

# Analisis Percepatan Proyek Struktur *Semi Gantry Crane* Menggunakan *Critical Chain Project Management*

## (*Analysis of Semi Gantry Crane Structure Project Acceleration using Critical Chain Project Management*)

M. Faiizuddaroini<sup>1</sup>, Wahyu Nugroho<sup>2</sup>, Supriyadi<sup>3#</sup>, Ahmad Nalhadi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya, Provinsi Banten

#) Corresponding author: [supriyadi@unsera.ac.id](mailto:supriyadi@unsera.ac.id)

Received 27 November 2021, Revised 13 April 2021, Accepted 18 April 2022, Published 31 August 2022

**Abstrak.** Pengerjaan penyelesaian proyek mempunyai permasalahan terkait dengan kemungkinan penyelesaian proyek tidak tepat waktu sehingga menambah biaya dan sumber daya. Pengerjaan *struktur gantry crane* termasuk proyek yang mengalami permasalahan terkait dengan ketidaksesuaian antara perencanaan proyek dengan pengerjaan aktual proyek. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan kegiatan proyek dengan cara mempercepat waktu pengerjaan dan memberikan strategi pencegahan untuk meminimalkan keterlambatan proyek. Penelitian ini menggunakan metode *critical chain project management* dengan menggunakan metode *cut & paste* sebesar 30%. Hasil penelitian menunjukkan jumlah *buffer time* sebesar 10 hari yang terdiri dari 8 hari *project buffer* dan 2 hari *feeding buffer*. Jumlah waktu pengerjaan proyek struktur *semi gantry crane* mengalami percepatan dari 43 hari menjadi 33 hari. Usulan pencegahan yang dapat dilakukan agar proyek selesai sesuai dengan perencanaan adalah penambahan pekerja proyek, penambahan alat atau mesin, menghilangkan aktivitas multitasking yang menyebabkan pekerja proyek tidak segera menyelesaikan pekerjaannya.

Kata kunci: *buffer time*, *critical chain project management*, metode *cut & paste*, perencanaan proyek

**Abstract.** Project completion work has problems related to project completion not being on time, thereby increasing costs and resources. The work on the gantry crane structure includes projects that experience problems related to incompatibility between project planning and actual project work. This study aims to plan project activities by speeding up processing time and providing prevention strategies to minimize project delays. This study uses the critical chain project management method using the cut & paste method by 30%. The results showed the total buffer time was ten days, consisting of eight project buffer days and two feeding buffer days. The total time for the semi-gantry crane structure project has accelerated from 43 days to 33 days. Suggestions for prevention that can be done to complete the project according to the plan are adding project workers, adding tools or machines, and eliminating multitasking activities that cause project workers not to finish their work immediately.

Keywords: *buffer time*, *critical chain project management*, *cut & paste method*, *project planning*

## 1 Pendahuluan

Kegiatan penyelesaian suatu proyek mempunyai banyak tantangan terkait dengan durasi waktu penyelesaian sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Beberapa keluhan dari konsumen terkait dengan kualitas produk, jadwal pelaksanaan sampai waktu penyelesaian pekerjaan (Hindar, 2014). Penyelesaian proyek juga dipengaruhi faktor risiko seperti kondisi cuaca, bencana alam, keterlambatan material maupun kerusakan peralatan (Sahrupi et al., 2021). Risiko yang tinggi dalam penyelesaian proyek seringkali membuat penyelesaian proyek tidak sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Pelaksanaan proyek membutuhkan manajemen yang baik dalam merencanakan, membuat penjadwalan dan mengendalikan suatu proyek. Manajemen proyek mempunyai tantangan dalam perspektif teoretis (permasalahan penjadwalan sumber daya yang terbatas) dan perspektif praktis yaitu penyelesaian proyek tepat waktu dan sesuai anggaran (Hall, 2012). Kompleksitas

permasalahan pada proyek sangat berpengaruh pada tingkat keberhasilan proyek. Untuk mengelola kompleksitas dengan baik, manajer proyek harus tahu bagaimana memanfaatkan peluang yang muncul dari kompleksitas dan untuk mengetahui bagaimana menghindari atau setidaknya mengurangi efek negatif dari kompleksitas (San Cristóbal et al., 2018; Vidal & Marle, 2008).

PT. KRW adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang proyek konstruksi. Pengerjaan struktur *gantry crane* adalah termasuk proyek yang dikerjakan oleh perusahaan tersebut. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, perusahaan beberapa kali sering mengalami permasalahan pengerjaan proyek terkait dengan ketidaksesuaian antara perencanaan proyek dengan pengerjaan aktual proyek. Salah satu akibat dari ketidaksesuaian antara perencanaan dan pengerjaan aktual proyek adalah keterlambatan dalam menyelesaikan proyek. Keadaan ini mengakibatkan perusahaan terkena pinalti sehingga menyebabkan kerugian finansial bagi perusahaan, dan kerugian bagi konsumen yang berakibat pada tingkat kepuasan konsumen.

*Critical Path Method* (CPM) merupakan metode yang populer yang digunakan dalam perencanaan suatu proyek. Metode ini melakukan optimalisasi pengerjaan proyek dengan cara menambah sumber daya (Habibi et al., 2016) atau melakukan *crashing* (Nalhadi & Suntana, 2017) untuk mengoptimalkan waktu penyelesaian proyek pada kegiatan yang kritis. CPM berorientasi pada waktu dengan cara mengidentifikasi jalur kritis sepanjang jaringan kerja (Shofa et al., 2018), melakukan pengurangan durasi waktu pada jalur kritis untuk mempercepat penyelesaian suatu proyek (Miranda & Tripiawan, 2019; Saputra M et al., 2016). Perubahan jalur dan kegiatan kritis dapat mengganggu seluruh perencanaan dan penjadwalan yang berkaitan dengan waktu, sumber daya, biaya, dan lainnya yang dianggap sebagai keterbatasan CPM (Parekh et al., 2020). Penambahan sumber daya atau waktu jam kerja juga akan berdampak pada penambahan biaya proyek.

