

ANALISIS PERBANDINGAN PENJADWALAN PROYEK DENGAN *CRITICAL PATH METHOD* (CPM) DAN *CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT* (CCPM) PADA REPARASI KAPAL BG. KFT 8005

Arjun Muhamad S^{1*}, Minto Basuki²

¹Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jl. Arief Rahman Hakim 100 Surabaya

*e-mail: arjunsoetedjo@gmail.com

ABSTRACK

Planning and scheduling in project management is a very important stage in determining the success of a project. Planning and scheduling with the old method such as the Critical Path Method (CPM) is considered less effective, so this research was conducted to apply the Critical Chain Project Management (CCPM) method in the implementation of the BG Ship repair project. KFT 8005. This method is achieved by reducing the duration with C&PM, eliminating multitasking and buffering at crossroads to critical chain and project end times. This study aims to compare the time and direct labor costs of the CPM method with the CCPM method. The CPM method produces a project duration of 76 days with direct labor of Rp. 86,670,000,-. The CCPM method produces a project duration of 61 days with direct labor of Rp. 69,078,000,-. If the buffer time is fully utilized, the duration of the project cost will be 68 days with direct labor of Rp. 79,089,166.67,-. With the CCPM method, the processing time is 15 days faster or 19.74% with a lower direct labor cost of Rp. 17,592,000,- or 20.3% (without buffer time), and the difference in processing time is 8 days faster or 10.53% with a lower direct labor cost of Rp. 7,580,833.33,- or 8.75% (with buffer time).

Keynote: Buffer, CCPM, Project Management, Schedule

ABSTRAK

Perencanaan dan penjadwalan dalam manajemen proyek merupakan tahap yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan sebuah proyek. Perencanaan dan penjadwalan dengan metode lama seperti *Critical Path Method* (CPM) dinilai kurang efektif sehingga pada penelitian ini dilakukan untuk menerapkan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dalam pelaksanaan proyek reparasi Kapal BG. KFT 8005. Metode ini ditempuh dengan cara mengurangi durasi dengan C&PM, menghilangkan *multitasking* serta memberi *buffer* di waktu persimpangan menuju rantai kritis dan di waktu akhir proyek. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan waktu dan biaya tenaga kerja langsung pada metode CPM dengan metode CCPM. Pada metode CPM menghasilkan durasi pengerjaan proyek selama 76 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 86.670.000,-. Pada metode CCPM menghasilkan durasi pengerjaan proyek selama 61 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 69,078,000,-. Apabila *buffer time* digunakan sepenuhnya maka durasi pengerjaan proyek menjadi 68 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 79,089,166.67,-. Dengan adanya metode CCPM terjadi selisih waktu pengerjaan lebih cepat 15 hari atau 19,74% dengan biaya tenaga kerja langsung lebih rendah Rp. 17,592,000,- atau 20,3% (tanpa *buffer time*) dan selisih waktu pengerjaan lebih cepat 8 hari atau 10,53% dengan biaya tenaga kerja langsung lebih rendah Rp. 7,580,833.33,- atau 8,75% (dengan *buffer time*).

Kata kunci: *Buffer*, CCPM, Manajemen Proyek, Penjadwalan

PENDAHULUAN

Kapal BG. KFT 8005 kali ini sedang menjalani perbaikan berupa penggantian atau pembaharuan plat besi maupun baja (*replating*) dengan yang baru beserta konstruksinya. Dalam hal ini peran galangan tentu sangat penting sebagai tempat yang dirancang khusus yang dilengkapi fasilitas pendukung untuk proses pembuatan, pemeliharaan dan perbaikan kapal. Untuk mememberikan pelayanan yang baik dan kepuasan pelanggannya tentu galangan perlu melakukan perencanaan dan manajemen proyek yang baik sehingga hal tersebut dapat tercapai. Dalam tahap perencanaan biasanya meliputi anggaran dana dan penjadwalan dari awal sampai akhir.

Metode dan analisa yang terkenal dan paling banyak digunakan untuk membuat jadwal proyek adalah *Critical Path Method* (CPM). Pada metode CPM dikenal adanya jalur kritis yaitu jalur yang memiliki

rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek yang tercepat [1]. Namun kenyataannya yang terjadi, perencanaan dengan menggunakan metode CPM dan metode tradisional lainnya dinilai kurang efisien karena tidak mempertimbangkan produktivitas dari setiap pekerjaan di dalamnya dan masalah-masalah yang terkait akibat perilaku manusia yang condong menyebabkan adanya penambahan waktu penyelesaian proyek. Contohnya adalah perilaku manusia *student's syndrome*, *parkinson's law*, *multitasking* dan *overestimated activity durations* [2].

Sesuai dengan masalah tersebut, belakangan ini telah berkembang metode baru untuk penjadwal proyek yaitu *Critical Chain Project Management (CCPM)*. CCPM adalah sebuah metode perencanaan proyek yang menekankan pada sumber daya yang diperlukan dalam melakukan tugas-tugas yang ada di proyek. Tujuan dari penggunaan CCPM adalah meningkatkan waktu penyelesaian proyek dengan cara-cara menghilangkan perilaku manusiaseperti pada contoh diatas sehingga penyelesaian proyek akan lebih cepat dan efisien [3].

Maka dari itu dalam penelitian ini penulis akan mencoba membandingkan penerapan penjadwal yang ada menggunakan metode *Critical Path Method (CPM)* dengan *Critical Chain Project Management (CCPM)* baik dari segi durasi waktu pengerjaan maupun biaya langsung yang dibutuhkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen Proyek

Manajemen proyek dapat diartikan sebagai pengetahuan, keterampilan, alat dan teknik dalam aktifitas-aktifitas proyek untuk memenuhi kebutuhan proyek (PMBOK, 2004). Dari definisi tersebut terlihat bahwa konsep manajemen proyek dilaksanakan melalui aplikasi dan integrasi tahapan proses manajemen proyek yaitu *initiating*, *planning*, *executing*, *monitoring* dan *controlling* serta akhirnya *closing* keseluruhan proses proyek tersebut. Dalam pelaksanaannya, setiap proyek biasanya dibatasi dengan kendala-kendala yang sifatnya saling mempengaruhi [4].

