

**ANALISIS *NETWORK PLANNING* PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN  
OLEH CV. X MENGGUNAKAN METODE *PROGRAM EVALUATION  
REVIEW TECHNIQUE (PERT)*- *CRITICAL PATH METHOD (CPM)* DAN  
METODE *CRASHING***

**SKRIPSI**



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh  
**LULITASARI PUTRI ANENDA**  
**H72216057**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2020**

**ANALISIS *NETWORK PLANNING* PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN  
OLEH CV. X MENGGUNAKAN METODE *PROGRAM EVALUATION  
REVIEW TECHNIQUE (PERT)*- *CRITICAL PATH METHOD (CPM)* DAN  
METODE *CRASHING***

**SKRIPSI**

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika (S.Mat) pada Program Studi Matematika



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

Disusun oleh  
**LULITASARI PUTRI ANENDA**  
**H72216057**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2020**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : LULITASARI PUTRI ANENDA

NIM : H72216057

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul ” *ANALISIS NETWORK PLANNING PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN OLEH CV. X MENGGUNAKAN METODE PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE (PERT)- CRITICAL PATH METHOD (CPM) DAN METODE CRASHING* ”. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 12 Maret 2020

Yang menyatakan,

  
LULITASARI PUTRI ANENDA  
NIM. H72216057

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : LULITASARI PUTRI ANENDA

NIM : H72216057

Judul Skripsi : ANALISIS *NETWORK PLANNING* PADA PROYEK  
KONSTRUKSI JALAN OLEH CV. X MENGGUNAKAN  
METODE *PROGRAM EVALUATION REVIEW*  
*TECHNIQUE* (PERT)- *CRITICAL PATH METHOD*  
(CPM) DAN METODE *CRASHING*

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 12 Maret 2020

Pembimbing



Yuniar Farida, M.T  
NIP. 197905272014032002

## PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

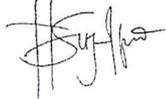
Skripsi oleh

Nama : LULITASARI PUTRI ANENDA  
NIM : H72216057  
Judul Skripsi : ANALISIS *NETWORK PLANNING* PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN OLEH CV. X MENGGUNAKAN METODE *PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE (PERT)- CRITICAL PATH METHOD (CPM)* DAN METODE *CRASHING*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 30 April 2020

Mengesahkan,  
Tim Penguji

Penguji I



Yuniar Farida, M.T  
NIP. 197905272014032002

Penguji II



Nurissalah Ulinnuha, M.Kom  
NIP. 19901102014032004

Penguji III



Dian Candra Rini Novitasari, M.Kom  
NIP. 198511232014032001

Penguji IV



Wika Dianita Utami, M.Sc  
NIP. 199206202018012003

Mengetahui,  
Plt. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Evi Fatimatur Rusydiah, M.Ag  
NIP. 197312272005012003



**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA**  
**PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

---

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Lulitasari Putri Anenda  
NIM : H72216057  
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika  
E-mail address : lulitasari putri@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi     Tesis     Desertasi     Lain-lain (.....)  
yang berjudul :

ANALISIS NETWORK PLANNING PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN OLEH  
CV. X MENGGUNAKAN METODE PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE  
(PERT)- CRITICAL PATH METHOD (CPM) DAN METODE CRASHING

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 Juli 2020

Penulis

( Lulitasari Putri Anenda )

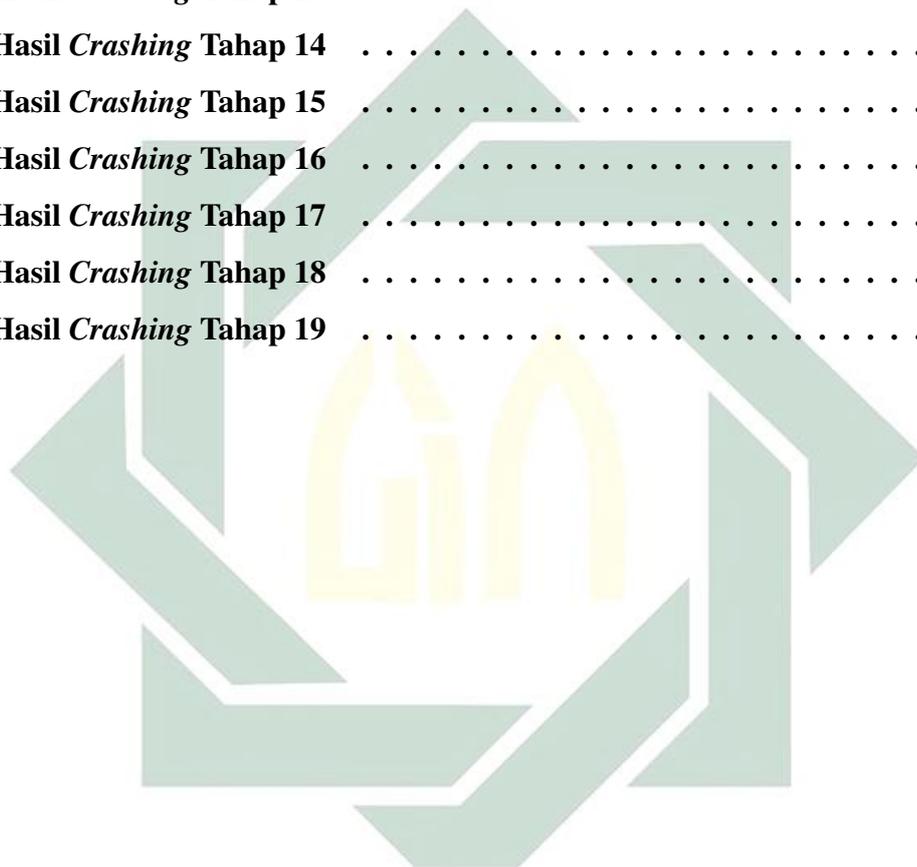






2.7. Metode <i>Crashing</i> . . . . .	38
<b>III METODE PENELITIAN</b> . . . . .	<b>50</b>
3.1. Jenis Penelitian . . . . .	50
3.2. Jenis dan Sumber Data . . . . .	50
3.3. Rancangan Penelitian . . . . .	56
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> . . . . .	<b>62</b>
4.1. Menentukan Estimasi Ketidakpastian Menggunakan Metode <i>Program Evaluation Review Technique</i> (PERT) . . . . .	62
4.2. Menyusun Jaringan Kerja Menggunakan Metode <i>Critical Path Method</i> (CPM) . . . . .	65
4.3. Menentukan Probabilitas Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode PERT-CPM . . . . .	73
4.4. Menentukan Percepatan Durasi Kerja dan Biaya Menggunakan Metode <i>Crashing</i> . . . . .	78
4.4.1. Menghitung Nilai <i>Crash Duration</i> , <i>Crash Cost</i> , dan <i>Cost Slope</i> . . . . .	79
4.4.2. Menentukan Aktivitas yang Dipercepat Menggunakan Metode <i>Crashing</i> . . . . .	84
4.4.3. Menghitung <i>Time Cost Trade Off</i> . . . . .	87
<b>V PENUTUP</b> . . . . .	<b>94</b>
5.1. Simpulan . . . . .	94
5.2. Saran . . . . .	95
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> . . . . .	<b>97</b>
<b>A Wawancara</b> . . . . .	<b>104</b>
<b>B Rencana Anggaran Biaya (RAB)</b> . . . . .	<b>107</b>
<b>C Hasil <i>Crashing</i> Tahap 2</b> . . . . .	<b>109</b>
<b>D Hasil <i>Crashing</i> Tahap 3</b> . . . . .	<b>110</b>
<b>E Hasil <i>Crashing</i> Tahap 4</b> . . . . .	<b>111</b>
<b>F Hasil <i>Crashing</i> Tahap 5</b> . . . . .	<b>112</b>
<b>G Hasil <i>Crashing</i> Tahap 6</b> . . . . .	<b>113</b>
<b>H Hasil <i>Crashing</i> Tahap 7</b> . . . . .	<b>114</b>

