

APLIKASI METODE CPM UNTUK EFFISIENSI WAKTU PROSES *SETUP* MESIN INDUSTRI DENGAN KOMBINASI DUA ORANG OPERATOR

Herry Kartika Gandhi

*Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya
Jl. Ciwaru Raya II No 73, Kel. Cipare, Kec. Serang, Kota Serang 42117*

herrykartikagandhi@unbaja.co.id

ABSTRACT

One of the obstacles in job order industry is to reduce machine set-up time. This activity is indeed unavoidable, but the time should be minimized. Set-up activities require coordination and collaboration between two operators to complete each activity in stages to complete machine set-up with shortest time. The objectivity of this research is to minimize the total time of machine set-up. The study took place on printing machine which every set-up can be 10 to 15 times in a day / 3 shifts. The total operators in each machine are 2 peoples. The study was done by the CPM method and Time Line Chart. The set-up time consists of 3 types of time, which are independent work time, collective work time (run by more than 1 person) and automatic time (done by machine). The critical path from the CPM calculation is the path which is upon A – B – C – H – I activity. The total time for completing the initial set-up activity is 15 minutes. After 5 (five) stages of chart repairs, the set-up time can be reduced into 11 minutes. This can occur with a combination and time of acceleration carried out by 2 machine operators. Where the first operator completes in 11 minutes and second operator in 8.5 minutes

Keywords : *Critical Path Method, Set-up Machine, Job Order, Time Line Chart*

ABSTRAK

Salah satu hal yang merugikan dari industri job order adalah tingginya waktu set-up mesin. Aktivitas ini memang tidak dapat dihindari, tetapi hendaknya diminimalisir waktunya. Aktivitas set-up mesin membutuhkan koordinasi dan kerjasama antar operator untuk menyelesaikan tiap-tiap aktivitas secara runtun hingga terselesaikan set-up mesin dengan nilai yang minimal. Objektivitas dari penelitian ini adalah meminimalkan waktu total set-up mesin. Penelitian mengambil objek mesin cetak dengan set-up mesin 10 hingga 15 kali dalam 1 hari / 3 shift. Operator berjumlah 2 orang. Penyelesaian dilakukan dengan metode CPM dan Diagram Bagan Waktu. Waktu set-up terdiri dari 3 tipe waktu yaitu waktu pengerjaan mandiri, waktu pengerjaan kolektif (dijalankan lebih dari 1 orang) dan waktu otomatis (dikerjakan oleh mesin). Jalur kritis dari perhitungan CPM adalah jalur yang melalui aktivitas A – B – C – H – I. Waktu total penyelesaian kegiatan set-up awal adalah 15 menit. Dari 5 (lima) tahapan perbaikan diagram bagan waktu, didapat waktu set-up dapat ditekan menjadi 11 menit. Hal ini dapat terjadi dengan kombinasi dan waktu percepatan yang dilakukan oleh 2 operator mesin. Dimana operator ke-1 menyelesaikan dalam 11 menit dan operator ke-2 dalam 8.5 menit.

Kata Kunci : *Critical Path Method, Set-up Mesin, Job Order, Diagram Bagan Waktu*

1. PENDAHULUAN

Proses *set-up* mesin dalam suatu kegiatan industri menjadi hal yang paling diminimalisir keberadaannya. Dimana kegiatan tersebut hanya menghabiskan waktu operasi tanpa menghasilkan satupun hasil produk. Hal ini menjadi masalah besar jika waktu *set-up* menghabiskan waktu yang sangat tinggi, dan salah satu penyebabnya adalah koordinasi antar operator mesin dalam menyelesaikan rangkaian kegiatan *set-up* tersebut kurang optimal, sehingga masih banyak waktu menganggur tiap operator karena menunggu aktivitas lain yang harus terselesaikan terlebih dahulu.