*Critical Chain Project Management* (CCPM) merupakan metode pengelolaan proyek berdasarkan metodologi *Theory of Constraint* (TOC). TOC disesuaikan untuk sektor manajemen operasi berdasarkan prinsip bahwa setiap sistem memiliki kendala yang mencegahnya mencapai tingkat kinerja yang lebih tinggi dan satu-satunya pendekatan untuk meningkatkan kinerja sistem adalah dengan meningkatkan kapasitas kendala itu. Berkenaan dengan CCPM, kendala unik dalam lingkungan proyek tunggal ini adalah rantai aktivitas terpanjang dalam jaringan proyek, dengan mempertimbangkan prioritas aktivitas dan ketergantungan sumber daya (*critical chain*) dan dalam lingkungan multi-proyek adalah sumber daya yang menghambat penyelesaian proyek lebih awal (Ghaffari & Emsley, 2015). CCPM merupakan alternatif untuk metode penjadwalan proyek klasik seperti CPM, yang terbatas pada pendekatan deterministik (Pellerin & Perrier, 2019). CCPM mengidentifikasi rantai tugas terpanjang dengan sumber daya yang saling berhubungan (*critical chain*) sebagai kendala utama yang membatasi kinerja proyek (Ordoñez et al., 2019). Metode CCPM mampu menyelesaikan permasalahan terkait dengan kecenderungan pelaksanaan kegiatan yang mendekati dengan waktu penyelesaian akhir (*student syndrome*) dan kecenderungan memperlambat menyelesaikan kegiatan ditemukan kelebihan waktu pengerjaan kegiatan proyek (*parkinson law*) (Leach, 2014).

Pendekatan dapat memberikan mekanisme dalam mengidentifikasi dan mengantisipasi suatu aktivitas kritis pada kondisi ketidakpastian, dan kecenderungan aktivitas dalam sebuah proyek yang mungkin berubah-ubah. Fokus metode CCPM adalah mengatasi permasalahan *safety time* dengan memperhatikan aspek-aspek tertentu dari perilaku manusia sehingga tidak disalahgunakan (Rand, 2000); mengurangi risiko kelebihan waktu dari tanggal akhir target dengan memasukkan cadangan kontingensi (*buffer time*) (Steyn, 2001) dan menekankan pada ketersediaan sumber daya dan memobilisasi sumber daya ketika konflik sumber daya terjadi antara dua kegiatan (Wang et al., 2014). *Buffer time* berfungsi sebagai sinyal peringatan untuk memastikan bahwa sumber daya yang diperlukan untuk penyelesaian tepat waktu aktivitas pada rantai kritis tersedia. Metode ini dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan terkait dengan *safety time* dan bisa memonitoring kegiatan proyek dengan cara melihat tingkat penggunaan *buffer time*. Dalam kondisi Jika konsumsi *buffer time* melebihi jumlah *buffer time* yang dimiliki, maka pelaksana dapat menjalankan perencanaan tindakan yang diperlukan sehingga kegiatan proyek tetap berjalan sesuai dengan perencanaan. *Buffer time* juga dapat digunakan untuk mengantisipasi keterlambatan proyek yang diakibatkan perubahan atau kendala yang bersifat *uncertainty* (Nasution, 2014).

Implementasi CCPM pada proyek pembangunan Irigasi Lhok Guci dengan mampu mempercepat pengerjaan proyek sebesar 42 hari dengan asumsi buffer tidak digunakan. Perencanaan ini mampu menghemat biaya Rp. 124.223.914 dan durasi proyek berkurang menjadi 367 hari (Saputra et al., 2021). Penggunaan metode *cut & paste* dalam CCPM juga dapat mengurangi durasi pekerjaan pabrikasi beton pemecah gelombang dari 64 hari menjadi 53 hari (Nugroho et al., 2020). Kedua penelitian tersebut fokus dalam penggunaan *project buffer* dalam mengendalikan dan mempercepat kegiatan proyek. Penelitian dilakukan dengan menambahkan analisa *feeding buffer* yang berpengaruh pada *critical chain* ketika terpakai 100%. *Feeding buffer* bertujuan untuk melindungi kegiatan kritis dari potensi gangguan yang dapat menyebabkan penundaan dan diletakkan diantara kegiatan *non critical chain* dan *critical chain* (Roghanian et al., 2018). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kegiatan penyelesaian dengan menggunakan *cut & paste method*, *project buffer* dan *feeding buffer* untuk mendapatkan percepatan yang optimal. Percepatan yang dilakukan dapat terkendali dengan adanya penerapan *buffer time*.

## 2 Metoda

Penelitian ini dilaksanakan pada kegiatan proyek struktur *semi gantry crane* dengan menggunakan pendekatan CCPM dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan berupa data perencanaan pelaksanaan proyek, data durasi aktivitas proyek, dan *Work Breakdown Structure* (WBS). WBS berbentuk struktur hierarkis yang direpresentasikan dalam bentuk tabel atau grafik. WBS dalam bentuk grafik berfungsi untuk pengembangan yang berkaitan dengan jadwal dan biaya, sedangkan bentuk grafik digunakan untuk mengkomunikasikan aktivitas kerja yang bermanfaat untuk manajemen proyek dan konsumen dan/atau pelanggan (Horine, 2009). Penentuan alokasi sumber daya dan ranking pekerjaan proyek dari WBS berdasarkan hasil wawancara dengan manajer proyek.

