

PENERAPAN *TIME COST TRADE OFF* DALAM OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU TERHADAP PERBANDINGAN PENAMBAHAN TENAGA KERJA DAN *SHIFT* KERJA (STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN KELURAHAN KETELAN SURAKARTA)

Widi Hartono ¹⁾, Sitcha Atat Nurmufi Chabibah ²⁾, Sugiyarto ³⁾

¹⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: sitchatat@gmail.com

Abstract

The development in the construction project should have the proper scheduling management in conducting the acceleration. One of the factors to do accelerated project is the existence of contractual agreements in the beginning that the project is expected to be done with a short time. These factor become acceleration background of Construction Project of Kelurahan Ketelan, Surakarta which the government as the owner wants the project can be completed faster than the initial planning. The purposes of this study are to speed up the implementation of the project and analyzing the extent to which time can be shortened with the addition of a minimum costs against activities that can accelerate the implementation. The method is used time cost trade off with the process of crashing use manpower additional and shift working alternative. Crashing is done on critical path that obtained from the results of network planning analysis, CPM. Initial planning of the project requires 140 days and the cost is Rp.2,428,650,121.03. This research shows that in the process of crashing at step-5 with manpower additional has Rp.2,391,704,904.89 (98.479%) as optimal cost and 120 days (85.714%) of optimal time project. Total additional of manpower after crashing is 14 people in every activity that has been accelerated. While the acceleration of shift working alternative produces 71 days (50.714%) as optimal time and has optimal cost Rp.2,301,126,025.35 (94.749%) that reached at step-24 of crash process.

Key words: *acceleration project, time cost trade off, manpower additional, shift working, CPM.*

Abstrak

Pembangunan pada proyek konstruksi harus mempunyai pengelolaan penjadwalan yang tepat dalam melakukan percepatan. Salah satu faktor dilakukannya percepatan proyek adalah adanya perjanjian kontrak di awal bahwa proyek diharapkan segera selesai dengan waktu yang singkat. Faktor tersebut menjadi latar belakang Proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Surakarta dipercepat, dimana pemerintah sebagai pemilik proyek ingin agar proyek dapat selesai lebih cepat dari perencanaan awal. Penelitian ini bertujuan untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan menganalisis sejauh mana waktu dapat dipersingkat dengan penambahan biaya minimum terhadap kegiatan yang bisa dipercepat kurun waktu pelaksanaannya. Metode percepatan yang digunakan adalah metode *time cost trade off* dengan proses *crashing* menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja dan *shift* kerja. *Crashing* dilakukan pada lintasan kritis yang didapatkan dari hasil analisis *network planning, CPM*. Rencana awal proyek yang dilakukan penelitian membutuhkan waktu penyelesaian 140 hari dengan biaya Rp. 2.428.650.121,03. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada proses *crashing* tahap ke-5 dengan penambahan tenaga kerja mempunyai biaya optimal proyek sebesar Rp. 2.391.704.904,89 (98,479%) dengan waktu penyelesaian proyek 120 hari (85,714%). Total penambahan tenaga kerja setelah *crashing* adalah 14 orang pada setiap kegiatan yang telah dipercepat. Sedangkan alternatif *shift* kerja menghasilkan waktu optimal 71 hari (50,714%) dan biaya optimal Rp. 2.301.126.025,35 (94,749%) pada proses *crashing* tahap ke-24.

Kata kunci: percepatan proyek, *time cost trade off*, penambahan tenaga kerja, *shift* kerja, CPM.

PENDAHULUAN

Studi kasus pada penelitian ini mengambil Proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Surakarta yang terletak di jalan Gajah Mada no. 108 Surakarta. Proyek dengan sumber dana dari APBD Surakarta ini dimulai pada tanggal 10 Maret 2015 dengan waktu perencanaan 140 hari kerja. Pihak pemilik proyek (*owner*) yaitu pemerintah kota Surakarta, mengharapkan proyek ini dapat selesai lebih cepat dari rencana sebelumnya. Proyek yang terdiri dari bangunan pendopo dan gedung kantor dua lantai tersebut diharapkan bisa digunakan secepatnya. Melihat tingkat pengangguran yang semakin meningkat pada setiap tahunnya maka percepatan pada penelitian ini dilakukan dengan mengadakan metode *shift* kerja dan penambahan tenaga kerja. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan tersebut adalah dengan menggunakan metode Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya (*Time Cost Trade Off*). Tujuan dari metode ini adalah mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan menganalisis sejauh mana waktu dapat dipersingkat dengan penambahan biaya minimum terhadap kegiatan yang bisa dipercepat kurun waktu pelaksanaannya.

