong = 60 Km/jam.

**Contoh perhitungan site output dan koefisien Transit Mixer**

Jenis Pekerjaan : Beton K-225

Uraian	Kode	Koef.	Satuan
<b>Transit Mixer</b>			
Volume pekerjaan beton K-225	q1	361.05	m3
Volumer mixer	q2	5.0000	m3
Jumlah transit mixer (rit) = $q1 / q2$	N	73.0000	buah (rit)
Kapasitas transit mixer = $q2 \times N$	qs	365.0000	m3
Rata-rata jarak angkut	D	16.9705	Km
Kecepatan transit mixer dalam kondisi mixer isi	V1	30.0000	Km/jam
Kecepatan transit mixer dalam kondisi mixer kosong	V2	60.0000	Km/jam
Rata-rata kecepatan = $(V1 + V2) / 2$	V	45.0000	Km/jam
Efisiensi alat	E	0.8500	
Cycle time transit mixer = $(T1+T2+T3+T4) \times N$	Cm	102.5098	jam
a. Waktu untuk mengisi mixer	T1	0.3000	jam
b. Waktu mengangkut = $D/V$	T2	0.3771	jam
c. Waktu untuk menuang	T3	0.3500	jam
d. Waktu untuk kembali = $D/V$	T4	0.3771	jam
Kapasitas angkut transit mixer = $\frac{qs \times E}{Cm}$	Q	3.0265	m3/jam
Koefisien transit mixer = $1/Q$		0.3304	jam
<b>Concrete Vibrator</b>			
Kebutuhan alat tiap m3 digunakan 1(satu) alat			
Kap. prod. per jam = kap. prod. per jam transit mixer	Q	3.0265	m3/jam
Koefisien concrete vibrator = $1/Q$		0.3304	jam
<b>Tenaga Kerja</b>			
Produksi beton per jam	Q	3.0265	m3/jam
Jumlah group yang digunakan dalam pekerjaan ini	n	1.0000	group
a. Mandor	Nm	1.0000	orang
b. Tukang	Nt	1.0000	orang
c. Pekerja	Np	5.0000	orang
Jumlah total pekerja	N	7.0000	orang
Koefisien tenaga per m3			
a. Mandor = $Nm/Q$		0.3304	jam
b. Tukang = $Nt/Q$		0.3304	jam
c. Pekerja = $Np/Q$		1.6521	jam
<b>Alat Bantu (Ls)</b>			
		1.0000	Ls

**Contoh perhitungan harga satuan pekerjaan karena penggantian alat**  
 Jenis Pekerjaan : Beton K-225 dengan Concrete Mixer dan Transit Mixer  
 Satuan : m<sup>3</sup>

No.	Uraian	Satuan	Alternatif-1			Alternatif-4		
			Harga Satuan (Rp.)	Kuantitas	Jumlah Harga (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)	Kuantitas	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>	<b>Tenaga Kerja</b>							
1	Mandor	jam	2,500.00	0.3125	781.25	2,500.00	0.3304	826.03
2	Tukang	jam	2,000.00	0.3125	625.00	2,000.00	0.3304	660.82
3	Pekerja	jam	1,850.00	1.5625	2,890.63	1,850.00	1.6521	3,056.30
<b>B</b>	<b>Material</b>							
1	Semen	Kg	500.00	359.4864	179,743.20			
2	Pasir	m <sup>3</sup>	30,000.00	0.5360	16,080.00			
3	Agregat Kasar	m <sup>3</sup>	60,000.00	0.7365	44,190.00			
4	Beton Ready Mix	m <sup>3</sup>				237,500.00	1.0000	237,500.00
5	Kayu Perancah	m <sup>3</sup>	450,000.00	0.0500	22,500.00	450,000.00	0.0500	22,500.00
6	paku	Kg	5,000.00	0.5130	2,565.00	5,000.00	0.5130	2,565.00
7	Multiplek 15 m	Lb	115,000.00	0.6100	70,150.00	115,000.00	0.6100	70,150.00
8								
9								
<b>C</b>	<b>Peralatan</b>							
1	Concrete Mixer	jam	15,972.65	0.3125	4,991.45	15,972.65	0.0000	0.00
2	Transit mixer	jam	33,325.78	0.0000	0.00	33,325.78	0.3304	11,011.19
3	Water Tank Truck	jam	43,556.14	0.0594	2,586.15	43,556.14	0.0000	0.00
4	Concrete Vibrator	jam	13,170.68	0.3125	4,115.84	13,170.68	0.3304	4,351.73
5	Alat Bantu	Ls	1,500.00	1.0000	1,500.00	1,500.00	1.0000	1,500.00
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan (A + B + C)</b>				<b>352,718.51</b>			<b>354,121.06</b>

Pada penggantian *Concrete Mixer* dengan *Transit Mixer* ini tidak dilakukan penambahan tenaga kerja untuk setiap kelompok kerjanya. Karena kebutuhan tenaga kerja diasumsikan sama untuk setiap *Transit Mixer*-nya. Setelah dilakukan analisis kapasitas produksi dan harga satuan pekerjaan, kemudian dilakukan perhitungan durasi dan biaya kegiatan beton K-225 ini, durasi dihitung berdasarkan jam kerja per-hari normal (7 jam) didapatkan durasi kegiatan :

- Volume = 631,05 m<sup>3</sup>
- Jam kerja normal = 7 jam
- Kapasitas produksi = 3,0265 m<sup>3</sup>/jam
- Harga satuan pekerjaan = Rp. 354.121,06 / m<sup>3</sup>
- Durasi percepatan =  $\frac{361,05 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 3,05265 \text{ m}^3/\text{jam}}$  = 17,04 hari  $\approx$  17 hari
- Biaya percepatan = 361,05 m<sup>3</sup> x Rp. 354.121,06/m<sup>3</sup> = Rp. 127.855.408,86,-

Penggantian alat pada pekerjaan beton K-225 ini dengan *transit mixer* tidak menghasilkan percepatan durasi proyek. Karena dari hasil perhitungan didapatkan durasi kegiatan = 17 hari sama dengan durasi kegiatan dengan menggunakan *Concrete Mixer* = 17 hari, maka kegiatan tidak dipercepat. Selain itu juga didapatkan biaya kegiatan dengan *Transit Mixer* = Rp. 127.855.408,88,- lebih besar daripada biaya kegiatan dengan menggunakan *Concrete Mixer* = Rp. 127.349.018,55,-.

#### 5.4.4.2 Perhitungan Durasi dan Biaya Percepatan Kegiatan Akibat Penambahan

##### Peralatan

Terdapat dua pengertian dalam penambahan peralatan pada penelitian ini, yaitu : 1) bertambahnya peralatan pendukung suatu kegiatan akibat dari penggantian

peralatan yang menentukan kapasitas produksi pada kegiatan yang sama, seperti pada contoh penambahan *dump truck* karena penggantian *excavator* pada uraian dalam subbab sebelumnya dan 2) penambahan peralatan pada suatu kegiatan yang menentukan kapasitas produksi kegiatan tersebut.

Pada subbab kali ini, pemadatan durasi kegiatan dengan penambahan peralatan adalah penambahan alat yang *site output*-nya menentukan kapasitas produksi kegiatan. Pada penambahan peralatan ini dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah tenaga kerja ideal dan luasan tempat kerja yang memungkinkan peralatan tersebut dapat bekerja secara normal. Karena landasan teori tentang luasan kerja yang ideal bagi peralatan khususnya alat berat tidak diketahui, maka penambahan peralatan dilakukan pada kegiatan-kegiatan yang peralatannya diasumsikan pada saat bekerja tidak memerlukan ruang atau tempat kerja yang luas. Karena peralatan seperti *Excavator*, *Pedestrian Roller*, *Wheel Loader* memerlukan tempat kerja yang luas. Sehingga jika luasan kerja terbatas, maka penambahan peralatan berarti akan menyebabkan peralatan saling bertabrakan dan tidak dapat bekerja secara optimal.

Sebagai contoh perhitungan adalah pada kegiatan beton K-225 pada elevasi berikut ini. Pada kegiatan ini peralatan yang menentukan kapasitas produksi kegiatan tersebut adalah *Concrete Mixer*. Sesuai dengan asumsi di atas *Concrete Mixer* ini pada saat beroperasi tidak memerlukan luasan tempat kerja yang luas atau menetap, sehingga dapat dilakukan penambahan peralatan *Concrete Mixer*. Pada penambahan *Concrete Mixer* ini juga mengakibatkan bertambahnya jumlah kelompok (“*group*”) tenaga kerja yang digunakan dalam mengoperasikan satu set peralatan tersebut. Pada



penambahan kelompok tenaga kerja ini perlu mempertimbangkan luasan tempat kerja dan jumlah tenaga kerja ideal. Pada analisis jumlah tenaga kerja ideal pada Lampiran 4-2, diketahui jumlah tenaga kerja ideal untuk pekerjaan beton K-225 pada elevasi ini adalah sebesar 23 orang dengan luasan kerja sebesar 538,50 m<sup>2</sup>.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *site output* dan harga satuan pekerjaan dari masing-masing alat yang digunakan dalam kegiatan beton K-225 pada keadaan normal (Lampiran 2-1, 5-1) didapatkan :

a. *Concrete Mixer*

- Jumlah alat = 1 unit
- *Site output* = 3,20 m<sup>3</sup>/jam

b. Tenaga Kerja

- Jumlah group tenaga kerja = 1 group
- Jumlah tenaga kerja = 7 orang

Durasi dan biaya normal dari kegiatan ini adalah :

- Volume pekerjaan = 361,05 m<sup>3</sup>
- Jam kerja normal = 7 jam/hari
- Kapasitas produksi = 3,20 m<sup>3</sup>/jam
- Harga satuan pekerjaan = Rp. 352.718,51 / m<sup>3</sup>
- Durasi normal =  $\frac{361,05 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 3,20 \text{ m}^3/\text{jam}}$  = 16,12 hari  $\approx$  17 hari
- Biaya normal = 361,05 m<sup>3</sup> x Rp. 352.718,51 / m<sup>3</sup> = Rp. 127.349.018,55,-

Dari hasil analisis di atas dalam keadaan normal, yaitu jumlah *Concrete Mixer* 1 buah diperlukan tenaga kerja untuk mengoperasikan 1 set alat sebanyak 7 orang. Maka dapat dilakukan penambahan *Concrete Mixer* sebanyak :

$$\text{Penambahan } \textit{Concrete Mixer} = \frac{\text{Jumlah tenaga kerja ideal}}{\text{Jumlah tenaga kerja untuk mengoperasikan 1 set alat}}$$

$$\text{Penambahan } \textit{Concrete Mixer} = \frac{23}{7} = 3,28 \approx 3 \text{ unit}$$

Kemudian dilakukan percepatan durasi dengan menambah jumlah *Concrete Mixer* sebanyak 3 unit. Berdasarkan hasil analisis perhitungan *site output* dan harga satuan pekerjaan dari masing-masing alat yang digunakan dalam kegiatan beton K-225 karena penambahan *Concrete Mixer* (Lampiran 2-1, 5-1) maka didapatkan :

a. *Concrete Mixer*

- Jumlah alat = 3 unit
- *Site output* = 9,6 m<sup>3</sup>/jam

b. Tenaga Kerja

- Jumlah group tenaga kerja = 3 group
- Jumlah tenaga kerja = 21 orang ≤ jumlah tenaga kerja ideal = 23 orang

Durasi dan biaya percepatan dari kegiatan ini adalah :

- Kapasitas produksi = 9,60 m<sup>3</sup>/jam
- Harga satuan pekerjaan = Rp. 349.974,62 / m<sup>3</sup>
- Durasi percepatan =  $\frac{361,05 \text{ m}^3}{7 \text{ jam/hari} \times 9,60 \text{ m}^3/\text{jam}}$  = 5,37 hari ≈ 6 hari
- Biaya percepatan = 361,05 m<sup>3</sup> x Rp. 349.974,62 / m<sup>3</sup> = Rp. 126.358.336,47,-

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi percepatan (“*crash*”) sebesar 6 hari lebih kecil dari perhitungan durasi normal 17 hari, maka durasi kegiatan dipercepat. Dan juga didapatkan biaya percepatan lebih kecil dari biaya normal, hal ini dikarenakan *site output* yang dihasilkan oleh 3 unit *Concrete Mixer* lebih besar sehingga koefisien *Concrete Vibrator* dan peralatan pendukungnya dalam hal ini jumlah waktu (jam) yang dibutuhkan oleh *Concrete Vibrator* dan peralatan pendukungnya untuk menyelesaikan 1 (satu) unit pekerjaan lebih kecil dari koefisien pada keadaan normal. Dengan koefisien yang lebih kecil ini, maka harga satuan pekerjaan beton K-225 menjadi lebih kecil dari harga satuan pekerjaan pada kondisi normal.

