

Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul

Ridho Akbar^{1*} Wimala Lalitya Dhanistha² Ranindya Sekarayu³

Departement of Industrial Engineering, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya, Indonesia¹

Department of Ocean Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{2,3}

ridho.akbar@um-surabaya.ac.id¹ wimala_ld@oe.its.ac.id² ranindyasekarayu@gmail.com³

Article Information

Article history:

Received Oktober 17, 2022

Revised November 20, 2022

Accepted Desember 14, 2022

Keyword:

Buffer

Critical Path Method (CPM)

Critical Chain Project

Management (CCPM)

Root Square Error Method

(RSEM)

Penjadwalan pelabuhan

ABSTRACT

Pengerukan jalur pelayaran masih menjadi permasalahan dalam pembangunan di Pelabuhan Bias Munjul. kontraktor utama mengakhiri kerja sama dengan subkontraktor A pada bulan Oktober dan digantikan oleh Subkontraktor B menggunakan kapal *cutter suction dredger* (CSD) Y pada bulan November. Kerjasama dihentikan karena keterlambatan akibat seringnya terjadi kerusakan kapal CSD X milik subkontraktor A, sehingga hanya berhasil mengeruk sampai *stationing* (STA) 625 dengan durasi melebihi rencana awal. Pengerukan oleh subkontraktor B menggunakan kapal CSD Y dimulai dari STA 625 hingga STA 0, dan juga pada area kapal cepat. Karena penggantian kapal keruk, penjadwalan waktu kapal CSD Y perlu direncanakan, selaras dengan rencana awal dan untuk meminimalkan keterlambatan yang dapat mempengaruhi jadwal seluruh proyek pembangunan Pelabuhan Bias Munjul. *Critical Path Method* (CPM) cukup sering digunakan oleh berbagai proyek konstruksi, metode CPM akan dibandingkan dengan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang merupakan metode pengembangan dari CPM. Namun metode CCPM akan menghapus waktu keselamatan dari keseluruhan durasi waktu kerja dan dikendalikan oleh manajemen *buffer*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan perencanaan jaringan dan durasi kerja. Waktu *buffer* dihitung dengan menggunakan *Root Square Error Method* (RSEM). Selama analisis penjadwalan, perhitungan dilakukan secara manual dan menggunakan Microsoft Project. CPM dapat diselesaikan dalam 239 hari. Sedangkan metode CCPM dapat diselesaikan dalam waktu 231 hari, dengan tambahan waktu *buffer* 12 hari. Metode CCPM menghasilkan durasi jadwal yang berlangsung 8 hari lebih cepat dari metode CPM.

© This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

*Corresponding Author:

Ridho Akbar

Departement of Industrial Engineering

Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Sutorejo 59, Surabaya, Indonesia

Email: ridho.akbar@um-surabaya.ac.id¹

1. PENDAHULUAN

Untuk mendukung pariwisata di Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan serta infrastruktur transportasi, Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Provinsi Bali telah menetapkan Pelabuhan Bias Munjul sebagai salah satu rencana strategisnya. Lembongan, Nusapenida, Klungkung, Bali Bias

Munjul merupakan kawasan pesisir. Pelabuhan ini merupakan bagian dari Pelabuhan "Segitiga Emas" Provinsi Bali, bersama dengan Sampalan, Bias Munjul, dan Sanur [1]. Saat ini sedang berlangsung konstruksi di Pelabuhan Bias Munjul. Pertumbuhan ini dipandu oleh [2] visi untuk pengembangan dan pertumbuhan Bali, khususnya dalam hal arsitektur pelabuhan dan ketaatan budaya Bali.



Gambar 1. Skema jalur pelayaran dan area kapal cepat di Pelabuhan Bias Munjul
(Sumber: Dokumen PT. X)

Kapal harus diarahkan ke kolam Pelabuhan melalui jalur pelayaran, yang diperlukan untuk pembangunan Pelabuhan. Kapal yang akan memasuki pelabuhan akan menentukan perencanaan alur pelayaran dan kolam Pelabuhan [3]. Alur pelayaran Pelabuhan Bias Munjul saat ini memiliki kedalaman elevasi (-) 2 m. Rencananya, jalur pelayaran tersebut akan dikeruk hingga kedalaman elevasi (-) 4 m agar dapat dilalui kapal *roll on-roll off* (RORO).

Pada mulanya kontraktor dan subkontraktor A bekerja sama untuk mengeruk jalur pelayaran di proyek Pelabuhan Bias Munjul. Subkontraktor A menggunakan kapal CSD X dengan ukuran pipa 22 inci untuk mendistribusikan material hasil kerukan ke area dumping dengan kecepatan 200 m³ per jam. Kapal CSD X milik subkontraktor A sering mengalami kerusakan saat pengerukan dari *stationing* (STA) 850 ke STA 625, namun kontraktor utama tidak dapat mentolerir penundaan lebih lama lagi. Sehingga, pada bulan November kontraktor utama melanjutkan kerjasamanya dengan subkontraktor B menggunakan CSD Y setelah mengakhiri hubungannya dengan subkontraktor A pada bulan Oktober. Hal tersebut dilakukan untuk mempercepat operasi pengerukan dari STA 625 ke STA 0 dan area kapal cepat. Kapal CSD Y memiliki dimensi pipa 16 inci dan kapasitas pengerukan 120 m³ per jam.