Penjadwalan Proyek

Menurut Husen (2010) penjadwalan (*scheduling*) adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dengan tujuan untuk menyelesaikan suatu proyek sampai optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada [5].

Network Planning

Menurut Eka (Ridho dan Syahrizal 2015), *Network Planning* (Jaringan Kerja) adalah hubungan ketergantungan antara pekerjaan yang digambarkan atau divisualisasikan dalam diagram network. Dengan demikian dapat dikemukakan bagian-bagian pekerjaan mana yang harus dilakukan terlebih dahulu sebelum pekerjaan yang lain dan dapat dilihat pula apabila suatu kegiatan sebelumnya belum selesai dikerjakan [6].

Critical Path Method (CPM)

Metode Jalur Kritis (CPM) adalah prosedur untuk menggunakan analisis jaringan untuk mengidentifikasi pekerjaan apa saja yang berada di jalur kritis yaitu akan memperpanjang skala proyek apabila terjadi keterlambatan dalam penyelesaian pekerjaan, kecuali tindakan diambil. Dengan CPM, durasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan berbagai pekerjaan pada proyek dianggap diketahui dengan pasti, begitu pun juga dengan hubungan antara sumber yang digunakan dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek. Dalam menentukan perkiraan waktu penyelesaian akan dikenal istilah jalur kritis yakni jalur yang memiliki rangkaian kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan waktu penyelesaian proyek yang tercepat (Taha, 2007) [7].

Jalur Kritis

Jalur kritis dalam suatu diagram jaringan adalah lintasan yang terdiri dari kegiatan-kegiatan kritis dan peristiwa-peristiwa kritis yang sangat sensitif terhadap keterlambatan, sehingga proyek akan mengalami keterlambatan satu hari walaupun kegiatan-kegiatan lainnya tidak terlambat, maka pada sebuah kegiatan kritis tersebut akan terjadi keterlambatan satu hari juga (Ali, 1997) [8]. Sedangkan peristiwa kritis merupakan peristiwa yang memiliki $LS = ES$ sehingga $LS - ES = 0$ atau $slack\ time = 0$ hal ini menyebabkan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu lintasan kritis sama dengan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proyek (Siagian, 1998) [9].

Chain Project Management (CCPM)

Menurut Leach 2004, untuk mencapai tujuan proyek harus dengan mempertimbangkan ketersediaan

sumber daya yang bergantung pada *critical chain* yang merupakan rangkaian terpanjang dari pekerjaan-pekerjaan yang saling berhubungan [2].

Sehingga metode CCPM menghilangkan *safety time* untuk aktifitas-aktifitas individual dan memfokuskan pada penyelesaian *critical chain* proyek. Metode CCPM mengganti *safety time* dengan *buffer time* untuk menjamin penyelesaian *critical chain* tepat waktu. Dengan selesainya penempatan *feeding buffer* dan *project buffer*, perencanaan waktu dan sumber daya proyek telah lengkap dengan diketahuinya total durasi dan jadwal proyek beserta jumlah dan jenis sumber daya yang dibutuhkan [10].

Feeding Buffer

Pada perencanaan dengan menggunakan metode ini, *feeding buffer* biasa diletakkan pada tiap akhir rantai non kritis yang akan menuju rantai kritis. *Buffer* bertujuan untuk menjaga rantai *critical chain* dari keterlambatan yang mungkin terjadi. Pada rangkaian CCPM yang baru dibentuk dengan durasi tanpa aktivitas cadangan, diteruskan dengan penempatan buffer, yang diimbangi dengan membuat stabil beban pekerja terlebih dahulu.

Project Buffer

Pada akhir rantai kritis, terdapat waktu penyangga yang diletakkan pada akhir *critical chain*, dimana besarnya ditentukan berdasar perhitungan yang biasanya didapatkan dengan menjumlahkan buffer pada masing-masing pekerjaan di lintasan kritis. Walaupun memiliki struktur yang hampir identik, besarnya buffer proyek yang terbentuk pada setiap proyek dapat berbeda.

Multitasking

Kebanyakan dari kita bekerja dalam lingkungan *multiproject*. Banyak orang mengalami menghentikan atau menunda pekerjaan untuk dapat menyelesaikan pekerjaan dari proyek lain. Sering banyak orang bertanya-tanya apakah tindakan tersebut sudah benar karena dapat mengakibatkan hilangnya fokus dan menjadi tidak efisien. Ini menjadi salah satu kendala seorang pekerja tidak dapat menyelesaikan pekerjaannya tepat waktu.

Metode Cut & Paste (C&PM)

Dalam menentukan buffer proyek dan *feeding buffer* di dalam C&PM pada dasarnya dapat memotong 20%, 30%, 40% bahkan hingga 50% dari durasi untuk semua aktivitas (Ryan dan Ari 2015) [11]. Hal tersebut biasanya dapat dikonsultasikan dengan yang berpengalaman seperti manager proyek. Peletakkan buffer proyek pada akhir rantai kritis (*critical chain*), sedangkan peletakkan *feeding buffer* pada aktivitas di jalur yang tidak rantai kritis (*non criticalchain*) yang membawa kepada rantai kritis.