Hasil selengkapnya perhitungan analisis kapasitas produksi, perhitungan harga satuan pekerjaan, percepatan durasi dan perhitungan biaya percepatan kegiatan karena penggantian dan penambahan alat selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2-1, 5-1, 5-2 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Tabulasi Hasil Perhitungan Percepatan Durasi dan Biaya Kegiatan Akibat Penggantian dan Penambahan Alat

No	Uraian	Alternatif-1		Alternatif-2		Alternatif-3		Alternatif-4	
		Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)
1	Mobilisasi	6 00	3,603,050,00	-	-	-	-	-	-
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	3 00	2,493,633,31	-	-	-	-	-	-
3	Galian biasa	2 00	1,778,431,17	-	-	-	-	1,00	1,529,102,92
4	Galian batu	2 00	5,872,942,67	-	-	-	-	-	-
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	5 00	6,723,394,89	-	-	-	-	4,00	4,566,188,26
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	3 00	2,981,697,90	-	-	-	-	2,00	2,017,798,60
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	1 00	1,066,057,34	-	-	-	-	-	-
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	3 00	26,822,089,66	-	-	2,00	25,116,357,63	-	-
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	2 00	1,382,260,92	-	-	-	-	-	-
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	6 00	19,462,960,00	-	-	-	-	-	-
11	Lapis pondasi agregat kelas A	1 00	13,477,268,96	-	-	-	-	-	-
12	Lapis perekat aspal kelas B	1 00	18,381,692,15	-	-	-	-	-	-
13	Lapis perekat aspal emulsi	2 00	5,362,901,84	1,00	4,504,093,03	-	-	-	-
14	Lapis resap pengikat	1 00	2,532,031,02	-	-	-	-	-	-
15	Aspal beton	1 00	51,368,404,13	-	-	-	-	-	-
16	Aspal treated base (ATB)	1 00	27,338,790,92	-	-	-	-	-	-
17	Beton K-350 pada elevasi	4 00	31,484,147,02	2,00	31,322,456,34	-	-	-	-
18	Beton K-225 pada elevasi	17 00	127,349,018,55	9,00	126,606,006,99	-	-	-	-
19	Beton K-175 pada elevasi	1 00	3,958,181,81	-	-	-	-	5,00	126,358,336,47
20	Beton K-125	1 00	2,523,454,54	-	-	-	-	-	-
21	Pembesian dengan tulangan polos	3 00	6,101,516,75	-	-	-	-	-	-
22	Pembesian dengan tulangan ulir	65 00	198,611,134,20	-	-	-	-	-	-
23	Fab. & Pemasangan Baja Bang. Tg. Lt. 25 Kg/m <sup>2</sup>	18 00	21,055,117,50	-	-	-	-	-	-
24	Perletakan elastomerik	8 00	12,723,000,00	-	-	-	-	-	-
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Bina Marga (Kec. tiang pancang)	30 00	376,175,235,82	-	-	-	-	-	-
26	termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	15 00	2,332,159,04	-	-	-	-	-	-
27	Diafragma beton K-350	6 00	43,557,692,02	-	-	-	-	-	-
28	Bore Pile diameter 800 mm	26 00	238,032,343,15	14,00	238,032,343,15	-	-	7,00	238,032,343,15
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1 00	7,606,097,31	-	-	-	-	-	-
30	Marka jalan	1 00	944,775,00	-	-	-	-	-	-
31	Patok penuntun	1 00	1,100,000,00	-	-	-	-	-	-
32	Rambu jalan tunggal	1 00	450,000,00	-	-	-	-	-	-
33	Expansion joint type A	8 00	11,200,000,00	-	-	-	-	-	-

## 5.4.5 Pemadatan Durasi Kegiatan Dengan Kombinasi Kerja Lembur dan Giliran Kerja Malam

### 5.4.5.1 Perhitungan Durasi Percepatan Kegiatan

Pada percepatan durasi kegiatan dengan kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam ini, giliran kerja malam dilakukan setelah jam kerja pada *shift* pertama terlampaui (jam kerja normal + jam kerja lembur). Jumlah jam kerja maksimal dari ketiga kombinasi waktu kerja tersebut (jam kerja normal + jam kerja lembur + jam kerja giliran kerja malam) dalam sehari bagi tenaga kerja (2 *shift*) dan peralatan pada proyek ditentukan tidak lebih dari 13 jam. Waktu kerja pada kerja lembur dan giliran kerja malam per-harinya setelah jam kerja normal dan besarnya tarif per-jam kerja giliran malam dalam penelitian ini telah ditetapkan seperti telah dijelaskan pada Subbab 5.2.2 dan 5.2.3, yaitu tentang waktu dan upah kerja lembur dan giliran kerja malam. Besarnya durasi *crash* ( $D_c$ ) karena penambahan waktu kerja dengan kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam adalah :

$$D_c = \frac{\text{Volume Pekerjaan (unit)}}{((JN + JNS) \times K_p) + (JOT \times K_p \times F) \text{ (unit/hari)}}$$

Pada penelitian ini, percepatan durasi dilakukan dengan kombinasi kerja lembur dan jam kerja giliran kerja malam dilakukan dengan 4 macam kombinasi sebagai berikut :

- 1) 7jam kerja normal+1jam lembur+(1jam, 2jam,...,5jam) giliran kerja malam  $\leq$  13 jam kerja per-hari
- 2) 7jam kerja normal+2jam lembur+(1jam, 2jam,...,4jam) giliran kerja malam  $\leq$  13 jam kerja per-hari

- 3) 7jam kerja normal+3jam lembur+(1jam, 2jam, 3jam) giliran kerja malam  $\leq$  13 jam kerja per-hari
- 4) 7jam kerja normal+4jam lembur+(1jam, 2jam) giliran kerja malam  $\leq$  13 jam kerja per-hari

Sebagai contoh adalah perhitungan durasi *crash* pada pekerjaan pasangan batu kali berikut ini :

Diketahui : – Volume pekerjaan = 1.703,149 m<sup>3</sup>

– Kapasitas produksi = 8,71 m<sup>3</sup>/jam

– Jam kerja normal = 7 jam/hari

– Durasi normal = 28 hari

- 1) Perhitungan durasi kegiatan untuk 4 jam kerja lembur dan 1 jam kerja giliran kerja malam

– Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja (“*day shift*” + lembur + *shift* malam)

$$= 7 \text{ jam/hari} + 4 \text{ jam/hari} + 1 \text{ jam/hari} = 12 \text{ jam/hari}$$

–  $D_c = \frac{1.703,149 \text{ m}^3}{((7+1) \times 8,71) + (2 \times 8,71 \times 0,87) + (2 \times 8,71 \times 0,74)} = 17,43 \text{ hari} \approx 18 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 18 hari lebih kecil dari durasi normal 28 hari, maka durasi kegiatan dipercepat.

- 2) Perhitungan durasi kegiatan untuk 4 jam kerja lembur dan 2 jam kerja giliran kerja malam

– Jumlah jam kerja per-hari = Jam kerja (“*day shift*” + lembur + *shift* malam)

$$= 7 \text{ jam/hari} + 4 \text{ jam/hari} + 2 \text{ jam/hari} = 13 \text{ jam/hari}$$

–  $D_c = \frac{1.703,149 \text{ m}^3}{((7+2) \times 8,71) + (2 \times 8,71 \times 0,87) + (2 \times 8,71 \times 0,74)} = 16,01 \text{ hari} \approx 17 \text{ hari}$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan durasi *crash* sebesar 17 hari lebih kecil dari perhitungan durasi *crash* sebelumnya 18 hari, maka durasi kegiatan dipercepat. Hasil selengkapnya perhitungan durasi percepatan akibat kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam untuk kegiatan-kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-3 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.13.

#### 5.4.5.2 Perhitungan Biaya Percepatan Kegiatan

Biaya percepatan adalah penjumlahan biaya kegiatan pada jam kerja normal dengan biaya kegiatan pada kerja lembur dan biaya kegiatan pada giliran kerja malam. Harga satuan pekerjaan untuk kerja lembur dan giliran kerja malam dapat dilihat pada Tabel 5.9.

$$\text{Biaya Normal} = JN \times Kp \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Normal}$$

$$\text{Biaya Lembur I} = JOT-I \times Kp \times F \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Overtime-I}$$

$$\text{Biaya Lembur II} = JOT-II \times Kp \times F \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Overtime-II}$$

$$\text{Biaya Giliran Kerja Malam} = JNS \times Kp \times Dc \times \text{Harga Satuan Pekerjaan Night Shift}$$

$$\text{Biaya Percepatan} = \text{Biaya (Normal + Lembur I + Lembur II + Giliran Kerja Malam)}$$

Contoh perhitungan biaya percepatan adalah pada perhitungan biaya percepatan akibat kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam pada pekerjaan pasangan batu kali berikut ini :

Diketahui :

- Kapasitas produksi = 8,71 m<sup>3</sup>/jam
- Jam kerja normal = 7 jam/hari
- Harga satuan pekerjaan normal = Rp. 139.760,14 / m<sup>3</sup>
- Harga satuan pekerjaan kerja lembur I = Rp. 142.283,36 / m<sup>3</sup>

- Harga satuan pekerjaan kerja lembur II = Rp. 145.673,49 / m<sup>3</sup>
- Harga satuan pekerjaan *shift* malam = Rp. 141.310,53 / m<sup>3</sup>

Perhitungan biaya percepatan kegiatan untuk 4 jam lembur dan 1 jam giliran kerja malam sebagai berikut :

- Jumlah jam kerja per-hari = (jam kerja *day shift* + jam kerja lembur I + jam kerja lembur II + jam kerja *shift* malam) jam/hari
- Jumlah jam kerja per-hari = (7 + 2 + 2 + 1) = 12 jam/hari
- Durasi *crash* = 18 hari
- Biaya normal = 7 jam/hari x 8,71 m<sup>3</sup>/jam x 18 hari x Rp. 139.760,14/m<sup>3</sup>  
= Rp. 153.336.839,61,-
- Biaya lembur I = 2 jam/hari x 8,71 m<sup>3</sup>/jam x 0,87 x 18 hari x Rp. 142.283,36/m<sup>3</sup>  
= Rp. 38.803.285,79,-
- Biaya lembur II = 2 jam/hari x 8,71 m<sup>3</sup>/jam x 0,74 x 18 hari x Rp. 145.679,49/m<sup>3</sup>  
= Rp. 33.791.493,94,-
- Biaya *shift* malam = 1 jam/hari x 8,71 m<sup>3</sup>/jam x 18 hari x Rp. 141.310,53/m<sup>3</sup>  
= Rp. 22.148.262,80,-
- Biaya Percepatan = Biaya (Normal + Lembur I + Lembur II + *Night Shift*)  
= Rp. (153.336.839,61 + 38.803.285,79 + 33.791.493,94 + 22.148.262,80)  
= Rp. 248.079.882,14,-

Hasil selengkapnya perhitungan biaya percepatan akibat kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam untuk kegiatan-kegiatan yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3-3 dan kesimpulannya dapat dilihat pada Tabel 5.13.