Proses *set-up* mesin adalah proses awal dimana operator mesin melakukan penyetelan terhadap mesin industri untuk menyesuaikan parameter dari produk yang ingin dihasilkan. Beberapa parameter yang diperlukan dalam *set-up* mesin tersebut seperti ukuran produk, warna, gambar dan tulisan (cetakan), kekerasan atau yang lain. Proses ini banyak dilakukan untuk tipe industri *job order*.

Proses *set-up* mesin biasanya melibatkan lebih dari satu operator, dimana kesemua operator akan saling bekerjasama untuk dapat menyelesaikan *set-up* ini dengan waktu yang minimal. Hal ini memungkinkan proses *set-up* ini dipecah menjadi aktivitas-aktivitas yang saling terangkai dan tidak dapat dipisahkan. Dengan pengaturan kerja yang tepat untuk tiap-tiap operator, maka dapat dihasilkan waktu *set-up* yang minimal dan lebih terstruktur.

Metode CPM adalah salah satu metode penjadwalan aktivitas-aktivitas yang saling berkaitan dan harus dilakukan dalam urutan tertentu sebelum keseluruhan tugas dapat diselesaikan (Taha, 1995). Penggunaan metode CPM ini awalnya banyak digunakan untuk proyek konstruksi yang memiliki waktu lebih dari 1 bulan. Nugraha dan Marjono (2014) menggunakan CPM untuk menyelesaikan proyek pembangunan *plant* di daerah Kerawang. Mereka menghitung waktu penyelesaian dari jalur kritis yang didapat dengan menghitung CPM.

Shailla (2014) menganalisa penggunaan CPM untuk aktivitas pembangunan jalan sepanjang 25 km. Salah satu hasil signifikan didapatkan oleh Agyei (2015) yang dapat menurunkan waktu penyelesaian proyek konstruksi dari 79 hari menjadi 39 hari.

Penggunaan CPM juga dapat dilakukan dalam produksi harian di area industri. Dipoprasetyo (2016) menganalisa efisiensi waktu produksi di Pabrik Garmen untuk menghasilkan alur aktivitas produksi yang lebih efisien.

Penelitian ini mengambil *scope* area di industri percetakan kertas. Industri ini banyak mengambil permintaan konsumen yang memiliki spesifikasi berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan jumlah *set-up* mesin cetak dapat berkisar 10-15 kali dalam sehari (3 shift – 24 Jam). Hal ini menjadi masalah besar dengan memakan waktu *set-up* yang sangat tinggi. Penggunaan CPM diharapkan bisa memilah aktivitas-aktivitas dari kegiatan *set-up* mesin ini dan membuat rangkaian kegiatan yang lebih minimal dari sisi waktu.

Ada kondisi berbeda dari kasus *set-up* mesin ini, dimana adanya waktu normal dan waktu percepatan. Dalam penelitian ini kondisi operator yang melakukan *set-up* adalah 2 orang. Waktu normal adalah waktu yang hanya dilakukan oleh 1 orang, sedangkan waktu percepatan adalah waktu yang dilakukan secara kerjasama oleh 2 orang operator tersebut. Waktu percepatan dapat diselesaikan lebih cepat dari waktu normal, tetapi dengan konsekuensi operator lainnya tidak dapat mengerjakan aktivitas lain.

Perumusan Masalah :

- Aktivitas mana yang masuk dalam jalur kritis dari kegiatan *set-up* mesin ?
- Berapa waktu yang dapat diturunkan dari susunan aktivitas *set-up* biasa dengan aktivitas menggunakan *time line chart* ?
- Berapa waktu yang dihabiskan oleh operator ke-1 dan ke-2 untuk kondisi yang optimal?

Tujuan Penelitian :

- a. Mendapatkan jalur kritis dari aktivitas-aktivitas dalam kegiatan *set-up* mesin.
- b. Mendapatkan waktu yang optimal dengan rekayasa *time line chart* .
- c. Mendapatkan rancangan pembagian tugas dan waktu yang dihabiskan oleh operator ke-1 dan ke-2 untuk kondisi yang optimal.