Langkah selanjutnya adalah menentukan jalur kritis berdasarkan hasil *Precedence Diagramming Method* (PDM). Jalur dikatakan kritis jika nilai *float/slack time* (S) proyek sama dengan nol. Metode PDM merupakan pengembangan format *activity-on-node* (AON) yang mencakup kemampuan secara langsung memodelkan hubungan prioritas "*start-to-start*" (SS), "*finish-to-finish*" (FF) dan "*start-to-finish*" (SF) di antara aktivitas sebagai serta hubungan "*finish-to-start*" (FS) (Hebert & Deckro, 2011). Pendekatan dalam PDM menggunakan dua langkah yaitu perhitungan maju dan perhitungan mundur. Perhitungan maju digunakan untuk menentukan hasil *early start* (ES) dan *early finish* (EF) yang dipengaruhi oleh kegiatan terdahulu (i) dan kegiatan yang sedang ditinjau (j). Perhitungan mundur merupakan perhitungan yang dimulai kegiatan selesai proyek menuju ke awal kegiatan proyek yang dinotasikan dalam *early start* (ES) dan *early finish* (EF).

$$ES(i) = ES(i) + SS \quad (1)$$

$$ES(i) = ES(i) + SF - D(j) \quad (2)$$

$$ES(i) = EF(i) + FS \quad (3)$$

$$ES(i) = EF(i) + FF - D(j) \quad (4)$$

$$EF(j) = ES(j) + D(j) \quad (5)$$

$$EF = ES + \text{waktu kegiatan} \quad (6)$$

$$LS = LF - \text{waktu kegiatan} \quad (7)$$

$$S = LF - EF \text{ atau } LS - ES \quad (8)$$

Penentuan buffer time berdasarkan hasil *cut & paste method* (C&PM). Metode ini awalnya diusulkan oleh Goldratt (1997), untuk menghilangkan 50% dari durasi aktivitas sebagai waktu aman dan kemudian mengambil 50% dari penjumlahan waktu aman ini sebagai ukuran *buffer*. Penggunaan *buffer* hingga 50% dari durasi kerja dianggap tidak masuk akal dan harus diperkirakan sesuai dengan kemampuan dan pengalaman pekerja (Liu & Whangbo, 2012). Penggunaan buffer kemudian dikembangkan mulai 50%, 40%, 30%, 20%, dan 10% dari durasi aktivitas (Tripiawan & Miranda, 2020). Penelitian ini menggunakan probabilitas 30% berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perencanaan perusahaan berdasarkan pengalaman pengerjaan proyek sebelumnya.

Perhitungan *buffer time* proyek berdasarkan dari nilai *project buffer* dan *feeding buffer* yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan *Root Square Error Method* (RSEM) berdasarkan faktor waktu pesimis (S) dan waktu optimis (A). Waktu pemakaian *buffer time* diidentifikasi menggunakan *buffer zone* yang berfungsi sebagai kontrol penggunaan *buffer time* sehingga

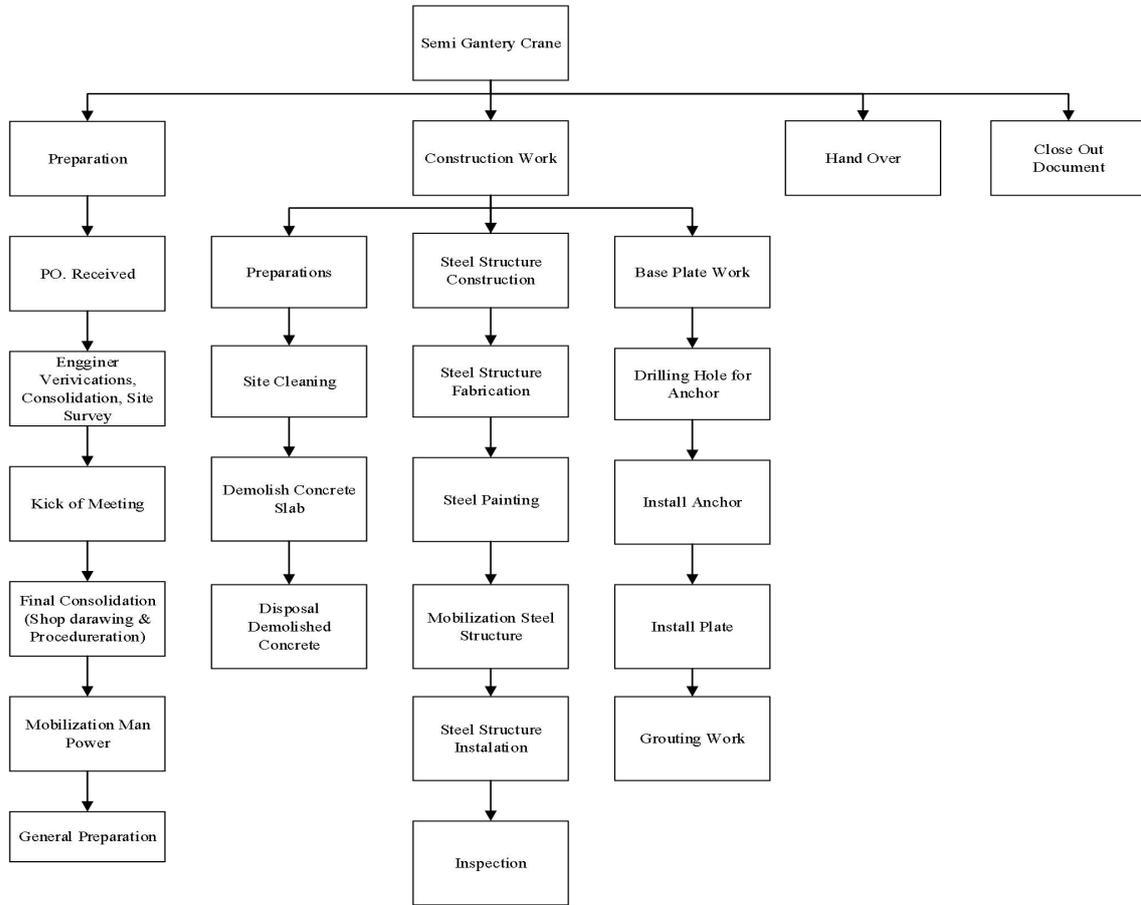
perusahaan dapat melakukan tindakan-tindakan apa yang akan dilakukan. *Zone buffer* terbagi menjadi tiga area yaitu area hijau, area kuning dan area merah. Manajemen proyek perlu mengetahui permasalahan yang menyebabkan penundaan aktivitas dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk membawa proyek kembali ke *zona kuning atau hijau*. Dengan memantau trend buffer (menjadi lebih hijau, atau menjadi lebih merah), mereka dapat dengan mudah melihat efek dari tindakan korektif yang telah diambil (Izmailov et al., 2016).