Tabel 5.13c Tabulasi Hasil Perhitungan Percepatan Durasi dan Biaya Kegiatan Akibat Pemadatan Durasi Dengan Kombinasi III Kerja Lembur dan Giliran Kerja Malam

No.	Uraian	Day Shift (7-jam/hari)		3 JOT+1 JNS (11-jam/hari)		3 JOT+2 JNS (12-jam/hari)		3 JOT+3 JNS (13-jam/hari)	
		Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)
1	Mobilisasi	6,00	3.603.050,00	-	-	-	-	-	-
2	Pembersihan dan penyijapan badan jalan	3,00	2.493.833,31	2,00	3.932.850,25	-	-	-	-
3	Galian biasa	2,00	1.778.431,17	1,00	2.300.262,76	-	-	-	-
4	Galian batu	2,00	5.872.942,67	-	-	-	-	-	-
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	5,00	6.723.394,89	4,00	9.070.783,82	3,00	7.430.736,55	-	-
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	3,00	2.981.697,90	2,00	4.503.326,13	-	-	-	-
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	1,00	1.066.057,34	-	-	-	-	-	-
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	3,00	26.822.089,66	2,00	34.271.443,28	-	-	-	-
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	2,00	1.382.260,92	-	-	1,00	1.523.112,11	-	-
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	6,00	19.467.960,00	-	-	-	-	-	-
11	Lapis pondasi agregat kelas A	1,00	13.477.268,96	-	-	-	-	-	-
12	Lapis pondasi agregat kelas B	1,00	18.381.692,15	-	-	-	-	-	-
13	Lapis perekat aspal emulsi	2,00	5.362.901,84	1,00	5.907.532,99	-	-	-	-
14	Lapis resap pengiklat	1,00	2.532.031,02	-	-	-	-	-	-
15	Aspal beton	1,00	51.368.404,13	-	-	-	-	-	-
16	Aspal treated base (ATB)	1,00	27.338.790,92	-	-	-	-	-	-
17	Beton K-350 pada elevasi	4,00	31.484.147,02	3,00	40.498.023,64	-	-	2,00	32.155.329,45
18	Beton K-225 pada elevasi	17,00	127.349.018,55	11,00	130.767.184,03	10,00	130.253.182,39	-	-
19	Beton K-175 pada elevasi	1,00	3.956.181,81	-	-	-	-	-	-
20	Beton K-125	1,00	2.523.454,54	-	-	-	-	-	-
21	Pembesian dengan tulangan polos	3,00	6.101.516,75	2,00	7.449.104,85	-	-	-	-
22	Pembesian dengan tulangan ulir	65,00	198.611.134,20	43,00	202.786.298,28	40,00	206.851.417,00	36,00	202.557.975,30
23	Fabrikasi dan pemasangan baja bang. Tg. Lt. 23 Kg/m <sup>2</sup>	18,00	21.055.117,50	-	-	-	-	-	-
24	Peretakan elastomerik	8,00	12.723.000,00	-	-	-	-	-	-
25	Gelagar beton pratekan Pre Cast standar Elna Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m	30,00	376.175.235,62	21,00	394.313.060,18	19,00	390.799.188,33	17,00	380.119.052,70
26	Diafragma beton K-350	15,00	2.332.159,04	11,00	2.572.106,62	10,00	2.561.579,98	9,00	2.506.393,09
27	Bors Pile diameter 800 mm	6,00	43.557.682,02	4,00	45.700.828,43	-	-	-	-
28	Pasangan batu kali	28,00	238.032.343,15	19,00	244.027.698,23	18,00	253.332.397,97	16,00	244.871.698,47
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,00	7.606.087,31	-	-	-	-	-	-
30	Marka jalan	1,00	944.775,00	-	-	-	-	-	-
31	Patok penuntun	1,00	1.100.000,00	-	-	-	-	-	-
32	Rambu jalan tunggal	1,00	450.000,00	-	-	-	-	-	-
33	Expansion joint type A	8,00	11.200.000,00	-	-	-	-	-	-

**Tabel 5.13d** Tabulasi Hasil Perhitungan Percepatan Durasi dan Biaya Kegiatan Akibat Pemadatan Durasi Dengan Kombinasi IV Kerja Lembur dan Giliran Kerja Malam

No.	Uraian	Day Shift (7-jam/hari)		4 JOT+1 JNS (12-jam/hari)		4 JOT+2 JNS (13-jam/hari)	
		Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)	Durasi (hari)	Biaya (rupiah)
1	Mobilisasi	6.00	3.603.050,00	-	-	-	-
2	Pembersihan dan penyiapan badan jalan	3.00	2.489.833,31	2.00	4.311.118,10	-	-
3	Galian biasa	2.00	1.778.431,17	1.00	2.514.533,23	-	-
4	Galian batu	2.00	5.872.942,67	-	-	-	-
5	Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	5.00	6.723.394,89	3.00	7.439.000,56	-	-
6	Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	3.00	2.981.697,90	2.00	4.925.003,74	-	-
7	Pemadatan tanah dasar timbunan	1.00	1.066.057,34	-	-	-	-
8	Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	3.00	26.822.089,66	2.00	36.992.318,68	-	-
9	Pembongkaran pasangan bata, batu, beton	2.00	1.382.280,92	-	-	1.00	1.681.327,66
10	Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	6.00	19.462.960,00	-	-	-	-
11	Lapis pondasi agregat kelas A	1.00	13.477.268,96	-	-	-	-
12	Lapis pondasi agregat kelas B	1.00	16.381.692,15	-	-	-	-
13	Lapis perekat aspal emulsi	2.00	5.362.901,84	1.00	6.397.462,27	-	-
14	Lapis resap pengikat	1.00	2.532.031,02	-	-	-	-
15	Aspal beton	1.00	51.368.404,13	-	-	-	-
16	Aspal treated base (ATB)	1.00	27.338.790,92	-	-	-	-
17	Beton K-350 pada elevasi	4.00	31.484.147,02	3.00	43.425.667,30	-	-
18	Beton K-225 pada elevasi	17.00	127.349.018,55	11.00	140.271.675,04	10.00	138.875.446,95
19	Beton K-175 pada elevasi	1.00	3.958.181,81	-	-	-	-
20	Beton K-125	1.00	2.523.454,54	-	-	-	-
21	Pembesian dengan tulangan polos	3.00	6.101.516,75	2.00	8.027.644,25	-	-
22	Pembesian dengan tulangan ulir	65.00	198.611.134,20	40.00	203.009.365,00	37.00	204.630.687,63
23	Fabrikasi dan pemasangan baja bang. Tg. Lt. 23 Kg/m <sup>2</sup>	18.00	21.055.117,50	-	-	-	-
24	Peretakan elastomerik	8.00	12.723.000,00	-	-	-	-
25	Gelagar beton pra-tetak Pre Cast standar Eima Marga (Kec. tiang pancang) termasuk pemasangan, bentang 31,00 m'	30.00	376.175.235,82	18.00	381.979.566,19	18.00	594.123.564,53
26	Diaphragma beton K-350	15.00	2.332.159,04	10.00	2.507.315,31	9.00	2.457.554,89
27	Bore Pile diameter 800 mm	6.00	43.557.682,02	4.00	49.247.750,29	-	-
28	Pasangan batu kali	28.00	238.032.343,15	18.00	248.079.882,14	17.00	255.215.470,22
29	Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1.00	7.606.087,31	-	-	-	-
30	Marka jalan	1.00	944.775,00	-	-	-	-
31	Patok penuntun	1.00	1.100.000,00	-	-	-	-
32	Rambu jalan tunggal	1.00	450.000,00	-	-	-	-
33	Expansion joint type A	8.00	11.200.000,00	-	-	-	-

### 5.5. Durasi dan Biaya Total Normal Proyek

Biaya total dari sebuah proyek terdiri dari biaya langsung ("*direct cost*") dan biaya tidak langsung ("*indirect cost*"). *Direct costs* adalah biaya yang dibutuhkan oleh kegiatan-kegiatan untuk menyelesaikan pekerjaan fisik di lapangan, yang meliputi biaya untuk material, tenaga kerja dan peralatan. Jadi *direct cost* adalah jumlah dari seluruh biaya langsung dari kegiatan-kegiatan. Pada keadaan normal *direct cost* proyek penggantian jembatan Karanggayam adalah sebesar Rp. 1.275.851.660,- dan durasi normal proyek selama 103 hari.

Sedangkan biaya tidak langsung ("*indirect cost*") adalah biaya-biaya yang dibutuhkan untuk jalannya perusahaan (kontraktor) dan biaya-biaya ini tidak memiliki hubungan langsung dengan kegiatan-kegiatan tertentu dalam proyek atau proyek-proyek tertentu. Dalam penelitian ini diasumsikan besarnya *indirect cost* adalah sebesar 10% dari *direct cost* dalam keadaan normal. Maka didapat biaya tidak langsung sebesar (Rp. 1.275.851.660 x 10%) = Rp. 127.585.166, dengan biaya tidak langsung per-hari sebesar (Rp. 127.585.166 / 103 hari) = Rp.1.238.691/hari. Jadi biaya total normal proyek penggantian jembatan Karanggayam adalah jumlah *direct cost* dan *indirect cost*, yaitu sebesar Rp. 1.275.851.660 + Rp. 127.585.166 = Rp. 1.403.436.826,-

Sedangkan pada percepatan durasi proyek dengan penambahan waktu kerja per-hari dengan kerja lembur dan giliran kerja malam, diasumsikan terjadi kenaikan *indirect cost* per-hari sebesar 20%. Kenaikkan ini disebabkan karena bertambahnya biaya untuk gaji lembur *site engineer* (pengawas lapangan), listrik (generator) untuk tambahan penerangan dan biaya tambahan makan dan minum khususnya pada kerja

lembur pada pekerjaan pengecoran. Maka penambahan *indirect cost* per-hari pada keadaan percepatan durasi proyek sebesar (Rp. 1.238.691/hari x 20%) = Rp.247.738/hari. Jadi besarnya *indirect cost* pada percepatan durasi dengan penambahan waktu kerja per-hari adalah sebesar :

$$\text{Indirect Cost} = (\text{indirect cost normal per-hari} \times \text{durasi crash}) + (\text{indirect cost crash per-hari} \times (\text{durasi normal} - \text{durasi crash}))$$

### 5.6 Pelaksanaan dan Hasil Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek

Pada studi kasus ini, diasumsikan atas permintaan pihak pemilik proyek (Pemda DIY) meminta kepada pihak kontraktor pelaksana untuk menyelesaikan pekerjaan proyek penggantian jembatan Karanggayam dalam waktu maksimal 90 hari dengan biaya seminimal mungkin. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dilakukan dengan mempercepat durasi proyek dengan 5 macam metode pemadatan durasi. Kemudian setelah dilakukan percepatan kemudian dilakukan optimalisasi dari setiap metode pemadatan durasi tersebut dengan menggunakan metode *simulated annealing*, tujuannya adalah untuk mendapatkan durasi proyek yang paling singkat dengan menaikkan biaya proyek seminimal mungkin.

