

Optimalisasi Metode *Critical Chain Project Management* Pada Pelaksanaan Proyek Kontruksi

Sugiyanto¹, Khairul Insan²

Dosen Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sunan Bonang Tuban¹

Alumni Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sunan Bonang Tuban²

Email: irsugianto@gmail.com¹, ciptakaryagemilang@ymail.com²

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3121>

Abstrak: Dalam pelaksanaan proyek konstruksi harus dicapai kinerja biaya dan jadwal yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan metode *critical chain project management* pada pelaksanaan proyek konstruksi. Dalam hal ini metode *critical chain project management* digunakan pada pelaksanaan proyek pembangunan gudang polowijo berlokasi di Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur, memiliki anggaran biaya tenaga kerja langsung Rp. 682.400.000,00 dan durasi 98 hari. Selanjutnya, dilakukan penjadwalan ulang (perbaikan jadwal) dengan penerapan metode *critical chain project management* pada proyek tersebut. Hasil analisa pada penelitian ini mendapatkan perhitungan durasi proyek menjadi 61 hari (lebi cepat 37 hari) dan biaya tenaga kerja langsung Rp. 511.035.000 (lebih hemat Rp. 171.315.000). Berdasarkan temuan dalam penelitian ini mengkonfirmasi terjadinya efisiensi biaya tenaga kerja langsung sebesar 25,11% dan memangkas durasi proyek 37,7% dari penjadwalan sebelumnya.

Kata kunci: durasi, penjadwalan, proyek dan rantai kritis.

Abstract: In the implementation of construction projects, optimal cost and schedule performance must be achieved. This research was conducted with the aim of optimizing the critical chain project management method in the implementation of construction projects. The critical chain project management method is used in the implementation of the Polowijo warehouse construction project located in Tuban Regency, East Java Province, which initially required a direct labor cost budget of IDR 642,400,000.00 and a duration of 98 days. Furthermore, rescheduling (schedule improvement) was carried out by applying the critical chain project management method on the project. The results of the analysis in this study get the calculation of the project duration to be 61 days (37 days faster) and the direct labor cost of IDR 511,035,000 (save Rp. 171,315,000). Based on the findings in this study, it confirmed the occurrence of direct labor cost efficiency by 25.11% and cut the project duration by 37.7% from the previous schedule.

Keywords: critical chain, duration, project and scheduling.

PENDAHULUAN

Perencanaan dan penjadwalan dalam pelaksanaan suatu proyek merupakan bagian penting untuk menentukan keberhasilan proyek secara keseluruhan (Subakir & Sugiyanto, 2022). Masalah yang sering dihadapi dalam proyek adalah terjadinya ketidaksesuaian antara rencana awal dengan realisasi yang ada dalam pelaksanaan proyek, sehingga seberapa baik sekali pun perencanaan awal tidak menutup

kemungkinan terjadi perubahan yang mengakibatkan keterlambatan penyelesaian (Husen, 2011; Sugiyanto, 2020). Keterlambatan merupakan dampak dari kombinasi ketergantungan karena sifat proyek peka terhadap perubahan spesifik, sehingga hanya dengan perencanaan saja belum cukup untuk memastikan proyek tersebut selesai tepat waktu.

Dalam kaitannya dengan aplikasi manajemen konstruksi pada suatu proyek; maka perencanaan,

pelaksanaan serta pengendalian jasa konstruksi dapat diatur sesuai dengan sumber daya yang ada (Soeharto, 2019). Oleh karenanya dalam pengelolaan sumber daya dalam suatu konstruksi dituntut untuk mampu bersaing dan dapat melaksanakan proyek secara tepat waktu (*on schedule*), tepat anggaran (*on budgeted*) dan lancar sesuai spesifikasi pekerjaan (*on specification*) (Ervianto, 2015; Husen, 2011; Sugiyanto & Untoko, 2022). Proyek konstruksi memiliki karakteristik unik, membutuhkan sumber daya, memiliki batas waktu kapan saat dimulai dan kapan saat harus selesai serta dalam wadah organisasi untuk mewujudkan tujuan dan sasaran proyek (Sugiyanto & Umam, 2021). Disamping itu, pada kenyataannya suatu proyek konstruksi sangat jarang terjadi berulang pada suatu proyek yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh kondisi-kondisi yang mempengaruhi proses suatu proyek konstruksi berbeda satu sama lain. Kondisi alam seperti letak geografi, curah hujan, budaya, rawan gempa dan keadaan tanah, merupakan faktor yang turut mempengaruhi keunikan suatu proyek konstruksi (Husen, 2011; Pastiarsa, 2015; Rani, 2016).

Perencanaan dibuat untuk mencapai efektifitas dan efisiensi yang tinggi dari sumber daya yang akan digunakan selama pelaksanaan proyek konstruksi (Pastiarsa, 2015; Soeharto, 2019). Sumber daya yang direncanakan adalah meliputi tenaga kerja (*man*), peralatan (*machine*), bahan (*material*), dan uang (*money*). Sumber daya ini harus direncanakan seefisien dan seefektif mungkin agar diperoleh biaya pelaksanaan yang sesuai dengan anggaran (hemat anggaran), memenuhi target mutu dan batas waktu yang direncanakan (Winoto, 2014). Hal ini dikarenakan bahwa dalam pelaksanaan suatu proyek kadang jarang ditemui suatu proyek yang berjalan tepat sesuai

dengan yang direncanakan (Mabin & Balderstone, 1998). Umumnya mengalami keterlambatan dari yang direncanakan, baik waktu maupun kemajuan pekerjaan bila dalam pelaksanaan proyek tidak ada upaya pengendalian yang baik. Sebaliknya, ada juga proyek yang mengalami percepatan dan jadwal awal yang direncanakan dan bahkan bisa dicapai biaya anggaran lebih hemat dari yang direncanakan karena ada upaya pengendalian yang efektif karena setiap ada penyimpangan dari rencana ada ruang untuk bisa langsung dikoreksi terjadinya penyimpangan tersebut (Sugiyanto & Gondokusumo, 2020).