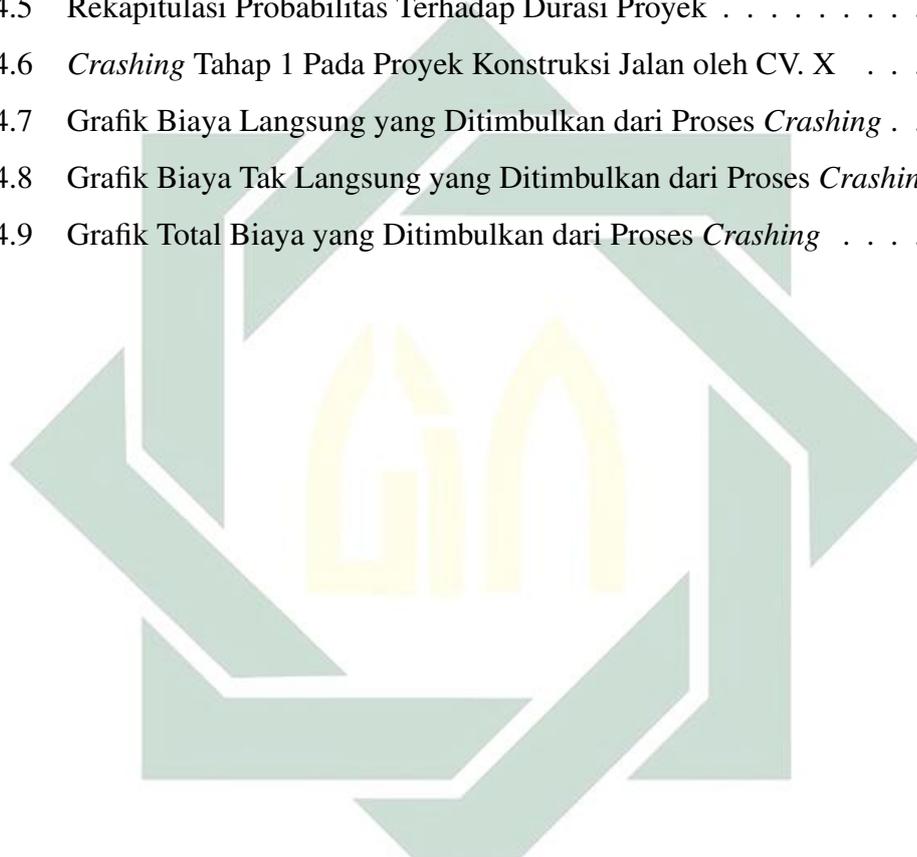
<b>I Hasil <i>Crashing</i> Tahap 8</b> . . . . .	<b>115</b>
<b>J Hasil <i>Crashing</i> Tahap 9</b> . . . . .	<b>116</b>
<b>K Hasil <i>Crashing</i> Tahap 10</b> . . . . .	<b>117</b>
<b>L Hasil <i>Crashing</i> Tahap 11</b> . . . . .	<b>118</b>
<b>M Hasil <i>Crashing</i> Tahap 12</b> . . . . .	<b>119</b>
<b>N Hasil <i>Crashing</i> Tahap 13</b> . . . . .	<b>120</b>
<b>O Hasil <i>Crashing</i> Tahap 14</b> . . . . .	<b>121</b>
<b>P Hasil <i>Crashing</i> Tahap 15</b> . . . . .	<b>122</b>
<b>Q Hasil <i>Crashing</i> Tahap 16</b> . . . . .	<b>123</b>
<b>R Hasil <i>Crashing</i> Tahap 17</b> . . . . .	<b>124</b>
<b>S Hasil <i>Crashing</i> Tahap 18</b> . . . . .	<b>125</b>
<b>T Hasil <i>Crashing</i> Tahap 19</b> . . . . .	<b>126</b>







3.2	Diagram Alir <i>Crashing</i> . . . . .	60
4.1	<i>Network Planning</i> Pada Proyek Konstruksi Jalan Oleh CV. X . . . . .	67
4.2	Hasil <i>Network Planning</i> Menggunakan Metode CPM . . . . .	72
4.3	Kurva Distribusi Probabilitas Proyek Selama 114 Hari . . . . .	75
4.4	Kurva Distribusi Probabilitas Proyek Dengan Durasi 124 Hari . . . . .	77
4.5	Rekapitulasi Probabilitas Terhadap Durasi Proyek . . . . .	78
4.6	<i>Crashing</i> Tahap 1 Pada Proyek Konstruksi Jalan oleh CV. X . . . . .	86
4.7	Grafik Biaya Langsung yang Ditimbulkan dari Proses <i>Crashing</i> . . . . .	90
4.8	Grafik Biaya Tak Langsung yang Ditimbulkan dari Proses <i>Crashing</i> . . . . .	90
4.9	Grafik Total Biaya yang Ditimbulkan dari Proses <i>Crashing</i> . . . . .	91





pembangunan daerah tertinggal, pengembangan kawasan perbatasan, dan investasi pariwisata. Kemudian, dapat dikatakan bahwa industri konstruksi saat ini sedang diperlukan dan diharapkan mampu mewujudkan cita-cita Indonesia sebagai negara yang sejahtera (Bappenas, 2014).

Proyek adalah gabungan dari berbagai aktivitas yang saling berkaitan dan harus dilakukan dengan mengikuti alur kegiatan sampai tujuan tersebut tercapai. Setiap proyek memiliki tenggang waktu aktivitas, dimana proyek tersebut harus diselesaikan sebelum atau sesuai dengan durasi yang telah ditetapkan. Proyek memiliki sifat unik, yaitu antara proyek satu dengan yang lain tidak akan sama persis, sehingga setiap hasil dari proyek tersebut memiliki ciri-ciri yang berbeda. Berdasarkan aktivitasnya, proyek terbagi menjadi beberapa jenis, salah satunya yaitu proyek konstruksi (Rizal, 2017).

Proyek konstruksi merupakan aktivitas mendirikan suatu bangunan dalam jangka waktu tertentu dengan memanfaatkan sumber daya yang ada. Proyek konstruksi melibatkan berbagai aktivitas yang kompleks dan menghabiskan sumber daya untuk mencapai tujuan tertentu. Proyek konstruksi dapat dijadikan sebagai suatu investasi dari segi kegunaan, ukuran, lokasi, dan harapan untuk menjadikan bangunan tersebut memiliki manfaat di masa yang akan datang. Proyek konstruksi tersebut antara lain dapat berupa konstruksi jalan, jembatan, gedung, bendungan, dan lain-lain (Jha, 2011).

Suatu proyek konstruksi memanfaatkan banyak sumber daya dalam memenuhi kebutuhannya. Hal ini membuat proyek konstruksi membutuhkan perhatian lebih dalam hal melakukan suatu pengelolaan agar sumber daya tersebut tidak disia-siakan. Proyek konstruksi membutuhkan suatu keterampilan dalam melakukan manajemen waktu dan meningkatkan standar kualitas. Selain itu

terdapat beberapa komponen penting yang harus diperhatikan, diantaranya adalah penilaian keuangan, perekrutan dan pelatihan staf, asuransi, pengaturan mobilisasi, dan lain-lain, sehingga semua komponen tersebut harus dikelola dengan baik (Woodward, 1997).