Sebelum dilakukan proses optimalisasi dengan program *Anneal5.EXE*, terlebih dahulu dilakukan formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi kegiatan kedalam *Worksheet MS. Excel*. Pada formulasi data-data ini, setiap data hasil perhitungan durasi dan biaya percepatan dengan 5 metode pemadatan durasi disimpan dalam *file* yang berbeda-beda. Untuk setiap metode pemadatan durasi mempunyai dua *file*, yaitu *file base* yang berisi berkas data diagram jaringan CPM dan *file crash*

yang berisi data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal serta durasi dan biaya setelah dilakukan percepatan.

Untuk menentukan seberapa singkat durasi proyek dapat dipersingkat, dilakukan optimalisasi dari setiap metode pemadatan durasi kegiatan. Optimalisasi dilakukan dengan 5 kali proses optimalisasi dengan parameter-parameter sebagai berikut : 1) durasi proyek diharapkan = 90 hari, 2) probabilitas awal = 0,5, 3) probabilitas akhir = 0,000001 dan 4) jumlah siklus iterasi = 500 kali.

Penentuan parameter tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut : durasi proyek diharapkan akan menjadi fungsi kendala yang membatasi optimalisasi, dimana konfigurasi kegiatan proyek (diagram jaringan CPM) yang dihitung sebagai disain yang memenuhi fungsi kendala harus memiliki durasi total lebih kecil atau sama dengan durasi yang diharapkan. Jumlah siklus iterasi sebesar 500 kali berarti algoritma *simulated annealing* akan terdiri dari 500 proses iterasi dengan nilai temperatur sistem yang berbeda-beda dan menurun secara kontinu. Probabilitas awal sebesar 0,5 dan probabilitas akhir sebesar 0,000001 ( $1 \times 10^{-6}$ ), berarti algoritma memiliki peluang sebesar 0,5 pada tahap awal optimalisasi untuk menerima disain yang lebih buruk sebagai disain baru. Peluang ini menurun secara kontinu, sampai pada saat iterasi mendekati selesai, probabilitas untuk menerima disain yang lebih buruk hanya sebesar 0,000001.

Penentuan nilai probabilitas awal dan akhir ini didasarkan pada hasil penelitian Balling, dimana nilai probabilitas awal harus cukup besar dan mendekati 1 yang dalam penelitian Balling tersebut ditentukan nilai probabilitas awal adalah sebesar 0,5. Sedangkan untuk nilai probabilitas akhir ditentukan mendekati 0, dalam

penelitian Balling nilai probabilitas akhir ditentukan adalah sebesar  $1 \times 10^{-8}$ . Dalam penelitian kali ini, penentuan nilai probabilitas akhir dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan dari program *Anneal5.exe* dalam membaca nilai parameter probabilitas akhir.

### 5.6.1 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Kerja Lembur (“Overtime”)

Formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan kerja lembur kedalam *Worksheet MS. Excel* disimpan dalam file CPM\_1. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data CPM\_1 dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

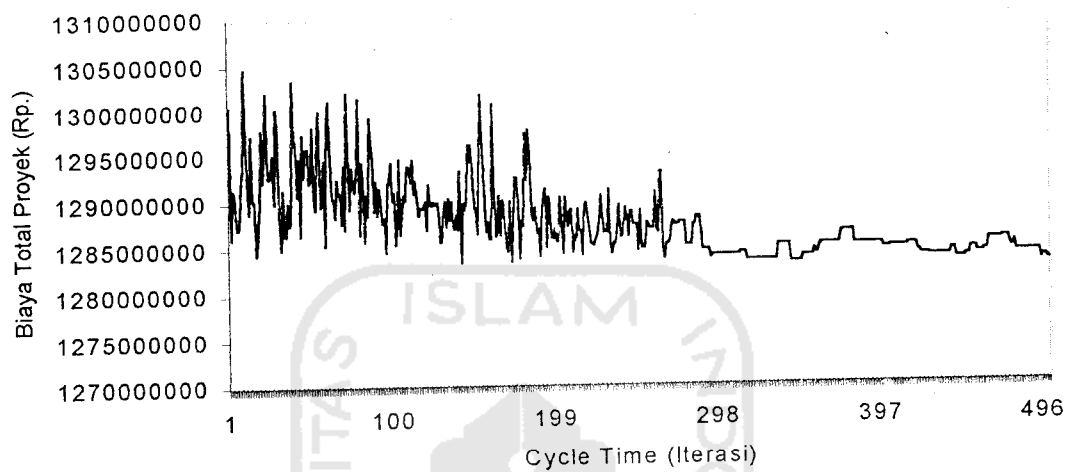
**Tabel 5.14** Hasil Eksekusi Berkas Data CPM 1

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	90	1,283,142,222	90	1,283,142,222
2	90	1,283,142,222	90	1,283,046,985
3	90	1,283,046,985	90	1,283,046,985
4	90	1,283,046,985	90	1,283,046,985
5	90	1,283,142,222	90	1,283,046,985

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi dan biaya proyek yang paling optimal akibat percepatan dengan kerja lembur ini adalah sebesar 90 hari dengan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.283.046.985,- pada eksekusi ke-2. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(90 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103-90) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 114.702.781,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.283.046.985 + \text{Rp. } 114.702.781 = \text{Rp. } 1.397.749.765,-$ . Untuk hasil



eksekusi berkas data CPM-1 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Kurva hubungan siklus iterasi dengan hasil optimalisasi eksekusi ke-2 berkas data CPM\_1 dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan diagram CPM hasil dari *best result* pada eksekusi ke-2 berkas data CPM\_1 dapat dilihat pada Tabel 5.15.



**Gambar 5.5** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_1

Tabel 5.15 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-2 Berkas Data CPM\_1

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1- 2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1	2- 3	6	6	12	6	12	19,462,960	*
2	3- 4	4	12	16	12	16	44,841,612	*
3	4- 5	13	16	29	16	29	128,595,264	*
4	5- 6	1	29	30	29	30	2,523,455	*
5	6- 7	1	30	31	30	31	3,958,182	*
6	7- 8	8	31	39	31	39	12,723,000	*
7	8- 9	27	39	66	39	66	380,660,128	*
8	9- 22	11	66	77	66	77	2,512,416	*
9	22- 23	4	77	81	77	81	31,484,147	*
10	23- 24	1	81	82	81	82	51,368,404	*
11	24- 27	8	82	90	82	90	11,200,000	*
12	2- 10	3	6	9	9	12	2,493,833	
13	10- 11	2	9	11	69	71	1,382,261	
14	11- 12	1	11	12	71	72	1,066,057	
15	12- 13	3	12	15	72	75	26,822,090	
16	13- 14	1	15	16	75	76	18,381,692	
17	14- 15	1	16	17	76	77	13,477,269	
18	15- 16	1	17	18	77	78	2,532,031	
19	16- 17	1	18	19	78	79	27,338,791	
20	17- 23	2	19	21	79	81	5,362,902	
21	10- 5	3	9	12	26	29	6,101,517	
22	10- 22	65	9	74	12	77	198,611,134	
23	10- 23	28	9	37	53	81	238,032,343	
24	2- 18	5	6	11	21	26	6,723,395	
25	18- 5	3	11	14	26	29	2,981,698	
26	2- 15	2	6	8	26	28	1,778,431	
27	19- 20	2	8	10	28	30	5,872,943	
28	20- 5	0	10	10	30	30		
29	20- 21	1	9	10	87	88	7,606,087	
30	21- 26	1	10	11	88	89	1,100,000	
31	9- 25	18	66	84	70	88	21,055,118	
32	25- 26	1	84	85	88	89	450,000	
33	26- 27	1	85	86	89	90	944,775	

Project Duration = 90.00

Project Cost = 1,283,046,985.00

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikkan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembongkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	1,283,930	2
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	1,246,245	4
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	4,484,892	3
Diafragma beton kelas K-350	2,332,159	15	180,256	4
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expantion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pasangan batu kali	198,611,134	65	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	6,723,395	5	0	0
Galian biasa	2,981,698	3	0	0
Galian batu	1,778,431	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	5,872,943	2	0	0
Pasangan batu pada perkerasan salurkan air	7,606,087	1	0	0
Patok penuntun	1,100,000	1	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	21,055,118	18	0	0
Rambu jalan tunggal	450,000	1	0	0
Marka jalan	944,775	1	0	0
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikkan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>7,195,325</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,283,046,985</b>			

### 5.6.2 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Giliran Kerja Malam ("*Night Shift*")

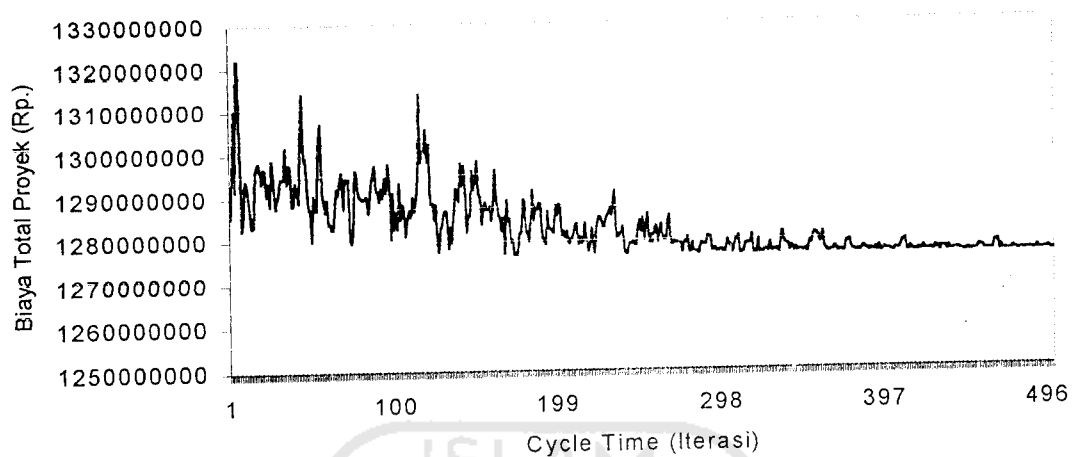
Formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan giliran kerja malam kedalam *Worksheet MS. Excel* disimpan dalam *file CPM\_2*. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data *CPM\_2* dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.16** Hasil Eksekusi Berkas Data *CPM\_2*

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	89	1,277,432,504	88	1,276,016,535
2	88	1,276,346,098	88	1,275,939,745
3	90	1,276,761,881	88	1,275,939,745
4	90	1,276,198,221	88	1,275,939,745
5	89	1,276,622,978	88	1,275,939,745

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi dan biaya proyek yang paling optimal akibat percepatan dengan kerja lembur ini adalah sebesar 88 hari dengan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.275.939.745,- pada eksekusi ke-2. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(88 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103 - 88) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 112.720.875,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.275.939.745 + \text{Rp. } 112.720.875 = \text{Rp. } 1.388.660.620,-$ . Untuk hasil eksekusi berkas data *CPM\_2* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Kurva hubungan siklus iterasi dengan hasil optimalisasi pada eksekusi ke-2 berkas data

CPM\_2 dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan diagram CPM hasil dari *best result* pada eksekusi ke-2 berkas data CPM\_2 dapat dilihat pada Tabel 5.17.