$$RSEM = 2 \times \sqrt{\left(\frac{S1-A1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S2-A2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{Sn-An}{2}\right)^2} \quad (9)$$

### 3 Hasil dan Pembahasan

Proyek struktur *semi gantry crane* adalah proyek yang dikerjakan oleh PT. KRW. Proyek ini adalah proyek pembuatan *struktur crane* dimana *crane* ini bisa bergerak maju dan menggunakan satu kaki untuk menopang girder (beban). Fungsi *crane* ini adalah untuk memindahkan benda-benda atau alat-alat berat yang ada di luar ruangan ke dalam ruangan. Kegiatan ini mempunyai empat kegiatan utama yaitu *preparation*, *construction work*, *hand over* dan *close out document* (Gambar 1). Dari keempat kegiatan tersebut dirinci ke sub-sub kegiatan beserta ranking pekerjaan proyek agar manajer proyek dapat memutuskan bagaimana alokasi sumber daya yang tepat dan karyawan proyek dapat mengetahui aktivitas proyek mana yang harus dikerjakan. *Preparation* adalah tahap persiapan-persiapan proyek dari mulai perencanaan, penerimaan PO (*purchase order*), persiapan proyek, persiapan sumber daya manusia, material, alat dan sebagainya. *Construction work* adalah tahap pekerjaan proyek yang dikerjakan. Pada tahap ini ada aktivitas-aktivitas proyek yang dikerjakan yaitu *preparation*, *steel structure construction*, dan *base plate work*. *Hand Over* adalah tahap serah terima pekerjaan ke owner. *Close out document* adalah dokumen-dokumen proyek yang terdiri dari *copy contract*, *approval material*, *testing report*, *schedule* dan perubahan-perubahannya, *drawing-drawing*, serta berita acara yang berisikan serah terima pekerjaan dan dokumentasi.

Hasil WBS kemudian diuraikan dalam rincian aktivitas untuk memudahkan analisa dan penyelesaian durasi proyek (Tabel 1). Aktivitas-aktivitas proyek tersebut sebagian besar memiliki ketergantungan yang disebabkan oleh sifat aktivitas itu sendiri sehingga aktivitas akan dimulai ketika aktivitas sebelumnya (*predecessor*) selesai dikerjakan. Sebagai contohnya adalah aktivitas *mobilization manpower* dapat dikerjakan ketika aktivitas *final consolidation (shop drawing & procedure)* telah selesai dikerjakan. Dari aktivitas-aktivitas proyek, kemudian ditentukan dengan jalur kritis proyek.



Gambar 1 Work breakdown structure (WBS) semi gantry crane.

Tabel 1 Aktivitas proyek semi gantry crane

Kode Aktivitas	Aktivitas	Durasi (hari)	Kegiatan yang mendahului
1	PO. Received	1	
2	Engineer Verification, Consolidation, Site Survey	4	1
3	Kick of Meeting	1	2
4	Final Consolidation (shop drawing & Procedure)	2	3
5	Mobilization Man Power	3	4
6	General Preparation	5	5
7	Site Cleaning	1	4, 5
8	Demolish Concrete Slab	4	7
9	Disposal Demolished Concrete	1	8
10	Steel Structure Fabrication <sup>11</sup>	18	4
11	Steel Painting <sup>12</sup>	6	10
12	Mobilization Steel Structure <sup>13</sup>	1	11
13	Steel Structure Installation <sup>14</sup>	10	11
14	Inspection <sup>15</sup>	1	13
15	Drilling Hole for Anchor	3	9
16	Install Anchor	3	15
17	Install Plate	6	16
18	Grouting Work	4	17
19	Hand Over	1	18
20	Closing Out Document	1	19

Jalur kritis diperoleh berdasarkan hasil dari nilai-nilai untuk perhitungan maju, perhitungan mundur, dan perhitungan *slack time*. Aktivitas-aktivitas proyek yang memiliki nilai *float/slack time* = 0 maka aktivitas tersebut termasuk dalam jalur kritis. Jalur kritis dari proyek *semi gantry crane*: aktivitas 1 – 2 – 3 – 4 – 10 – 11 – 13 – 14. Aktivitas-aktivitas proyek yang memiliki *float/slack time* adalah aktivitas yang tidak termasuk dalam jalur kritis. Urutan aktivitas-aktivitas proyek yang bukan jalur kritis: 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 12 – 15 – 16 – 17 – 18 – 19 – 20 (Tabel 2).