Proyek umumnya bergerak pada bidang rekayasa (*engineering*), pengadaan (*procurement*) dan konstruksi (*construction*), dimana jenis-jenis proyek tersebut memiliki kompleksitas mulai dari adanya saling ketergantungan antar aktifitas yang ada, fase overlaps antar masing-masing aktifitasnya, pemecahan (*breakdown*) aktifitas menjadi aktifitas-aktifitas pekerjaan yang lebih detail, kompleksitas struktur organisasi dan ketidakpastian dalam akurasi prediksi yang timbul selama masa pelaksanaan (Kannan & Chitra, 2017). Dengan demikian dalam rangka mencapai kesuksesan pada pelaksanaan proyek perlu diketahui proses yang terjadi didalamnya, dalam arti dengan memahami rumitnya proses proyek ini akan membantu menyelesaikan masalah kompleksitasnya.

Manajemen proyek rantai kritis (*critical chain project management*) yang dikembangkan oleh Goldratt pada tahun 1997 adalah metode perencanaan dan pengelolaan proyek yang menekankan pada sumber daya yang diperlukan untuk melaksanakan tugas-tugas proyek (Vignesh, 2019). Manajemen ini didasarkan pada metode dan algoritma yang diturunkan dari *theory of constraints*. Metode ini merupakan pengembangan

dari metode critical path method (CPM), dimana metode penjadwalan ini dianggap memiliki kelemahan salah satunya adalah pemberian waktu terlalu lama/panjang karena waktu cadangan diletakkan pada setiap aktivitas, sehingga sumber daya cenderung untuk menghabiskan waktu yang ada (parkinson's law effects), padahal pekerjaan dapat dilakukan lebih cepat dari itu atau bahkan pekerja cenderung melakukan pekerjaan dengan sungguh-sungguh pada akhir-akhir batas waktu pekerjaan saja (Goldratt, 1997). Sebaliknya, dibandungkan dengan metode manajemen proyek tradisional, manajemen proyek rantai kritis dapat menghemat 30% waktu dan sumber daya yang hilang biasanya dihabiskan oleh teknik yang boros seperti multitasking yang buruk (khususnya peralihan tugas), sindrom siswa, hukum Parkinson, dan kurangnya prioritas (Bhan & Waghmare, 2016). Dalam rencana proyek, rantai kritis adalah urutan prioritas dan tugas yang bergantung pada sumber daya yang mencegah proyek diselesaikan dalam waktu yang lebih singkat, mengingat sumber daya yang terbatas. Jika sumber daya selalu tersedia dalam jumlah tidak terbatas, rantai kritis proyek identik dengan metode jalur kritisnya (Usman & Rendy, 2017).

Berdasarkan pengalaman proyek sebelumnya yang terjadi ketidaksesuaian antara perencanaan dan pelaksanaannya dikarenakan ada beberapa pekerjaan yang overlapping (Nasution & Arvianto, 2015). Oleh karena itu diperlukan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode critical project management (CCPM) (Chakosari, 2018; Chakosari & Chaharsooghi, 2019). Mekanismenya adalah metode ini menghilangkan waktu aman (safety time) dan menggantinya dengan waktu penyangga (buffer time). Penambahan buffer time dengan menggunakan metode cut and paste, yaitu

menambahkan project buffer separuh durasi rantai kritis (critical chain) pada akhir rantai dan meletakkan feeding buffer dengan separuh durasi aktivitas ke aktivitas pada rantai tidak kritis (non critical chain) (Al-Hazim et al., 2017; Araszkievicz, 2017; Goldratt, 1997).

Berdasarkan atas keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh manajemen proyek rantai kritis dibanding dengan metode penjadwalan yang lain (Barchart, LSM, PDM, CPM dan PERT), maka metode tersebut akan dicoba untuk diterapkan pada proyek pembangunan gudang polowijo yang berlokasi di Desa Wadung Kecamatan Jenu Kabupaten Tuban. Proyek ini dikerjakan oleh CV. Bonang Raya sebagai kontraktor pelaksana dan dalam kontrak konstruksi pelaksanaannya dimulai dari tanggal 23 Maret 2021 sampai direncanakan selesai pada tanggal 28 Juni 2021. Oleh karena itulah, adanya penelitian tentang penerapan optimalisasi metode *critical chain project management* pada pelaksanaan proyek pembangunan gudang polowijo sangat diperlukan

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini proyek konstruksi yang dianalisa berupa pembangunan gudang polowijo yang berlokasi di Desa Wadung Kecamatan Jenu Kabupaten Tuban. Dalam rangka mengoptimalkan metode *critical chain project management* dilakukan pengukuran variabel meliputi sebagai berikut ini:

1. Penjadwalan menggunakan metode CCPM

Penjadwalan CCPM diawali dengan membuat jaringan kerja sesuai dengan *work breakdown structure* proyek yang diteliti (Siswanto et al., 2021). Selanjutnya, penentuan lintasan kritisnya menggunakan metode perhitungan maju dan perhitungan mundur sehingga didapat lintasan

- kritisnya dan *total float* atau durasi total dari proyek tersebut.
2. Menghilangkan *safety time* dan *multitasking*
Langkah menghilangkan *safety time* bertujuan untuk memaksimalkan produktivitas dari pekerja karena sudah tidak ada waktu yang terbuang percuma. Metode yang digunakan untuk menghitung *safety time* adalah metode *C&PM* atau *cut and paste method*. Cara kerja metode ini adalah memotong 50% waktu dari durasi masing-masing kegiatan dari *WBS* (Goldratt, 1997). Selanjutnya adalah menghilangkan *multitasking* dengan mengeksploitasi jaringan kerja yang dibuat. Perbaikan dilakukan dimana dalam jaringan kerja terdapat dua pekerjaan yang dikerjakan dalam waktu yang sama dan menggunakan sumber daya yang sama. Hal ini bertujuan untuk mempersingkat durasi dari masing-masing pekerjaan meskipun waktu total pengerjaan kedua pekerjaan tersebut tetap sama.
 3. Memasukan *feeding buffer*
Setelah menghilangkan *safety time* dari masing-masing aktivitas, langkah selanjutnya adalah menghitung *project buffer*. Besar nilainya adalah rata-rata total *safety time* yang dibuang dari masing-masing aktivitas. Metode lainnya adalah dengan menggunakan *root square error method* (*RSEM*) dengan menghitung dua standar deviasi.
 4. Menentukan dan memasukan *project buffer* pada akhir kegiatan
Tujuan untuk memasukan *feeding buffer* adalah untuk melindungi lintasan kritis dari keterlambatan. Metode yang digunakan untuk menentukannya sama dengan *project buffer*, yaitu menggunakan *root square error method* (*RSEM*) tetapi hanya terbatas dari *safety time* yang terdapat pada lintasan kritis saja (Raz et al., 2003).
- Hasilnya akan ditempatkan di akhir lintasan kritis ketika akan bertemu dengan lintasan kritis.
5. Verifikasi Penjadwalan
Tahap ini dilakukan perbandingan *critical chain* yang telah dibuat dengan penjadwalan *ganttt chart* dan *network planning*. Apakah memiliki perbedaan durasi kegiatan dan lintasan kritis yang dihasilkan serta dilakukan analisa *buffer management* untuk memudahkan dalam mengontrol proyek berdasarkan banyaknya *buffer* yang digunakan. Ada tiga kondisi di dalam *buffer management* yang besar dari masing-masingnya sama besar (Goldratt, 1997).
 6. Analisa Biaya Tenaga Kerja Langsung
Setelah semua analisa telah dilakukan dalam metode *CCPM*, maka sudah dapat diketahui durasi total proyek dari durasi lintasan kritisnya (Goldratt, 1997). Lalu dilanjutkan dengan menghitung biaya tenaga kerja berdasarkan data jam orang dan *man power*.
 7. Perbandingan hasil
Pada tahap ini hasil dari metode penjadwalan konvensional (*CPM*) dan metode penjadwalan *CCPM* akan dibandingkan total durasi proyek dan biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan (Goldratt, 1997; Vignesh, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Umum Proyek

Untuk dapat melakukan analisis proyek menggunakan manajemen proyek rantai kritis (*critical chain project management*), maka dibutuhkan data-data proyek yang relevan sesuai kebutuhan. Data-data tersebut dapat diperoleh dari kontrak konstruksi yang sudah disepakati antara pemilik proyek dengan pihak kontraktor yang terdiri data umum proyek seperti dapat diamati pada Tabel 1 sebagai berikut ini

Tabel 1. Data dan informasi proyek

No	Data proyek	Informasi proyek
1	Nama proyek	Pembangunan Gudang Polowijo
2	Lokasi proyek	Desa Wadung Kec. Jenu Kab. Tuban Jawa Timur
3	Sumber anggaran	Swasta/pribadi
4	Nilai anggaran proyek	Rp. 4.500.000.000 (<i>Include</i> ppn 10%)
5	Pengguna proyek	Santosos Utomo
6	Penyedia jasa proyek	CV Bonang Raya
7	Durasi proyek	98 hari kalender
8	Jadwal pelaksanaan	23 Maret 2021 – 28 Juni 2021

Berdasarkan data umum proyek, perlu dicermati kebutuhan data yang diperlukan untuk penerapan manajemen proyek rantai kritis terdiri dari:

1. Durasi pelaksanaan proyek.
2. Daftar aktivitas kegiatan dan durasi yang dibutuhkan masing-masing kegiatan.
3. Biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan untuk pelaksanaan proyek.