**Gambar 5.6** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_2



Tabel 5.17 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-2 Berkas Data CPM\_2

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34  
 First node is : 1  
 Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0 1- 2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1 2- 3	6	6	12	6	12	19,462,960	*
2 3- 4	6	12	18	12	18	43,557,682	*
3 4- 5	17	18	35	18	35	127,349,019	*
4 5- 6	1	35	36	35	36	2,523,455	*
5 6- 7	1	36	37	36	37	3,958,182	*
6 7- 8	8	37	45	37	45	12,723,000	*
7 8- 9	21	45	66	45	66	376,191,328	*
8 9-22	9	66	75	66	75	2,404,151	*
9 22-23	4	75	79	75	79	31,484,147	*
10 23-24	1	79	80	79	80	51,368,404	*
11 24-27	8	80	88	80	88	11,200,000	*
12 2- 10	3	6	9	7	10	2,493,833	*
13 10- 11	2	9	11	67	69	1,382,261	*
14 11- 12	1	11	12	69	70	1,066,057	*
15 12- 13	3	12	15	70	73	26,822,090	*
16 13- 14	1	15	16	73	74	18,381,692	*
17 14- 15	1	16	17	74	75	13,477,269	*
18 15- 16	1	17	18	75	76	2,532,031	*
19 16- 17	1	18	19	76	77	27,338,791	*
20 17-23	2	19	21	77	79	5,362,902	*
21 10- 5	3	9	12	32	35	6,101,517	*
22 10- 22	65	9	74	10	75	198,611,134	*
23 10- 23	28	9	37	51	79	238,032,343	*
24 2- 18	5	6	11	27	32	6,723,395	*
25 18- 5	3	11	14	32	35	2,981,698	*
26 2- 19	2	6	8	31	33	1,778,431	*
27 19- 20	2	8	10	33	35	5,872,943	*
28 20- 5	0	10	10	35	35		*
29 20- 21	1	10	11	85	86	7,606,087	*
30 21- 26	1	11	12	86	87	1,100,000	*
31 9- 25	18	66	84	68	86	21,055,118	*
32 25- 26	1	84	85	86	87	450,000	*
33 26- 27	1	85	86	87	88	944,775	*

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikkan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangunan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	0	0
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	16,092	9
Diafragma beton kelas K-350	2,332,159	15	71,992	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	0	0
Pasangan batu kali	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	0	0
Galian biasa	1,778,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,087	1	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penunton	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggial	944,775	1	0	0
Marka jalan				
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikkan Biaya Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>88,085</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,275,939,745</b>			

Project Duration = 88.00  
 Project Cost = 1,275,939,745.00

### 5.6.3 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Penambahan Tenaga Kerja

Formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan penambahan tenaga kerja kedalam *Worksheet MS. Excel* disimpan dalam *file CPM\_7*. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data *CPM\_7* dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.18** Hasil Eksekusi Berkas Data CPM 7

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	103	1,275,744,320	103	1,275,744,320
2	103	1,275,744,320	103	1,275,744,320
3	103	1,275,744,320	103	1,275,744,320
4	103	1,275,744,320	103	1,275,744,320
5	103	1,275,744,320	103	1,275,744,320

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi proyek yang paling optimal akibat percepatan dengan kerja lembur ini adalah sebesar 103 hari dengan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.275.744.320,-. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar (103 hari x Rp. 1.238.691/hari) = Rp. 127.585.166,-. Jadi biaya total proyek adalah sebesar Rp. 1.275.744.320 + Rp. 127.585.166 = Rp. 1.403.329.486,-.

Pada proses optimalisasi ini tidak menghasilkan percepatan durasi proyek, walaupun pada pemecahan permasalahan optimalisasi durasi dan biaya proyek dengan metode *simulated annealing* ini, seluruh kegiatan dalam proyek diasumsikan dapat dilakukan percepatan dan mempunyai peluang yang sama untuk menghasilkan percepatan durasi dan biaya proyek yang optimal. Hal ini dikarenakan kegiatan-

kegiatan yang dapat dilakukan pemadatan durasi dengan penambahan tenaga kerja adalah hanya pada kegiatan penulangan polos dan penulangan ulir. Sedangkan pekerjaan penulangan polos dan ulir tersebut dalam diagram jaringan CPM proyek jembatan Karanggayam tidak berada pada jalur kritis. Walaupun tidak dapat menghasilkan percepatan durasi proyek, tetapi dari hasil optimalisasi didapatkan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.403.329.486,- lebih kecil dari biaya langsung normal proyek sebesar Rp. 1.403.436.826,-. Untuk hasil eksekusi berkas data CPM\_7 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Diagram CPM hasil dari *best result* pada eksekusi ke-1 berkas data CPM\_7 dapat dilihat pada Tabel 5.19.



Tabel 5.19 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_7

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DURIES	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1- 2	6	0	6	0	3,603,050	*
1	2- 3	6	6	12	6	19,462,960	*
2	3- 4	6	12	18	12	43,557,682	*
3	4- 5	17	18	35	18	127,349,019	*
4	5- 6	1	36	36	36	2,523,455	*
5	6- 7	1	36	37	37	3,958,182	*
6	7- 8	8	37	45	45	12,723,000	*
7	8- 9	21	45	66	66	376,175,236	*
8	9- 22	9	66	75	75	2,332,159	*
9	22- 23	4	75	79	79	31,484,147	*
10	23- 24	1	79	80	80	51,368,404	*
11	24- 27	8	80	88	88	11,200,000	*
12	2- 10	3	6	9	10	2,493,833	*
13	10- 11	2	9	11	67	1,382,261	*
14	11- 12	1	11	12	69	1,066,057	*
15	12- 13	3	12	15	70	26,822,090	*
16	13- 14	1	15	16	73	18,381,692	*
17	14- 15	1	16	17	74	13,477,269	*
18	15- 16	1	17	18	75	2,532,031	*
19	16- 17	1	18	19	76	27,338,791	*
20	17- 23	2	19	21	77	5,362,902	*
21	10- 5	3	9	12	32	6,101,517	*
22	10- 22	23	9	74	10	198,503,794	*
23	10- 23	28	9	37	51	238,032,343	*
24	2- 18	5	6	11	27	6,723,395	*
25	13- 5	3	11	14	32	2,981,698	*
26	2- 19	2	6	8	31	1,778,431	*
27	19- 20	2	8	10	33	5,872,943	*
28	20- 5	0	10	10	35		
29	20- 21	1	10	11	85	7,606,087	
30	21- 26	1	11	12	86	1,100,000	
31	9- 25	18	66	84	68	21,055,118	
32	25- 26	1	84	85	86	450,000	
33	26- 27	1	85	86	87	944,775	

Project Duration = 103.00

Project Cost = 1,275,744,320.00

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangunan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	0	0
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	0	9
Diatragma beton kelas K-350	2,332,159	15	0	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expantion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembetsihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,503,794	65	-107,340	42
Pasangan batu kail	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	0	0
Galian biasa	1,778,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,087	1	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penuntun	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggal	944,775	1	0	0
Marka jalan	944,775	1	0	0
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>-107,340</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,275,744,320</b>			



#### 5.6.4 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Penggantian dan Penambahan Alat

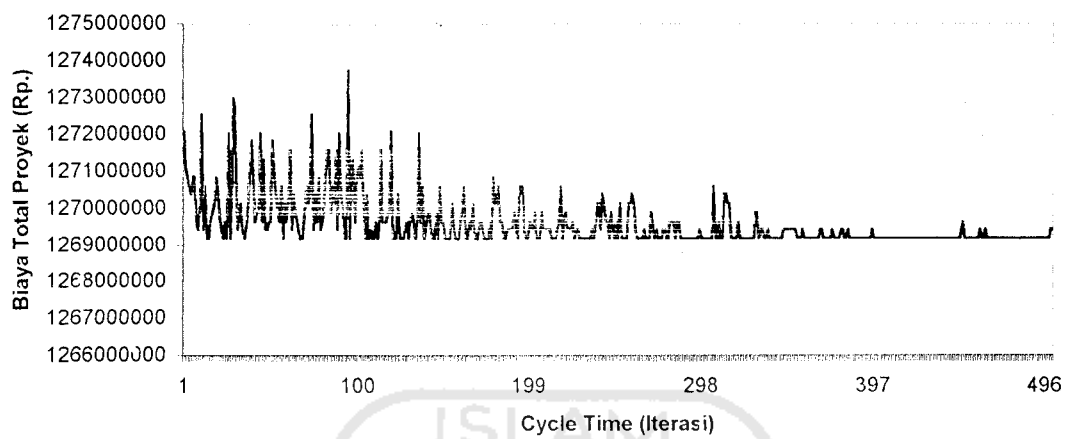
Formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan penggantian dan penambahan alat kedalam *Worksheet MS. Excel* disimpan dalam file CPM\_8. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data CPM\_8 dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.20 Hasil Eksekusi Berkas Data CPM 8

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	<i>Direct Cost</i> (Rp.)	Durasi (hari)	<i>Direct Cost</i> (Rp.)
1	90	1,269,164,312	90	1,269,164,312
2	90	1,269,164,312	90	1,269,164,312
3	90	1,269,164,312	90	1,269,164,312
4	90	1,269,164,312	90	1,269,164,312
5	90	1,269,164,312	90	1,269,164,312

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi dan biaya proyek yang paling optimal akibat percepatan dengan kerja lembur ini adalah sebesar 90 hari dengan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.269.164.312,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(90 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) = \text{Rp. } 111.482.184,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.269.164.312 + \text{Rp. } 111.482.184 = \text{Rp. } 1.380.646.496,-$ . Untuk hasil eksekusi berkas data CPM\_8 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Kurva hubungan siklus iterasi dengan hasil optimalisasi pada eksekusi ke-1 berkas data CPM\_8 dapat dilihat pada Gambar

5.7 dan diagram CPM hasil dari *best result* pada eksekusi ke-1 berkas data CPM\_8 dapat dilihat pada Tabel 5.21.