Root Square Error Method (RSEM)

Aturan perekat yang digunakan untuk menentukan buffer proyek dan *feeding buffer* di dalam (RSEM) memerlukan 2 estimasi durasi tugas, pertama estimasi aman (S) mempunyai cukup pengaman untuk melindungi dari semua kemungkinan besar sumber keterlambatan, dan yang kedua estimasi pengurangan waktu sesuai yang telah dipilih berapa % dari durasi tugas. Berikut merupakan persamaan RSEM [11].

$$2\sigma = 2x \sqrt{\left(\frac{S1-A1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S2-A2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{Sn-An}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Keterangan: 2σ = *buffer time*, S_i = waktu kegiatan yang memiliki *safety time*, A_i = waktu kegiatan setelah *safety time* dipotong, n = banyak kegiatan pada rantai kritis.

METODE

Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dianalisa dalam penelitian ini adalah tentang analisa penjadwalan pada proyek reparasi Kapal BG. KFT 8005 dengan menggunakan *Critical Path Method* yang dinilai kurang efektif dan efisien serta bagaimana proyek dapat dipercepat dengan menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.

Pengumpulan Data

Tahap ini adalah tahap pengumpulan data dari obyek yang akan diamati atau yang akan dianalisa. Data-data yang dibutuhkan meliputi:

- a Data ukuran utama Kapal BG. KFT 8005.
- b General arrangement Kapal BG. KFT 8005.

- c Data penjadwalan reparasi Kapal BG. KFT 8005
- d Jadwal waktu pelaksanaan Kapal BG. KFT 8005.
- e Data waktu kapan kontrak proyek selesai.
- f Rencana anggaran biaya proyek Kapal BG. KFT 8005.
- g Jumlah pekerja pada proyek reparasi Kapal BG. KFT 8005.
- h Metodologi dan rencana kerja.

Dalam pembuatan penjadwalan akan digunakan software Microsoft Project. Data yang akan dihitung adalah:

- a Analisa penjadwalan sesuai yang ada di perusahaan.
- b Perencanaan penjadwalan menggunakan metode CPM.
- c Perencanaan penjadwalan menggunakan metode CCPM.
- d Analisa durasi waktu pengerjaan proyek beserta biaya tenaga kerja langsung antara metode CPM dengan metode CCPM.

ANALISA

Data Kapal

Kapal BG KFT 8005 dimiliki oleh PT Pancaran Samudra Transport untuk pengangkutan batubara. Berikut adalah data ukuran utama kapal yang telah terdaftar pada BKI:

Nama Kapal (Name of Ship)	No. Register (Register No.)	No. IMO (IMO No.)	Status
KALTIM FT 80 - 05	12668	0	AKTIF (ACTIVE)

GENERAL DATA		HULL DATA		MACHINERY DATA		OWNER		DOCKING SURVEY	
Galangan (Shipbuilder)		PT.ASL SHIPYARD INDONESIA		Lokasi (Place of Build)		:		BATAM	
Tanggal Peluncuran (Date of Launch)		4/7/2005		Tahun Bangun (Year of Build)		:		2005	
LOA (m) :	LBP (m) :	BMLD (m) :	HMLD (m) :	LT (mm) :	GT :	NT :	DWT	(ton) : 0	
0.00	87.78	24.99	6.10	1251	3271	982			

Gambar 1. Ukuran Utama Kapal

Critical Path Methode (CPM)

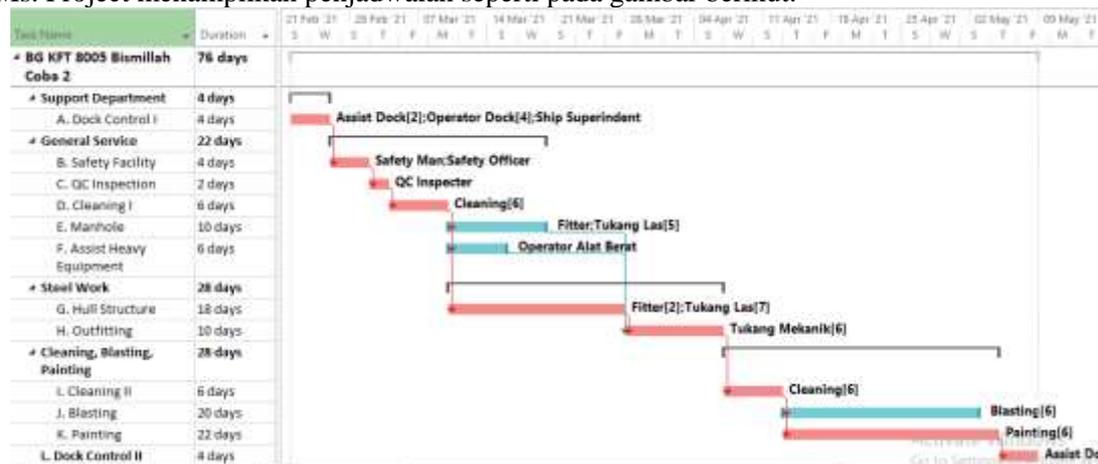
Work Breakdown Structure (WBS)

Berikut adalah WBS dari pekerjaan reparasi Kapal BG KFT 8005:

Tabel 1. Waktu dan Aktifitas Kerja

No.	Pekerjaan	Kode Pekerjaan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Pekerjaan Sebelum
1	Lama Pekerjaan	-	76	22/02/2021	08/05/2021	-
2	Dock Control I	A	4	22/02/2021	25/02/2021	-
3	Safety Facility	B	4	26/02/2021	01/03/2021	A
4	QC Inspection	C	2	02/03/2021	03/03/2021	B
5	Cleaning I	D	6	04/03/2021	09/03/2021	C
6	Manhole	E	10	10/03/2021	19/03/2021	D
7	Assist Heavy Equipment	F	6	10/03/2021	15/03/2021	D
8	Hull Structure	G	18	10/03/2021	27/03/2021	D
9	Outfitting	H	10	28/03/2021	06/04/2021	E, F, G
11	Cleaning II	I	6	07/04/2021	12/04/2021	H
12	Sand Blasting	J	20	13/04/2021	02/05/2021	I
13	Painting	K	22	13/04/2021	04/05/2021	I
14	Dock Control II	L	4	05/05/2021	08/05/2021	J, K