**Tabel 2** Hasil *float/slack time*

Kode Aktivitas	<i>Early Start</i>	<i>Early Finish</i>	<i>Late Start</i>	<i>Late Finish</i>	<i>Slack</i>	Hasil
1	0	1	0	1	0	Kritis
2	1	5	1	5	0	Kritis
3	5	6	5	6	0	Kritis
4	6	8	6	8	0	Kritis
5	8	11	16	19	8	Tidak Kritis
6	11	16	38	43	27	Tidak Kritis
7	11	12	19	20	8	Tidak Kritis
8	12	16	20	24	8	Tidak Kritis
9	16	17	24	25	8	Tidak Kritis
10	8	26	8	26	0	Kritis
11	26	32	26	32	0	Kritis
12	32	33	42	43	10	Tidak Kritis
13	32	42	32	42	0	Kritis
14	42	43	42	43	0	Kritis
15	17	20	25	28	8	Tidak Kritis
16	20	23	28	31	8	Tidak Kritis
17	23	29	31	37	8	Tidak Kritis
18	29	33	37	41	8	Tidak Kritis
19	33	34	41	42	8	Tidak Kritis
20	34	35	42	43	8	Tidak Kritis

Pada proses penerapan metode *cut & paste*, waktu normal dari aktivitas-aktivitas proyek dikurangi dengan probabilitas 30%. Perhitungannya mengacu pada pembulatan keatas karena kelebihan waktu kerja akan dibulatkan ke dalam satu hari (Tabel 3). Hasil estimasi waktu aktivitas-aktivitas dengan penerapan metode *cut & paste*, didiskusikan dengan penanggung jawab proyek agar perkiraan waktu aktual aktivitas-aktivitas proyek atau sesuai dengan waktu pekerjaan yang ada di lapangan. Kesesuaian waktu ini diharapkan agar perencanaan perusahaan dan pengerjaan aktivitas-aktivitas proyek yang ada di lapangan berjalan dengan baik sehingga proyek dapat mencapai target dan perusahaan tidak terkena pinalti. Analisa juga diarahkan pada pencarian waktu pelaksanaan dalam menyelesaikan setiap pekerjaan, dan menghapus waktu kegiatan pengamanan pada setiap aktivitas proyek sehingga diperoleh waktu optimis, dan waktu pesimis. Waktu optimis (waktu tercepat A) merupakan waktu tercepat penyelesaian suatu aktivitas proyek dengan asumsi kegiatan berjalan dengan normal tanpa ada hambatan atau kendala. Waktu pesimis (waktu yang memiliki waktu cadang S) adalah waktu maksimal atau waktu normal yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu aktivitas proyek dengan beberapa asumsi kendala yang akan terjadi. Selisih kedua waktu tersebut nantinya akan digunakan untuk mencari estimasi rata-rata waktu penyelesaian suatu aktivitas proyek.

Penerapan metode ini mampu mengurangi durasi pengerjaan proyek *semi gantry crane* menjadi 33 hari dari waktu sebelumnya sebesar 43 hari. Aktivitas proyek yang mengalami pengurangan waktu yaitu aktivitas *demolish concrete slab* yaitu sub dari aktivitas *construction work* dan aktivitas *steel structure fabrication* sub dari aktivitas *steel structure construction*. Usulan pengurangan waktu tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan penambahan alat yaitu *jack hammer* pada kegiatan *demolish concrete slab* dan penambahan sebuah mesin las dan seorang *welder* pada aktivitas *steel structure fabrication*. Penambahan alat bertujuan meningkatkan produktivitas dalam proses dari aktivitas *demolish concrete slab* dan *steel structure fabrication* dan dapat mempercepat waktu proyek. Setelah waktu aktivitas-aktivitas proyek didapatkan, kemudian membagi aktivitas-

aktivitas proyek kedalam dua bagian yaitu aktivitas proyek yang termasuk ke dalam jalur kritis, dan aktivitas proyek yang bukan termasuk jalur kritis.

**Tabel 3** Hasil perhitungan metode *cut & paste*

Kode Aktivitas	Waktu (Hari)	Probabilitas 30%	Durasi - 30%	Durasi CCPM	Durasi Optimistic (A)	Durasi Pessimistic (S)
1	1	0,3	0,7	1	1	1
2	4	1,2	2,8	3	4	4
3	1	0,3	0,7	1	1	1
4	2	0,6	1,4	2	2	2
5	3	0,9	2,1	3	3	3
6	5	1,5	3,5	4	5	5
7	1	0,3	0,7	1	1	1
8	4	1,2	2,8	3	2	4
9	1	0,3	0,7	1	1	1
10	18	5,4	12,6	13	10	18
11	6	1,8	4,2	5	6	6
12	1	0,3	0,7	1	1	1
13	10	3	7	7	10	10
14	1	0,3	0,7	1	1	1
15	3	0,9	2,1	3	3	3
16	3	0,9	2,1	3	3	3
17	6	1,8	4,2	5	6	6
18	4	1,2	2,8	3	4	4
19	1	0,3	0,7	1	1	1
20	1	0,3	0,7	1	1	1