**Gambar 5.8** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_8

Tabel 5.21 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_8

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1- 2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1	2- 3	6	6	12	6	12	19,462,930	*
2	3- 4	6	12	18	12	18	43,557,682	*
3	4- 5	6	18	24	18	24	126,368,336	*
4	5- 6	1	24	25	24	25	2,523,455	*
5	6- 7	1	25	26	25	26	3,958,182	*
6	7- 8	8	26	34	26	34	12,723,000	*
7	8- 9	30	34	64	34	64	376,175,236	*
8	9- 22	15	64	79	64	79	2,332,159	*
9	22- 23	2	79	81	79	81	31,322,456	*
10	23- 24	1	81	82	81	82	51,368,404	*
11	24- 27	8	82	90	82	90	11,200,000	*
12	2- 10	3	6	9	11	14	2,493,833	
13	10- 11	2	9	11	71	73	1,382,261	
14	11- 12	1	11	12	73	74	1,066,057	
15	12- 13	2	12	14	74	76	25,116,358	
16	13- 14	1	14	15	76	77	18,381,692	
17	14- 15	1	15	16	77	78	13,477,269	
18	15- 16	1	16	17	78	79	2,532,031	
19	16- 17	1	17	18	79	80	27,338,791	
20	17- 23	1	18	19	80	81	4,904,093	
21	10- 5	3	9	12	21	24	6,101,517	
22	10- 22	65	9	74	14	79	198,611,134	
23	10- 23	7	9	16	74	81	238,032,343	
24	2- 18	4	6	10	18	22	4,566,189	
25	18- 5	2	10	12	22	24	2,017,799	
26	2- 19	1	6	7	21	22	1,529,103	
27	19- 20	2	7	9	22	24	5,872,943	
28	20- 5	0	9	9	24	24		
29	20- 21	1	9	10	87	88	7,606,088	
30	21- 26	1	10	11	88	89	1,100,000	
31	9- 25	18	64	82	70	88	21,055,118	
32	25- 26	1	82	83	88	89	450,000	
33	26- 27	1	83	84	89	90	944,775	

Project Duration = 90.00

Project Cost = 1269164312.000

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikkan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah.	19,462,930	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	-990,683	11
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	0	0
Diafragma beton kelas K-350	2,332,159	15	0	0
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	-161,691	2
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expantion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyipapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pemasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	-1,705,732	1
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	-458,809	1
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	0	0
Pasangan batu kali	238,032,343	28	0	21
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	-2,157,206	1
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,961,698	3	-963,899	1
Galian biasa	1,778,431	2	-249,328	1
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,087	0	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penunton	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggal	944,775	1	0	0
Marka jalan				
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikkan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>-6,687,348</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,269,164,312</b>			

### 5.6.5 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Kombinasi Kerja Lembur (“*Overtime*”) dan Giliran Kerja Malam (“*Night Shift*)

Dalam formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan kombinasi kerja lembur dan giliran kerja malam kedalam *Worksheet MS. Excel* ini, terdiri dari 4 macam kombinasi dan disimpan dalam *file* CPM\_3, CPM\_4, CPM\_5 dan CPM\_6. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data CPM\_3, CPM\_4, CPM\_5 dan CPM\_6 dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

- 1) Kombinasi I (7jam kerja normal + 1jam lembur + (1jam, 2jam, 3jam,...,5jam) giliran kerja malam)

**Tabel 5.22** Hasil Eksekusi Berkas Data CPM\_3

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	89	1,279,948,875	89	1,279,718,297
2	87	1,282,727,160	89	1,279,718,297
3	89	1,280,587,136	90	1,279,759,352
4	89	1,279,718,297	89	1,279,718,297
5	89	1,281,302,385	89	1,279,718,297

- 2) Kombinasi II (7jam kerja normal + 2jam lembur + (1jam, 2jam,..., 4jam) giliran kerja malam)

**Tabel 5.23** Hasil Eksekusi Berkas Data CPM\_4

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	90	1,278,471,187	87	1,278,284,766

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
2	90	1,278,471,187	87	1,278,284,766
3	86	1,279,479,233	87	1,278,284,766
4	90	1,279,973,214	87	1,278,284,766
5	87	1,279,155,844	87	1,278,284,766

3) Kombinasi III (7jam kerja normal + 3jam lembur + (1jam, 2jam, 3jam) giliran kerja malam)

Tabel 5.24 Hasil Eksekusi Berkas Data CPM 5

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	87	1,280,176,263	90	1,278,930,060
2	85	1,291,461,893	90	1,278,930,060
3	90	1,278,930,060	90	1,278,930,060
4	90	1,279,795,465	90	1,278,930,060
5	90	1,279,451,892	90	1,278,930,060

4) Kombinasi IV (7jam kerja normal + 4jam lembur + (1jam, 2jam) giliran kerja malam)

Tabel 5.25 Hasil Eksekusi Berkas Data CPM 6

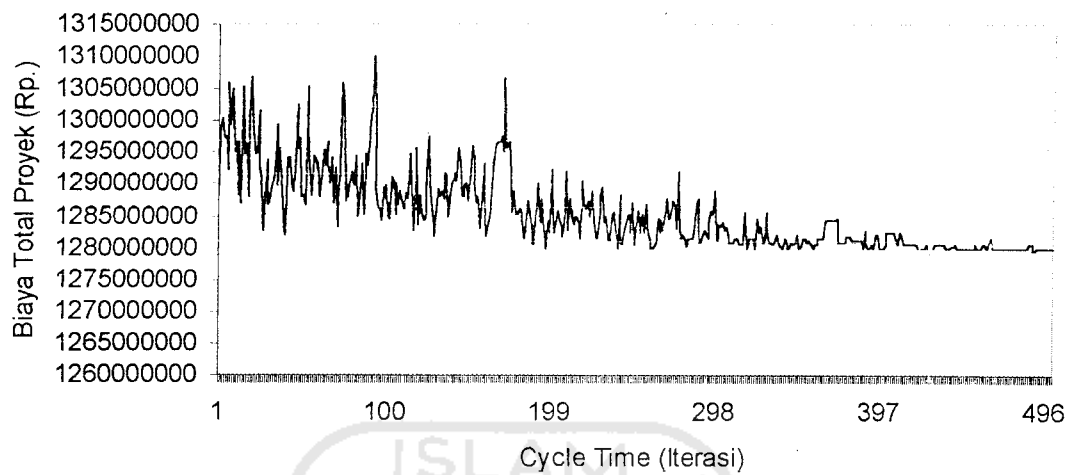
Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	87	1,283,601,796	87	1,281,781,373
2	90	1,287,782,538	87	1,281,781,373
3	87	1,283,601,796	87	1,281,781,373
4	90	1,287,782,538	87	1,281,781,373
5	90	1,287,782,538	87	1,281,781,373

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi dan biaya proyek yang paling optimal untuk :

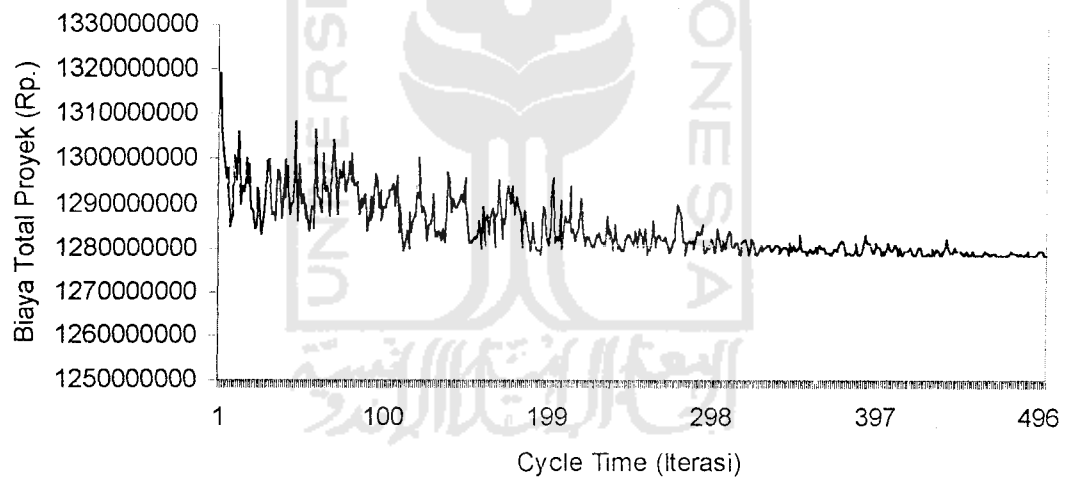
- Kombinasi I durasi proyek = 89 hari dengan biaya langsung proyek Rp. 1.279.718.297,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(89 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103-89) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 113.711.828,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.279.718.297 + \text{Rp. } 113.711.828 = \text{Rp. } 1.393.430.124,-$ .
- Kombinasi II durasi proyek = 87 hari dengan biaya langsung proyek Rp. 1.278.284.766,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(87 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103-87) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 111.729.922,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.278.284.766 + \text{Rp. } 111.729.922 = \text{Rp. } 1.390.014.688,-$ .
- Kombinasi III durasi proyek = 90 hari dengan biaya langsung proyek Rp. 1.278.930.060,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(90 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103-90) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 114.702.780,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.278.930.060 + \text{Rp. } 114.702.780 = \text{Rp. } 1.393.632.840,-$ .
- Kombinasi IV durasi proyek = 87 hari dengan biaya langsung proyek Rp. 1,281,781,373,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar  $(87 \text{ hari} \times \text{Rp. } 1.238.691/\text{hari}) + ((103-87) \text{ hari} \times \text{Rp. } 247.738/\text{hari}) = \text{Rp. } 111.729.922,-$ . Jadi biaya total proyek adalah sebesar  $\text{Rp. } 1.281.781.373 + \text{Rp. } 111.729.922 = \text{Rp. } 1.393.511.295,-$ .

Untuk hasil eksekusi berkas data CPM\_3, CPM\_4, CPM\_5 dan CPM\_6 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Kurva hubungan siklus iterasi dengan hasil optimalisasi berkas data CPM\_3, CPM\_4, CPM\_5 dan CPM\_6 dapat dilihat pada

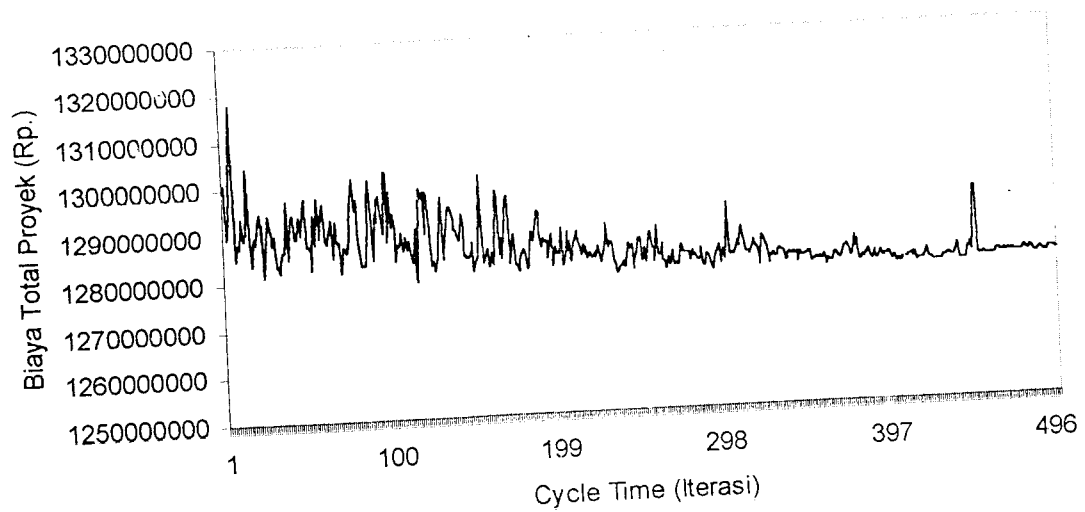
Gambar 5.9, 5.10, 5.11 dan 5.12. Diagram CPM hasil *best result* berkas data CPM\_3, CPM\_4, CPM\_5 dan CPM\_6 dapat dilihat pada Tabel 5.26, 5.27, 5.28 dan 5.29.