Pada Ms. Project menampilkan penjadwalan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. Hasil Penjadwalan Ms. Project Metode CPM

Network Planning dan Jalur Kritis

Langkah selanjutnya adalah menghitung manual menggunakan CPM, dengan cara membuat diagram jaringan kegiatan yang saling ketergantungan untuk network diagram dan kegiatan apa saja di setiap lintasan. Sedangkan peristiwa kritis merupakan peristiwa yang memiliki $LS = ES$ sehingga $LS - ES = 0$ atau slack time = 0, hal ini menyebabkan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu lintasan kritis sama dengan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proyek. Berikut ini merupakan tabel identifikasi jalur kritis sebagai berikut:

Tabel 2. Identifikasi Jalur Kritis

No.	Pekerjaan	Kode Pekerjaan	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Slack
			Early Start (ES)	Early Finish (EF)	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)	
1	Dock Control I	A	0	4	0	4	0
2	Safety Facility	B	4	8	4	8	0
3	QC Inspection	C	8	10	8	10	0

4	Cleaning I	D	10	16	10	16	0
5	Manhole	E	16	26	24	34	8
6	Assist Heavy Equipment	F	16	22	28	34	12
7	Hull Structure	G	16	34	16	34	0
8	Outfitting	H	34	44	34	44	0
9	Cleaning II	I	44	50	44	50	0
10	Sand Blasting	J	50	70	52	72	2
11	Painting	K	50	72	50	72	0
12	Dock Control II	L	72	76	72	76	0

Dari analisa CPM (*Critical Path Methode*) diketahui durasi waktu pengerjaan paling lama adalah 76 hari dan menghasilkan nilai slack yang merupakan selisih ES dan LS atau EF dan LF. Pada perhitungan slack diatas dapat ditentukan lintasan kritisnya yaitu A – B – C – D – G – H – I – K – L.

Biaya Tenaga Kerja Langsung

Data upah tenaga kerja dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. Data Upah Tenaga Kerja

No.	Jenis Pekerja	Upah	Satuan Waktu
1	Pandu	Rp 170,000	1 orang/hari
2	Assist Dock	Rp 170,000	1 orang/hari
3	Operator Dock	Rp 170,000	1 orang/hari
4	Ship Superintendent	Rp 170,000	1 orang/hari
5	Fitter	Rp 122,000	1 orang/hari
6	Tukang Las	Rp 117,000	1 orang/hari
7	Tukang Pipa	Rp 117,000	1 orang/hari
8	Safety Man	Rp 150,000	1 orang/hari
9	Safety Officer	Rp 150,000	1 orang/hari
10	Tukang Mekanik	Rp 133,000	1 orang/hari
11	Blasting	Rp 125,000	1 orang/hari
12	Painting	Rp 125,000	1 orang/hari
13	Cleaning	Rp 125,000	1 orang/hari
14	QC Inspection	Rp 183,000	1 orang/hari
15	Operator Alat Berat	Rp 150,000	1 orang/hari

Hasil dari perhitungan biaya tenaga kerja langsung dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung

No.	Pekerjaan	Jenis Pekerja	Jumlah Pekerja	Durasi (hari)	Upah (hari)	Total Biaya
1	Dock Control I	Assist Dock	2	4	Rp 170,000	Rp 1,360,000
		Operator Dock	4		Rp 170,000	Rp 2,720,000
		Ship Superintendent	1		Rp 170,000	Rp 680,000
2	Safety Facility	Safety Man	1	4	Rp 150,000	Rp 600,000
		Safety Officer	1		Rp 150,000	Rp 600,000
3	QC Inspection	QC Inspector	1	2	Rp 183,000	Rp 366,000
4	Cleaning I	Cleaning	6	6	Rp 125,000	Rp 4,500,000

5	Manhole	Fitter	1	10	Rp 122,000	Rp 1,220,000
		Tukang Las	5		Rp 117,000	Rp 5,850,000
6	Assist Heavy Equipment	Operator Alat Berat	1	6	Rp 150,000	Rp 900,000
7	Hull Structure	Fitter	2	18	Rp 122,000	Rp 4,392,000
		Tukang Las	7		Rp 117,000	Rp 14,742,000
8	Outfitting	Tukang Mekanik	6	10	Rp 133,000	Rp 7,980,000
9	Cleaning II	Cleaning	6	6	Rp 125,000	Rp 4,500,000
10	Sand Blasting	Blasting	6	20	Rp 125,000	Rp 15,000,000
11	Painting	Painter/Tukang Cat	6	22	Rp 125,000	Rp 16,500,000
12	Dock Control II	Assist Dock	2	4	Rp 170,000	Rp 1,360,000
		Operator Dock	4		Rp 170,000	Rp 2,720,000
		Ship Superintendent	1		Rp 170,000	Rp 680,000
					Total Biaya	Rp86,670,000

Biaya total tenaga kerja langsung pada proyek perbaikan kapal BG KFT 8005 pada metode CPM adalah Rp. 86.670.000,-

Penerapan Critical Chain Project Management (CCPM)

Cut & Paste Method

Cut & Paste Method (C&PM) merupakan aturan perekat yang digunakan untuk menentukan *buffer* proyek dan *feeding buffer*. Pada penelitian ini pemotongan durasi memakai persentase 20% berdasarkan pengalaman perencana (*Site Engineering Staff*) dalam menentukan waktu aman. Perhitungan durasi aktivitas dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. Durasi Pekerjaan C&PM