Austen dan Neale mengatakan bahwa pengelolaan sebuah proyek sangatlah sulit sehingga semakin besar skala proyeknya, maka aktivitasnya akan semakin rumit (Austen, 1995). Penyebab dari kegagalan suatu proyek adalah kurang efektifnya perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian sehingga aktivitas pada proyek konstruksi tidak efisien serta mengakibatkan mutu dari pekerjaan tersebut menurun, anggaran biaya yang melebihi rencana, dan waktu yang melebihi jadwal normal. Keterlambatan kerja menjadi permasalahan yang sering terjadi pada pihak pelaksana proyek. Keterlambatan tersebut dapat diakibatkan oleh faktor cuaca, perubahan kondisi pada lokasi kerja, terlambatnya *supply* material, dan lain-lain (Tamba, 2018).

CV. X merupakan sebuah perusahaan jasa yang menangani proyek konstruksi dibidang pembangunan, pengembangan, dan pelaksanaan proyek. Salah satu proyek konstruksi yang dikerjakan oleh CV. X adalah pembangunan jalan. Saat melakukan proyek konstruksi, CV. X mengalami permasalahan pada penjadwalan sehingga berakibat pada membengkaknya biaya yang dikeluarkan. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa aktivitas kerja yang tidak direncanakan secara *detail*. Dari proyek konstruksi jalan ini, CV. X harus mengeluarkan biaya tambahan untuk pembayaran denda dan aktivitas tambahan yang disebabkan oleh waktu yang tidak sesuai dengan ketetapan awal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, CV. X membutuhkan suatu pengelolaan kerja proyek yang bertujuan untuk memprediksi masalah, merencanakan, menjadwalkan, dan mengawasi



Artinya: Demi Masa. Sungguh, manusia berada dalam kerugian. Kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebaikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran.

Q.S. Al-Asr ayat 1-3 tersebut bermakna bahwa manusia seharusnya mampu mengoptimalkan waktu dengan melakukan kebaikan seperti beribadah kepada Allah SWT. Hubungan ayat tersebut dengan penelitian ini adalah pelaksana proyek sudah seharusnya mampu memanfaatkan dan mengoptimalkan waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan proyek dengan tepat. Ayat ini bermakna bahwa manajemen waktu dibutuhkan untuk menambah sikap kedisiplinan dan tidak semata-mata menjadikan waktu senggang sebagai cara untuk lalai terhadap pekerjaan.

Perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian merupakan aspek penting dalam melakukan suatu aktivitas kerja pada proyek. Aspek tersebut lebih dikenal dengan *Network Planning*. *Network Planning* adalah hubungan antar aktivitas proyek yang ditunjukkan dalam bentuk aliran kerja. Melalui aliran kerja tersebut, didapatkan suatu informasi mengenai aktivitas yang akan dikerjakan agar lebih mudah dipahami (Anggraeni, 2017). Perencanaan diperlukan sebagai acuan dalam melakukan aktivitas kerja sehingga proyek dapat terlaksana dengan baik. Penjadwalan juga diperlukan untuk mengetahui aktivitas mana yang harus dilakukan terlebih dahulu sehingga dapat memudahkan dalam melakukan aktivitas kerja secara struktural dan tepat waktu (Lee, 2006). Kemudian aspek pengendalian berguna untuk mengawasi segala bentuk penyimpangan kerja agar menghindari keterlambatan.

Salah satu metode yang digunakan untuk mendesain *Network Planning* adalah metode *Critical Path Method* (CPM). Metode CPM merupakan metode

yang digunakan untuk merencanakan, menjadwalkan, dan mengendalikan aktivitas proyek yang bersifat deterministik atau waktu tunggal (Syaihu, 2016). Metode ini menggunakan jalur kritis sebagai cara untuk menjadwalkan aktivitas yang memiliki keterkaitan antara satu sama lain. Jalur kritis ini berguna untuk mengetahui aktivitas yang berpengaruh dalam kecepatan atau kelambatan pada suatu proyek. Jalur kritis dimulai dari aktivitas awal sampai dengan aktivitas akhir pada suatu proyek (Soeharto, 1999).

Joe Daniel Hutagaol dan teman-teman menganalisis perbandingan metode *Critical Path Method* (CPM), metode *Line of Balance* (LoB) dan metode *Precedence Diagram Method* (PDM) terhadap proyek repetitif. Hasilnya didapatkan bahwa metode CPM merupakan metode yang menggambarkan secara jelas hubungan antar aktivitas serta jalur kritisnya daripada metode LoB. Untuk metode PDM sendiri lebih cocok digunakan pada proyek yang mengalami hubungan *overlapping* (tumpang tindih) dan berulang, sedangkan kasus pada kasus CV. X ini tidak memerlukan pekerjaan yang harus dilakukan secara berulang sehingga lebih baik menggunakan metode CPM (Hutagaol, dkk, 2013). Rian Aprilyanti dan teman-teman menunjukkan bahwa metode CPM memiliki durasi yang lebih pendek dari metode PDM, sehingga dihasilkan durasi sebesar 22 hari lebih cepat dari durasi rencana proyek (Aprilyanti, dkk, 2018). Penelitian lain yang menggunakan metode CPM antara lain efisiensi waktu produksi batik (Dipohusodo, 1996), menganalisis jaringan kerja dan sumber daya pada proyek dermaga Semampir (Nurwahidin, 2016), dan penjadwalan proyek dalam membangun pabrik biogas untuk sumber energi alternatif (Zareei, 2017).

Kondisi di lapangan seringkali menunjukkan durasi penyelesaian yang beragam sehingga waktu penyelesaiannya pun tidak akan bisa dipastikan, maka

dari itu pelaksana proyek memerlukan suatu metode dalam meningkatkan ketepatan estimasi penyelesaian kerja. Salah satu metode yang dianjurkan adalah metode *Program Evaluation Review Technique* (PERT). Metode PERT merupakan salah satu desain dari *Network Planning* yang menggunakan kemungkinan (probabilitas) untuk menyelesaikan suatu proyek. Metode ini lebih memfokuskan pada nilai ketidakpastian dalam memperkirakan sumber daya dalam menyelesaikan proyek. Nilai ketidakpastian tersebut digambarkan dengan nilai estimasi dari waktu optimis, waktu yang paling mungkin terjadi, dan waktu pesimis. Metode ini berguna untuk mengurangi terjadinya penundaan kerja, gangguan pada produksi, dan melakukan pengendalian secara menyeluruh untuk mempercepat selesainya proyek (Oka, 2017).

Naura Vizkia dan teman-teman melakukan penelitian dengan membandingkan metode PERT dan *Fuzzy Logic Application for Scheduling* (FLASH) Pada Penjadwalan Proses Fabrikasi Boiler. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode PERT dan FLASH menggunakan rentang (interval) waktu yang didapatkan bahwa PERT memberikan selisih waktu penyelesaian aktual paling kecil sehingga memberikan hasil yang lebih optimal daripada FLASH. Selain itu FLASH menunjukkan suatu keputusan yang bersifat subjektif sedangkan PERT bersifat objektif berdasarkan kejadian bernilai benar, sehingga lebih disarankan menggunakan metode PERT (Vizkia, dkk, 2015). Nsikan Paul Akpan dan teman-teman juga mengatakan bahwa metode PERT dapat membuat proyek dapat diselesaikan dengan waktu yang singkat serta memiliki probabilitas yang tinggi dalam menyelesaikan proyek (Akpan, dkk, 2020).