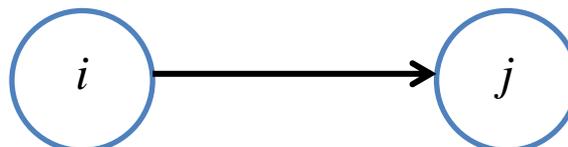
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method pertama kali dikembangkan oleh E.I du Pont de Nemours Company sebagai aplikasi untuk proyek-proyek konstruksi dan kemudian diperluas oleh *Mauchly Associates* (Taha, 1995). Metode ini digunakan untuk memproyeksikan waktu penyelesaian proyek yang melibatkan aktivitas-aktivitas didalamnya.

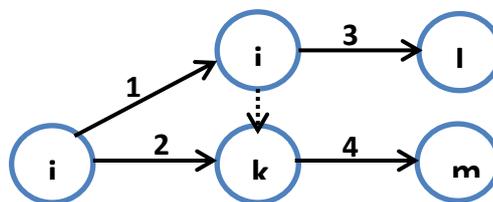
Bersamaan dengan diperkenalkan metode CPM ini, juga diperkenalkan metode *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) yang diperkenalkan US NAVY. Metode PERT ini memiliki kesamaan tujuan dengan CPM, perbedaan terletak pada waktu aktivitas yang bersifat probabilistik sedangkan CPM bersifat deterministik (Buffa et al, 1996).

Pembuatan diagram panah / jaringan CPM mengikuti prinsip *activity on arc*, dimana aktivitas-aktivitas tergambar dari busur panah. Sedangkan *node* (lingkaran) menggambarkan *event* atau waktu bermula dari *event* selanjutnya atau waktu selesai dari *event* sebelumnya. Gambar dibawah menggambarkan kegiatan (*i,j*) yang bermula dari *event i* dan berakhir di *event j*.



Gambar 1. Contoh Diagram Panah / Jaringan CPM

Dalam CPM diberlakukan aktivitas *dummy*, aktivitas ini untuk menghindari adanya 1 aktivitas yang memiliki 2 panah. Aktivitas *dummy* ini tidak memiliki waktu penyelesaian, hanya sebagai pemberi keterangan hubungan aktivitas 1 dengan yang lainnya. Seperti pada gambar 2, dimana aktivitas 3 (*j,l*) dikerjakan setelah aktivitas 1. Tetapi aktivitas 4 dikerjakan setelah aktivitas 1 dan 2 selesai. Karena itu dibuat garis *dummy* dari *event j* ke *event k* untuk menggambarkan keterkaitan aktivitas 1 kepada aktivitas 4.



Gambar 2. Contoh Penggunaan Aktivitas *Dummy*

Beberapa istilah dan notasi yang digunakan pada perhitungan CPM :

- a. Durasi kegiatan (notasi d_{ij})
Artinya waktu yang digunakan oleh aktivitas (*i, j*) menyelesaikan aktivitasnya.
- b. Waktu Mulai Tercepat / *Earliest Start* (notasi ES_j)
Artinya waktu tercepat dari *event j* memulai aktivitas berikutnya.
 $ES_j = \max \{ ES_i + d_{ij} \}$ (1)

c. Waktu terselesaikan terakhir / *Latest Completion* (notasi LC_i)
 Artinya waktu terakhir dari *event i* untuk menyelesaikan aktivitas sebelumnya.
 $LC_i = \min \{ LC_j - d_{ij} \}$ (2)

d. Waktu terselesaikan tercepat / *Earliest Completion* (notasi EC_{ij})
 Artinya waktu tercepat dari aktivitas (i,j) menyelesaikan aktivitas.
 $EC_{ij} = ES_i - d_{ij}$ (3)

e. Waktu Mulai Terakhir / *Latest Start* (notasi LS_{ij})
 Artinya waktu terakhir dari aktivitas (i,j) untuk *event i* untuk memulai aktivitas.
 $LS_{ij} = LC_j - d_{ij}$ (4)

Disamping itu ada beberapa ketentuan disaat melakukan perhitungan diatas, yaitu :