No.	Pekerjaan	Kode Pekerjaan	Durasi CPM (hari)	Durasi 20%	Durasi C&PM (hari)	Pembulatan
1	Dock Control I	A	4	0.8	3.2	3
2	Safety Facility	B	4	0.8	3.2	3
3	QC Inspection	C	2	0.4	1.6	2
4	Cleaning I	D	6	1.2	4.8	5
5	Manhole	E	10	2	8	8
6	Assist Heavy Equipment	F	6	1.2	4.8	5
7	Hull Structure	G	18	3.6	14.4	14
8	Outfitting	H	10	2	8	8
9	Cleaning II	I	6	1.2	4.8	5
10	Sand Blasting	J	20	4	16	16
11	Painting	K	22	4.4	17.6	18
12	Dock Control II	L	4	0.8	3.2	3

Menghilangkan Multitasking

Berdasarkan data dari perusahaan, maksimal satu jenis pekerja yang bekerja pada satu waktu dapat dilihat pada gambar berikut ini:

Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Std. Rate	Ovt.
Assist Dock	Work		A		4	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Operator Dock	Work		O		6	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Ship Superintendent	Work		S		1	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Fitter	Work		F		4	Rp 122.000/day	Rp 0/hr
Tukang Las	Work		T		10	Rp 117.000/day	Rp 0/hr
Safety Man	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Safety Officer	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Tukang Mekanik	Work		T		6	Rp 133.000/day	Rp 0/hr
Blasting	Work		B		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Painting	Work		P		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Cleaning	Work		C		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
QC Inspector	Work		Q		1	Rp 183.000/day	Rp 0/hr
Operator Alat Berat	Work		O		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr

Gambar 4. Resource Sheet Metode CPM Dengan Error

Pada data tersebut terdapat *error* (tanda kuning dan tulisan berwarna merah) yang menandakan bahwa terjadi *overallocated*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *error* tersebut harus ditambahkan unit maksimal dari sumber daya atau pekerja Tukang Las. Sehingga unit maksimal pekerja dapat dilihat pada gambar berikut ini:

Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Std. Rate	Ovt.
Assist Dock	Work		A		4	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Operator Dock	Work		O		6	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Ship Superintendent	Work		S		1	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Fitter	Work		F		4	Rp 122.000/day	Rp 0/hr
Tukang Las	Work		T		12	Rp 117.000/day	Rp 0/hr
Safety Man	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Safety Officer	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Tukang Mekanik	Work		T		6	Rp 133.000/day	Rp 0/hr
Blasting	Work		B		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Painting	Work		P		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Cleaning	Work		C		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
QC Inspector	Work		Q		1	Rp 183.000/day	Rp 0/hr
Operator Alat Berat	Work		O		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr

Gambar 5. Peambahan Unit Maksimal Pada Resource Sheet Metode CPM

Berdasarkan gambar 5, sudah tidak ada *error* yang terjadi karena telah menambahkan jumlah orang pada sumber daya yang bermasalah. Tetapi jika berdasarkan pada data dari perusahaan (Gambar 4) hasil penjadwalan dengan metode CPM terjadi *multitasking* pada jenis pekerja Tukang Las yang berjumlah 12 orang sedangkan batas maksimal satu jenis pekerja adalah 10 orang. Maka jenis pekerja itu akan mengerjakan dua atau lebih pekerjaan dalam satu waktu. Oleh karena itu, pada metode CCPM kondisi tersebut harus dihilangkan dengan cara memindahkan waktu pengerjaan pada suatu kegiatan yang menggunakan sumber daya yang sama agar terhindar dari *overallocated*.

Untuk mengubah *overallocated resources* agar dapat menjadi benar kembali dapat dilakukan dengan otomatis yaitu melalui *leveling resources*. Konsekuensinya adalah mengubah waktu pekerja (penjadwalan dari sumber daya tersebut). Namun, sering juga terjadi bahwa Ms. Project tidak menemukan cara terbaik untuk *resource leveling* sehingga masih terdapat tanda warna merah. Cara lain yang harus dilakukan adalah dengan melakukan perubahan secara manual pada penugasan *resources* yang ada, misalnya dengan menugaskan kegiatan tersebut pada orang lain dalam artian menambah batas maksimal pekerja (tukang las) sebanyak 2 orang. Dengan begitu diharapkan tidak ada pekerja yang mengerjakan dua atau lebih pekerjaan dalam satu waktu sehingga proyek selesai tepat waktu dan tidak mengalami keterlambatan.

Penambahan unit maksimal pada resources sheet sebanyak 2 orang tentunya akan mempengaruhi biaya tenaga langsung yang dikeluarkan. Namun dalam penelitian ini pada penjadwalan awal metode CPM telah dihitung biaya tenaga kerja tukang las sebanyak 12 orang. Hal itu berarti perubahan biaya tenaga kerja langsung selanjutnya akan dipengaruhi oleh durasi tiap pekerjaan dan digunakannya *project buffer* atau tidak. Untuk hasil penambahan unit akan sama seperti sebelumnya yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:

Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Std. Rate	Ovt.
Assist Dock	Work		A		4	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Operator Dock	Work		O		6	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Ship Superintendent	Work		S		1	Rp 170.000/day	Rp 0/hr
Fitter	Work		F		4	Rp 122.000/day	Rp 0/hr
Tukang Las	Work		T		12	Rp 117.000/day	Rp 0/hr
Safety Man	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Safety Officer	Work		S		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr
Tukang Mekanik	Work		T		6	Rp 133.000/day	Rp 0/hr
Blasting	Work		B		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Painting	Work		P		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
Cleaning	Work		C		6	Rp 125.000/day	Rp 0/hr
QC Inspector	Work		Q		1	Rp 183.000/day	Rp 0/hr
Operator Alat Berat	Work		O		1	Rp 150.000/day	Rp 0/hr