LANDASAN TEORI

Penjadwalan adalah tahapan menerjemahkan suatu kegiatan perancangan ke dalam suatu diagram-diagram yang sesuai dengan skala waktu. Pada penelitian ini penggambaran diagram menggunakan analisis jaringan kerja *Critical Path Method (CPM)*. *CPM* adalah suatu rangkaian item pekerjaan dalam suatu proyek yang menjadi bagian kritis atas terselesainya proyek secara keseluruhan. Ketidaktepatan waktu suatu pekerjaan yang masuk dalam pekerjaan kritis akan menyebabkan proyek mengalami keterlambatan karena waktu *finish* proyek akan menjadi mundur atau *delay*, sehingga memerlukan perhatian khusus (kritis). Pembuatan *CPM* mengacu pada kurva S proyek yang merupakan visualisasi dari kemajuan pekerjaan kumulatif pada sumbu vertikal terhadap waktu pada sumbu horisontal.

Crashing adalah istilah suatu kegiatan untuk mempersingkat umur proyek. *Crashing* dalam penelitian ini menggunakan dua alternatif yaitu penambahan tenaga kerja dan *shift* kerja. Untuk produktifitas penambahan tenaga kerja sesuai dengan penelitian Dwi Susanto dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Produktivitas } crashing = \frac{\text{Produktifitas harian normal} \times \text{Jumlah pekerja percepatan}}{\text{Jumlah pekerja normal}} \dots\dots\dots [1]$$

Menurut Sani dan Septiropa untuk alternatif *shift* kerja produktifitasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Produktivitas } crashing = \text{Produktifitas harian normal} \times \text{jumlah } shift \dots\dots\dots [2]$$

Lintasan kritis proyek adalah kunci dalam mengerjakan *crashing*. Apabila percepatan dilakukan pada kegiatan yang tidak berada di lintasan kritis, maka waktu penyelesaian proyek tidak akan berkurang. Percepatan juga dilakukan lebih dahulu pada aktivitas-aktivitas yang mempunyai *cost slope* terendah pada lintasan kritis. *Cost slope* menurut Soeharto, didapatkan dari perbandingan antara pengurangan biaya setelah percepatan dan biaya normal dengan pengurangan waktu normal dan waktu setelah percepatan. Dalam proses mempercepat penyelesaian proyek diusahakan agar pertambahan biaya yang ditimbulkan seminimal mungkin. Maka dari itu untuk menganalisis biaya total setelah dilakukan percepatan digunakan metode pertukaran waktu dan biaya (*Time Cost Trade Off*).

METODE PENELITIAN

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui wawancara dengan karyawan proyek, studi dokumen, dan juga studi kepustakaan. Metode wawancara dimaksudkan untuk mengetahui permasalahan pada proyek secara mendalam, sedangkan studi dokumen dilakukan untuk mempelajari beberapa data sekunder seperti rencana anggaran biaya, harga satuan pekerjaan, daftar tenaga kerja dan juga laporan harian/bulanan melalui *time scheduling*. Teknik pengumpulan data melalui studi kepustakaan dilakukan dengan mempelajari buku referensi, penelitian penulis dan juga *browsing* internet mengenai beberapa metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini. Data penelitian didapatkan dari proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Surakarta. Dari data kurva S proyek didapatkan durasi, urutan pekerjaan dan hubungan ketergantungan antar pekerjaan. Setelah itu penyusunan jaringan kerja bisa dimulai dengan mengerjakan perhitungan maju dan mundur yang menghasilkan lintasan kritis normal. Percepatan proyek dimulai dengan proses *crashing* pada lintasan kritis yang dilakukan berulang kali hingga lintasan tersebut jenuh. Kemudian melakukan analisis *TCTO* dan membahas hasil dari analisis masing-masing alternatif. Pada tahap akhir menarik kesimpulan dan membuat saran yang berkaitan dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Jaringan Kerja (*Network Planning*) *CPM*