Metode CPM dan PERT memiliki kesamaan yaitu digunakan untuk melakukan perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian. Dari kesamaan tersebut,

metode CPM dan PERT juga memiliki perbedaan. Perbedaan tersebut berada pada segi waktu, dimana metode CPM bersifat deterministik yaitu menggunakan waktu secara pasti sedangkan metode PERT bersifat probabilistik, yaitu menggunakan waktu yang tidak pasti. Pada dasarnya, kedua metode tersebut dapat digunakan sebagai tolak ukur risiko apabila dilihat dari segi waktu aktivitasnya. Seringkali kedua metode tersebut digabungkan untuk menyusun jadwal aktivitas serta mengatur waktu penyelesaian yang diinginkan (dipercepat atau diperlambat) (Caesaron, 2015).

Muhammad Kholil dan teman-teman melakukan penelitian dengan menggabungkan 2 metode, yaitu metode PERT dan CPM. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kedua metode tersebut dalam penjadwalan proyek pembangunan rumah memberikan pengaruh yang signifikan. Metode CPM mampu menyelesaikan proyek sebesar 131 hari dan berdasarkan perhitungan PERT didapat probabilitas sebesar 74,54% yang berarti memiliki kemungkinan penyelesaian proyek yang cukup tinggi. Penggunaan kedua metode ini membuat perusahaan menghemat waktu sebesar 42 hari (Kholil, dkk, 2018). Penelitian lain yang menggunakan metode ini antara lain Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Perumahan Citraland (Wardani, dkk, 2018) dan perencanaan dan pengelolaan bisnis proyek (Salvatori, dkk, 2019) menunjukkan bahwa perpaduan antara CPM yang bersifat deterministik atau hanya mengacu pada pengalaman sendiri disederhanakan dengan pendekatan probabilistik (PERT) agar akurat.

Selain permasalahan perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian dengan menggunakan metode CPM dan PERT, masalah lain yang dihadapi dalam sebuah proyek adalah permasalahan biaya. Biaya adalah salah satu sumber daya yang

dikeluarkan untuk mendapatkan mencapai sebuah tujuan. Biaya proyek adalah biaya yang digunakan selama aktivitas proyek berlangsung, sehingga memerlukan prediksi biaya yang dikeluarkan dan penekanan seminimum mungkin dengan memperhatikan mutu kerja agar tidak mengalami kerugian. Dalam hal ini, metode *Crashing* dapat mengatasi permasalahan pada durasi kerja dan pengeluaran biaya (Ningrum, 2017).

Metode yang dapat dilakukan dalam mengatasi permasalahan biaya adalah metode *Crashing*. Metode *Crashing* adalah proses yang digunakan untuk mengurangi waktu aktivitas dengan merencanakan alternatif lainnya dengan bantuan jaringan kerja. Tujuan dilakukan metode *Crashing* adalah agar dapat mengoptimalkan waktu dan biaya pada proyek. Metode ini membandingkan waktu, biaya, dan sumber daya pada saat sebelum dan sesudah *Crashing* (Khoiroh, 2018). Akibat dari pengurangan durasi adalah menambah pengeluaran biaya. Hal ini diakibatkan oleh banyaknya aktivitas yang dikurangi waktunya sehingga terjadi penambahan biaya pada aktivitas tersebut. Tetapi jika dibandingkan dengan biaya langsung yang dikeluarkan akibat keterlambatan, proses tersebut merupakan solusi untuk meminimalkan pengeluaran (Priyo, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Yohanes Stefanus dan teman-tema adalah mengenai perbandingan waktu penyelesaian proyek menggunakan metode *Fast Track* dan *Crashing*. Penelitian ini menunjukkan bahwa kedua metode tersebut memiliki waktu penyelesaian proyek sebesar 233 hari, tetapi untuk metode *Fast Track* didapat biaya yang lebih kecil dari metode *Crashing*. Meskipun dari segi biaya metode *Crashing* lebih mahal, namun resiko yang ditimbulkan lebih kecil. Resiko tersebut meliputi penyediaan sumber daya yang cukup dan pengawasan berlebih, sehingga metode *Crashing* dipilih apabila terdapat faktor kendala dari



















pengembangan terhadap suatu kajian tertentu. Contoh kegiatan dari proyek ini, yaitu melakukan penelitian terhadap suatu metode tertentu, dan lain-lain.

## 5. Proyek Kapital

Proyek kapital biasa digunakan dalam suatu badan usaha atau pemerintah. Contoh kegiatan dari proyek ini, yaitu pembebasan lahan, konstruksi pembangunan fasilitas, dan lain-lain.

### 2.2. Proyek Konstruksi

Konstruksi dapat diartikan sebagai susunan komponen suatu bangunan yang setiap bagiannya memiliki kegunaan masing-masing (Rani, 2016). Proyek konstruksi merupakan suatu aktivitas yang dilakukan dalam jangka waktu dan sumber daya tertentu yang memiliki tujuan untuk menghasilkan suatu produk yang terjamin mutunya.

Proyek konstruksi merupakan sebuah bangunan yang memiliki kaitan dengan fasilitas mencakup pekerjaan sipil, elektrika, mekanika, dan arsitektur. Proyek konstruksi tidak semata hanya membangun berupa fisik tetapi juga melakukan pembangunan terhadap sistem. Antara bangunan satu dengan yang lain tentu memiliki perbedaan bentuk, hal ini dikarenakan pada tahap awal perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek pasti memiliki rencana masing-masing. Jenis bangunan bisa sama, tetapi yang membedakan adalah dari segi panjang bangunan, tinggi bangunan, luas bangunan, dimensi pembentuk, bentuk bangunan, fungsi bangunan, tempat dilakukannya suatu proyek, bahan material pembentuk, waktu pelaksanaan, kisaran biaya, dan lain-lain (Suresh, 2015).

Saat melakukan pembangunan, proyek konstruksi mengikutsertakan sumber daya sebagai komponen pendukungnya. Sumber daya yang dimaksud



### **2.3. Jaringan Kerja atau *Network Planning***

Pengertian dari jaringan kerja adalah sesuatu yang digunakan untuk melakukan perencanaan, penjadwalan, dan pengawasan dari suatu kegiatan konstruksi. Dalam suatu analisis jaringan kerja, dibutuhkan beberapa sistem kontrol dalam melakukannya, diantaranya adalah kegiatan tunggal, kegiatan gabungan, kegiatan paralel, dan jalur kritis. Jaringan kerja merupakan gambaran dari suatu aliran dan urutan pada setiap kegiatan kerja sehingga tiap individu kerja proyek dapat lebih mudah memahami (Husein, 2018).

Pelaksana proyek ingin mendapatkan metode yang berguna untuk meningkatkan kualitas perencanaan dan pengendalian dalam menghadapi jumlah aktivitas yang kompleks. Kemudian ditemukan suatu metode jaringan kerja yang berfungsi untuk menyajikan perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian secara sistematis (Andhika, 2017). Perencanaan berguna sebagai pedoman dalam pelaksanaan konstruksi. Perencanaan berfungsi untuk menentukan bagaimana suatu aktivitas akan dikerjakan dengan berbagai jenis teknologi dan metode konstruksi sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Penjadwalan berfungsi untuk memaparkan rencana aktivitas secara logis dan runtut sehingga dapat lebih mudah dipahami dan dikoordinasikan. Bagian dari pengendalian adalah mengawasi jalannya aktivitas proyek serta memperhatikan mutu untuk menjamin tercapainya standar spesifikasi yang telah ditentukan (Dipohusodo, 1996).