Gambar 6. Peambahan Unit Maksimal Pada *Resourche Sheet* Metode CCPM

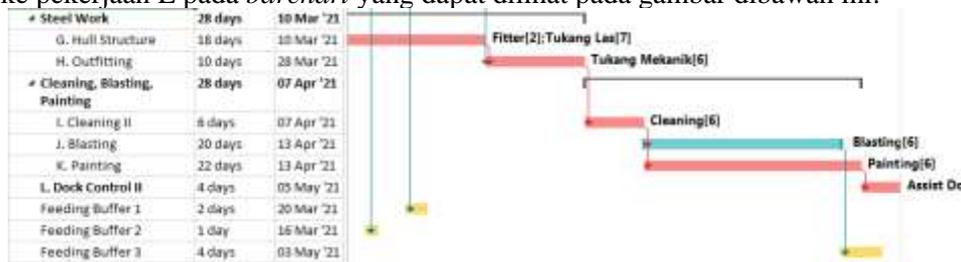
Feeding Buffer

Pada penelitian ini *feeding buffer* hanya ada 3 yaitu berada pada pekerjaan E menuju ke pekerjaan H, pekerjaan F ke pekerjaan H dan pekerjaan J ke pekerjaan L. Besarnya *buffer* dihitung menggunakan Persamaan 1 dengan hasil dan perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 6. Perhitungan *Feeding Buffer*

No.	Kode Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S-A	$\frac{S-A}{2}$	$\frac{S-A^2}{2}$	$2x\sqrt{\frac{S-A^2}{2}}$
1	E	10	8	2	1	1	2
2	F	6	5	1	0.5	0.25	1
3	J	20	16	4	2	4	4

Berikut penempatan *feeding buffer* pekerjaan E menuju ke pekerjaan H, pekerjaan F ke pekerjaan H dan pekerjaan J ke pekerjaan L pada *barchart* yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Tampilan Penempatan *Feeding Buffer*

Project Buffer

Project buffer ditempatkan pada akhir proyek setelah pekerjaan yang berada didalam jaringan kritis yang terakhir. Besarnya *buffer* dihitung menggunakan Persamaan 1 dengan hasil dan perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 7. Perhitungan *Project Buffer*

Kode Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S-A	$\frac{S-A}{2}$	$\frac{S-A^2}{2}$
A	4	3	1	0.5	0.25
B	4	3	1	0.5	0.25
C	4	2	2	1	1
D	6	5	1	0.5	0.25
G	18	14	4	2	4
H	10	8	2	1	1
I	6	5	1	0.5	0.25
K	22	18	4	2	4
L	4	3	1	0.5	0.25
					11.25

$$\begin{aligned}
 \text{Project Buffer} &= 2x \sqrt{\left(\frac{S1-A1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S2-A2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{Sn-An}{2}\right)^2} \\
 &= 2x \sqrt{11.25} \\
 &= 6.7 \sim 7 \text{ hari kerja}
 \end{aligned}$$

Project buffer diletakkan pada akhir lintasan kritis. Berikut *project buffer* dapat dilihat pada *barchart* gambar dibawah ini:



Gambar 8. Tampilan Penempatan *Project Buffer*

Network Diagram Untuk Critical Chain Project Management

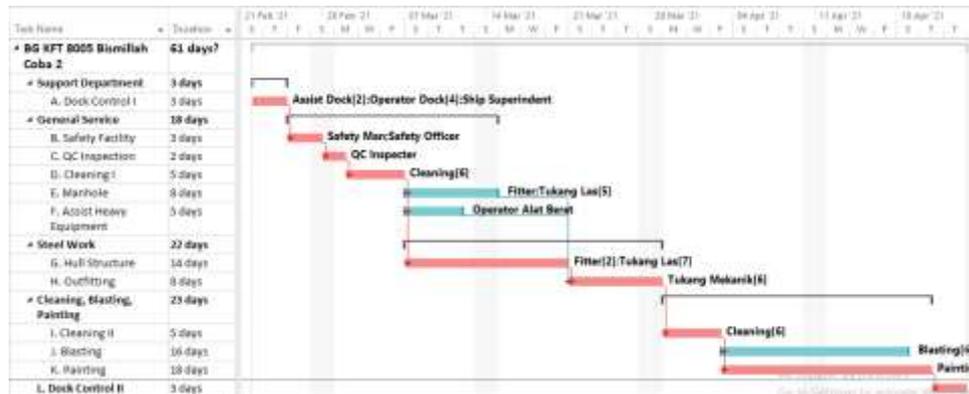
Cara pembuatannya sama dengan metode CPM. Tujuan membuat *network planning* ini adalah sebagai pembanding penjadwalan dengan menggunakan *Ms. Project*. Setelah membuat *Work Breakdown Structure* yang berisikan informasi kegiatan diantaranya waktu kegiatan, durasi dan keterkaitannya, maka selanjutnya adalah mengidentifikasi jalur kritis yang dimulai dengan perhitungan maju dan perhitungan mundur serta perhitungan *slack* seperti ditunjukkan tabel di bawah ini:

Tabel 8. Identifikasi Jalur Kritis

No.	Pekerjaan	Kode Pekerjaan	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Slack
			Early Start (ES)	Early Finish (EF)	Latest Start (LS)	Latest Finish (LF)	
1	Dock Control I	A	0	3	0	3	0
2	Safety Facility	B	3	6	3	6	0
3	QC Inspection	C	6	8	6	8	0
4	Cleaning I	D	8	13	8	13	0
5	Manhole	E	13	21	19	27	6
6	Assist Heavy Equipment	F	13	18	22	27	9
7	Hull Structure	G	13	27	13	27	5
8	Outfitting	H	27	35	27	35	0
9	Cleaning II	I	35	40	35	40	0