*Buffer* adalah perpanjangan waktu tugas mengantisipasi ketidakpastian. Dalam teknik penjadwalan tradisional, *safety time* ditambahkan ke semua aktivitas individu sehingga menghasilkan durasi proyek yang lebih lama, yang sebenarnya tidak perlu. CCPM menggunakan *buffer time* yang ditambahkan di akhir jaringan untuk mengurangi *safety time* itu dan mengurangi tanggal penyelesaian proyek secara keseluruhan (Prajapati & Yadav, 2017). *Buffer time* dibagi menjadi dua *buffer* yaitu *project buffer* dan *feeding buffer*. *Project buffer* dimasukkan di akhir jaringan penjadwalan proyek untuk melindungi tanggal penyelesaian. *Feeding buffer* melindungi rantai kritis dari penyelesaian akhir dari aktivitas sebelumnya yang tidak kritis yang harus diselesaikan sebelum memulai aktivitas kritis penerus. Hasil perhitungan *project buffer* adalah 8 hari (*project buffer* =  $2 \times \sqrt{16}$ ) (Tabel 4). Dari hasil tersebut diketahui bahwa 8 hari tersebut bisa digunakan untuk melindungi kegiatan-kegiatan yang ada di dalam jalur. *Project buffer* ditempatkan setelah aktivitas proyek *steel structure fabrication*. Jumlah *buffer time* dapat diketahui yaitu dengan menambahkan jumlah *project buffer* dan *feeding buffer*. Hasil *buffer time* pada proyek *semi gantry crane* adalah 10 hari. Penempatan *Feeding buffer* yang berjumlah 2 hari (*feeding buffer* =  $2 \times \sqrt{1}$ ) (Tabel 5) yaitu terletak pada persimpangan menuju rantai kritis yaitu terletak antara aktivitas *feeding buffer* yang berpengaruh terhadap rantai kritis ketika terpakai 100%.

**Tabel 4** Hasil perhitungan *project buffer*

Kode Aktivitas	Durasi Pessimistic (A)	Durasi Pesimistic (S)	S - A	$\frac{S - A}{2}$	$(\frac{S - A}{2})^2$
1	1	1	0	0	0
2	4	4	0	0	0
3	1	1	0	0	0
4	2	2	0	0	0
10	10	18	8	4	16
11	6	6	0	0	0
13	10	10	0	0	0
14	1	1	0	0	0
Total					16

**Tabel 5** Hasil perhitungan *feeding buffer*

Kode Aktivitas	Durasi Pessimistic (A)	Durasi Pesimistic (S)	S - A	$\frac{S - A}{2}$	$(\frac{S - A}{2})^2$
5	3	3	0	0	0
6	5	5	0	0	0
7	1	1	0	0	0
8	2	4	2	1	1
9	1	1	0	0	0
12	1	1	0	0	0
15	3	3	0	0	0
16	3	3	0	0	0
17	6	6	0	0	0
18	4	4	0	0	0
19	1	1	0	0	0
20	1	1	0	0	0
Total					1

Pada proses penggunaan *zone buffer*, Perusahaan perlu memperhatikan penggunaan *project buffernya* agar perusahaan bisa mengontrol proyek yang sedang dikerjakan dan bisa merencanakan apa solusi-solusi atau pencegahan-pencegahan yang digunakan untuk jika *project buffer* terpakai semua. *Zone buffer time* terbagi menjadi 3 yaitu yaitu zona hijau (0 – 3 hari), zona kuning (4-6 hari) dan zona merah (7-8 hari) (Tabel 6). Penentuan zona buffer berdasarkan dari perhitungan *project buffer* sebesar 8 hari. Jika pemakaian *project buffer* berada di zona hijau maka proyek bisa dikategorikan masih aman atau tidak perlu ada tindakan yang harus dilakukan. Untuk pemakaian *project buffer* pada zona kuning, perusahaan harus membuat perencanaan tindakan pencegahan atau solusi agar proyek masih bisa berjalan sesuai dengan perencanaan. Zona berwarna merah adalah kondisi dimana pemakaian *project buffer* hampir semua terpakai atau akan terpakai semua. Dalam hal ini perusahaan segera untuk menerapkan perencanaan tindakan pencegahan atau solusi agar proyek berjalan sesuai dengan perencanaan awal. Usulan pencegahan penggunaan *buffer time* yang berlebihan untuk perusahaan adalah penambahan pekerja proyek, penambahan alat atau mesin dan menghilangkan aktivitas *multitasking* yang menyebabkan pekerja proyek tidak segera menyelesaikan pekerjaannya.