Pada studi ini metode *Critical Path Method* (CPM) yang cukup sering digunakan dalam proyek akan digunakan untuk menjadwalkan kegiatan pengerukan. Metode CPM akan menguraikan setiap tugas yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap tugas, dan perencanaan sumber daya manusia (SDM). Diagram jaringan dibuat mewakili proses ini untuk mendapatkan jalur kritis, kemudian mengungkapkan sejumlah aktivitas yang dapat dikurangi waktu pembuatannya untuk menghasilkan pekerjaan proyek yang paling efektif [4]. Selain itu akan dikontraskan dengan pendekatan *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang merupakan pengembangan dari metode CPM. Metode CCPM adalah teknik perencanaan proyek yang menekankan pada sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan proyek [5]. Dasar pengoperasian metode ini adalah penggunaan sistem manajemen *buffer*, di mana setiap aktivitas menggantikan waktu *buffer* atau waktu cadangan daripada dimasukkan ke dalam waktu aman.

Pada studi ini dilakukan analisis penjadwalan kegiatan pengerukan pada proyek Pelabuhan Bias Munjul. Pada kesimpulan analisis, dapat diidentifikasi jadwal yang dianggap lebih ideal untuk operasi pengerukan di Pelabuhan Bias Munjul.

2. DASAR TEORI

2.1 Pelabuhan dan Jalur Pelayaran

Pelabuhan menurut [3] adalah badan air yang terlindung dari gelombang dan memiliki fasilitas terminal laut seperti dermaga tempat kapal dapat berlabuh untuk memuat dan membongkar muatan, derek untuk bongkar muat muatan, gudang laut (*transito*) dan tempat penyimpanan tempat kapal membongkar muatan, dan gudang tempat kargo dapat disimpan untuk jangka waktu yang lebih lama sambil menunggu diantar ke tempat tujuan atau dikirim. Pelabuhan juga bisa berlokasi di muara sungai, danau, atau lautan tempat kapal dapat berlabuh dan memuat atau menurunkan kargo dan orang.

Jalur yang digunakan untuk memandu kapal ke kolam pelabuhan dikenal sebagai jalur pelayaran. Kapal terbesar yang akan tiba di pelabuhan, serta cuaca dan kondisi oseanografi menjadi pertimbangan saat merencanakan jalur pelayaran dan kolam pelabuhan. Sebuah kapal umumnya harus melakukan perjalanan melalui sejumlah lokasi [3] sebelum dapat berlabuh:

1. Daerah di luar pelabuhan tempat kapal berlabuh.
2. Di luar inlet adalah area pendekatan.
3. Arus masuk ke kawasan lindung setelah keluar dari pelabuhan.
4. Alur yang mengarah ke dermaga, jika pelabuhan tersebut berada di darat.
5. Kolam gelendong.

2.2 Pengerukan

Pengerukan adalah proses pemindahan tanah atau material dari dasar laut atau dasar perairan dangkal seperti danau, sungai, muara, atau laut dangkal dan membuangnya ke tempat lain [6]. Menurut [7], sedangkan pengerukan adalah cabang ilmu sipil dan mengacu pada setiap kegiatan yang menggunakan peralatan kapal keruk untuk mengubah struktur dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai, atau daratan sehingga mencapai suatu elevasi spesifik. Pengerukan juga mencakup pemindahan material dari dasar bawah air.

2.2.1 Aktifitas Pengerukan

Menurut [8], proses pengerukan umumnya terdiri dari 4 tahap, yaitu:

- a. Penggalian.
- b. Transportasi secara vertikal (*Vertical Transport*).
- c. Transportasi dalam arah horizontal.
- d. Menggunakan atau membuang material hasil pengerukan.

Sementara itu, penggalian, pengangkutan, dan pembuangan adalah tiga pembagian umum dari proses pengerukan, menurut [9]. Kapal merupakan bagian vital dari setiap pelaksanaan proses pengerukan.

2.2.2 Cutter Suction Dredger (CSD)

CSD adalah kapal keruk yang beroperasi dan menggali secara hidrolik. Fungsi CSD adalah untuk memotong dan melenyapkan tanah atau material pendukung. Setelah penghancuran material, pompa sentrifugal digunakan dalam pipa hisap untuk menarik material yang dihancurkan ke dalam mesin [7].

2.2.3 Waktu Pengerukan

Jumlah pekerjaan dan produktivitas dapat digunakan untuk menentukan durasi, menurut [4]. Persamaan 1 yang dikemukakan oleh [4] dapat digunakan untuk menghitung lama proses pengerukan.

$$\text{Dredging Duration} = \frac{\text{Dredging Volume}}{\text{Production Capacity}} \quad (1)$$

2.3 Critical Path Method (CPM)

Jalur kritis adalah teknik yang CPM. Jalur kritis, di sisi lain, adalah jalur yang mengarah ke penyelesaian proyek dengan cepat tetapi memiliki serangkaian komponen aktivitas yang memakan waktu gabungan terlama. Dari aktivitas pertama hingga proyek terakhir, jalur kritis terdiri dari serangkaian aktivitas kritis [10].