- a. $ES_0 = 0$
 Waktu *Earliest Start* di *event 0* adalah 0
- b. $ES_j = LC_j$, dimana j adalah *event* terakhir

Syarat suatu aktivitas (i,j) merupakan aktivitas yang berada di jalur kritis adalah :

- a. $ES_i = LC_i$ (5)
- b. $ES_j = LC_j$ (6)

2.2 Pengembangan Hasil CPM dalam Penyeimbangan Sumber Daya

Salah satu perhitungan yang dapat difungsikan dalam penyeimbangan sumber daya adalah waktu mengambang / *float*. Waktu mengambang (TF) adalah waktu total aktivitas “tidak melakukan apa-apa”, tetapi juga tidak mengganggu waktu penyelesaian total dari kegiatan.

$TF_{ij} = LC_j - ES_i - d_{ij} = LC_j - EC_{ij} = LS_{ij} - ES_i$ (7)

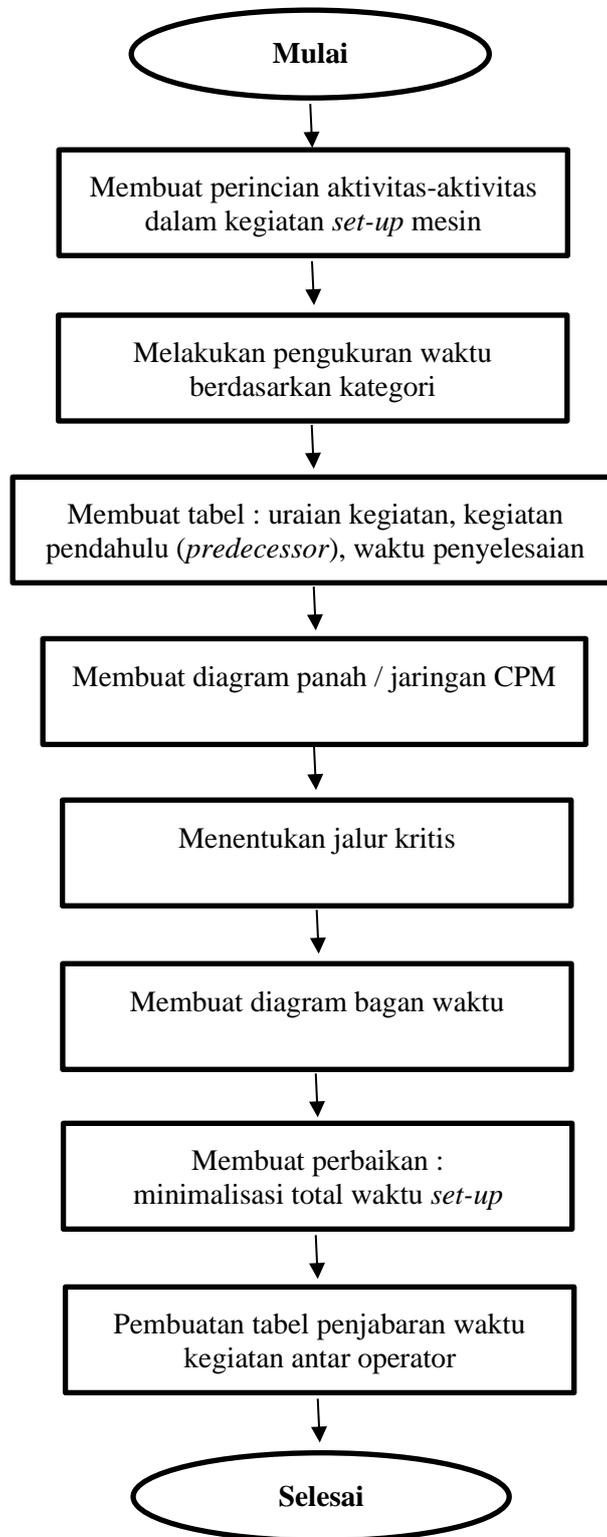
Aktivitas dengan nilai total *float* = 0 dapat dialokasikan sumber daya sehingga berakibat penyelesaian kegiatan dapat berkurang. Pengalokasian sumber daya dapat berasal dari aktivitas yang memiliki TF yang tinggi. Kemudahan pengalokasian sumber daya dapat dibantu dengan diagram bagan waktu.