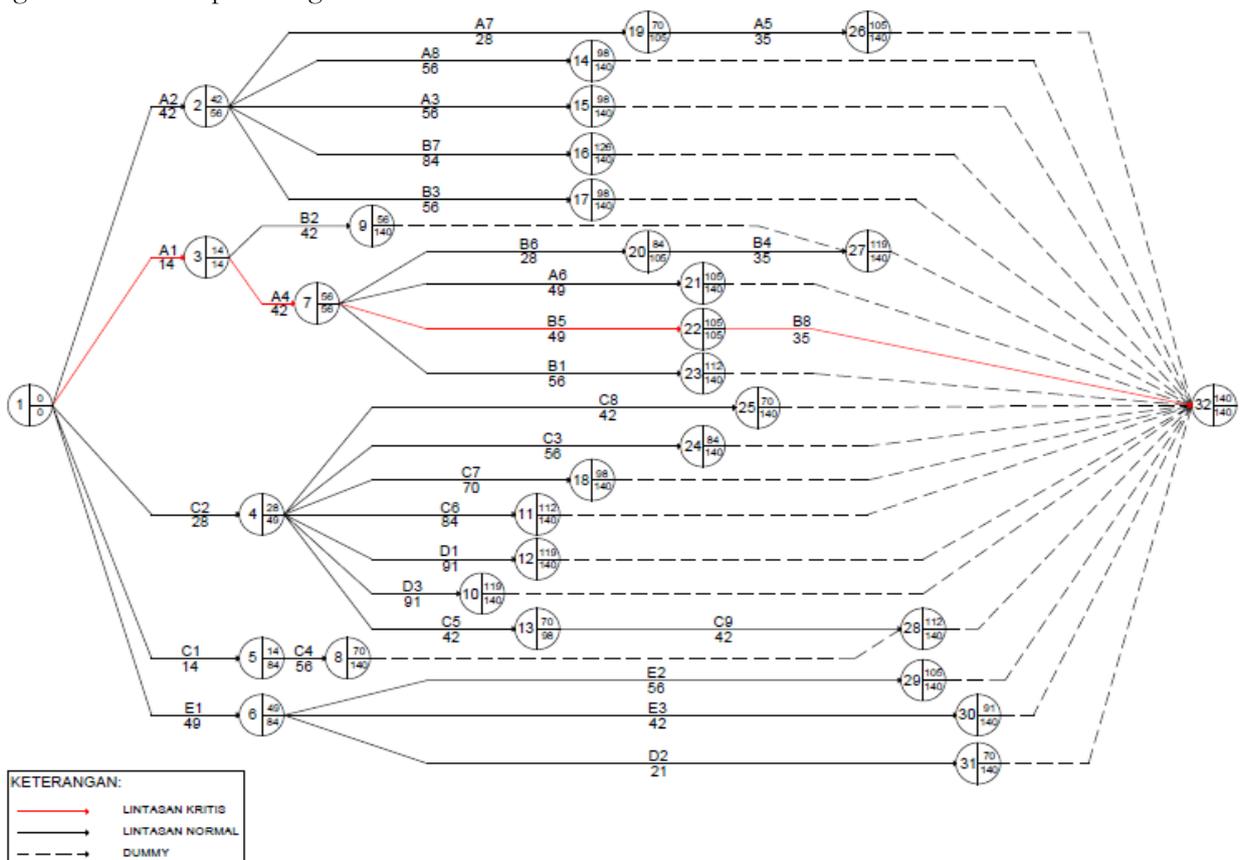
Hasil penyusunan kode kegiatan proyek disajikan pada tabel 1 beserta rincian kegiatan sebelumnya (*predecessor*). Kode kegiatan merupakan suatu cara untuk memudahkan dalam penyusunan jaringan kerja. Durasi kegiatan dan penyusunan *predecessor* ditentukan dengan bantuan kurva S proyek. Berdasarkan kurva S proyek, untuk satu minggunya pekerjaan dilaksanakan dalam 7 hari kerja.

Tabel 1. Daftar Pekerjaan Proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta

| No. | Uraian Pekerjaan | Kode Kegiatan | Durasi (hari) | Kegiatan Sebelumnya (<i>Predecessor</i>) |
|-----|----------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------------|
| 1 | Pekerjaan Persiapan | A1 | 14 | - |
| 2 | Pekerjaan Tanah | A2 | 42 | - |
| 3 | Pekerjaan Pasangan dan Plesteran | A3 | 56 | A2 |
| 4 | Pekerjaan Beton | A4 | 42 | A1 |
| 5 | Pekerjaan Lantai | A5 | 35 | A7 |
| 6 | Pekerjaan Plafond | A6 | 49 | A4 |
| 7 | Pekerjaan Pengecatan | A7 | 28 | A2 |

| | | | | |
|----|--------------------------------------|----|----|----|
| 8 | Pekerjaan Pintu dan Jendela | A8 | 56 | A2 |
| 9 | Pekerjaan Pasangan dan Plesteran | B1 | 56 | A4 |
| 10 | Pekerjaan Beton | B2 | 42 | A1 |
| 11 | Pekerjaan Pintu dan Jendela | B3 | 56 | A2 |
| 12 | Pekerjaan Lantai | B4 | 35 | B6 |
| 13 | Pekerjaan Plafond | B5 | 49 | A4 |
| 14 | Pekerjaan Pengecatan | B6 | 28 | A4 |
| 15 | Pekerjaan Atap | B7 | 84 | A2 |
| 16 | Pekerjaan Partisi | B8 | 35 | B5 |
| 17 | Pekerjaan Persiapan | C1 | 14 | - |
| 18 | Pekerjaan Tanah | C2 | 28 | - |
| 19 | Pekerjaan Pasangan dan Plesteran | C3 | 56 | C2 |
| 20 | Pekerjaan Beton | C4 | 56 | C1 |
| 21 | Pekerjaan Lantai | C5 | 42 | C2 |
| 22 | Pekerjaan Plafond | C6 | 84 | C2 |
| 23 | Pekerjaan Pintu, Jendela dan Dinding | C7 | 70 | C2 |
| 24 | Pekerjaan Atap | C8 | 42 | C2 |
| 25 | Pekerjaan Pengecatan | C9 | 42 | C5 |
| 26 | Pekerjaan Elektrikal | D1 | 91 | C2 |
| 27 | Instalasi Penangkal Petir | D2 | 21 | E1 |
| 28 | Pekerjaan Mekanikal | D3 | 91 | C2 |
| 29 | Bangunan Pagar | E1 | 49 | - |
| 30 | Pekerjaan Landscape | E2 | 56 | E1 |
| 31 | Bangunan Taman | E3 | 42 | E1 |

Dari tabel di atas dilanjutkan dengan membuat suatu diagram atau jaringan kerja yang pada penelitian ini digunakan CPM seperti terlihat pada gambar 1. CPM membantu dalam penentuan lintasan kritis yang ditentukan dengan melihat hasil perhitungan *Total Float*.