2.3.1 Penentuan Waktu Awal

Berusaha untuk menentukan waktu mulai dan selesai paling awal untuk suatu kegiatan.

$$EF_{(i-j)} = ES_{(i-j)} + D \quad (2)$$

2.3.2 Penentuan Waktu Akhir

Berusaha untuk menentukan waktu terakhir di mana suatu pekerjaan dapat dimulai atau diselesaikan.

$$LS_{(i-j)} = LF_{(i-j)} - D \quad (3)$$

2.3.3 Penentuan Total Float

Berusaha untuk menentukan apakah suatu pekerjaan berada pada jalur kritis atau tidak. Suatu job berada pada jalur kritis jika float totalnya sama dengan nol.

$$TF = LF - EF \quad (4)$$

2.4 Critical Chain Project Management (CCPM)

CCPM adalah sekelompok tugas atau aktivitas yang jika digabungkan dapat memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah proyek sambil memperhitungkan ketergantungan sumber daya dan tingkat prioritas [5].

Metode CCPM mengganti waktu *buffer* dengan waktu aman untuk menjamin rantai kritis akan dimulai tepat waktu. *Buffer* proyek dan *buffer feeding* membuat waktu *buffer*. Dua periode penyangga ini akan menjamin integritas jadwal proyek secara keseluruhan dan rantai kritis [11].

2.4.1 Root Square Error Method (RSEM)

Dua standar deviasi CPM durasi (S) dan CCPM durasi (A) digunakan untuk menghitung waktu *buffer* menggunakan metode kesalahan akar kuadrat.

$$\text{Buffer size} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n - A_n}{2}\right)^2} \quad (5)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Kontraktor utama menggunakan dokumen perencanaan untuk mengumpulkan data untuk analisis penjadwalan kegiatan pengerukan. Volume yang berbeda di setiap STA berdampak pada lamanya pengerukan. Tabel 1 dapat menyajikan informasi untuk semua pekerjaan.

Tabel 1. Aktifitas pengerukan data

No	ID	Activity	Predecessor	No	ID	Activity	Predecessor
1	A	Aktifitas Persiapan		15	AL	Floating Pipe Connection (Discharge Pipes)	14FS
2	AA	SIKK Permissions	2FS-5 hari	16	B	Aktifitas Pengerukan	
3	AB	Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony		17	BA	Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area	15FS, 3FS

Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul

4		Clearing:	2FS-4 hari	18	BB	Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area	17FS
5	AC	Front Area of SPBU	5FS	19	BC	Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area	18FS
6	AD	Ceningan Stage Area	6FS	20	BD	Fast Boat Dredging Area	19FS
7	AE	Seaweed Drying Area		21	C	Aktivitas Dumping	
8		Construction of embankment+ Crevices + Gedek + Geotextile:	2FS-1day	22	CA	SPBU's Front Area	17SS
9	AF	Project Site Area	5SS+7 hari	23	CB	Ceningan Stage Area	18SS; 22FS
10	AG	SPBU's Front Area	6SS+3 hari	24	CC	Seaweed Drying Area	19SS; 23FS
11	AH	Ceningan Stage Area	7SS+5 hari	25	CD	Eka Jaya Area	20SS; 24FS
12	AI	Seaweed Drying Area	2FS-5 hari	26	D	Aktivitas Penutupan	
13	AJ	Eka Jaya Area	12FS	27	DA	Sounding of Bathymetry	19FF+1
14	AK	Mobilitation of CSD	2FS+141 hari	28	DB	Shipping Lane Determination	27FS

3.2 Penjadwalan CPM

Pembuatan jaringan yang sesuai dengan *Work Breakdown Structure* (WBS) proyek Pelabuhan Bias Munjul, khususnya untuk pengerukan alur pelayaran yang telah ditentukan dari data perusahaan, merupakan langkah awal penjadwalan CPM. Selanjutnya, gunakan metode perhitungan maju dan mundur untuk menentukan pembentukan perencanaan jaringan dan jalur kritis, menghasilkan jalur kritis yang dihasilkan dan float total dalam jadwal sebagai hasilnya.

3.3 Penjadwalan CCPM

Langkah pertama dalam penjadwalan dengan metode CCPM adalah membuat rencana jaringan berdasarkan data proyek yang diberikan oleh kontraktor Pelabuhan Bias Munjul, mengganti waktu aman dengan waktu penyangga. Selanjutnya, identifikasi jalur kritis jadwal.

3.4 Penghilangan Waktu Aman

Penghapusan safety time dimaksudkan untuk meningkatkan produktivitas pekerja karena tidak ada waktu yang terbuang percuma, sesuai dengan prosedur yang telah diuraikan pada bab sebelumnya. Metode *Root Square Mean Error* (RSEM) adalah teknik yang digunakan untuk menentukan waktu keselamatan.