3. METODE PENELITIAN

Permasalahan kegiatan *set-up* mesin ini berbeda dengan permasalahan manajemen konstruksi, dimana tiap aktivitas memiliki 3 (tiga) golongan waktu, yaitu :

- a. Waktu pengerjaan mandiri / waktu normal
 Aktivitas yang dijalankan oleh 1 (satu) orang operator. Sehingga operator lain dapat mengerjakan aktivitas lain. Dengan syarat aktivitas ini memang bisa dikerjakan oleh 1 orang.
- b. Waktu pengerjaan kolektif / waktu percepatan
 Aktivitas dengan waktu ini dijalankan oleh lebih dari 1 orang operator. Tetapi aktivitas ini bisa dikerjakan hanya dengan 1 orang.
- c. Waktu otomatis
 Aktivitas ini dikerjakan secara otomatis oleh mesin. Aktivitas ini menjadi sangat diperhatikan karena ada aktivitas lain yang berjalan setelahnya.

Alur pengerjaan dari penelitian ini bisa terlihat pada *flow chart* berikut :



Gambar 3. *Flowchart* Penelitian

Pengaturan aktivitas berdasarkan tiap operator dilakukan pada tahap pembuatan diagram waktu. Dimana tahapan perbaikan akan menganalisa dan merencanakan kombinasi aktivitas yang dapat meminimalisir waktu *set-up*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah mesin cetak kertas. Dimana memiliki unit-unit :

a. Unit *Printing*

Ada 4 unit *printing* yang harus dilakukan *set-up* seluruh unit. Unit ini memiliki *ink roll* yang harus dilakukan *cleaning* tiap *set-up* mesin. Untuk perubahan cetakan menggunakan *ink plate* yang akan diatur di tiap-tiap unit *printing*.

b. Unit *Cutting*

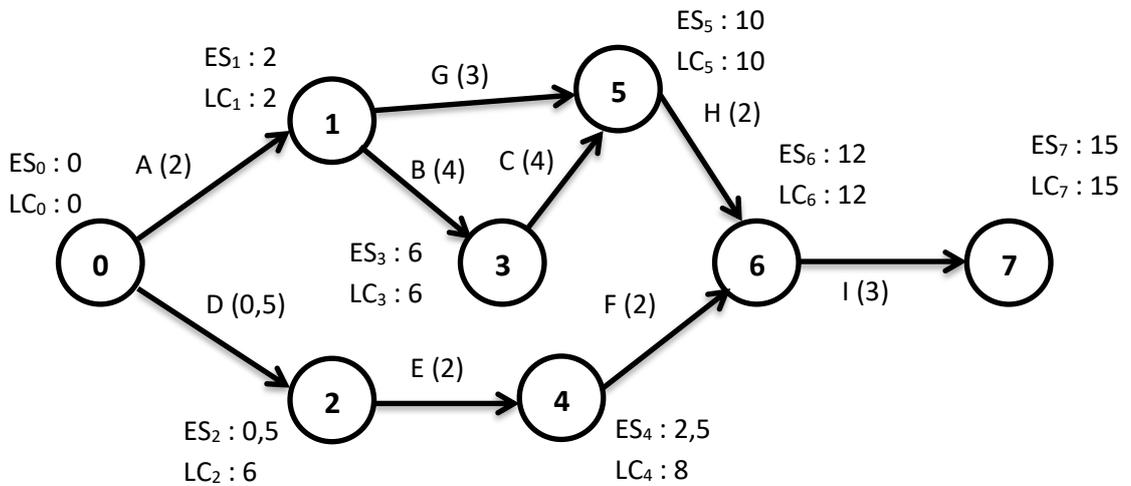
Terdapat pisau *cutting* yang harus diatur sesuai ukuran dari kertas.