**Tabel 6** Indikator zona konsumsi *buffer* proyek

Zona Konsumsi Buffer	Project Buffer (hari)	Durasi Terpakai	Keterangan
0% - 33%	8	0 – 3	Tidak ada tindakan yang harus dilakukan
34% - 66%	8	4 – 6	Merencanakan tindakan pencegahan
67% - 100%	8	7 – 8	Menerapkan tindakan pencegahan

Penambahan *buffer time* dengan cara menambahkan durasi *feeding buffer* secara langsung mampu mempercepat waktu pengerjaan aktivitas proyek. Hal ini mampu memperbaiki penelitian sebelumnya dimana percepatan proyek dikhususkan pada percepatan pada *project buffer* (Nugroho et al., 2020; Saputra et al., 2021). CCPM melindungi waktu pengerjaan proyek secara keseluruhan dengan *project buffer* di akhir rantai kritis. Strategi ini bertujuan untuk melindungi proyek dari ketidakpastian penyebab umum dari aktivitas individu di jalur aktivitas dengan cara menggunakan *buffer* di ujung jalur. *Buffer* muncul sebagai aktivitas dalam rencana proyek, tetapi tidak memiliki pekerjaan yang ditugaskan padanya. CCPM juga melindungi rantai kritis dari potensi penundaan dengan mensubordinasi *feeding buffer* rantai kritis, menempatkan *critical chain feeding buffer* di akhir setiap jalur rantai kritis. Ini termasuk jalur yang bergabung dengan rantai kritis di akhir proyek. *Feeding buffer* menyediakan mekanisme pengukuran dan kontrol untuk melindungi rantai kritis Inovasi ini menjaga rantai kritis dari potensi penundaan di jalur pemberian makan dan menyediakan sarana untuk mengukur jalur *feeding*, sambil tetap fokus pada rantai kritis (Leach, 1999).

Implementasi CCPM sangat tergantung pada implementasi metode *cut & paste*, dimana semakin besar probabilitas yang digunakan maka akan semakin besar tingkat percepatan waktu proyek yang akan berdampak pada efisiensi biaya proyek. *Feeding buffer* ditambahkan ke ujung rantai makan di mana rantai makan menyatu dengan rantai kritis. Keuntungan dari C&PM adalah

kesederhanaannya untuk diterapkan dan menyediakan *buffer* yang cukup besar. Kerugian dari metode ini adalah ukuran *buffer* meningkat secara linier dengan panjang rantai makan yang berdampak pada kesulitan implementasi di lapangan (Roghanian et al., 2018). Analisa bisa dikembangkan terkait *resource buffer* terkait dengan mempersiapkan sumber daya yang akan digunakan untuk kegiatan rantai kritis dan melindungi penundaan memulai aktivitas karena kendala sumber daya (Jo et al., 2018). Penggunaan teori probabilitas memiliki dua permasalahan terkait dengan implementasi teori probabilitas yang tidak efektif untuk kegiatan proyek yang tidak rutin (Long & Ohsato, 2008) dan pendapat ahli yang menyatakan probabilitas penyelesaian 50% agak sulit diterapkan (Roghanian et al., 2018).

#### 4 Kesimpulan

Implementasi CCPM dengan menggunakan metode *cut & paste* mampu mengurangi kegiatan yang dianggap sebagai *safety time* sebanyak 10 hari yang terdiri dari 8 hari *project buffer* dan 2 hari *feeding buffer*. Waktu 10 hari yang dipergunakan sebagai *buffer time* mampu mempercepat proses penyelesaian proyek dari 43 hari menjadi 33 hari dengan asumsi *buffer time* tidak digunakan. Percepatan waktu penyelesaian proyek berdampak pada penurunan biaya proyek karena tidak menambah sumber daya atau waktu lembur seperti yang diterapkan pada metode CPM. Proses pengontrolan pengerjaan proyek dengan cara melakukan pengawasan terhadap pemakaian *project buffer* berdasarkan indikator zona *buffer* yang sudah dibuat dan dijaga jangan sampai mencapai zona merah. Perencanaan tindakan yang dapat dilakukan jika proyek berada di zona merah adalah dengan cara menambah jumlah sumberdaya, menambah peralatan dan menghilangkan pekerjaan yang bersifat *multitasking*.

Penggunaan metode CCPM dalam penelitian ini masih fokus pada penggunaan *project buffer* dan *feeding buffer* dalam menghilangkan *safety time* yang tidak perlu dalam kegiatan proyek, dimana durasi percepatan proyek sangat ditentukan oleh pengalaman manajer proyek. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada analisa penambahan faktor *resource buffer*, optimalisasi pengelolaan risiko dengan konsep *fuzzy* maupun *lean project management* untuk mempercepat durasi pengerjaan proyek dengan menghilangkan aktivitas yang tidak dianggap mempunyai nilai lebih.

#### Referensi

- Ghaffari, M., & Emsley, M. W. (2015). Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 20(2), 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.sorms.2015.10.001>
- Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain*. North River Press. <https://books.google.co.id/books?id=FKimAILd3NsC>
- Habibi, A., Supriyadi, S., & Wibowo, T. J. (2016). Analisis Penjadwalan Pembuatan Heat Exchanger Menggunakan Critical Path Method. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 2(1), 19–27. <https://doi.org/10.30656/intech.v2i1.860>
- Hall, N. G. (2012). Project management: Recent developments and research opportunities. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 21(2), 129–143. <https://doi.org/10.1007/s11518-012-5190-5>
- Hebert, J. E., & Deckro, R. F. (2011). Combining contemporary and traditional project management tools to resolve a project scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 38(1), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.12.004>
- Hindar, N. I. (2014). Analisis Jalur Kritis untuk Mengatasi Keterlambatan Proses Pemasangan Produk Interior Furniture dengan Metode Pert pada Salah Satu Proyek PT Pap Cabang Bandung. *Jurnal Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 6(3), 290–308. <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/oe/article/view/517>
- Horine, G. (2009). *Absolute Beginner's Guide to Project Management*. Que. <https://books.google.co.id/books?id=lvUQmQEACAAJ>