3.5 Penentuan dan Buffer Masukan Proyek di akhir Aktivitas

Menghitung buffer proyek dilakukan berikutnya, setelah waktu keamanan dikurangi dari setiap aktivitas. Tautan kritis terakhir dari rantai kritis adalah penyangga proyek, yang merupakan waktu penyangga. Dua standar deviasi dihitung dan metode RSEM digunakan.

3.6 Pemberian Masukan Buffer

Masukan *buffer* merupakan waktu penyangga yang menghubungkan aktivitas rantai non-kritis dengan aktivitas rantai kritis. Penyangga makan berfungsi untuk melindungi jalur kritis dari penundaan atau penundaan yang disebabkan oleh rantai non-kritis. Menggunakan RSEM.

3.7 Perbandingan Hasil

Pada tahap ini akan dibandingkan hasil durasi dan total biaya metode penjadwalan CPM dan CCPM. Sehingga dapat ditentukan metode mana yang memiliki durasi yang lebih efisien dan hemat biaya dibandingkan kedua metode tersebut.

3.8 Pembahasan dan Kesimpulan

Ringkasan analisis data dan pembahasan kedua metode tersebut akan ditampilkan setelah membandingkan kedua metode tersebut dan memutuskan metode mana yang lebih efektif. Pada titik ini, penelitian proyek akhir akan membahas perumusan masalah, menyelesaikannya, dan menawarkan rekomendasi yang diharapkan dapat membantu pembaca, peneliti selanjutnya, dan proyek itu sendiri.

4. ANALISIS DAN DISKUSI

4.1 Analisis Durasi Kegiatan Pengerukan dan Pembuangan

Volume dan produktivitas pekerjaan yang dilakukan untuk menyelesaikan kegiatan pengerukan dapat digunakan untuk menghitung durasi. Jangka waktu untuk pekerjaan persiapan telah ditentukan dalam dokumen perjanjian kontraktor. Sesuai dengan [4], persamaan 1 dapat digunakan untuk menentukan lama hari kerja proyek pengerukan dan dumping. sehingga diperoleh durasi pengerukan seperti pada Tabel 2.

Table 1. Durasi Kegiatan Pengerukan dan Pembuangan

<i>ID</i>	<i>Activity</i>	<i>Duration</i>
B	<i>Dredging Activity</i>	
BA	<i>Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area</i>	55
BB	<i>Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area</i>	9
BC	<i>Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area</i>	2
BD	<i>Fast Boat Dredging Area</i>	1
C	<i>Dumping Activity</i>	
CA	<i>SPBU's Front Area</i>	55
CB	<i>Ceningan Stage Area</i>	9
CC	<i>Seaweed Drying Area</i>	2
CD	<i>Eka Jaya Area</i>	1

Pekerjaan pengerukan dan penimbunan dilakukan secara bersamaan, sehingga durasi yang dibutuhkan untuk kedua pekerjaan tersebut akan sama.

4.2 Penjadwalan CPM

4.2.1 Penentuan Waktu Awal dan Waktu Akhir

Pada penjadwalan dengan Critical Path Method (CPM) dilakukan perhitungan maju dan mundur sesuai pendahulu, perhitungan tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan 2 dan 3.

1. Sebagai contoh, untuk mendapatkan nilai ES dan EF pada kegiatan konstruksi tanggul untuk area tapak proyek (AF), AA merupakan pendahulu AF dalam bentuk finish to start. Kegiatan AF akan dimulai jika kegiatan AA telah selesai dengan waktu 1 (satu) hari sebelumnya. Maka Earliest Finish (EF) dari aktivitas AF adalah sebagai berikut:

$$EF(AF) = ES(AF) + D$$

$$EF(AF) = (EF(AA) + \text{Constraint FS}) + D$$

$$EF(AF) = (21 + (-1)) + 7$$

$$EF(AF) = 27 \text{ hari}$$

$$ES(AF) = EF(AF) - D$$

$$ES(AF) = 27 - 7$$

$$ES(AF) = 20 \text{ days}$$

2. Untuk mendapatkan LS dan LF dalam kegiatan Pengerukan untuk Sta. 625-St. 175 (BA), kegiatan BB merupakan penerus BA berupa start to finish, tanpa ada pengurangan waktu. Aktivitas BA harus dimulai jika aktivitas BB perlu diselesaikan. Maka untuk mendapatkan Late Start (LS) dan Late Finish (LF) pada kegiatan BA adalah sebagai berikut:

$$LF(BA) = (LS(BB) - \text{Constraints SS})$$

$$= (225 - 0)$$

$$= 225 \text{ days}$$

$$LS(BA) = LF(BA) - D$$

$$= (225 - 55) \text{ days}$$

$$= 170 \text{ days}$$

Nilai yang diperoleh dari perhitungan maju dan mundur dapat menentukan nilai Total Float yang akan digunakan dalam mengidentifikasi pekerjaan. pekerjaan yang termasuk dalam jalur kritis. Berikut nilai ES, EF, LS, dan LF yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Table 2. Nilai ES,EF, LS and LF di Metode CPM