Uraian tabel kegiatan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Tabel Aktivitas Kegiatan

| Aktivitas | Deskripsi | Predecessor | Durasi (menit) | | |
|-----------|-------------------------------------|-------------|----------------|------------|----------|
| | | | Normal | Percepatan | Otomatis |
| A | Persiapan dan buka unit mesin | - | 2 | 1 | - |
| B | Lepas <i>ink plate</i> lama | A | 4 | 2 | - |
| C | Pasang <i>ink plate</i> baru | B | 4 | 2 | - |
| D | Atur proses <i>cleaning</i> | - | 0,5 | 0,25 | - |
| E | Proses <i>cleaning</i> | D | - | - | 2 |
| F | Pasang tinta | E | 2 | 1 | - |
| G | <i>Setting</i> pisau <i>cutting</i> | A | 3 | - | - |
| H | Tutup unit | C, G | 2 | - | - |
| I | Atur ukuran di komputer panel | F, H | 3 | - | - |

Dari tabel diatas dibuat diagram panah / jaringan dari CPM. Awalnya diagram dibuat dengan waktu normal.



Gambar 4. Diagram Jaringan CPM

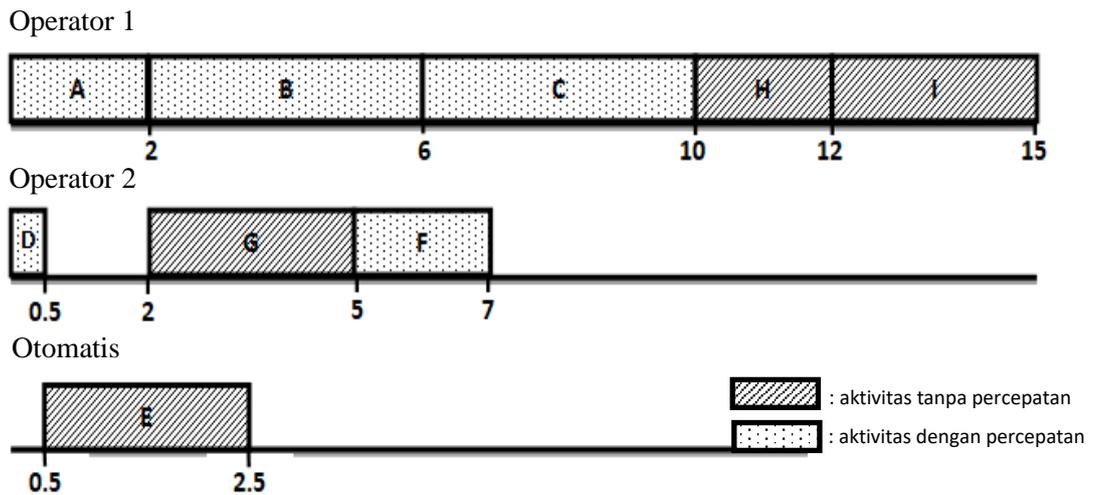
Dari diagram jaringan CPM diatas dibuat tabel *summary activity* untuk penentuan jalur kritis.

Tabel 2. Tabel Perhitungan Maju Mundur CPM

| Aktivitas | Jalur (i,j) | d_{ij} | ES_i | ES_j | LC_i | LC_j | $ES_i = LC_i$ | $ES_j = LC_j$ | $ES_j - ES_i = d_{ij}$ | Jalur Kritis |
|-----------|-------------|----------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|------------------------|--------------|
| A | 0,1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | v | v | v | V |
| B | 1,3 | 4 | 2 | 6 | 2 | 6 | v | v | v | V |
| C | 3,5 | 4 | 6 | 10 | 6 | 10 | v | v | v | V |
| D | 0,2 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 6 | v | x | v | X |
| E | 2,4 | 2 | 0.5 | 2.5 | 6 | 8 | x | x | v | X |
| F | 4,6 | 2 | 2.5 | 12 | 8 | 12 | x | v | x | X |
| G | 1,5 | 3 | 2 | 10 | 2 | 10 | v | v | x | X |
| H | 5,6 | 2 | 10 | 12 | 10 | 12 | v | v | v | V |
| I | 6,7 | 3 | 12 | 15 | 12 | 15 | v | v | v | V |

Dari tabel diatas didapat jalur kritis adalah jalur yang melalui aktivitas A – B – C – H – I. Dimana waktu total penyelesaian kegiatan *set-up* tersebut adalah 15 menit.