Gambar 1. Jaringan Kerja CPM Sebelum Dilakukan Percepatan

Total Float sendiri didapatkan dari hasil pengurangan *LET*, *EET* dan juga durasi pada masing-masing pekerjaan. Kegiatan yang mempunyai nilai *total float* = 0 maka bisa disebut kegiatan kritis, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Lintasan kritis proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta adalah kegiatan A1-A4-B5-B8 dan memiliki waktu penyelesaian proyek 140 hari.

Tabel 2. *Total Float* Kondisi Normal Proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta

| Kode Kegiatan | Durasi (hari) | <i>EET</i> | | <i>LET</i> | | <i>Total Float</i> | Keterangan |
|---------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------|
| | | <i>EET_i</i> | <i>EET_j</i> | <i>LET_i</i> | <i>LET_j</i> | | |
| A1 | 14 | 0 | 14 | 0 | 14 | 0 | KRITIS |
| A2 | 42 | 0 | 42 | 0 | 56 | 14 | |
| A3 | 56 | 42 | 98 | 56 | 140 | 42 | |
| A4 | 42 | 14 | 56 | 14 | 56 | 0 | KRITIS |
| A5 | 35 | 70 | 105 | 105 | 140 | 35 | |
| A6 | 49 | 56 | 105 | 56 | 140 | 35 | |
| A7 | 28 | 42 | 70 | 56 | 105 | 35 | |
| A8 | 56 | 42 | 98 | 56 | 140 | 42 | |
| B1 | 56 | 56 | 112 | 56 | 140 | 28 | |
| B2 | 42 | 14 | 56 | 14 | 140 | 84 | |
| B3 | 56 | 42 | 98 | 56 | 140 | 42 | |
| B4 | 35 | 84 | 119 | 105 | 140 | 21 | |
| B5 | 49 | 56 | 105 | 56 | 105 | 0 | KRITIS |
| B6 | 28 | 56 | 84 | 56 | 105 | 21 | |
| B7 | 84 | 42 | 126 | 56 | 140 | 14 | |
| B8 | 35 | 105 | 140 | 105 | 140 | 0 | KRITIS |
| C1 | 14 | 0 | 14 | 0 | 84 | 70 | |
| C2 | 28 | 0 | 28 | 0 | 49 | 21 | |
| C3 | 56 | 28 | 84 | 49 | 140 | 56 | |
| C4 | 56 | 14 | 70 | 84 | 140 | 70 | |
| C5 | 42 | 28 | 70 | 49 | 98 | 28 | |
| C6 | 84 | 28 | 112 | 49 | 140 | 28 | |
| C7 | 70 | 28 | 98 | 49 | 140 | 42 | |
| C8 | 42 | 28 | 70 | 49 | 140 | 70 | |
| C9 | 42 | 70 | 112 | 98 | 140 | 28 | |
| D1 | 91 | 28 | 119 | 49 | 140 | 21 | |
| D2 | 21 | 49 | 70 | 84 | 140 | 70 | |
| D3 | 91 | 28 | 119 | 49 | 140 | 21 | |
| E1 | 49 | 0 | 49 | 0 | 84 | 35 | |
| E2 | 56 | 49 | 105 | 84 | 140 | 35 | |
| E3 | 42 | 49 | 91 | 84 | 140 | 49 | |

Hasil *Crashing* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Tenaga kerja di proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta bekerja mulai dari jam 08.00-12.00 dan dilanjutkan kembali jam 13.00-16.00 (7 jam/hari). Melihat lokasi proyek yang tidak terlalu luas maka penelitian ini menggunakan asumsi penambahan tenaga kerja sebesar 20% dari jumlah tenaga kerja normal. Pada tabel 3 dan tabel 4 merupakan hasil dari proses *crashing* yang dilakukan sampai jenuh, dimana setiap kegiatan kritis sudah dilakukan *crashing* sebelumnya. Untuk alternatif ini proses *crashing* dilakukan sampai 6 kali percobaan yang berarti 41,94% dari pekerjaan proyek telah dipercepat durasinya. Sesuai dengan tabel 3 alternatif ini menghasilkan penambahan tenaga kerja sebanyak 14 orang yang tersebar pada masing-masing pekerjaan yang dilakukan *crashing*.