Jaringan kerja pada dasarnya merupakan hubungan antar aktivitas yang diilustrasikan dalam diagram kerja. Dengan disusunnya jaringan kerja ini, pelaksana proyek dapat mengetahui aktivitas yang harus dilakukan terlebih dahulu, aktivitas yang dapat ditunda, dan aktivitas mana yang peralatannya dapat digunakan untuk aktivitas lain. Hal ini dapat menjadi acuan dalam melakukan











Hamilton pada tahun 1958 yang digunakan untuk melakukan perencanaan dan pengendalian proyek. Metode ini dikatakan sukses, dikarenakan mampu menyelesaikan proyek lebih cepat dari jadwal yang telah direncanakan. Adapun manfaat dari pengaplikasian metode PERT adalah sebagai berikut (Badri, 1997):

1. Dapat mengetahui hubungan antar aktivitas pada suatu proyek.
2. Dapat mengetahui waktu pelaksanaan alternatif apabila terjadi permasalahan berupa keterlambatan kerja.
3. Dapat mengetahui kemungkinan yang dapat dilakukan untuk membantu kelancaraan aktivitas proyek.
4. Dapat mengetahui durasi waktu penyelesaian proyek.

PERT memiliki sifat probabilistik, yaitu probabilitas yang diharapkan dari menyelesaikan suatu proyek dengan menggunakan pendekatan statistik (distribusi normal atau  $Z$ ). Probabilitas tersebut digambarkan dengan tiga estimasi pada metode PERT untuk setiap aktivitas proyek yang berfungsi untuk memberikan tenggang waktu dari durasi proyek yang telah ditetapkan. Tiga estimasi tersebut antara lain (Husein, 2018):

1. *Optimistic Duration Time* atau Waktu Optimis

Estimasi ini mengasumsikan bahwa suatu aktivitas kerja dapat berjalan sesuai dengan yang direncanakan. Waktu ini merupakan waktu tercepat dari suatu proyek untuk menyelesaikan pekerjaannya. Notasi yang sering digunakan pada waktu ini adalah  $a$  atau  $t_a$ .

2. *Most Likely Time* atau Waktu Realistis

Estimasi ini mengasumsikan bahwa aktivitas proyek dilakukan secara























kepala daerah mengatakan kepada masyarakat bahwa dapat membangun suatu gedung dalam 6 bulan, tetapi pada kenyataannya gedung tersebut dapat dibangun dalam 1 tahun. Kepala daerah tersebut tidak memperhitungkan adanya hambatan yang harus dilalui sebuah proyek. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengurangan durasi proyek agar kepala daerah tersebut dapat memenuhi janjinya. Selain dari penyebab tersebut, terdapat alasan lain yaitu adanya persaingan kerja yang tinggi, pemberian *reward* bagi pelaksana yang mampu menyelesaikan proyek lebih cepat dari rencana, faktor cuaca, kesalahan perencanaan awal, serta gangguan pada mesin (Nurhayati, 2010).

Metode *Crashing* merupakan suatu proses dalam mengurangi waktu penyelesaian proyek yang dilakukan secara sengaja, tersusun, dan bersifat logis dari seluruh aktivitas proyek. Metode *crashing* ini berfungsi untuk mengoptimalkan waktu kerja tetapi dengan biaya yang efisien. Dalam melakukan *Crashing*, pihak pelaksana proyek tentu akan mengalami kondisi *Time Cost Trade Off* atau pengurangan durasi kerja dengan penambahan biaya yang efisien. Metode *crashing* difokuskan untuk mereduksi durasi aktivitas di jalur kritis. Jalur kritis memiliki pengaruh besar terhadap keterlambatan proyek karena tidak ada kelonggaran durasi pada jalur tersebut (Kuhl, 2008). Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam melakukan metode *crashing*, yaitu (Mora, 2001):

#### 1. Metode Lembur atau *Overtime*

Penambahan waktu atau lembur merupakan pekerjaan yang dilakukan oleh karyawan didasari oleh instruksi dari atasan. Waktu ini merupakan waktu tambahan dari jam kerja normal yaitu proyek yang memiliki durasi lebih dari 7 jam dalam sehari untuk 6 hari kerja atau 8 jam sehari untuk 5 hari kerja sesuai dengan Peraturan Menteri No. 102/MEN/VI/2004. Seorang atasan hanya











































- d. Menghitung produktivitas harian dengan Persamaan 2.11.
  - e. Karena menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja, maka persamaan yang digunakan untuk menghitung produktivitas harian sesudah *crash* adalah Persamaan 2.14.
  - f. Menghitung nilai *Crash Duration* menggunakan Persamaan 2.15.
  - g. Menghitung total tambahan biaya apabila menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja dengan Persamaan 2.21.
  - h. Menghitung nilai *Crash Cost* menggunakan Persamaan 2.22.
  - i. Menghitung nilai *cost slope* dengan Persamaan 2.23.
  - j. Menentukan biaya langsung yang diakibatkan oleh percepatan durasi kerja menggunakan Persamaan 2.24.
  - k. Menentukan biaya tak langsung yang diakibatkan oleh percepatan durasi kerja dengan Persamaan 2.25.
  - l. Menentukan total biaya yang dikeluarkan dari percepatan durasi kerja menggunakan Persamaan 2.26.
7. Keputusan *Crashing* atau *Penalty*

Keluaran dari diagram alir penelitian ini yaitu hasil keputusan pelaksana proyek. Pelaksana proyek berhak memilih melakukan *crashing* atau membayar *penalty*. *Crashing* dipilih apabila biaya *penalty* yang dikeluarkan memiliki nominal yang lebih besar daripada *crashing*.







T	Laston Lapis Aus Aspal AC-WC	7	10	12	10	0,6944
U	Laston Lapis Antara Perata AC-BC	7	10	12	10	0,6944
<b>V</b>	<b>PENGEMBALIAN KONDISI DAN PEKERJAAN MINOR</b>					
V	Pengembalian Kondisi Bahu Jalan	9	10	12	10	0,25
W	Marka Jalan Thermoplastic	1	2	3	2	0,1111
X	Finishing	2	3	5	3	0,25

Dari Tabel 4.1 didapatkan nilai  $t_e$  dan variansinya. Waktu yang diharapkan ( $t_e$ ) dipengaruhi oleh estimasi waktu optimis, waktu realis, dan waktu pesimis yang digabung menjadi satu waktu tunggal. Hal ini dilakukan agar mendapatkan waktu rata-rata yang diharapkan secara akurat. Variansi merupakan ukuran ketidakpastian atau kuadrat dari standar deviasi. Nilai variansi dipengaruhi oleh waktu waktu optimis ( $t_a$ ) dan waktu pesimis ( $t_b$ ). Dapat dilihat bahwa semakin besar nilai variansi, maka semakin besar pula ukuran penyimpangan durasinya. Nilai  $t_e$  dan variansi tersebut nantinya digunakan dalam menentukan jalur kritis dengan metode CPM. Jalur kritis inilah yang digunakan untuk menentukan penjadwalan sesuai dengan durasi yang telah ditentukan menggunakan metode PERT.

#### **4.2. Menyusun Jaringan Kerja Menggunakan Metode *Critical Path Method* (CPM)**

*Critical Path* (Jalur Kritis) merupakan jalur penghubung antara aktivitas-aktivitas kritis pada proyek. Aktivitas kritis merupakan aktivitas yang memerlukan pengawasan khusus karena jika terjadi keterlambatan pada aktivitas kritis maka aktivitas lain juga akan terlambat. Penyusunan ini diawali dengan membuat model jaringan kerja lalu mengidentifikasi jalur kritis yang menjadi model dasar dari penjadwalan suatu proyek. Dari model tersebut nantinya akan

diketahui penjadwalan serta alternatif yang dapat dilakukan saat perusahaan mengalami masalah dalam pengerjaannya.