Dengan mengacu kebutuhan data yang dimaksud diperoleh dari sumber data pihak kedua (kontraktor), yaitu jadwal pelaksanaan proyek 98 hari, biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan Rp. 574.600.000 dan daftar aktivitas kegiatan beserta durasinya masing-masing. Dalam hal ini, anggaran proyek di-*breakdown* hanya untuk biaya tenaga kerja langsung yang diperlukan dalam pelaksanaan manajemen proyek rantai kritis dengan alasan bilamana proyek dipercepat tetap membutuhkan biaya material yang sama dengan penyelesaian proyek tepat jadwal. Kebutuhan material dan volume pekerjaan tetap berlaku sesuai dengan dokumen kontrak kontruksi yang telah disepakati tanpa ada pengurangan atau penambahan baik pelaksanaan proyek mau dipercepat atau sesuai jadwal tepat waktu. Di lain pihak, dengan penerapan manajemen proyek rantai kritis akan dihasilkan jadwal pelaksanaan proyek menjadi lebih cepat dan pengaruhnya akan peka terhadap perubahan biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan, sedangkan

kebutuhan material akan tetap tidak akan ada perubahan nilainya.

Penjadwalan Menggunakan Metode CCPM

Pada penelitian ini, data durasi pengerjaan pembangunan Gudang Polowijo dengan menggunakan *software MS. Project 2019* dengan mengaplikasikan metode CCPM (*Critical Chain Project Management*). Hasilnya adalah proyek memiliki 39 aktivitas kerja dengan durasi 98 hari, sudah ditentukan kapan mulainya dan kapan harus selesai dari semua aktivitas pekerjaan serta kegiatan sebelum dan sesudahnya.

Menginventarisasi Kegiatan Proyek yang Diteliti

Langkah pertama yang dilakukan dalam menyusun *network planning* adalah menginventarisasi kegiatan, yaitu dengan cara melakukan pengkajian dan pengidentifikasi lingkup proyek, menguraikan atau memecahkan menjadi kegiatan-kegiatan pada proyek. Pada langkah ini, juga termasuk menentukan perhitungan *slack* dan durasi total proyek. *Slack* atau biasa juga dinamakan *float* adalah merupakan sejumlah kelonggaran waktu dan elastisitas dalam sebuah jaringan kerja (Nasution & Arvianto, 2015).

Setelah mendapatkan data waktu dan kegiatan kerja yang sudah dalam bentuk *work breakdown structure (WBS)*, maka akan mudah untuk menghitung secara manual, dengan cara membuat diagram jaringan kegiatan yang saling ketergantungan untuk *network diagram* dan kegiatan

apa saja di setiap lintasan, dengan membuat perhitungan maju terdiri dari *ES* dan *EF*. Perhitungan ini dimulai dari *start (initial event)* menuju *finish (terminal event)* untuk menghitung waktu penyelesaian tercepat suatu kegiatan (*EF*), waktu tercepat terjadinya kegiatan (*ES*) dan saat paling cepat dimulainya suatu peristiwa (*E*). *ES* adalah waktu mulai paling awal suatu kegiatan. Bila waktu mulai dinyatakan dalam hari, maka waktu ini adalah hari paling awal kegiatan dimulai; sedangkan *EF* adalah waktu selesai paling awal suatu kegiatan. *EF* suatu kegiatan terdahulu = *ES* kegiatan berikutnya.

Langkah selanjutnya adalah menganalisa waktu pelaksanaan kegiatan dengan tujuan adalah untuk mengetahui kurun waktu bagi setiap kegiatan dan menggambarkan jaringan kerja. Setelah itu, dilakukan perhitungan maju untuk mendapatkan *ES (Early Start)* dan *EF (Early Finish)*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan mundur dimulai dari *finish* menuju *start* untuk mengidentifikasi saat paling lambat terjadinya suatu kegiatan (*LF*), waktu paling lambat terjadinya suatu kegiatan (*LS*) dan saat paling lambat suatu peristiwa terjadi (*L*). *LS (latest activity start time)* adalah waktu paling lambat kegiatan boleh dimulai tanpa memperlambat proyek secara keseluruhan, sedangkan *LF (latest activity finish time)* adalah waktu paling lambat kegiatan diselesaikan tanpa memperlambat penyelesaian proyek. Untuk mendapatkan nilai *LS (Latest Start)* dan *LF (Latest Finish)* pada perhitungan proyek yang dianalisa.

Dari hasil perhitungan nilai *LS* dan *LF*, didapatkan *ES* peristiwa AB adalah 93. Hasil ini menjelaskan peristiwa AB paling lambat dimulai pada hari ke 93, sedangkan *LF* peristiwa AB adalah 98. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peristiwa AB paling lambat selesai dikerjakan pada hari ke 98.

Menghitung Total Float, Mengidentifikasi Jalur Kritis dan Kurun Waktu Penyelesaian Proyek pada Penjadwalan Konvensional

Jalur kritis adalah jalur yang terdiri dari rangkaian kegiatan-kegiatan dalam lingkup proyek, yang bila terjadi keterlambatan akan mengakibatkan keterlambatan proyek secara keseluruhan (Siswanto et al., 2021). Kegiatan yang berada dalam jalur ini disebut kegiatan kritis. Kegiatan kritis tidak memiliki waktu tenggang (*float*), sedangkan *float* adalah tenggang waktu suatu kegiatan tertentu yang non kritis dari proyek atau merupakan sejumlah kelonggaran waktu dan elastisitas dalam sebuah jaringan kerja.