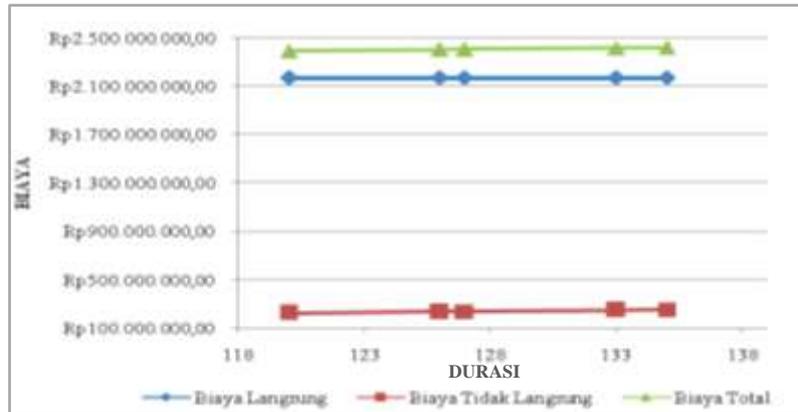
Tabel 3. Total Durasi setelah Mengalami *Crashing* untuk Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

| No. | Kode kegiatan | Produktivitas harian normal | Produktivitas <i>crashing</i> | Jumlah tenaga kerja normal (org) | Jumlah tenaga kerja setelah penambahan 20% (org) | <i>Normal duration</i> (hari) | <i>Crash duration</i> (hari) | Total durasi <i>crashing</i> (hari) |
|-----|---------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | B5 | 4,88 | 5,42 | 9 | 10 | 49 | 44 | 135 |
| 2 | A1 | 0,21 | 0,26 | 10 | 12 | 14 | 12 | 133 |
| 3 | B8 | 9,95 | 12,08 | 14 | 17 | 35 | 29 | 127 |
| 4 | A4 | 4,96 | 6,01 | 19 | 23 | 42 | 35 | 126 |
| 5 | A2 | 5,50 | 6,41 | 6 | 7 | 42 | 36 | 120 |
| 6 | B7 | 43,80 | 53,18 | 14 | 17 | 84 | 69 | 120 |

Sesuai dengan metode *time cost trade off*, untuk mendapatkan biaya dan waktu optimal harus menghitung biaya langsung dan biaya tidak langsung. Dari kedua poin tersebut dijumlahkan sehingga memperoleh total biaya yang diperlukan setelah dilakukan percepatan. Biaya dan waktu optimal ditentukan dengan melihat total biaya yang terendah. Berikut total biaya masing-masing kegiatan yang dipercepat untuk alternatif penambahan tenaga kerja.

Tabel 4. Biaya Total Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

| Kode Kegiatan | Total Durasi | Cost Slope | Biaya Langsung | Biaya Tidak Langsung | Biaya Total |
|---------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| B5 | 135 | Rp. 334.400,00 | Rp. 2.168.772.008,06 | Rp. 250.919.208,93 | Rp. 2.419.691.216,99 |
| A1 | 133 | Rp. 519.000,00 | Rp. 2.168.956.608,06 | Rp. 247.201.887,32 | Rp. 2.416.158.495,38 |
| B8 | 127 | Rp. 652.500,00 | Rp. 2.169.090.108,06 | Rp. 236.049.922,48 | Rp. 2.405.140.030,54 |
| A4 | 126 | Rp. 912.500,00 | Rp. 2.169.350.108,06 | Rp. 234.191.261,67 | Rp. 2.403.541.369,73 |
| A2 | 120 | Rp. 228.000,00 | Rp. 2.168.665.608,06 | Rp. 223.039.296,83 | Rp. 2.391.704.904,89 |
| B7 | 120 | Rp. 621.000,00 | Rp. 2.169.058.608,06 | Rp. 223.039.296,83 | Rp. 2.392.097.904,89 |



Gambar 2. Grafik Hubungan Biaya dan Waktu Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Hasil dari tabel 4 digambarkan menjadi grafik hubungan biaya dan waktu untuk membantu dalam penentuan waktu dan biaya optimal. Gambar 2 dan tabel 4 menunjukkan bahwa hasil dari *crashing* menghasilkan biaya optimal Rp. 2.391.704.904,89 dan waktu optimal 120 hari.

Hasil *Crashing* Alternatif *Shift* Kerja

Dalam alternatif ini digunakan 2 kali *shift* yaitu *shift* pertama dengan durasi kerja antara jam 08.00-16.00, sedangkan *shift* kedua antara jam 16.00-00.00. Tenaga kerja dibagi dari jumlah tenaga kerja yang tersedia sehingga tidak memerlukan penambahan pekerja. Pada tabel 5 dan tabel 6 merupakan hasil dari proses *crashing* yang juga dilakukan sampai jenuh. Berbeda dengan alternatif sebelumnya, pada saat proses *crashing* alternatif *shift* kerja seringkali terbentuk lintasan kritis yang baru. Hal tersebut mengharuskan *crashing* dilakukan sampai 24 kali percobaan yang berarti 77,42% dari pekerjaan proyek telah dipercepat durasinya.