- Izmailov, A., Korneva, D., & Kozhemiakin, A. (2016). Effective Project Management with Theory of Constraints. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 229, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.118>
- Jo, S.-H., Lee, E.-B., & Pyo, K.-Y. (2018). Integrating a Procurement Management Process into Critical Chain Project Management (CCPM): A case-study on oil and gas projects, the piping process. *Sustainability*, 10(6), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su10061817>
- Leach, L. P. (1999). Critical Chain Project Management Improves Project Performance. *Project Management Journal*, 30(2), 39–51. <https://doi.org/10.1177/875697289903000207>
- Leach, L. P. (2014). *Critical Chain Project Management, Third Edition*. Artech House. <https://books.google.co.id/books?id=UOxPAwAAQBAJ>
- Liu, J., & Whangbo, T.-K. (2012). A Study on the Buffer Sizing Method of CCPM Technique Using Statistical Analysis. *Convergence and Hybrid Information Technology* (pp. 672–679). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32692-9\\_84](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32692-9_84)
- Long, L. D., & Ohsato, A. (2008). Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty. *International Journal of Project Management*, 26(6), 688–698. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.09.012>
- Miranda, S., & Tripiawan, W. (2019). Perbandingan Penentuan Waktu Baku Menggunakan Metode Time Study dan Critical Path Method (CPM). *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 3(1), 19–30. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v3i1.1418>
- Nalhadi, A., & Suntana, N. (2017). Analisa Infrastruktur Desa Sukaci-Baros Dengan Metode Critical Path Method (CPM). *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 1(1), 35. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v1i1.167>
- Nasution, S. R. (2014). Penerapan Metode Critical Chain Project Management untuk Perencanaan Proyek Very Low Pressure Phase-II KEI Ltd. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 6(2), 211–221. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/technoscintia/article/view/573>
- Nugroho, W., Faiizuddaroini, M., Nalhadi, A., Suryani, S., & Supriyadi, S. (2020). Evaluation of Fabrication Concrete Wave Breaker Project Scheduling with the Critical Chain Project Management Method, *Proceedings of the 1st International Multidisciplinary Conference on Education, Technology, and Engineering (IMCETE 2019)*. 170–173. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200303.041>
- Ordoñez, R. E. C., Vanhoucke, M., Coelho, J., Anholon, R., & Novaski, O. (2019). A Study of the Critical Chain Project Management Method Applied to a Multiproject System. *Project Management Journal*, 50(3), 322–334. <https://doi.org/10.1177/8756972819832203>
- Parekh, V., Asnani, K., Bhatt, Y., & Mulchandani, R. (2020). Comparison between Critical Path Method (CPM) and Last Planners System (LPS) for Planning and Scheduling METRO Rail Project of Ahmedabad. *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure*. 519–524. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0802-8\\_81](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0802-8_81)
- Pellerin, R., & Perrier, N. (2019). A review of methods, techniques and tools for project planning and control. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2160–2178. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1524168>
- Prajapati, M. P., & Yadav, N. B. (2017). Buffer Based CCPM Scheduling: A Modern Approach for Indian Constraints. *Kalpa Publications in Civil Engineering*, 1, 291–300. <https://easychair.org/publications/paper/xd6>
- Rand, G. K. (2000). Critical chain: the theory of constraints applied to project management. *International Journal of Project Management*, 18(3), 173–177. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00019-8)
- Roghaniyan, E., Alipour, M., & Rezaei, M. (2018). An improved fuzzy critical chain approach in order to face uncertainty in project scheduling. *International Journal of Construction Management*, 18(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1225327>

- Sahrupi, S., Supriyadi, S., & Harisni, M. U. (2021). Usulan Penerapan Metode Lean Project Management Pada Pembangunan Pelebaran Gedung Gitet Cilegon Baru PT. PLN (Persero). *Operations Excellence Journal of Applied Industrial Engineering*, 13(3), 407–420. <https://doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i3.037>
- San Cristóbal, J. R., Carral, L., Diaz, E., Fraguera, J. A., & Iglesias, G. (2018). Complexity and Project Management: A General Overview. *Complexity*, 2018, 4891286. <https://doi.org/10.1155/2018/4891286>
- Saputra, A., Putra, G., & Aguslita, F. (2021). Pengendalian Waktu Proyek Menggunakan Metode Critical Chain Project Management (CCPM) Studi Kasus Pembangunan Proyek Irigasi Tahap II Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Teknik Industri*, 11(3), 204–215. <https://doi.org/10.25105/jti.v11i3.13063>
- Saputra M, D. A., Satria, E., & Pandi, G. A. (2016). Optimalisasi Proses Perakitan Pesawat Tanpa Awak dengan Metoda Critical Path Methods (CPM). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 15(1), 87. <https://doi.org/10.25077/josi.v15.n1.p87-92.2016>
- Shofa, M. J., Listiyana, L., & Cahyadi, D. (2018). Usulan Perbaikan Proses Cross Drainage untuk Mempercepat Waktu Proyek Pembangunan Jalan Raya. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 4(2), 71–76. <https://doi.org/10.30656/intech.v4i2.1054>
- Steyn, H. (2001). An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling. *International Journal of Project Management*, 19(6), 363–369. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00026-0)
- Tripiawan, W., & Miranda, S. (2020). Research on a Project Schedule of Factory Renovation for Manufacturing Plants in Bandung. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 722(1), 12052. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/722/1/012052>
- Vidal, L., & Marle, F. (2008). Understanding project complexity: implications on project management. *Kybernetes*, 37(8), 1094–1110. <https://doi.org/10.1108/03684920810884928>
- Wang, W., Wang, X., Ge, X., & Deng, L. (2014). Multi-objective optimization model for multi-project scheduling on critical chain. *Advances in Engineering Software*, 68, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.11.004>