Berdasarkan hasil perhitungan *float*, maka dapat ditentukan lintasan kritis proyek, dimana lintasan kritis adalah lintasan yang terdiri kegiatan-kegiatan yang memiliki total *float*= 0, sehingga dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

1. Kegiatan yang memiliki total *float* = 0 adalah terdiri kegiatan A-B-C-R-S-T-U-W-X-Y-Z-AA-AB, maka jalur yang melewati kegiatan-kegiatan tersebut adalah lintasan/jalur kritis.
2. Hasil perhitungan waktu total penyelesaian proyek pembangunan gudang polowijo berdasarkan lintasan kritis yang didapat adalah 98 hari.

Pengaplikasian Metode CCPM

Langkah pertama dalam pengaplikasian metode *CCPM* adalah melakukan pengurangan durasi masing-masing kegiatan sebesar 50% dari durasi sebenarnya (*cut and paste method*) (Goldratt, 1997; Kannan & Chitra, 2017). Pengurangan ini bertujuan untuk menghilangkan *safety times* sehingga permasalahan seperti *student's syndrome*, *parkinson's law*, *multitasking*, dan *over estimated activity durations* dapat dihilangkan.

Membuat Network Planning dengan Metode CCPM

Berdasarkan daftar kegiatan

(aktivitas) dan durasi masing-masing kegiatan yang sudah disusun dalam bentuk *work breakdown structure (WBS)*, maka langkah berikutnya adalah membuat diagram jaringan kegiatan yang saling ketergantungan dan kegiatan apa saja yang berada di setiap lintasan kegiatan proyek (Goldratt, 1997). Proses membuat *network planning* ini untuk menghasilkan penjadwalan baru dengan tujuan untuk memperbaiki penjadwalan konvensional menjadi penjadwalan metode rantai kritis (*CCPM*). Hasil yang diharapkan adalah dengan penjadwalan metode *CCPM* akan mengurangi durasi total pelaksanaan proyek yang sudah diperoleh dari penjadwalan konvensional. Langkah-langkah yang ditempuh pada penjadwalan metode rantai kritis sama dengan penjadwalan konvensional, tetapi perbedaannya durasi yang dipakai adalah durasi yang sudah dikurangi 50% (*cut and paste method*) dari durasi awal (durasi penjadwalan konvensional).

Berdasarkan atas perhitungan maju untuk mendapatkan *ES (Early Start)* dan *EF (Early Finish)*, berikutnya dilanjutkan dengan perhitungan mundur untuk mendapatkan nilai *LS (Latest Start)* dan *LF (Latest Finish)*. Penggunaan nilai perhitungan *ES* yang didapatkan pada perhitungan maju tersebut dapat dicontohkan peristiwa AB adalah 46,5 yang menunjukkan bahwa peristiwa AB paling lambat dimulai pada hari ke 46,5; sedangkan *LF* peristiwa AB

yang didapatkan pada perhitungan mundur adalah 49, hasil tersebut menunjukkan bahwa peristiwa AB paling lambat selesai dikerjakan pada hari ke 49.

Setelah melakukan perhitungan maju dan mundur dan telah mendapat besarnya *ES, EF, LS, dan LF*; maka selanjutnya bisa dilakukan identifikasi jalur kritis. Berdasarkan atas hasil perhitungan *total float* dapat ditentukan lintasan kritis, dimana lintasan kritis adalah lintasan yang memiliki *total float = 0*, sehingga lintasan kritis kegiatan proyek dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kegiatan yang memiliki *total float = 0* adalah kegiatan-kegiatan yang terdiri dari kegiatan-kegiatan A-B-C-R-S-T-U-W-X-Y-Z-AA-AB, maka jalur yang melewati kegiatan-kegiatan tersebut adalah disebut lintasan kritis.
2. Berdasarkan atas lintasan kritis yang telah didapatkan tersebut, maka dapat diketahui waktu total penyelesaian proyek pembangunan Gudang polowijo dengan metode penjadwalan (*network planning*) yang baru adalah menjadi 49 hari.

Dengan demikian, proses perbaikan jadwal dari proyek pembangunan gudang polowijo dengan menggunakan manajemen proyek rantai kritis dibanding dengan penjadwalan konvensional dapat ditampilkan data sebagaimana dapat diamati pada Tabel 2 sebagai berikut ini:

Tabel 2. Perbandingan Penjadwalan Manajemen Proyek Rantai Kritis Dibanding Penjadwalan Konvensional

No	Uraian	Metode Penjadwalan	
		Konvensional	Rantai Kritis
1	Lintasan Kritis	A-B-C-R-S-T-U-W-X-Y-Z-AA-AB	A-B-C-R-S-T-U-W-X-Y-Z-AA-AB
2	Durasi Total (hari)	98	49

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 2 di atas, maka perbaikan jadwal dilakukan menggunakan manajemen proyek rantai kritis dapat menurunkan durasi

total proyek menjadi 50% dari penjadwalan konvensional.

Menghitung Jumlah Pekerja dengan Menghilangkan *Safety Time* dan *Multitasking*

Setelah mengurangi durasi kegiatan proyek sebesar 50% dengan menggunakan *cut and paste method* dari penjadwalan *CPM* (penjadwalan konvensional).