<i>ID</i>	<i>Activity</i>	ES	EF	LF	LS	<i>ID</i>	<i>Activity</i>	ES	EF	LF	LS
-----------	-----------------	----	----	----	----	-----------	-----------------	----	----	----	----

Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul

A Preparation Activity					B Dredging Activity						
AA	SIKK Permissions	-	21	-	21	BA	Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area	170	225	170	225
AB	Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony Clearing:	16	17	169	170	BB	Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area	225	234	225	234
						BC	Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area	234	236	234	236
AC	Front Area of SPBU	17	31	207	221	BD	Fast Boat Dredging Area	236	237	236	237
AD	Ceningan Stage Area	31	34	221	224	C Dumping Activity					
AE	Construction of embankment+ Crevices + Gedek + Geotextile:	34	36	224	226	CA	SPBU's Front Area	170	225	172	227
AF	Project Site Area	20	27	232	239	CB	Ceningan Stage Area	225	234	227	236
AG	SPBU's Front Area	24	38	215	239	CC	Seaweed Drying Area	234	236	236	238
AH	Ceningan Stage Area	34	41	232	239	CD	Eka Jaya Area	236	237	238	239
AI	Seaweed Drying Area	39	46	229	236	D Closing Activity					
AJ	Eka Jaya Area	46	49	236	239	DA	Sounding of Bathymetry	170	238	170	238
AL	Floating Pipe Connection (Discharge Pipes)	169	170	169	170						

4.3 Penjadwalan CCPM

4.3.1 Eleminasi Waktu Aman

Mengurangi panjang yang berlebihan dari setiap pekerjaan adalah ide di balik metode CCPM. Pengurangan tersebut diimplementasikan sebagai langkah awal dari CCPM untuk mengurangi waktu keamanan yang berlebihan dalam metode CPM. Ini bertujuan untuk memecahkan masalah seperti multitasking dan durasi aktivitas yang terlalu tinggi dengan membuat durasi setiap pekerjaan menjadi efektif. Tabel 4 mengilustrasikan pentingnya waktu keselamatan.

Table 3. Pembobotan Waktu Aman

ID	Activity	Safety Time (%)
AA-AB	SIKK Permission and Culture Ceremonial	9%
AC-AE	Clearing Mangrove Area	26%
AF-AJ	Embankment Construction	15%
AK-AL	CSD Mobilitation and Floating Pipe Connection	12%
BA-BD	Dredging Activity	5%
CA-CD	Dumping Activity	5%
DA	Sounding of Bathymetry	16%
DB	Shipping Lanes Determination	0%

4.3.2 Penyamaan Metode CCPM Pendahulu

Setelah dikurangi durasi sesuai dengan bobot safety time, pendahulu juga harus disamakan. Sehingga data pendahulu baru dapat ditampilkan pada Tabel 5.

Table 4. Pendahulu Metode CCPM

No	ID	Activity	Predecessor	No	ID	Activity	Predecessor
1	A	Preparation Activity		15	AL	Floating Pipe Connection (Discharge Pipes)	14FS
2	AA	SIKK Permissions		16	B Dredging Activity		
3	AB	Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony	2FS-4 hari	17	BA	Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area	15FS, 3FS
4		Clearing:		18	BB	Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area	17FS
5	AC	Front Area of SPBU	2FS-3 hari	19	BC	Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area	20FS
6	AD	Ceningan Stage Area	5FS	20	BD	Fast Boat Dredging Area	21FS
7	AE	Seaweed Drying Area	6FS	21	C Dumping Activity		
8		Construction of embankment+ Crevices + Gedek + Geotextile:		22	CA	SPBU's Front Area	17SS
9	AF	Project Site Area	2FS	23	CB	Ceningan Stage Area	18SS; 22FS
10	AG	SPBU's Front Area	5SS+5 hari	24	CC	Seaweed Drying Area	19SS; 23FS
11	AH	Ceningan Stage Area	6SS+2 hari	25	CD	Eka Jaya Area	20SS; 24FS
12	AI	Seaweed Drying Area	7SS+3 hari	26	D Closing Activity		
13	AJ	Eka Jaya Area	12FS	27	DA	Sounding of Bathymetry	20FF
14	AK	Mobilitation of CSD	2FS+128 hari	28	DB	Shipping Lane Determination	28FS

4.3.3 Perhitungan Waktu Awal dan Waktu Akhir

Rumus dan langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan maju dan mundur CCPM untuk menentukan waktu peristiwa paling awal dan waktu peristiwa terakhir identik dengan yang digunakan dalam CPM. Hasil perhitungan maju dan mundur yang dibuat menggunakan pendahulu yang disamakan ditunjukkan pada Tabel 6.