Tabel 5. Total Durasi setelah Mengalami *Crashing* untuk Alternatif *Shift* Kerja

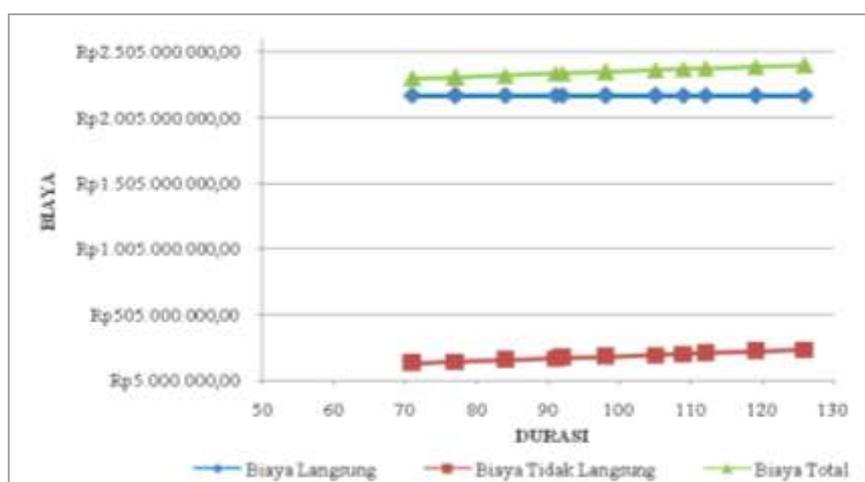
| No. | Kode kegiatan | Produktivitas harian normal | Produktivitas <i>crashing</i> | Jumlah tenaga kerja saat <i>shift</i> (org) | | Normal duration (hari) | Crash duration (hari) | Total durasi <i>crashing</i> (hari) |
|-----|---------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|---------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| | | | | Shift 1 | Shift 2 | | | |
| 1 | B5 | 4,88 | 9,76 | 8 | 8 | 49 | 25 | 126 |
| 2 | A2 | 5,50 | 10,99 | 4 | 3 | 42 | 21 | 119 |
| 3 | D1 | 2,25 | 4,51 | 3 | 3 | 91 | 46 | 119 |
| 4 | C2 | 4,64 | 9,28 | 4 | 3 | 28 | 14 | 119 |
| 5 | A1 | 0,21 | 0,43 | 7 | 5 | 14 | 7 | 112 |
| 6 | B6 | 24,42 | 48,84 | 7 | 5 | 28 | 14 | 109 |
| 7 | B8 | 9,95 | 19,90 | 8 | 8 | 35 | 18 | 105 |
| 8 | D3 | 5,77 | 11,54 | 5 | 5 | 91 | 46 | 105 |
| 9 | E2 | 7,96 | 15,93 | 5 | 5 | 56 | 28 | 105 |
| 10 | B1 | 39,25 | 78,50 | 7 | 6 | 56 | 28 | 105 |
| 11 | B7 | 43,80 | 87,59 | 9 | 7 | 84 | 42 | 98 |
| 12 | C6 | 3,29 | 6,58 | 6 | 6 | 84 | 42 | 98 |
| 13 | C5 | 1,99 | 3,99 | 6 | 4 | 42 | 21 | 98 |
| 14 | A6 | 6,41 | 12,82 | 6 | 5 | 49 | 25 | 98 |
| 15 | B4 | 4,27 | 8,54 | 7 | 7 | 35 | 18 | 92 |
| 16 | A4 | 4,96 | 9,92 | 11 | 10 | 42 | 21 | 91 |
| 17 | E3 | 5,20 | 10,41 | 4 | 4 | 42 | 21 | 84 |
| 18 | C7 | 4,86 | 9,73 | 6 | 6 | 70 | 35 | 84 |

| | | | | | | | | |
|----|----|-------|-------|---|---|----|----|----|
| 19 | A7 | 25,65 | 51,30 | 7 | 5 | 28 | 14 | 77 |
| 20 | C9 | 15,13 | 30,26 | 6 | 4 | 42 | 21 | 77 |
| 21 | A8 | 0,34 | 0,68 | 8 | 6 | 56 | 28 | 77 |
| 22 | A3 | 26,71 | 53,42 | 8 | 7 | 56 | 28 | 77 |
| 23 | E1 | 36,25 | 72,50 | 7 | 7 | 49 | 25 | 77 |
| 24 | B3 | 0,45 | 0,89 | 8 | 7 | 56 | 28 | 71 |

Sama halnya dengan alternatif penambahan tenaga kerja, penentuan biaya dan waktu optimal untuk *shift* kerja juga dilihat dari total biaya terendah. Berikut hasil total biaya pada kegiatan yang sudah dipersingkat durasinya dengan alternatif *shift* kerja.