Penerapan pemotongan durasi kegiatan proyek sebesar 50% ini berarti sudah termasuk menghilangkan waktu aman (*safety time*). Langkah berikutnya pada metode *CCPM* adalah menghilangkan *multitasking* atau mengerjakan dua atau lebih pekerjaan di dalam satu waktu. Berdasarkan data dari CV. Bonang Raya selaku kontraktor pelaksana, maksimal satu jenis pekerja yang bekerja pada satu waktu adalah 10 orang. Untuk lebih bisa menggambarkan kondisi tenaga kerja yang terlibat dalam pekerjaan bisa dapat dilakukan perhitungan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan dalam masing-masing kegiatan proyek yang ditangani.

Berdasarkan informasi data pekerja yang dibutuhkan dalam pengerjaan proyek dengan telah menghilangkan *safety time* dan *multitasking*, maka jumlah

sumberdaya manusia yang terlibat adalah 90 orang, dapat diperinci untuk pekerja 35 orang, tukang gali tanah 10 orang, tukang besi 11 orang, tukang las 33 orang dan mandor 1 orang.

Memasukkan *Feeding Buffer*

Pengurangan durasi aktivitas pada metode ini menyebabkan resiko keterlambatan semakin besar. Oleh karena itu dibutuhkan *buffer* atau waktu penyangga yang harus diaplikasikan agar kegiatan tidak terlambat. *Buffer* ditambahkan kedalam waktu proyek yang durasi aktivitasnya dikurangi dengan tujuan dihasilkannya jadwal yang lebih aman (Goldratt, 1997). Untuk mendapatkan perhitungan *feeding buffer* yang akurat digunakan metode *root square method (RSEM)*. Cara ini sama dengan menghitung dua standar deviasi dengan memasukan durasi *CPM (S)* dan durasi *CCPM (A)* yang besarnya 50% dari estimasi aman. Besarnya *buffer* didapat dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut ini:

$$2\sigma = 2\sqrt{\left(\frac{S_1-A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2-A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n-A_n}{2}\right)^2}$$

Dimana:

S = Durasi *CPM* (Penjadwalan konvensional)

A = Durasi *CCPM* (Penjadwalan rantai kritis)

Berdasarkan persamaan di atas, dengan memasukkan durasi *CPM* sebagai variabel S dan *CCPM* sebagai variabel A pada persamaan tersebut, akan didapat data yang dapat digunakan untuk perhitungan *buffer*. Jenis *buffer* ada 2, yaitu *feeding buffer* digunakan pada rangkaian kegiatan dalam kategori rantai tidak kritis dan *project buffer* digunakan pada rangkaian kegiatan dalam kategori rantai kritis. Tujuan pemberian *buffer* ini untuk melindungi dan tidak membahayakan rantai kritis (Araszkiwicz, 2017; Vignesh, 2019).

Menghitung *Feeding Buffer*

Dalam metode *CCPM* ada beberapa jenis *buffer* yang digunakan, yaitu *project buffer* dan *feeding*

buffer. Keduanya memiliki perbedaan, yaitu *feeding buffer* diletakkan pada akhir rantai non kritis dan *project buffer* diletakkan pada akhir kegiatan. Memasukan *feeding buffer* bertujuan untuk mengamankan rantai non kritis dari keterlambatan sehingga tidak membahayakan rantai kritis. Berdasarkan daftar kegiatan pada proyek pembangunan gudang polowijo terdapat 5 jalur non kritis yang perlu dilakukan perhitungan *feeding buffer*, yaitu:

1. Jalur A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K
2. Jalur A-B-C-L-M
3. Jalur A-B-C-N-O
4. Jalur A-B-C-P-Q
5. Jalur A-B-C-V

Berdasarkan atas hasil

perhitungan *feeding buffer* pada jalur-jalur non kritis, maka dapat disimpulkan dalam bentuk *summary*

perhitungan *feeding buffer* seperti dapat ditampilkan pada Tabel 3 sebagai berikut ini.

Tabel 3. *Summary* Perhitungan *Feeding Buffer*

No	Jalur Non Kritis	<i>Feeding Buffer</i> (Hari)	<i>Feeding Buffer</i> (Jam)
1	A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K	18,07	144,56
2	A-B-C-L-M	7,92	63,36
3	A-B-C-N-O	6,52	52,16
4	A-B-C-P-Q	5,61	44,88
5	A-B-C-V	4,39	35,12

Menghitung *Project Buffer*

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan *project buffer*. *Buffer* ini ditambahkan pada akhir proyek untuk melindungi waktu akhir penyelesaiannya. Berdasarkan hasil perhitungan *project buffer* pada proyek yang dianalisa pada penelitian ini didapatkan sebesar 11,5 hari. Selanjutnya, dimasukkan ke penjadwalan *CCPM* (49 hari) sehingga total durasi penjadwalan dengan metode *CCPM* menjadi 60,5 hari atau dibulatkan menjadi 61 hari.

Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung

Perhitungan biaya tenaga kerja langsung diperoleh dari perkalian antara upah pekerja dengan satuan waktu bekerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam proyek. Berikut ini tarif upah pekerja yang berlaku pada proyek pembangunan gudang polowijo, seperti dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Daftar Tenaga Kerja dan Upah

No	Jenis Pekerjaan	Harga Upah (Rp)	Satuan Waktu
1	Mandor	150,000.00	1 Orang/ Jam
2	Kepala Tukang Gali Tanah	125,000.00	1 Orang/ Jam
3	Kepala Tukang Besi	125,000.00	1 Orang/ Jam
4	Kepala Tukang Las	125,000.00	1 Orang/ Jam
5	Tukang Gali Tanah	105,000.00	1 Orang/ Jam
6	Tukang Besi	105,000.00	1 Orang/ Jam
7	Tukang Las	105,000.00	1 Orang/ Jam
8	Pekerja	85,000.00	1 Orang/ Jam

Sumber: CV. Bonang raya (2021)

Berdasarkan informasi pada Tabel 4 tersebut di atas, biaya tenaga kerja langsung diperoleh dari 2 penjadwalan terdiri penjadwalan *CPM* (penjadwalan konvensional) dengan durasi total proyek 98 hari dan jadwal perbaikan menggunakan metode *CCPM* dengan durasi total 61 hari. Berdasarkan penjadwalan tersebut dilakukan perhitungan biaya langsung, yaitu:

1. Biaya tenaga kerja langsung penjadwalan *CPM* (Konvensional)

Biaya tenaga kerja langsung dihitung sesuai dengan aktivitas pekerjaan penjadwalan *CPM* (konvensional) dengan durasi pelaksanaan proyek 98 hari, diperoleh Rp. 682.400.000,00 (#Enam ratus delapan puluh dua juta empat ratus ribu rupiah#).

2. Biaya tenaga kerja langsung penjadwalan menggunakan metode *CCPM*

Perhitungan biaya pada metode *CCPM* ini ditekankan pada

peningkatan produktivitas karyawan disertai peningkatan sebesar 50% dari tingkat upah normalnya. Dengan demikian, maka hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung diperoleh sebesar Rp. 511.035.000 (#Lima

ratus sebelas juta seratus tiga puluh lima ribu rupiah#).

Dengan demikian, dapat diperoleh perbandingan metode CPM dan CCPM seperti ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Perbandingan metode penjadwalan CPM dan CCPM

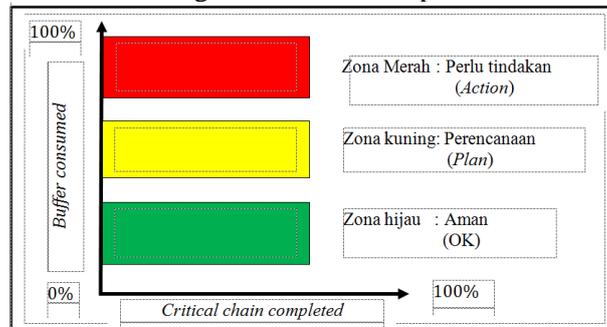
Penjadwalan	Durasi (hari)		Biaya tenaga kerja langsung (Rp)	
Metode CPM	98	Proyek lebih cepat 37,75%	682.400.000	Biaya tenaga kerja langsung lebih hemat 25,11%
Metode CCPM	61		511.035.000	

Sumber: Data diolah (2021)

Analisa Buffer Management

Manajemen *buffer* digunakan sebagai alat untuk menjaga keandalan dari jadwal. *Buffer* dibagi menjadi tiga divisi sama besar, dibedakan menjadi warna hijau, kuning dan merah. Warna hijau menunjukkan area dari nilai *negative* sampai satu per tiga pemakaian, menunjukkan zona aman dan tidak diharuskan mengambil

tindakan. Warna kuning menunjukkan zona transisi, tindakan harus sudah direncanakan dengan kemungkinan dibutuhkan jika konsumsi *buffer* dinilai banyak. Warna merah menunjukkan tindakan pemulihan yang telah direncanakan sebelumnya harus dilaksanakan. Untuk lebih jelas menggambarkannya, maka diperlihatkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Pembagian Daerah Penggunaan Buffer

Berdasarkan perhitungan dan analisa sebelumnya telah didapat besarnya *project buffer*, yaitu selama 11,5 hari. Dari hasil tersebut

selanjutnya akan dibagi menjadi tiga sama besar yang akan menentukan daerah-daerahnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Prosentase Pemakaian Durasi Project Buffer

Zona pemakaian <i>buffer</i>	Project <i>buffer</i> (hari)	Durasi yang terpakai (hari)
0%-33%	11,5	< 3,83
34%-67%	11,5	3,83 sampai 7,67
68%-100%	11,5	> 7,67

Pemakaian durasi *project buffer* dapat memberikan informasi bagi pihak pelaksana proyek dalam mengambil tindakan yang terkait dengan pengendalian saat pelaksanaan

proyek, khususnya dalam mengendalikan resiko yang akan membuat proyek menjadi terlambat. Dengan menekan resiko yang akan terjadi, maka secara langsung dapat

menekan pemakaian durasi *project buffer*. Pada Tabel 6 menjadi petunjuk kapan pihak pelaksana perlu mengambil tindakan, khususnya jika pemakaian *buffer* telah mencapai zona merah. Zona merah akan terjadi bilamana durasi *project buffer* yang terpakai melebihi 7,67 hari. Bilamana pemakaian durasi *project buffer* berkisar antara 3,83 sampai 7,67 hari masuk zona kuning perlu waspada dan memerlukan tindakan perencanaan dengan kemungkinan yang akan terjadi, sebaliknya bilamana pemakaian durasi *project buffer* masih di bawah 3,83 hari masuk zona hijau dan tidak memerlukan tindakan apa-apa karena dalam kondisi aman.