Table 5. Nilai ES, EF, LS, and LF di Metode CCPM

ID	Activity	ES	EF	LF	LS	ID	Activity	ES	EF	LF	LS
A	Preparation Activity					AL	<i>Floating Pipe Connecting (Discharge Pipes)</i>	153.27	154.15	153.27	154.15
AA	<i>SIKK Permissions</i>	0	19.11	0	19.11	B	Dredging Activity				
AB	<i>Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony Clearing:</i>	15.11	16.02	153.24	154.15	BA	<i>Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area</i>	154.15	206.4	154.15	206.4
						BB	<i>Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area</i>	206.4	214.95	206.4	214.95
AC	<i>Front Area of SPBU</i>	16.11	26.47	194.72	205.08	BC	<i>Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area</i>	214.95	216.85	214.95	216.85
AD	<i>Ceningan Stage Area</i>	26.47	28.69	205.08	207.3	BD	<i>Fast Boat Dredging Area</i>	216.85	217.8	216.85	217.8
AE	<i>Seaweed Drying Area Construction of embankment+ Crevices + Gedek + Geotextile:</i>	28.69	30.17	207.3	208.78	C	Dumping Activity				
						CA	<i>SPBU's Front Area</i>	154.15	206.4	155.15	207.4
AF	<i>Project Site Area</i>	19.11	25.06	212.85	218.8	CB	<i>Ceningan Stage Area</i>	206.4	214.95	207.4	215.95
AG	<i>SPBU's Front Area</i>	21.11	33.01	206.9	218.8	CC	<i>Seaweed Drying Area</i>	214.95	216.85	215.95	217.85
AH	<i>Ceningan Stage Area</i>	28.47	34.42	212.85	218.8	CD	<i>Eka Jaya Area</i>	216.85	217.8	217.85	218.8
AI	<i>Seaweed Drying Area</i>	31.69	37.64	210.3	216.25	D	Closing Activity				
AJ	<i>Eka Jaya Area</i>	37.64	40.19	216.25	218.8	DA	<i>Sounding of Bathymetry</i>	160.68	217.8	160.68	217.8
AK	<i>Mobilitation of CSD</i>	147.11	153.27	147.11	153.27	DB	<i>Shipping Lane Determination</i>	217.8	218.8	217.8	218.8

4.3.4 Analisis Buffer

Perhitungan feeding buffer dan project buffer dapat diselesaikan dengan persamaan 5, sehingga durasi buffer dapat ditunjukkan pada Tabel 7.

Table 6. Durasi Buffer di Metode CCPM

ID	Buffer	Buffer Duration (hari)	Roundup Duration (hari)
FB	<i>Feeding Buffer</i>	1.8921	2
PB	<i>Project Buffer</i>	11.4212	12

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan durasi feeding buffer selama 2 hari dan project buffer selama 12 hari. Untuk rantai non-kritis memiliki waktu buffer 2 hari untuk digunakan jika terjadi penundaan agar tidak mempengaruhi rantai kritis. Sementara itu, critical chain memiliki durasi buffer selama 12 hari jika terjadi keterlambatan, agar tidak mempengaruhi aktivitas lain atau keseluruhan proyek di proyek pengembangan Pelabuhan Bias Munjul.

4.4 Identifikasi Jalur Kritis Metode CPM dan CCPM

Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul

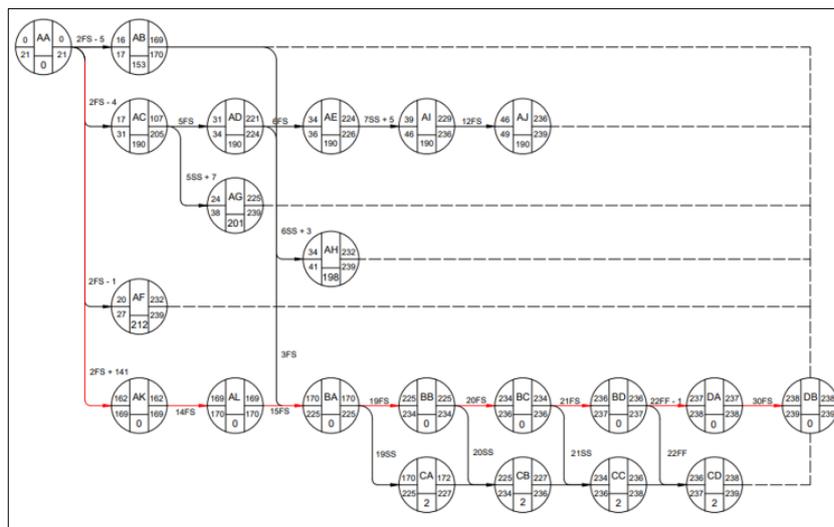
Sekelompok tugas dengan nilai float gabungan 0 membentuk jalur kritis. Total float adalah faktor dalam menentukan jalur kritis karena merupakan masa tenggang terpanjang yang dapat dialami suatu pekerjaan tanpa memperpanjang waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Itu dapat diselesaikan menggunakan persamaan 4 untuk mendapatkan nilai total float. Nilai Total Float dari metode CPM dan CCPM akan ditampilkan pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8, pekerjaan penjadwalan dengan metode CPM dan CCPM memiliki jalur kritis yang sama. Lintasan yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut adalah AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB. Terdapat perbedaan durasi total yang dihasilkan oleh jalur kritis dari kedua metode tersebut.