Tabel 6. Biaya Total Alternatif *Shift* Kerja

| Kode Kegiatan | Total Durasi | Cost Slope | Biaya Langsung | Biaya Tidak Langsung | Biaya Total |
|---------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| B5 | 126 | Rp. 562.500,00 | Rp. 2.169.000.108,06 | Rp. 234.191.261,67 | Rp. 2.403.191.369,73 |
| A2 | 119 | Rp. 309.000,00 | Rp. 2.168.746.608,06 | Rp. 221.180.636,02 | Rp. 2.389.927.244,08 |
| D1 | 119 | Rp. 277.022,22 | Rp. 2.168.714.630,28 | Rp. 221.180.636,02 | Rp. 2.389.895.266,30 |
| C2 | 119 | Rp. 309.000,00 | Rp. 2.168.746.608,06 | Rp. 221.180.636,02 | Rp. 2.389.927.244,08 |
| A1 | 112 | Rp. 567.500,00 | Rp. 2.169.005.108,06 | Rp. 208.170.010,37 | Rp. 2.377.175.118,43 |
| B6 | 109 | Rp. 583.500,00 | Rp. 2.169.021.108,06 | Rp. 202.594.027,95 | Rp. 2.371.615.136,01 |
| B8 | 105 | Rp. 806.294,12 | Rp. 2.169.243.902,18 | Rp. 195.159.384,73 | Rp. 2.364.403.286,90 |
| D3 | 105 | Rp. 489.644,44 | Rp. 2.168.927.252,50 | Rp. 195.159.384,73 | Rp. 2.364.086.637,23 |
| E2 | 105 | Rp. 498.000,00 | Rp. 2.168.935.608,06 | Rp. 195.159.384,73 | Rp. 2.364.094.992,79 |
| B1 | 105 | Rp. 602.500,00 | Rp. 2.169.040.108,06 | Rp. 195.159.384,73 | Rp. 2.364.199.492,79 |
| B7 | 98 | Rp. 772.000,00 | Rp. 2.169.209.608,06 | Rp. 182.148.759,08 | Rp. 2.351.358.367,14 |
| C6 | 98 | Rp. 481.000,00 | Rp. 2.168.918.608,06 | Rp. 182.148.759,08 | Rp. 2.351.067.367,14 |
| C5 | 98 | Rp. 488.500,00 | Rp. 2.168.926.108,06 | Rp. 182.148.759,08 | Rp. 2.351.074.867,14 |
| A6 | 98 | Rp. 562.500,00 | Rp. 2.169.000.108,06 | Rp. 182.148.759,08 | Rp. 2.351.148.867,14 |
| B4 | 92 | Rp. 688.235,29 | Rp. 2.169.125.843,35 | Rp. 170.996.794,24 | Rp. 2.340.122.637,59 |
| A4 | 91 | Rp. 990.500,00 | Rp. 2.169.428.108,06 | Rp. 169.138.133,43 | Rp. 2.338.566.241,49 |
| E3 | 84 | Rp. 403.000,00 | Rp. 2.168.840.608,06 | Rp. 156.127.507,78 | Rp. 2.324.968.115,84 |
| C7 | 84 | Rp. 578.000,00 | Rp. 2.169.015.608,06 | Rp. 156.127.507,78 | Rp. 2.325.143.115,84 |
| A7 | 77 | Rp. 583.500,00 | Rp. 2.169.021.108,06 | Rp. 143.116.882,13 | Rp. 2.312.137.990,19 |
| C9 | 77 | Rp. 488.500,00 | Rp. 2.168.926.108,06 | Rp. 143.116.882,13 | Rp. 2.312.042.990,19 |
| A8 | 77 | Rp. 685.500,00 | Rp. 2.169.123.108,06 | Rp. 143.116.882,13 | Rp. 2.312.239.990,19 |
| A3 | 77 | Rp. 697.500,00 | Rp. 2.169.135.108,06 | Rp. 143.116.882,13 | Rp. 2.312.251.990,19 |
| E1 | 77 | Rp. 720.833,33 | Rp. 2.169.158.441,39 | Rp. 143.116.882,13 | Rp. 2.312.275.323,53 |
| B3 | 71 | Rp. 723.500,00 | Rp. 2.169.161.108,06 | Rp. 131.964.917,29 | Rp. 2.301.126.025,35 |



Gambar 3. Grafik Hubungan Biaya dan Waktu Alternatif *Shift* Kerja

Gambar 3 dan tabel 6 menunjukkan bahwa hasil dari *crashing* menghasilkan biaya optimal Rp. 2.301.126.025,35 dan waktu optimal 71 hari.

Analisis Hasil *Crashing*

Biaya langsung yang didapatkan setelah *crashing* mengalami perubahan yang tidak menentu seperti yang terlihat pada tabel. Hal tersebut disebabkan karena pada saat proses *crashing* ditemukan banyak lintasan kritis baru, sehingga mempengaruhi pemilihan *cost slope* terendah dan mengakibatkan biaya langsung menjadi tidak konstan. Sedangkan biaya tidak langsung setelah *crashing* menghasilkan jumlah biaya yang berbanding lurus dengan pengurangan durasi proyek. Semakin cepat durasi proyek maka semakin sedikit biaya tidak langsung yang akan dikeluarkan. Besarnya biaya total tergantung dari jumlah biaya langsung dan biaya tidak langsung, dimana biaya total menunjukkan jumlah biaya yang dibutuhkan untuk proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta. Seperti yang diketahui bahwa biaya langsung mengalami perubahan yang tidak konstan maka begitu juga dengan biaya total. Metode *TCTO* pada penelitian ini menunjukkan bahwa munculnya lintasan kritis baru dalam proses *crashing* mempengaruhi *cost slope*, biaya langsung dan juga biaya total. Percepatan proyek pada penelitian ini menghasilkan 6 kali *crashing* untuk alternatif penambahan tenaga kerja dan 24 kali untuk *shift* kerja. Hasil dari proses *crashing* menunjukkan bahwa alternatif *shift* kerja menghasilkan durasi total yang lebih sedikit dibandingkan dengan alternatif penambahan tenaga kerja. Hal tersebut dikarenakan *shift* kerja mempunyai produktivitas yg lebih besar sehingga proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta diharapkan akan selesai lebih cepat dari rencana sebelumnya.

Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Optimal

Sesuai dengan perencanaan awal proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Kota Surakarta membutuhkan waktu 140 hari dengan biaya total Rp. 2.428.650.121,03, dengan biaya langsung Rp. 2.168.437.608,06 dan biaya tidak langsung sebesar Rp. 260.212.512,97. Setelah menghitung *crashing* dengan dua alternatif didapatkan durasi yang lebih singkat dan biaya yang lebih terjangkau dari sebelumnya. Berdasarkan perhitungan dan analisis dengan metode *TCTO*, alternatif *shift* kerja memiliki waktu selesai proyek yang lebih cepat dan biaya proyek lebih yang rendah dibandingkan dengan alternatif penambahan tenaga kerja, seperti yang terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Biaya dan Waktu Optimal

| Kegiatan | Waktu (hari) | Biaya |
|------------------------------------|--------------|----------------------|
| Normal | 140 | Rp. 2.428.650.121,03 |
| Alternatif penambahan tenaga kerja | 120 | Rp. 2.391.704.904,89 |
| Alternatif <i>shift</i> kerja | 71 | Rp. 2.301.126.025,35 |

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan alternatif penambahan tenaga kerja yang telah mengalami *crashing* sebanyak 6 kali mempunyai biaya optimal Rp. 2.391.704.904,89 dan waktu optimal 120 hari. Sedangkan alternatif *shift* kerja menghasilkan waktu optimal 71 hari dan biaya optimal Rp. 2.301.126.025,35 dengan proses *crashing* mencapai 24 kali *crashing*. Dari kedua kondisi optimum tersebut, biaya dan waktu yang paling optimal yang sebaiknya dipilih untuk proyek Pembangunan Kelurahan Ketelan Surakarta yaitu menggunakan percepatan dengan alternatif *shift* kerja yang produktivitasnya dua kali lipat dari produktivitas normal.
2. Perencanaan Pembangunan Proyek Kelurahan Ketelan Surakarta memiliki waktu normal pengerjaan selama 140 hari dengan biaya total Rp. 2.428.650.121,03. Setelah dilakukan percepatan dengan metode *time cost trade off*, waktu dan biaya proyek mengalami penurunan. Percepatan yang dilakukan menggunakan dua alternatif tersebut dilakukan hingga mencapai lintasan kritis jenuh. Alternatif yang pertama yaitu penambahan tenaga kerja menghasilkan biaya total akhir Rp. 2.391.704.904,89 dengan waktu selesai proyek 120 hari. Dibandingkan dengan kondisi normalnya, alternatif tersebut lebih menghemat waktu selama 20 hari dengan selisih biaya Rp. 36.945.216,14. Sedangkan untuk alternatif *shift* kerja mempunyai selisih waktu 69 hari dengan menghemat biaya sebesar Rp. 127.524.095,68.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Widi Hartono, ST, MT dan Ir. Sugiyarto, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Badri, Sofwan. 1997. *Dasar-Dasar Network Planning*. Rineka Cipta : Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. *Manajemen Proyek & Konstruksi*. Kanisius : Yogyakarta.
- Dwi Susanto, Hardian. 2011. *Studi Optimasi Biaya dan Waktu dengan Time Cost Trade Off pada Proyek Gedung Ciputra World*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Frederika, Ariany. 2010. *Analisis Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 14 No. 2.
- Iqbal, Muhammad. 2012. *Analisis Perbandingan Percepatan Pelaksanaan Pekerjaan Antara Penambahan Tenaga Kerja dengan Penambahan Jam Kerja pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bupati Kab. Pringsewu Tahap-II*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Luthan dan Syafriandi. 2006. *Aplikasi Microsoft Project untuk Penjadwalan Kerja Proyek Teknik Sipil*. CV. Andi Offset : Yogyakarta.
- Sani, Iktiva dan Septiropa, Zamzami. 2014. *Analisa Biaya dan Waktu dengan Menggunakan Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Hotel Aston Paramount Malang*. Jurnal Media Teknik Sipil Vol. 12 No. 1.
- Soeharto, Iman. 1995. *Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional*. Erlangga : Jakarta.
- Somantri, Agus. 2005. *Studi tentang Perencanaan Waktu dan Biaya Proyek Penambahan Ruang Kelas di Politeknik Manufaktur pada PT. Haryang Kuning*. Skripsi. Universitas Widyatama.
- Tjaturono. 2004. *Evaluasi Produktifitas Tenaga Kerja Berdasarkan Delapan Faktor Internal Dibandingkan dengan Standar BOW 1921 dan SNI 2001 pada Pembangunan Rumah Menengah di Jawa Timur*. Jakarta : Universitas Tarumanegara. Jurnal Teknik Sipil Vol. 10 No. 1.