Langkah awal membuat jaringan kerja adalah mengidentifikasi aktivitas, yang meliputi durasi aktivitas, aktivitas pendahulu (*predecessors*), dan aktivitas pengikut (*successors*). Aktivitas *predecessor* adalah aktivitas yang harus diselesaikan sebelum aktivitas lain dimulai dan aktivitas *successor* adalah aktivitas yang mengikuti aktivitas tertentu. Identifikasi yang dilakukan meliputi durasi yang diperlukan suatu aktivitas untuk menyelesaikan pekerjaannya berdasarkan nilai *te* yang dihitung menggunakan metode PERT, hubungan dan urutan tiap aktivitas yang dapat dinyatakan oleh aktivitas *predecessor* dan aktivitas *successor*. Hubungan dan urutan aktivitas kerja pada proyek pembangunan jalan oleh CV. X dapat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Berdasarkan Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa setiap uraian aktivitas memiliki durasi, *predecessor*, dan *successor*. Aktivitas A tidak memiliki aktivitas *predecessor* dikarenakan tidak ada aktivitas apapun yang dilakukan sebelum melakukan aktivitas A, sedangkan aktivitas *successor*-nya yaitu aktivitas B, C, dan D karena aktivitas B, C, dan D dilakukan setelah aktivitas A selesai. Hal ini berlaku untuk aktivitas yang lainnya. Hubungan antar aktivitas tersebut dapat digambarkan dengan sebuah jaringan kerja (*network planning*). Penggambaran *network planning* dilakukan dengan memperhatikan hubungan antar aktivitas, sehingga *network planning* yang terbentuk adalah sebagai berikut:



Model jaringan kerja pada Gambar 4.1 diawali oleh aktivitas A dan diakhiri oleh aktivitas X yang menggambarkan tentang alur dari aktivitas pada proyek konstruksi jalan oleh CV. X. Pada proyek konstruksi jalan oleh CV. X, terdapat 24 aktivitas yang disusun menjadi beberapa jalur. Beberapa aktivitas tersebut digambarkan dengan sebuah *node* serta dihubungkan menggunakan anak panah. Jaringan kerja seperti ini dibuat dengan mempertimbangkan hubungan antar aktivitas dari proyek secara menyeluruh.

Langkah yang dilakukan setelah membuat jaringan kerja adalah menentukan jalur kritis menggunakan metode CPM. Dalam menentukan jalur kritis, terdapat dua proses perhitungan yaitu menggunakan hitungan maju (*forward pass*) yang diawali pada titik *start* menuju titik *end* berfungsi untuk menentukan *earliest start* (ES) serta *earliest finish* (EF) dan hitungan mundur (*backward pass*) yang diawali pada titik *end* menuju titik *start* berfungsi untuk menentukan *latest start* (LS) serta *latest finish* (LF). Kedua perhitungan ini diperlukan untuk melakukan proses pemantauan dan pengendalian dari sisi depan serta dari sisi belakang sehingga dapat melakukan pengendalian dimasa depan serta segera melakukan perbaikan kesalahan di masa lalu. Diperlukan perhatian lebih apabila terdapat aktivitas yang memiliki lebih dari satu aktivitas penghubung untuk menentukan nilai ES dan LF. Jika menentukan nilai ES, maka dipilih nilai maksimal dari EF *predecessor activity*-nya. Apabila menentukan nilai LF, maka dipilih nilai minimal dari LS *successor activity*nya.

Menghitung *forward pass* dan *backward pass* dilakukan untuk mendapat nilai *slack* dengan menentukan LS dan ES atau LF dan EF. *Slack* berfungsi untuk mengetahui aktivitas mana yang memiliki kelebihan waktu sehingga pelaksana dapat menunda tanpa membuat aktivitas lain mengalami keterlambatan. Suatu aktivitas dikatakan berada pada jalur kritis apabila memiliki nilai *slack* = 0.





















keterlambatan kerja dikarenakan faktor cuaca, kondisi lingkungan, sumber daya dan lain-lain. Dalam hal ini, metode *Crashing* dapat menjadi salah satu cara untuk meminimalkan permasalahan tersebut.

#### 4.4.1. Menghitung Nilai *Crash Duration*, *Crash Cost*, dan *Cost Slope*

Proyek konstruksi jalan oleh CV. X pasti memiliki aktivitas yang harus dilakukan secara sistematis dan berkesinambungan. Data hubungan pekerjaan ini berisi tentang uraian aktivitas secara berurutan serta volume dari masing-masing aktivitas, yang ditunjukkan oleh Tabel 3.3

Tabel 3.3 menjelaskan tentang uraian pekerjaan, satuan, dan volume yang dibutuhkan dalam melakukan proyek. Dapat dilihat bahwa satuan yang digunakan dalam aktivitasnya yaitu Ls,  $m^3$ ,  $m^2$ ,  $m'$ , Bh, Ltr, Ton. Ls atau *Lump Sum* menyatakan bahwa uraian aktivitasnya memiliki volume dan kuantitas yang masih bersifat perkiraan. Biasanya aktivitas yang memiliki satuan Ls ini tidak memiliki harga satuan pasti, tetapi mencakup seluruh total nilainya. Aktivitas yang menggunakan satuan Ls juga menunjukkan bahwa pembayaran dapat dilakukan setelah aktivitas tersebut selesai 100%. Selain aktivitas yang memiliki satuan Ls, penentuannya dapat dilakukan secara pasti walaupun pekerjaan belum selesai 100%.

Langkah yang dilakukan setelah mengetahui volume pada setiap aktivitas yaitu menentukan biaya yang dibutuhkan. Biaya yang dibutuhkan meliputi biaya tak langsung dan biaya langsung. Biaya tak langsung merupakan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan proyek tetapi tidak memiliki kaitan secara langsung terhadap aktivitas proyek. Biaya tak langsung dapat ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Pada Tabel 3.4 didapatkan bahwa biaya-biaya tak langsung yang harus

dikeluarkan dalam melakukan suatu proyek adalah biaya asuransi tenaga kerja, administrasi, listrik dan air, transportasi, serta biaya tak terduga dengan total biaya tak langsung yang dikeluarkan sebesar Rp 24.767.627. Biaya tak langsung ini memang tidak memiliki kaitan langsung dengan aktivitas proyek, tetapi jika biaya tak langsung ini tidak ada maka proyek tidak akan bisa dilakukan. Selain memiliki biaya tak langsung, pasti suatu proyek memiliki biaya yang berhubungan langsung dalam pengerjaan proyek yang ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Pada Tabel 3.5 didapat beberapa aktivitas yang memiliki biaya langsungnya masing-masing. Biaya langsung ini dapat berupa gabungan dari biaya bahan, biaya peralatan, serta biaya sumber daya. Aktivitas A sampai X memiliki total biaya langsung sebesar Rp 3.654.208.142. Biaya proyek yang terdiri dari biaya langsung dan biaya tak langsung tersebut memiliki pengaruh yang besar dalam pelaksanaan proyek sehingga harus direncanakan dengan tepat.