Untuk analisa optimalisasi aktivitas untuk mengurangi waktu *set-up*, maka dibuatkan terlebih dahulu diagram bagan waktu. Asumsi awal adalah operator 1 melakukan aktivitas di jalur kritis sendirian sedangkan aktivitas lain akan dilakukan oleh operator lainnya.



Gambar 5. Diagram Bagan Waktu

Dalam diagram bagan waktu diatas terlihat bahwa beban operator 1 terlampau besar yaitu 15 menit, sedangkan operator 2 memiliki beban hanya 5,5 menit. Tingkat kesulitan pada waktu *set-up* ini adalah mengkombinasikan waktu percepatan dimana waktu percepatan ini hanya bisa dilakukan bersamaan *start time* untuk dua operator.

Untuk menyelesaikan kasus ini maka dibuat penyelesaian bertahap dari aktivitas pertama hingga akhir.

Tahapan 1 (Bandingkan kombinasi aktivitas awal yaitu A dan D)

Pilihan A

Operator 1 [A = 2]

Operator 2 [D]

1 2

Pilihan B

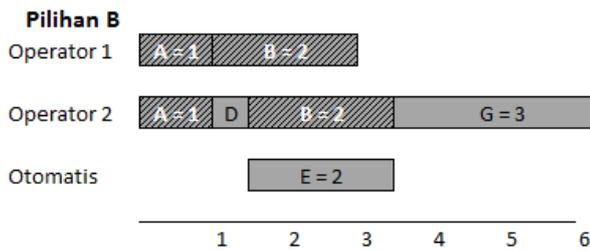
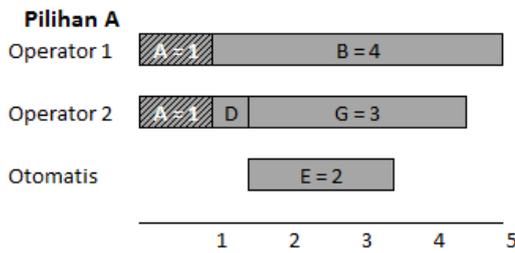
Operator 1 [A = 1]

Operator 2 [A = 1] [D]

1 2

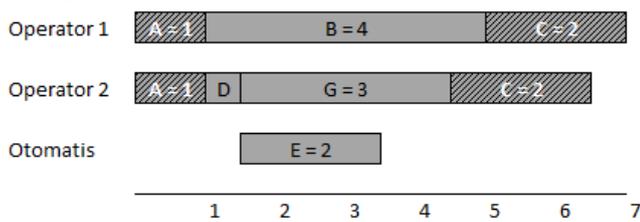
Dari tahapan 1 diambil pilihan B, karena memberikan waktu penyelesaian lebih merata.

Tahapan 2 (Bandingkan kombinasi aktivitas awal yaitu B, E dan G)



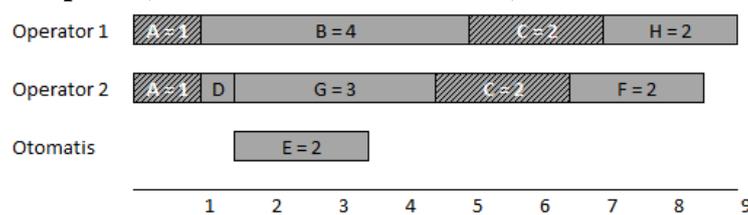
Dari tahapan 2 diambil pilihan A, karena memberikan waktu penyelesaian lebih kecil yaitu 4,5 menit.