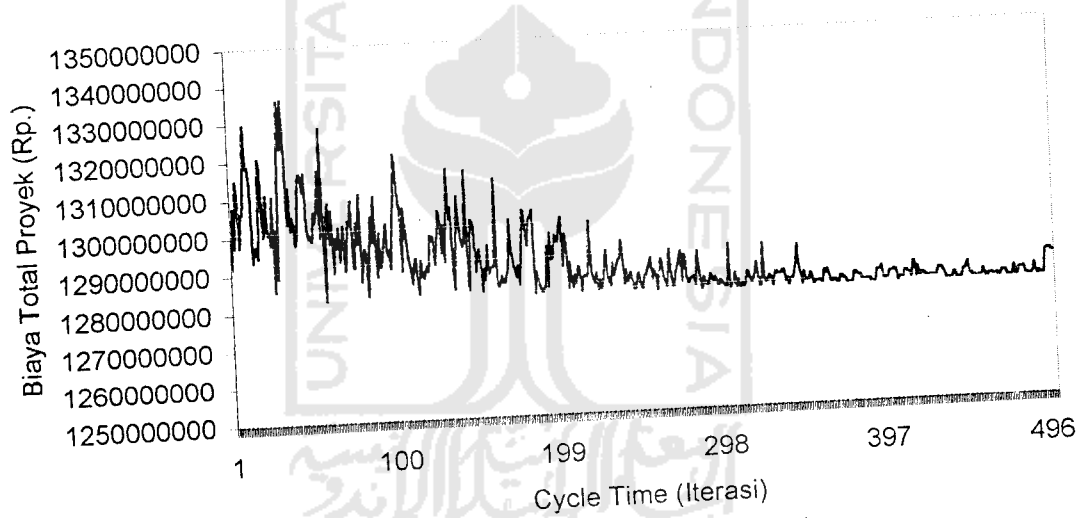
**Gambar 5.9** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_3



**Gambar 5.10** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_4



**Gambar 5.11** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_5



**Gambar 5.12** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_6



Tabel 5.26 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_3

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of tasks : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1-2	6	0	6	0	6	3,503,050	"
1	2-3	6	6	12	6	12	19,462,980	"
2	3-4	6	12	18	12	18	43,557,632	"
3	4-5	9	18	27	18	27	131,168,606	"
4	5-6	1	27	28	27	28	2,523,455	"
5	6-7	1	26	29	29	29	3,358,182	"
6	7-8	8	29	37	29	37	12,723,000	"
7	3-9	30	37	67	37	67	376,175,236	"
8	9-22	9	67	76	67	76	2,379,206	"
9	22-23	4	76	80	76	80	31,484,147	"
10	23-24	1	80	81	80	81	51,368,404	"
11	24-27	8	81	89	81	89	11,200,000	"
12	2-10	3	6	9	8	11	2,493,833	"
13	10-11	2	9	11	68	70	1,382,261	"
14	11-12	1	11	12	73	71	1,366,057	"
15	12-13	3	12	15	71	74	26,322,090	"
16	13-14	1	15	16	74	75	18,381,692	"
17	14-15	1	16	17	75	76	13,477,269	"
18	15-16	1	17	18	75	77	2,532,031	"
19	16-17	1	18	19	77	78	27,338,791	"
20	17-23	2	19	21	78	80	5,362,902	"
21	10-5	3	9	12	24	27	6,101,517	"
22	10-22	65	9	74	11	76	98,511,134	"
23	10-23	28	9	37	52	80	238,032,343	"
24	2-8	5	6	11	19	24	6,723,395	"
25	18-5	3	11	14	24	27	2,381,696	"
26	2-9	2	6	8	23	25	1,778,431	"
27	19-20	2	8	10	25	27	5,372,943	"
28	20-5	0	10	10	27	27	7,506,086	"
29	20-21	1	10	11	83	87	1,100,000	"
30	21-26	1	11	12	87	88	21,055,118	"
31	9-25	18	67	85	69	87	450,000	"
32	25-26	1	85	86	87	88	450,000	"
33	26-27	1	86	87	83	89	344,775	"

Project Duration = 89.00

Project Cost = 1,279,718,297.00

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pemotongan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,980	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,632	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	3,899,599	8
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,132	1	0	0
Parketan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	0	0
Diatragma beton kelas K-350	2,382,159	15	47,046	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pemertihan dan penyipar badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pamotongan pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	13,361,632	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pemtesian dengan tular gar polos	6,101,517	3	0	0
Pemtesian dengan tular gar ulir	193,611,134	65	0	0
Pasangan batu kali	233,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,961,698	3	0	0
Galian biasa	1,778,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Duminy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,037	1	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penunjang	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggal	94,775	1	0	0
Marka jalan	94,775	1	0	0
<b>Direct Cost Normal Proyek:</b>	<b>1,275,851,650</b>			
<b>Kenaikan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>3,866,636</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,279,718,287</b>			

Tabel 5.27 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_4

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0 1- 2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1 2- 3	6	6	12	10	16	19,462,960	
2 3- 4	6	12	18	14	20	43,557,682	
3 4- 5	17	18	35	20	37	127,349,019	
4 5- 6	1	35	36	37	38	2,523,455	
5 6- 7	1	36	37	38	39	3,958,182	
6 7- 8	8	37	45	39	47	12,723,000	
7 8- 9	18	45	63	47	65	378,586,240	
8 9- 22	9	63	72	65	74	2,354,260	
9 22- 23	4	74	78	74	78	31,484,147	*
10 23- 24	1	78	79	78	79	51,368,404	*
11 24- 27	8	79	87	79	87	11,200,000	*
12 2- 10	3	6	9	6	9	2,493,833	*
13 10- 11	2	9	11	66	68	1,382,261	
14 11- 12	1	11	12	68	69	1,066,057	
15 12- 13	3	12	15	69	72	26,822,090	
16 13- 14	1	15	16	72	73	18,381,692	
17 14- 15	1	16	17	73	74	13,477,269	
18 15- 16	1	17	18	74	75	2,532,031	
19 16- 17	1	18	19	75	76	27,338,791	
20 17- 23	2	19	21	76	78	5,362,902	
21 10- 5	3	9	12	34	37	6,101,517	
22 10- 22	65	9	74	9	74	198,611,134	*
23 10- 23	28	9	37	50	78	238,032,343	
24 2- 18	5	6	11	29	34	6,723,395	
25 18- 5	3	11	14	34	37	2,981,698	
26 2- 19	2	6	8	33	35	1,778,431	
27 19- 20	2	8	10	35	37	5,872,943	
28 20- 5	0	10	10	37	37		
29 20- 21	1	10	11	84	85	7,606,088	
30 21- 26	1	11	12	85	86	1,100,000	
31 9- 25	18	63	81	67	85	21,055,118	
32 25- 26	1	81	82	85	86	450,000	
33 26- 27	1	82	83	86	87	944,775	

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangunan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	0	0
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	2,411,004	12
Diafragma beton kelas K-350	2,332,159	15	22,101	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengiklat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	0	0
Pasangan batu kali	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	0	0
Galian biasa	1,778,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,088	0	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penunton	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggal	944,775	1	0	0
Marka jalan				
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>2,433,106</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,278,284,766</b>			

Project Duration = 87.00

Project Cost = 1,278,284,766.00

Tabel 5.28 Diagram CPM hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_5

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1- 2	6	0	6	3	9	3,603,050	
1	2- 3	6	6	12	8	14	19,462,960	
2	3- 4	6	12	18	12	18	43,557,682	*
3	4- 5	10	18	28	18	28	130,253,184	*
4	5- 6	1	28	29	28	29	2,523,455	*
5	6- 7	1	29	30	29	30	3,958,182	*
6	7- 8	8	30	38	30	38	12,723,000	*
7	8- 9	30	38	68	38	68	376,175,236	*
8	9- 22	9	68	77	68	77	2,506,393	*
9	22- 23	4	77	81	77	81	31,484,147	*
10	23- 24	1	81	82	81	82	51,368,404	*
11	24- 27	8	82	90	82	90	11,200,000	*
12	2- 10	3	6	9	9	12	2,493,833	
13	10- 11	2	9	11	69	71	1,382,261	
14	11- 12	1	11	12	71	72	1,066,057	
15	12- 13	3	12	15	72	75	26,822,090	
16	13- 14	1	15	16	75	76	18,381,692	
17	14- 15	1	16	17	76	77	13,477,269	
18	15- 16	1	17	18	77	78	2,532,031	
19	16- 17	1	18	19	78	79	27,338,791	
20	17- 23	2	19	21	79	81	5,362,902	
21	10- 5	3	9	12	25	28	6,101,517	
22	10- 22	65	9	74	12	77	198,611,134	
23	10- 23	28	9	37	53	81	238,032,343	
24	2- 18	5	6	11	20	25	6,723,395	
25	18- 5	3	11	14	25	28	2,981,698	
26	2- 19	2	6	8	24	26	1,776,431	
27	19- 20	2	8	10	26	28	5,872,943	
28	20- 5	0	10	10	28	28	7,606,088	
29	20- 21	1	10	11	87	88	1,100,000	
30	21- 26	1	11	12	88	89	21,055,118	
31	9- 25	18	68	86	70	88	450,000	
32	25- 26	1	86	87	88	89	944,775	
33	26- 27	1	87	88	89	90	944,775	

Project Duration = 90.00

Project Cost = 1,278,930,060.00

Urutan	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikkan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangunan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	2,904,165	7
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	0	0
Diafragma beton kelas K-350	2,332,159	15	174,234	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	0	0
Pasangan batu kali	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	0	0
Galian biasa	1,776,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,087	0	0	0
Pasangan batu pada perkerasan salurair	1,100,000	1	0	0
Patok penunton	21,055,118	18	0	0
Rambu jalan tunggal	450,000	1	0	0
Marka jalan	944,775	1	0	0
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikkan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>3,078,400</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,278,930,060</b>			