Metode *Crashing* difokuskan untuk mereduksi durasi aktivitas di jalur kritis. Jalur kritis merupakan salah penyebab keterlambatan karena tidak ada kelonggaran waktu pada jalur tersebut. Dalam menentukan durasi dan biaya yang dipercepat menggunakan metode *Crashing*, terlebih dahulu menghitung nilai dari *Crash Duration*, *Crash Cost*, dan *Cost Slope*-nya. *Crash Duration* berfungsi untuk mengetahui durasi yang ditimbulkan akibat dari percepatan kerja sehingga akan terjadi pereduksian, sedangkan *Crash Cost* berfungsi untuk mengetahui biaya yang ditimbulkan akibat dari percepatan durasi. *Cost Slope* berfungsi untuk mengetahui hubungan antara waktu dan biaya normal dengan waktu dan biaya yang dipersingkat. *Cost Slope* digambarkan dengan sebuah grafik yang saling menghubungkan aktivitas normal dan aktivitas dipercepat.

Penelitian pada metode *Crashing* ini menggunakan alternatif penambahan







biaya yang dipercepat tersebut menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja. *Normal Cost* (NC) adalah biaya langsung normal yang dikeluarkan oleh pelaksana proyek dengan total biaya sebesar Rp 3.654.208.142 sedangkan *Crash Cost* (CC) merupakan biaya langsung yang dikeluarkan pelaksana proyek setelah melakukan pereduksian atau percepatan waktu dengan total biaya sebesar Rp 3.671.808.142. Nilai *Cost Slope* merupakan penambahan biaya yang dilakukan oleh pelaksana proyek untuk menambah tenaga kerja sehingga durasi proyek dapat dipercepat.

Sebagai contoh yaitu aktivitas A. Aktivitas A memiliki *Normal Duration* (ND) sebesar 2 hari kemudian setelah dilakukan *crashing*, durasinya (CD) menjadi 1 hari. Dapat dikatakan bahwa aktivitas A dapat mengurangi waktu penyelesaian sebesar 1 hari. Aktivitas A memiliki nilai *Cost Slope* sebesar Rp 160.000 sehingga dapat dikatakan bahwa aktivitas A hanya memerlukan tambahan biaya sebesar Rp 160.000 untuk menjadi Rp 1.160.000 dalam 1 hari kerja.

#### **4.4.2. Menentukan Aktivitas yang Dipercepat Menggunakan Metode *Crashing***

Percepatan durasi kerja seringkali dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya keterlambatan di lapangan atau untuk mendapatkan *reward* apabila mampu diselesaikan kurang dari masa kontrak. Percepatan dilakukan dengan menambah produktivitas kerja, sehingga terjadi penambahan biaya. Percepatan kerja dilaksanakan dengan memilih nilai *cost slope* terkecil pada aktivitas jalur kritis untuk mendapatkan biaya minimum. Aktivitas pada jalur kritis dipilih karena memiliki dampak yang besar terhadap keberlangsungan kinerja proyek.

*Network Planning* diperlukan saat melakukan percepatan (*crashing*). Hal tersebut dilakukan karena *network planning* merupakan suatu penjadwalan kerja sehingga memiliki *network planning* yang tepat akan menghasilkan hasil *crashing*

yang tepat pula. *Network Planning* dilakukan dengan pendekatan metode CPM yang mempunyai 16 aktivitas pada jalur kritis berdurasi 115 hari. Proses percepatan akan dilakukan hingga mencapai titik optimal sehingga tidak dapat dilakukan percepatan lagi. Titik optimal yang dimaksud adalah batas waktu yang diharapkan, biaya yang sudah mencapai batas maksimal kemampuan bayar oleh pelaksana proyek, atau total biaya yang berada pada nilai minimal.

Berdasarkan Tabel 4.3 yang merupakan aktivitas pada jalur kritis dengan *cost slope* terkecil adalah aktivitas B dan E, sehingga dapat dilakukan perhitungan pada aktivitas B terlebih dahulu. Pada aktivitas B, *crash duration* yang didapatkan adalah 1 hari. Dengan pendekatan metode CPM, dibuatlah jaringan kerja baru sehingga durasi aktivitas B yang semula 2 hari diubah menjadi 1 hari. Dari *crash duration* tersebut, didapatkan durasi sebesar 114 hari. Dari proses *crashing* durasi tersebut, simbol pada *node* B yang awal mulanya 2 hari diubah menjadi 1 hari dan hasil *network planning*-nya akan ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 merupakan proses *crashing* pada tahap 1. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa durasi pada *node* B menjadi 1 hari sehingga berpengaruh terhadap durasi penyelesaiannya. Jaringan kerja baru tersebut memiliki durasi 114 hari atau berasal dari 115 hari yang kemudian direduksi sebesar 1 hari. Gambar ini juga tidak merubah kondisi jalur kritisnya.



Proses tersebut dilakukan secara terus menerus sampai tidak ada aktivitas lagi yang dapat dicrash. Semula pada proses *Crashing* tahap 1, pereduksian dilakukan pada aktivitas B sebesar 1 hari. Aktivitas B dipilih karena memiliki nilai *cost slope* terkecil dibandingkan dengan aktivitas pada jalur kritis lainnya. Proses *Crashing* tahap 1 menghasilkan 114 hari kerja. Selanjutnya, proses *Crashing* tahap 2 dilakukan pada aktivitas E. Aktivitas ini dilakukan dengan mereduksi 1 hari kerja sehingga durasinya menjadi 113 hari. Proses *Crashing* ini dilakukan secara berulang sampai sudah tidak ada lagi aktivitas atau nilai *cost slope* lagi yang dapat direduksi.

Pada penelitian ini, proses *Crashing* dapat mencapai 76 hari atau dilakukan sebanyak 19 kali *crash*. Proses *Crashing* yang dilakukan secara terus menerus tanpa memperhatikan titik optimal akan menambah beban biaya bagi pelaksana proyek.

#### **4.4.3. Menghitung *Time Cost Trade Off***

Pertukaran Waktu dan Biaya (*Time Cost Trade Off*) dilakukan untuk mengetahui waktu dan biaya yang dihasilkan apabila suatu proyek mengalami perubahan durasi kerja karena proses percepatan. Dari beberapa durasi yang mengacu pada nilai *cost slope* dan *network planning* yang dibuat dari proses *crashing*, didapatkan perhitungan biaya tak langsung, biaya langsung, serta total biaya untuk setiap durasi percepatan. Sebagai contoh, untuk menghitung nilai dari *time cost trade off* pada *crashing* tahap 1 adalah sebagai berikut:





















- [Bappenas], B. P. (2014). *Infrastruktur Antar Wilayah dan Antar Wilayah*. Mataram: Deputi Bidang Sarana dan Prasarana Kementerian PPN/Bappenas.
- Caesaron, D. e. (2015). Analisa Penjadwalan Waktu Dengan Metode Jalur Kritis dan PERT Pada Proyek Pembangunan Ruko (Jl. Pasar Lama No. 20, Glodok) . *Journal of Industrial Engineering and Management Systems*, Vol. 8, No.2, 59-82.
- Citra, Z. e. (2018). Optimasi Kinerja Proyek Dengan Penerapan Metode Crashing dan Linear Programming Pada Proyek Bulk Godown. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 106-112.
- Crowe, Andy. (2005). *The PMP Exam How To Pass On Your First Try 3rd Edition*. United States of America: Velociteach.
- Dimiyati, H. d. (2014). *Manajemen Proyek*. Bandung: Pustaka Setia.
- Dipohusodo, I. (1996). *Manajemen Proyek dan Konstruksi Jilid 1*. Yogyakarta: Kanisius.
- Dipoprasetyo, I. (2016). Analisis Network Planning Dengan Critical Path Method (CPM) Dalam Usaha Efisiensi Waktu Produksi Pakaian Batik Pada Butik "Omahkoe Batik" di Samarinda. *eJournal Administrasi Bisnis*, Volume 4, Nomor 4, 1002-1015.
- Ervianto, W. I. (2004). *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: ANDI.
- Gray, C. e. (2007). *Pengantar Evaluasi Proyek Edisi Kedua*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Heizer, J. and Render, B. (2009). *Operation Management Edisi Tujuh, Terjemahan*. Jakarta: Salemba Empat.