Table 7. Perbandingan Nilai *Total Float* di CPM dan CCPM

ID	Activity	Total Float CPM	Total Float CCPM	ID	Activity	Total Float CPM	Total Float CCPM
A	Preparation Activity			AL	Floating Pipe Connection (Discharge Pipes)	0	0
AA	SIKK Permissions	0	0	B	Dredging Activity		
AB	Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony	153	138.13	BA	Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area	0	0
AC	Front Area of SPBU	190	178.61	BB	Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area	0	0
AD	Ceningan Stage Area	190	178.61	BC	Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area	0	0
AE	Seaweed Drying Area	190	178.61	BD	Fast Boat Dredging Area	0	0
AF	Project Site Area	212	193.74	C	Dumping Activity		
AG	SPBU's Front Area	201	185.79	CA	SPBU's Front Area	2	1
AH	Ceningan Stage Area	198	185.38	CB	Ceningan Stage Area	2	1
AI	Seaweed Drying Area	190	178.61	CC	Seaweed Drying Area	2	1
AJ	Eka Jaya Area	190	178.61	CD	Eka Jaya Area	2	1
AK	Mobilitation of CSD	0	0	D	Closing Activity		
				DA	Sounding of Bathymetry	0	0
				DB	Shipping Lane Determination	0	0

Table 8. Hasil Penjadwalan CPM and CCPM

Method	Duration	Buffer Duration	Start	Finish	Total Duration
CPM	239 hari	-	31 st of May 2021	25 th of Januari 2022	239 hari
CCPM	219 hari	12 hari	6 th of June 2021	23 rd of Januari 2022	231 hari



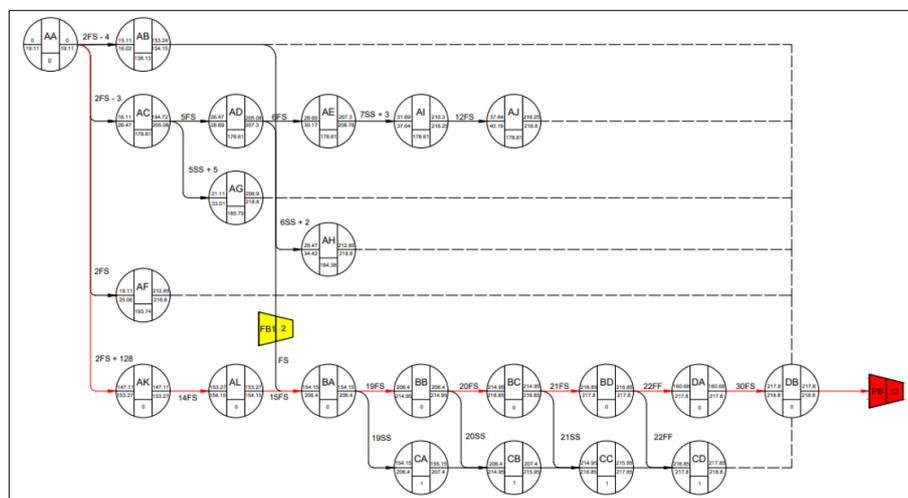
Gambar 2. CPM Proejct Network

Metode CPM durasi yang dihasilkan adalah 239 hari, sedangkan metode CCPM menghasilkan total durasi 231 hari, termasuk buffer time 8 hari untuk metode CCPM. Namun berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, bahwa penjadwalan dengan metode CCPM dapat

dimulai paling lambat selama 6 hari, namun dapat diselesaikan 2 hari lebih cepat dibandingkan dengan metode penjadwalan CPM. Hal ini dikarenakan pekerjaan pengerukan dengan CSD Julong harus dimulai pada bulan November, sehingga dengan pengurangan safety time pada pekerjaan pendahulu, keseluruhan waktu mulai penjadwalan dengan metode CCPM dapat diundur menjadi 6 hari lebih lambat dibandingkan dengan metode CPM. Hal serupa pernah terjadi pada penelitian yang dilakukan pada [14], bahwa hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan penjadwalan CCPM mulai 15 hari lebih lambat dari penjadwalan CPM, perbandingan metode CPM dan CCPM dapat dilihat pada Tabel 9.

Membandingkan metode CCPM dengan metode CPM, metode CCPM seharusnya menghasilkan total durasi penjadwalan yang lebih kecil, memungkinkan aktivitas selesai lebih cepat. Ini karena waktu penyangga telah ditambahkan, bertindak sebagai waktu penyangga untuk menggantikan waktu aman yang telah dihilangkan. Menghitung feeding buffer dan project buffer tidak diperlukan karena CPM tidak menghilangkan waktu keselamatan untuk setiap pekerjaan. Jaringan proyek dapat dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3 dari temuan identifikasi jalur kritis. Panah merah pada jaringan proyek kerja CPM pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pekerjaan berada di jalur kritis.

Dalam Gambar 3 menunjukkan jaringan proyek yang dibuat dengan menggunakan metode CCPM untuk menjadwalkan pekerjaan; panah merah menunjukkan bahwa pekerjaan berada di jalur kritis. Penyangga makan diwakili oleh trapesium kuning, dan penyangga proyek diwakili oleh trapesium merah.