Tabel 5.29 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_6

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK I - J	DUR	ES	EF	LS	LF	COST	Critical
0 1- 2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1 2- 3	6	6	12	9	15	19,462,960	
2 3- 4	6	12	18	13	19	43,557,682	
3 4- 5	17	18	35	19	36	127,349,019	
4 5- 6	1	35	36	36	37	2,523,455	
5 6- 7	1	36	37	37	38	3,958,182	
6 7- 8	8	37	45	38	46	12,723,000	
7 8- 9	19	45	64	46	65	381,979,552	
8 9- 22	9	64	73	65	74	2,457,555	
9 22- 23	4	74	78	74	78	31,484,147	*
10 23- 24	1	78	79	78	79	51,368,404	*
11 24- 27	8	79	87	79	87	11,200,000	*
12 2- 10	3	6	9	6	9	2,493,833	*
13 10- 11	2	9	11	66	68	1,382,261	
14 11- 12	1	11	12	68	69	1,066,057	
15 12- 13	3	12	15	69	72	26,822,090	
16 13- 14	1	15	16	72	73	18,381,692	
17 14- 15	1	16	17	73	74	13,477,269	
18 15- 16	1	17	18	74	75	2,532,031	
19 16- 17	1	18	19	75	76	27,338,791	
20 17- 23	2	19	21	76	78	5,362,902	
21 10- 5	3	9	12	33	36	6,101,517	
22 10- 22	65	9	74	9	74	198,611,134	*
23 10- 23	28	9	37	50	78	238,032,343	
24 2- 18	5	6	11	28	33	6,723,395	
25 18- 5	3	11	14	33	36	2,981,698	
26 2- 19	2	6	8	32	34	1,778,431	
27 19- 20	2	8	10	34	36	5,872,943	
28 20- 5	0	10	10	36	36		
29 20- 21	1	10	11	84	85	7,606,088	
30 21- 26	1	11	12	85	86	1,100,000	
31 9- 25	18	64	82	67	85	21,055,118	
32 25- 26	1	82	83	85	86	450,000	
33 26- 27	1	83	84	86	87	944,775	

Project Duration = 87.00

Project Cost = 1,281,781,373.00

Uraian	Biaya Normal	Durasi Normal	Kenaikan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangkaran tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia. 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	0	0
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Bina Marga	376,175,236	30	5,804,316	11
Diaphragma beton kelas K-350	2,332,159	15	125,396	6
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	0	0
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	0	0
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis perekat aspal emulsi	5,362,902	2	0	0
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	0	0
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	0	0
Pasangan batu Kali	238,032,343	28	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	6,723,395	5	0	0
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	0	0
Galian biasa	1,778,431	2	0	0
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)	7,606,087	1	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	1,100,000	1	0	0
Patok penuntun	21,055,118	18	0	0
Fab. & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	450,000	1	0	0
Rambu jalan tunggal	944,775	1	0	0
Marka jalan				
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>5,929,713</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,281,781,373</b>			

### 5.6.6 Optimalisasi Durasi dan Biaya Proyek Karena Percepatan Durasi Dengan Kombinasi Penambahan Tenaga Kerja Dan Penggantian Serta Penambahan Alat

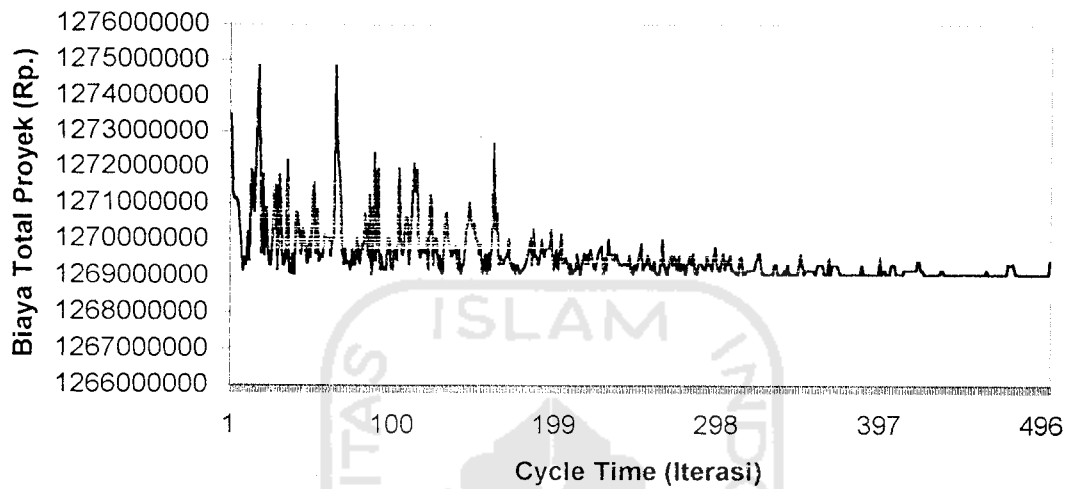
Formulasi berkas data diagram jaringan CPM dan data analisis durasi dan biaya pada keadaan normal dan akibat percepatan durasi dengan penambahan tenaga kerja dan penggantian serta penambahan alat kedalam *Worksheet MS. Excel* disimpan dalam *file* CPM\_9. Kemudian setelah dilakukan 5 kali proses eksekusi program *Anneal5.EXE* pada berkas data CPM\_9 dengan parameter-parameter seperti di atas didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.30** Hasil Eksekusi Berkas Data CPM\_9

Eksekusi	<i>Final Result</i>		<i>Best Result</i>	
	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)	Durasi (hari)	Direct Cost (Rp.)
1	90	1,269,415,370	90	1,269,048,709
2	90	1,269,048,709	90	1,269,048,709
3	90	1,269,157,709	90	1,269,048,709
4	90	1,269,056,970	90	1,269,048,709
5	90	1,269,048,709	90	1,269,048,709

Kemudian *best result* (hasil terbaik) dari hasil-hasil eksekusi tersebut dibandingkan untuk diambil hasil yang terbaik sebagai solusi akhir. Didapatkan durasi dan biaya proyek yang paling optimal akibat percepatan dengan kerja lembur ini adalah sebesar 90 hari dengan biaya langsung proyek sebesar Rp. 1.269.048.709,- pada eksekusi ke-1. Sedangkan biaya tidak langsung sebesar (90 hari x Rp. 1.238.691/hari) = Rp. 111.482.184,-. Jadi biaya total proyek adalah sebesar Rp. 1.269.048.709 + Rp. 111.482.184 = Rp. 1.380.530.893,-. Untuk hasil eksekusi berkas data CPM\_9 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 6. Kurva hubungan siklus iterasi dengan

hasil optimalisasi pada eksekusi ke-1 berkas data CPM\_9 dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan diagram CPM hasil dari *best result* pada eksekusi ke-1 berkas data CPM\_9 dapat dilihat pada Tabel 5.31.



**Gambar 5.13** Kurva Hubungan Siklus Iterasi Dengan Hasil Optimalisasi Berkas Data CPM\_9

Tabel 5.31 Diagram CPM Hasil Eksekusi Ke-1 Berkas Data CPM\_9

**ANALISIS**

**BEST DESIGN**

Number of task is : 34

First node is : 1

Last node is : 27

Result of CPM network calculation :

TASK	I - J	DUR	LS	EF	LS	LF	COST	Critical
0	1-2	6	0	6	0	6	3,603,050	*
1	2-3	6	6	12	6	12	19,462,960	*
2	3-4	6	12	18	12	18	43,557,682	*
3	4-5	6	18	24	18	24	126,358,336	*
4	5-6	1	24	25	24	25	2,523,455	*
5	6-7	1	25	26	25	26	3,958,182	*
6	7-8	8	26	34	26	34	12,723,000	*
7	8-9	30	34	64	34	64	376,175,236	*
8	9-22	15	64	79	64	79	2,332,159	*
9	22-23	2	79	81	79	81	31,322,458	*
10	23-24	1	81	82	81	82	51,368,404	*
11	24-27	8	82	90	82	90	11,200,000	*
12	2-10	3	6	9	19	22	2,493,833	
13	10-11	2	9	11	71	73	1,382,261	
14	11-12	1	11	12	73	74	1,066,057	
15	12-13	1	12	14	74	76	25,116,358	
16	13-14	1	14	15	76	77	18,381,692	
17	14-15	1	15	16	77	78	13,477,269	
18	15-16	1	16	17	78	79	2,532,031	
19	16-17	1	17	18	79	80	27,338,791	
20	17-23	1	18	19	80	81	4,904,093	
21	10-5	2	9	11	22	24	6,093,255	
22	10-22	23	9	32	56	79	198,503,794	
23	10-23	7	9	16	74	81	238,032,343	
24	2-18	4	6	10	18	22	4,566,189	
25	18-5	2	10	12	22	24	2,017,799	
26	2-19	1	6	7	21	22	1,529,103	
27	19-20	2	7	9	22	24	5,872,943	
28	20-5	0	6	9	24	24		
29	20-21	1	9	10	87	88	7,606,088	
30	21-26	1	10	11	88	89	1,100,000	
31	9-25	18	64	82	70	88	21,055,118	
32	25-26	1	82	83	88	89	450,000	
33	26-27	1	83	84	89	90	944,775	

Project Duration = 90.00

Project Cost = 1269048709.000

Uraian	Biaya Normal	Durasi (Normal)	Kenaikan Biaya	Pengurangan Durasi
Mobilisasi	3,603,050	6	0	0
Pembangunan tiang listrik dan pemasangan kembali tiang listrik 3 buah	19,462,960	6	0	0
Bore pile dia 800 mm	43,557,682	6	0	0
Beton K-225 pada elevasi	127,349,019	17	-960,683	11
Beton K-125	2,523,455	1	0	0
Beton K-175 pada elevasi	3,958,182	1	0	0
Perletakan elastomerik	12,723,000	8	0	0
Pre-cast standar Eina Marga	376,175,236	30	0	0
Diaphragma beton kelas K-350	2,332,159	15	0	0
Beton K-350 pada elevasi	31,484,147	4	-161,691	2
Aspal beton	51,368,404	1	0	0
Expansion joint type A	11,200,000	8	0	0
Pembersihan dan penyiapan badan jalan	2,493,833	3	0	0
Pembongkaran pasangan batu, bata, beton	1,382,261	2	0	0
Pemadatan tanah dasar timbunan	1,066,057	1	0	0
Timbunan dengan bahan-bahan terpilih	26,822,090	3	-1,765,732	1
Lapis pondasi agregat kelas B	18,381,692	1	0	0
Lapis pondasi agregat kelas A	13,477,269	1	0	0
Lapis resap pengikat	2,532,031	1	0	0
Asphalt Treated Base (ATB)	27,338,791	1	0	0
Lapis penekat aspal emulsi	5,362,902	2	-458,809	1
Pembesian dengan tulangan polos	6,101,517	3	-8,262	1
Pembesian dengan tulangan ulir	198,611,134	65	-107,340	42
Pasangan batu kali	238,032,343	28	0	21
Galian konstruksi pada kedalaman 0 - 2 m	9,723,395	5	-2,157,206	1
Galian konstruksi pada kedalaman 2 - 4 m	2,981,698	3	-963,899	1
Galian biasa	1,778,431	2	-249,328	1
Galian batu	5,872,943	2	0	0
Dummy (Galian batu ==> Beton K-125)		0	0	0
Pasangan batu pada perkerasan saluran air	7,606,087	1	0	0
Patok penunjang	1,100,000	1	0	0
Tab & pemasangan baja bang. Tg. Lt. 28 Kg/m2	21,055,118	18	0	0
Rambu jalan tunggal	450,000	1	0	0
Marka jalan	944,775	1	0	0
<b>Direct Cost Normal Proyek</b>	<b>1,275,851,660</b>			
<b>Kenaikan Biaya Akibat Percepatan Durasi Proyek</b>	<b>-5,802,951</b>			
<b>Direct Cost Total</b>	<b>1,269,048,709</b>			