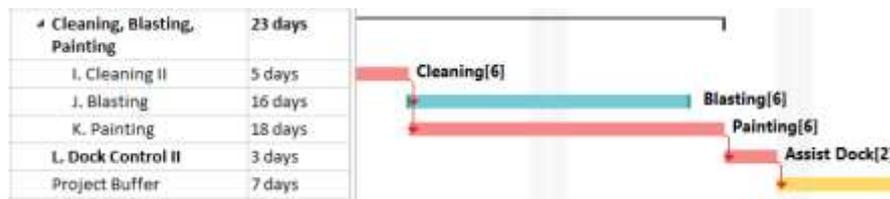
10	Sand Blasting	J	40	56	42	58	2
11	Painting	K	40	58	40	58	0
12	Dock Control II	L	58	61	58	61	0

Setelah melakukan perhitungan maju dan mundur yang menghasilkan nilai *slack* yang merupakan selisih ES dan LS atau EF dan LF. Pada perhitungan *slack* diatas dapat ditentukan lintasan kritisnya yaitu A – B – C – D – G – H – I – K – L – M dengan durasi total pengerjaan proyek selama 61 hari.



Gambar 9. Penjadwalan Ms. Project Metode CCPM

Namun apabila *project buffer* digunakan sepenuhnya selama 7 hari maka durasi total yang dibutuhkan untuk proyek perbaikan Kapal BG KFT 8005 adalah 68 hari. Hal itu dapat dilihat pada *barchart* seperti gambar dibawah ini:



Gambar 10. Penjadwalan Ms. Project Metode CCPM Dengan *Project Buffer*

Biaya Tenaga Kerja Langsung

Hasil dari perhitungan biaya tenaga kerja langsung dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Biaya Tenaga Kerja Dengan Metode CCPM

No.	Pekerjaan	Jenis Pekerja	Jumlah Pekerja	Durasi (hari)	Upah (hari)	Total Biaya
1	Dock Control I	Assist Dock	2	3	Rp 170,000	Rp 1,020,000
		Operator Dock	4		Rp 170,000	Rp 2,040,000
		Ship Superintendent	1		Rp 170,000	Rp 510,000
2	Safety Facility	Safety Man	1	3	Rp 150,000	Rp 450,000
		Safety Officer	1		Rp 150,000	Rp 450,000
3	QC Inspection	QC Inspector	1	2	Rp 183,000	Rp 366,000
4	Cleaning I	Cleaning	6	5	Rp 125,000	Rp 3,750,000
5	Manhole	Fitter	1	8	Rp 122,000	Rp 976,000
		Tukang Las	5		Rp 117,000	Rp 4,680,000
6	Assist Heavy Equipment	Operator Alat Berat	1	5	Rp 150,000	Rp 750,000
7	Hull Structure	Fitter	2	14	Rp 122,000	Rp 3,416,000
		Tukang Las	7		Rp 117,000	Rp 11,466,000
8	Outfitting	Tukang Mekanik	6	8	Rp 133,000	Rp 6,384,000

9	Cleaning II	Cleaning	6	5	Rp 125,000	Rp 3,750,000
10	Sand Blasting	Blasting	6	16	Rp 125,000	Rp 12,000,000
11	Painting	Painter/Tukang Cat	6	18	Rp 125,000	Rp 13,500,000
12	Dock Control II	Assist Dock	2	3	Rp 170,000	Rp 1,020,000
		Operator Dock	4		Rp 170,000	Rp 2,040,000
		Ship Superintendent	1		Rp 170,000	Rp 510,000
					Total Biaya	Rp 69,078,000

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada tabel diatas, biaya total tenaga kerja langsung pada proyek perbaikan kapal BG KFT 8005 dengan metode CCPM adalah Rp. 69,078,000,-
 Selanjutnya pada perhitungan *buffer* didapatkan nilai *project buffer* selama 7 hari kerja sedangkan nilai *feeding buffer* selama 7 hari kerja. Estimasi biaya pada *buffer time* untuk menentukan penghematan biaya tenaga kerja apabila *buffer time* sama sekali tidak digunakan (Dian, 2014) [12]. Estimasi biaya tenaga kerja per hari pada *buffer time* dihitung berdasarkan asumsi rata-rata biaya tenaga kerja seluruh pekerjaan per hari yang diperoleh dari RAB (Dominggo.dkk, 2012) [13]. Berikut rekapitulasi rata-rata biaya pekerja setiap pekerjaan pada tabel dibawah ini:

Tabel 10. Rekapitulasi Biaya Tenaga Kerja Tiap Pekerjaan

No.	Pekerjaan	Durasi (hari)	Jumlah Harga	Jumlah Harga / Hari
1	Dock Control I	3	Rp 3,570,000	Rp 1,190,000
2	Safety Facility	3	Rp 900,000	Rp 300,000
3	QC Inspection	2	Rp 366,000	Rp 183,000
4	Cleaning I	5	Rp 3,750,000	Rp 750,000
5	Manhole	8	Rp 5,656,000	Rp 707,000
6	Assist Heavy Equipment	5	Rp 750,000	Rp 150,000
7	Hull Structure	14	Rp 14,882,000	Rp 1,063,000
8	Outfitting	8	Rp 6,384,000	Rp 798,000
9	Cleaning II	5	Rp 3,750,000	Rp 750,000
10	Sand Blasting	16	Rp 12,000,000	Rp 750,000
11	Painting	18	Rp 13,500,000	Rp 750,000
12	Dock Control II	3	Rp 3,570,000	Rp 1,190,000
			Total	Rp 8,581,000
			Rata-rata	Rp 715,083.33

Berdasarkan rekapitulasi biaya harian tenaga kerja pada seluruh pekerjaan diperoleh biaya rata-rata harian tenaga kerja sebesar Rp. 715,083.33/hari.