- Heizer, J. and Render, B. (2011). *Operation Management 10th Edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Hutagaol, Joe Daniel, dkk. (2013). Perbandingan Metode Critical Path Method (CPM), Precedence Diagram Method (PDM), dan Line of Balance (LoB) Terhadap Proyek Repetitif. *Universitas Diponegoro*, 1-23.
- Husein, A. Y. (2018). Project Management Monitoring and Controlling Using Earned Value Management and Program Evaluation Review Technique (Case Study at Project BPJS Surakarta). *Universitas Surakarta*, 1-20.
- Islam, M. N. (2014). Crashing PERT/CPM Network: A Mathematical and Numerical Approach. *Buletinul Institutului Politechnic DIn Lasi*, 71-81.
- Jha, K. N. (2011). *Construction Project Management Theory and Practice*. Delhi: Dorling Kindersky (India) Pvt. Ltd.
- Kemenkeu. (2017, November 29). *Kementerian Keuangan Republik Indonesia*. Retrieved from Kemenkeu Web Site: <https://www.kemenkeu.go.id/publikasi/berita/menkeu-pembangunan-infrastruktur-sangat-mendesak/>
- Khoiroh, S. M. (2018). Mengoptimalkan Crashing Project Pemasangan Saluran Rumah di Perumahan X Dengan Pendekatan CPM-PERT. *Jurnal Teknik Industri HEURISTIC*, Vol. 15, No. 1, 39-48.
- Kholil, Muhammad. dkk. (2018) Scheduling of Hous Development Projects with CPM and PERT Method for Time Efficiency. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.

- Kuhl, Michael E. and Radhames A. Peta. (2008). A Dynamic Crashing Method for Project Management Using Simulation-Based Optimization. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. 2370–
- Latupeirissa, J. E. (2016). *Metode Perencanaan Evaluasi dan Pengendalian Pelaksanaan Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: ANDI (Anggota IKAPI).
- Lee, S. H. (2006). Dynamic Planning and Control Methodology for Strategic and Operational Construction Project Management. *Automation in Construction*, 84-97.
- Lestari, M. S. (2019). Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi dan Pemerataan Ekonomi Indonesia. *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)*, Vol. 70, No. 1, 98-105.
- Levin, R. I. (2007). *Perencanaan dan Pengawasan dengan PERT dan CPM*. Jakarta: Bhratara.
- Maddeppungeng, A. (2015). Analisis Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Earned Value dan Optimasi Menggunakan Metode CPM. *Jurnal Fondasi*, Volume 3, Nomor 1, 61-72.
- Mora, F. P. (2001). Dynamic Planning and Controlling Methodology For Design Fast Track Construction Project. *International Journal of Construction Engineering And Management ASCE*, Vol. 127, No. 1, 1-17.
- Nicholas, John M. and Herman Steyn. (2008). *Project Management for Business, Engineering, and Technology. Principles and Practice 3rd Edition*. Canada: Elsevier.

- Ningrum, F. G. (2017). Penerapan Metode Crashing Dalam Percepatan Durasi Proyek Dengan Alternatif Penambahan Jam Lembur dan Shift Kerja (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Hotel Grand Keisha, Yogyakarta). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 583-591.
- Nurhayati. (2010). *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nurwahidin, M. e. (2016). Analisa Network Planning dan Sumber Daya Pada Proyek Pengembangan Dermaga Semampir Dengan Critical Path Method (CPM). *Proseding Seminar Nasional Pascasarjana STTAL*, 1-16.
- Oka, J. e. (2017). Evaluasi Manajemen. *Journal Of Business Administration*, Vol. 1, No. 1, 28-36.
- Priyo, M. e. (2017). Penerapan Metode Earn Value dan Project Crashing Pada Proyek Konstruksi: Studi Kasus Pembangunan Gedung IGD RSUD Sunan Kalijaga, Demak. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 20, No.1, 29-50.
- Rani, H. A. (2016). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Retnowati, E. (2017). Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Dengan Menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Crashing Proyek Pada Proyek Pembangunan Renovasi Masjid "An Nuur" Desa Sonoageng Kabupaten Nganjuk. *Simki-Economic*, Volume 1, Nomor 1, 1-12.
- Rizal, A. (2017). Optimasi Penjadwalan Proyek Konstruksi Dengan Menggunakan Metode Time-Cost Trade Off. *SiMO Engenering Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu*, Vol. 1, 1-10.
- Ruslan, W. (2019). *Manajemen Proyek: Jaringan*. Jakarta: Universitas Katolik Atma Jaya.

- Salvatori, Simone. dkk. (2019). Engineer-to-order Project Schedule Planning through a probabilistic simplified approach: a case study. *The Journal of Modern Project Management*, Vol. 7, No. 3.
- Situmorang, P. D. (2017). Analisa Penjadwalan Proyek Dengan Time Schedule Kurva S, Precedence Diagram Method (PDM), dan Ranked Positional Weight Method (RPWM). *Universitas Sumatera Utara*, 1-13.
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek*. Jakarta: Erlangga.
- Soeharto, I. (2001). *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.
- Stefanus, Y. e. (2017). Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode Fast Track dan Crash Program. *Jurnal Media Teknik Sipil*, Volume 15, Nomor 1, 74-81.
- Sudaryono. 2012. *Statistika Probabilitas - Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI).
- Suresh, S. e. (2015). Analysis of Project Performance Using Earned Value Analysis. *International Journal of Science, Engineering, and Technology Research (IJSETR)*, Volume 4, Issue 4, 1080- 1085.
- Syaihu, A. e. (2016). Optimalisasi Waktu Penyelesaian Pekerjaan Proyek Konsultan Pengawasan Pada Dinas Pekerjaan Umum Di Kota Tarakan. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 105-115.
- Tamba, S. D. (2018). Optimasi Biaya dan Waktu Akibat Penjadwalan Ulang Pada Proyek Perumahan Menggunakan Microsoft Project. *Journal of Civil Engineering, Building, and Transportation*, 34-41.

- Vizkia, Naura. dkk. (2015). A Comparison PERT and Fuzzy Logic Application For Scheduling (FLASH) Methods in Boiler Fabrication Process Scheduling. *Brawijaya University*, 482-494.
- Wahidmurni. (2017). Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif. *UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*. 1-16.
- Wardani, N.M.E. dkk. (2018). Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Pembangunan Perumahan Citraland Palu Menggunakan Metode Program Evaluation and Review Technique (PERT)-Critical Path Method (CPM). *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*. 197-208.
- Wijaya, Andi. (2013). *Pengantar Riset Operasi (Edisi 3)*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
- Willis, E. M. (1986). *Scheduling Construction Projects*. New York: John Wiley and Sons.
- Woodward, J. F. (1997). *Construction Project Management*. London: Thomas Telford Publishing.
- Zareei, Samira. (2017). Project Scheduling for Construction Biogas Plant Using Critical Path Method. *University of Kursdistan*, Vol. 81.
- Zuchria, Machmuda Nuril. (2017). Optimasi Proyek Pembuatan Kapal Patroli Cepat (Fast Patrol Boat) 38 M Aluminium Dengan Metode PERT/CPM. *Institut Teknologi Sepuluh November*.

...