Tahapan 3 (Masukkan aktivitas C)

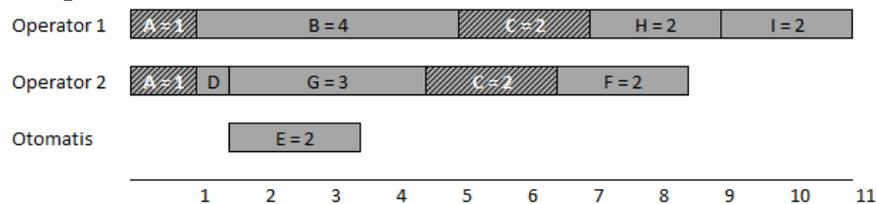


Aktivitas C dipilih menggunakan waktu percepatan karena lebih merata secara beban kerja.

Tahapan 4 (Masukkan aktivitas H dan F)



Tahapan 5 (Masukkan aktivitas I)



Dari 5 (lima) tahapan diatas didapatkan waktu penyelesaian dapat ditekan menjadi 11 menit. Sedangkan beban waktu kerja operator 2 meningkat menjadi 8,5 menit. Hal ini dapat terjadi dengan kombinasi antara waktu percepatan yang dilakukan oleh 2 operator mesin.

5. KESIMPULAN

Jalur kritis yang didapat pada metode CPM bernilai 15 menit. Dengan beban operator 1 sebesar 15 menit dan operator 2 sebesar 5,5 menit. Penggunaan diagram bagan waktu dapat menekan waktu penyelesaian *set-up* hingga 11 menit. Operator 1 memiliki beban 11 menit sedangkan operator 2 sebesar 8,5 menit. Operator 1 berturut-turut mengerjakan kegiatan A – B – C – H – I dan operator 2 mengerjakan kegiatan A – D – G – C – F.

Tingkat kesulitan dari penelitian ini terletak pada adanya aktivitas yang dapat dipercepat tetapi dengan waktu pelaksanaan yang harus bersamaan antara 2 operator mesin.

Penyelesaian hal ini dengan diagram bagan waktu yang dilakukan dalam 5 tahapan mulai dari awal kegiatan hingga akhir kegiatan. Penentuan pilihan kegiatan berdasarkan beban kerja yang merata antara 2 operator, dan waktu minimal penyelesaian

DAFTAR PUSTAKA

Ageyi, Wallace. 2015. *Project Planning And Scheduling Using PERT And CPM Techniques With Linear Programming: Case Study*. International Journal of Scientific & Technology Research, Vol 4 : 222 – 227.

Buffa S, Elwood, Rakesh , and K. Sarin. 1996. *Modern Production and Operation Management*, Eight Edition, John Willey and Sons Inc, London.

Paradita, Debby dan Marjono. 2014. *Analisis Proyek Pengembangan Bangunan Menggunakan Critical Path Method dan Earned Value Method (Studi Kasus di PT. Musashi Auto Part Indonesia Karawang)*. Jurnal Mahasiswa Matematika, Vol 2 No 4, 248 – 251.

Hillier, F. S. dan G. J. Lieberman. 2008. *Introduction to Operations Research*. Eighth Edition. Edisi Bahasa Indonesia. Yogyakarta. Andi.

Dipoprasetyo, Ibnu. 2016. *Analisis Network Planning dengan Critical Path Method (CPM) dalam Usaha Efisiensi Waktu Produksi Pakaian Batik pada Butik “Omahkoe Batik” di Samarinda*. E Journal Administrasi Bisnis, Vol 4 (4):1002 – 1015.

Shailla. 2014. *Management Operation System Technique (MOST) Replaces PERT and CPM in Construction Scheduling*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol 4 : 8 – 15.

Taha, Hamdy. 1997. *Riset Operasi*. Edisi Kelima. Jilid 2. Binarupa Aksara.

Eka, Yoga Putra dan Herry Kartika Gandhi. 2019. *Analisis Jalur Kritis pada Proyek Relokasi Mesin Flexo dengan Metode CPM dan PERT*. Jurnal Intent Vol 2