PENUTUP

Dengan telah dilaksanakannya penelitian ini, maka dapat dihasilkan kesimpulan penting terdiri:

1. Penerapan manajemen proyek rantai kritis pada proyek yang diteliti, dapat menghasilkan pelaksanaan proyek yang lebih singkat durasinya 37,76% dari penjadwalan awal 98 hari menjadi 61 hari.
2. Dengan hasil penjadwalan baru yang lebih pendek dalam pelaksanaan proyek, berkontribusi terhadap penurunan biaya tenaga kerja langsung 25,11% dari biaya tenaga kerja langsung awal Rp. 682.400.000 menjadi Rp. 511.035.000.
3. Untuk kebutuhan material dan bahan dalam pelaksanaan proyek tetap tidak mengalami perubahan sesuai dengan persyaratan dalam rencana kerja dan syarat-syarat pekerjaan dalam kontrak kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hazim, N., Salem, Z. A., & Ahmad, H. (2017). Delay and Cost Overrun in Infrastructure Projects in Jordan. *7th International Conference on Engineering, Project and Production Management*, 182, 18–24.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.105>
- Araszkievicz, K. (2017). Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: A Case Study. *7th International Conference on Engineering, Project and Production Management*, 182, 33–41.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.108>
- Bhan, A., & Waghmare, A. (2016). Application of Critical Chain Project Management To Construction Projects: A Review. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 5(12), 781–785.
- Chakosari, M. M. (2018). Performance Evaluation of Buffer Sizing Methods in Critical Chain and Providing a Developing Comprehensive Model to Determine the Critical Chain 's Buffer Size. *Thesis in Faculty of Industrial Engineering, Tarbiat Modares University, Iran*.
- Chakosari, M. M., & Chaharsooghi, S. K. (2019). The Review of Critical Chain Project Management (CCPM). *2nd International Conference on Industrial Engeneering & Management in the New Age, July 21, 2019, Tehran, Iran*, 2, 1–11.
- Ervianto, W. I. (2015). *Teori-Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi* (Ed. Revisi). Jogjakarta: Andi Offset.
- Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain*. The North River Press, Great Barrington, USA.
- Husen, A. (2011). *Manajemen Proyek*. Jogjakarta: Andi Offset.
- Kannan, J., & Chitra, G. (2017). Critical Chain over Critical Path in Construction Projects. *International Journal of Engineering and Management*

- Research, 7(1), 338–344.
www.ijemr.net
- Mabin, V., & Balderstone, S. (1998). A Review of Goldratt's Theory of Constraints-Lessons from the International Literature. *Operational Research Society of New Zealand 33rd Annual Conference, Auckland*.
- Nasution, R. R., & Arvianto, A. (2015). Penerapan Critical Chain Project Management Untuk Mengatasi Masalah Multi Proyek Dengan Keterbatasan Resources Di PT Berkat Manunggal Jaya. *Industrial Engineering Online Journal*, 4(2), 1–7.
- Pastiarsa, M. (2015). *Manajemen Proyek Konstruksi Bangunan Industri: Perspektif Pemilik Proyek*. Yogyakarta: Teknosain.
- Rani, H. (2016). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Raz, T., Barnes, R., & Dvir, D. (2003). A Critical Look at Critical Chain Project Management. *Project Management Journal*, 34(4), 24–32.
<https://doi.org/10.1109/EMR.2004.25048>
- Siswanto, B., Kristiana, W., & Dewantoro. (2021). Analisis Persyaratan Yang Diprioritaskan Oleh Penyedia Jasa Dalam Mengikuti Seleksi Penyedia Jasa Konsultansi Konstruksi di Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 26–39.
- Soeharto, I. (2019). *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.
- Subakir, A. H., & Sugiyanto. (2022). Analisis Duration Cost Trade Off Untuk Mengejar Keterlambatan Pelaksanaan Proyek (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Simorejo – Baureno Kabupaten Bojonegoro Jawa Timur). *Rang Teknik Journal*, 5(1), 8–23.
<http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL>
- Sugiyanto. (2020). *Manajemen Pengendalian Proyek*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka.
- Sugiyanto, A., & Gondokusumo, O. (2020). Perbandingan Metode Earned Value, Earned Schedule, Dan Kalman Filter Earned Value Untuk Prediksi Durasi Proyek. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 155–166.
<https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7069>
- Sugiyanto, & Umam, A. N. (2021). Analisis Kinerja Waktu Pelaksanaan Proyek dengan Metode Performance Intensity. *Rang Teknik Journal*, 4(1), 52–67.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v4i1.1951>
- Sugiyanto, & Untoko, R. (2022). Evaluasi Sistem Manajemen Pada Pelaksanaan Proyek Pembangunan Saranan Dan Prasarana Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Di Tuban Jawa Timur. *Rang Teknik Journal*, 5(1), 24–42.
<https://doi.org/10.31869/rtj.v5i1.2706>
- Usman, I., & Rendy, O. (2017). Toward Lean Construction through Critical Chain Project Management and Root Cause Analysis in a Construction Project. *International Conference of Organizational Innovation (ICOI 2017)*, 131, 153–158.
<https://doi.org/10.2991/icoi-17.2017.28>
- Vignesh, A. (2019). Critical Chain Project Management in Construction Projects. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(12), 2655–2658.
<https://doi.org/10.1002/9781118838167.ch5>
- Winoto, A. D. (2014). *Manajemen Konstruksi Untuk Bangunan*. Yogyakarta: Taka Publisher.