Berikut perhitungan penghematan biaya tenaga kerja apabila *project buffer* dan *feeding buffer* tidak digunakan sama sekali.

$$\begin{aligned} \text{Feeding Buffer} &= \text{Rata-rata biaya harian} \times \text{Jumlah Buffer} \\ &= \text{Rp. } 715,083.33 \times 7 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 5,005,583.33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Project Buffer} &= \text{Rata-rata biaya harian} \times \text{Jumlah Buffer} \\ &= \text{Rp. } 715,083.33 \times 7 \text{ hari} \\ &= \text{Rp } 5,005,583.33 \end{aligned}$$

Setelah diketahui estimasi biaya tenaga kerja pada *project buffer* dan *feeding buffer*, dapat dihitung penghematan biaya tenaga kerja apabila *project buffer* dan *feeding buffer* tidak digunakan sama sekali dengan cara menambah biaya tenaga kerja pada *feeding buffer* dengan biaya tenaga kerja *project buffer* yaitu sebesar Rp 10,011,166.67,-

Sedangkan apabila *project buffer* dan *feeding buffer* digunakan sepenuhnya, maka dapat dihitung biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan yaitu sebesar Rp 79,089,166.67,-

Analisa Buffer Management

Berikut indikator zona pada konsumsi buffer [13]:

Tabel 11. Indikator Zona Konsumsi Buffer

Konsumsi Buffer	Keterangan
0% - 33%	Tidak ada tindakan yang direncanakan
33.1% - 66%	Merencanakan tindakan pencegahan
66.1% - 100%	Menerapkan tindakan pencegahan

Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapat durasi *project buffer* yaitu selama 7 hari. Dari hasil tersebut akan dibagi menjadi tiga bagian sama besar yang akan menentukan dimanakah daerah letak konsumsi *buffer*. Berikut analisa yang diperoleh terhadap zona konsumsi *buffer* pada proyek:

Tabel 12. Indikator Zona Konsumsi Buffer Proyek

Konsumsi Buffer	Project Buffer (hari)	Durasi Terpakai (hari)
0% - 33%	7	< 2.33
33.1% - 66%	7	2.34 sampai 4.66
66.1% - 100%	7	> 4.67

Pada tabel 12 tersebut pihak pelaksana dapat mengidentifikasi kapan perlu mengambil tindakan, khususnya bila pemakaian *buffer* mencapai zona merah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada metode *Critical Path Methode* (CPM) menghasilkan durasi pengerjaan proyek perbaikan Kapal BG KFT 8005 selama 76 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 86.670.000 (delapan puluh enam juta enam ratus tujuh puluh ribu rupiah).
2. Pada metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) menghasilkan durasi pengerjaan proyek perbaikan Kapal BG KFT 8005 selama 61 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 69,078,000 (enam puluh sembilan juta tujuh puluh delapan ribu rupiah). Apabila *buffer time* digunakan sepenuhnya maka durasi pengerjaan proyek menjadi 68 hari dengan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp. 79,089,166.67 (tujuh puluh sembilan juta delapan puluh sembilan ribu seratus enam puluh enam rupiah).
3. Dengan adanya metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) terjadi selisih waktu pengerjaan lebih cepat 15 hari atau 19,74% dengan biaya tenaga kerja langsung lebih rendah Rp. 17,592,000 atau 20,3% (tanpa *buffer time*) dan selisih waktu pengerjaan lebih cepat 8 hari atau 10,53% dengan biaya tenaga kerja langsung lebih rendah Rp. 7,580,833.33 atau 8,75% (dengan *buffer time*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan untuk Bapak Pembimbing penyusunan paper ini beserta kolega baik di dalam maupun di luar kampus yang selalu mensupport dan mendukung penulis hingga sampai saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek Jilid 1 (Dari Konseptual sampai Operasional)*. Manajemen Proyek Jilid 1 (Dari Konseptual Sampai Operasional), 60(5), 674–679. <https://doi.org/10.3938/jkps.60.674>
- [2] Leach, L. P. (2004). *Critical Chain Project Management, Second Edition*. In Management.
- [3] Wirawan, G. (2017). *Penerapan Metode Critical Chain Project Management (CCPM) Dan Critical Path Method (CPM) Pada Penjadwalan Proyek Perbaikan Kapal Bc30002. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan*
- [4] Institute, P. M. (2017). *PMBOK 6th edition. Project Management Institute* (Vol. 34, p. 1636).
- [5] Husen, A. (2010). *Manajemen Proyek: Perencanaan*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.

- [6] Muhammad Rizki Ridho & Syahrizal. (2015). Evaluasi Penjadwalan Waktu dan Biaya Proyek Dengan Metode PERT dan CPM. *Universitas Sumatera Utara*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [7] Hamdy A. Taha,. (2007). *Operations research : An introduction*. New Jersey: Pearson Education Inc.
- [8] Ali, Tubagus Haedar. (1992). *Prinsip-prinsip Network Planning Edisi Keempat*. Gramedia: Jakarta.
- [9] Siagian, S.P. (1998). *Manajemen Abad 21*. Jakarta: Bumi Aksara.
- [10] Aulady, M. F. N., & Orleans, C. (2016). *Perbandingan Durasi Waktu Proyek Konstruksi Antara Metode Critical Path Method (CPM) dengan Metode Critical Chain Project Management (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Apartamen Menara Rungkut)*. *Jurnal IPTEK*, 20(1), 13. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2016.v20i1.29>
- [11] Nasution, R.R., dan 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.
- [12] Artika, D., dan Negara, J. S. (2014). Penerapan Metode Lean Project Management Dalam Proyek Konstruksi Pada Pembangunan Gedung DPRD Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(1), 171–179.
- [13] Domingo, dkk. (2012). *Perencanaan dan Pengendalian Proyek Periklanan Menggunakan Lean Critical Chain Project Management dan S-Curve Monitoring*. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 1, No. 1.