Gambar 3. CCPM Project Network

4.5 Penjadwalan in Microsoft Project

4.5.1 Identifikasi Jalur Kritis di Microsoft Project

Penyusunan jaringan proyek menggunakan Microsoft Project membutuhkan data aktivitas, tanggal mulai, tanggal akhir, durasi setiap pekerjaan dan urutan keterkaitan antar aktivitas. Selanjutnya Microsoft Project akan langsung menampilkan *Earliest Start (ES)*, *Earliest Finish (EF)*, *Latest Start (LS)*, dan *Latest Finish (LF)* seperti pada Gambar 4.

Pada menu Task Sheet di Microsoft Project akan memberikan nilai total slack untuk menentukan critical path. Total nilai slack Ms. Projects untuk metode CPM dan metode CCPM dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Slack di Metode CPM dan CCPM

ID	Activity	Total Slack CPM	Total Slack CCPM	ID	Activity	Total Slack CPM	Total Slack CCPM
A	Preparation Activity	0 hari	0 hari	AK	Mobilitation of CSD	0 hari	0 hari

AA	SIKK Permissions	0 hari	0 hari	AL	Floating Pipe Connection (Discharge Pipes)	0 hari	0 hari
AB	Mangrove Clearing and Sea Tradition Ceremony	153 hari	138.13 hari	BA	Sta. 625 – Sta. 175 Dredging Area	0 hari	0 hari
	Clearing:			BB	Sta. 175 – Sta. 50 Dredging Area	0 hari	0 hari
AC	Front Area of SPBU	190 hari	178.61 hari	BC	Sta. 50 – Sta. 0 Dredging Area	0 hari	0 hari
AD	Ceningan Stage Area	190 hari	178.61 hari	BD	Fast Boat Dredging Area	0 hari	0 hari
AE	Seaweed Drying Area	190 hari	178.61 hari	C	Dumping Activity		
	Construction of embankment+ Crevices + Gedek + Geotextile:			CA	SPBU's Front Area	2 hari	1 hari
AC	Front Area of SPBU	190 hari	178.61 hari	CB	Ceningan Stage Area	2 hari	1 hari
AF	Project Site Area	212 hari	193.74 hari	CC	Seaweed Drying Area	2 hari	1 hari
AG	SPBU's Front Area	201 hari	185.79 hari	CD	Eka Jaya Area	2 hari	1 hari
AH	Ceningan Stage Area	198 hari	185.38 hari	D	Closing Activity		
AI	Seaweed Drying Area	190 hari	178.61 hari	DA	Sounding of Bathymetry	0 hari	0 hari
AJ	Eka Jaya Area	190 hari	178.61 hari	DB	Shipping Lane Determination	0 hari	0 hari

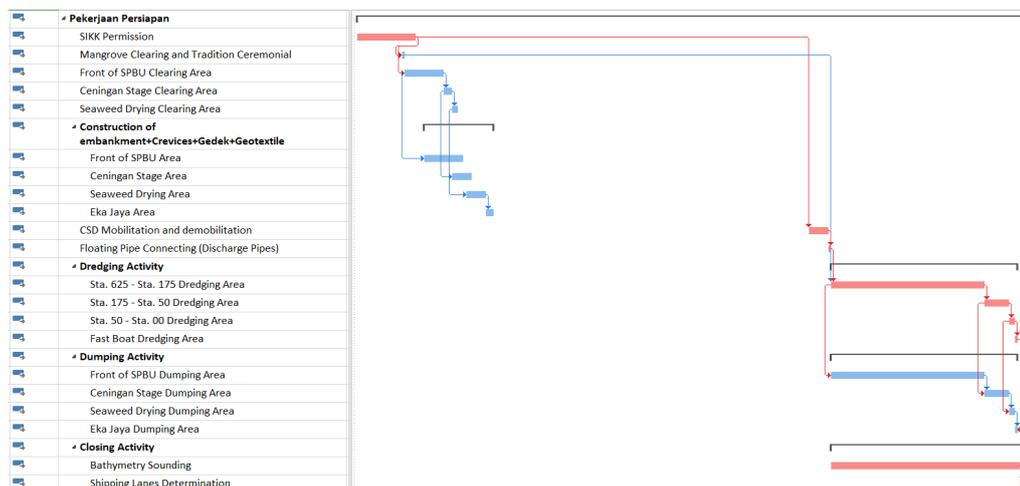
	Task Mode	Task Name	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish
1		Pekerjaan Persiapan	Mon 6/7/21	Mon 11/8/21	Mon 6/7/21	Sun 1/23/22
2		SIKK Permission	Mon 6/7/21	Sat 6/26/21	Mon 6/7/21	Sat 6/26/21
3		Mangrove Clearing and Tradition Ceremonial	Tue 6/22/21	Wed 6/23/21	Sun 11/7/21	Mon 11/8/21
4		Feeding Buffer	Wed 6/23/21	Fri 6/25/21	Fri 1/21/22	Sun 1/23/22
5		Front of SPBU Clearing Area	Wed 6/23/21	Sat 7/3/21	Thu 12/30/21	Mon 1/10/22
6		Ceningan Stage Clearing Area	Sat 7/3/21	Mon 7/5/21	Mon 1/10/22	Wed 1/12/22
7		Seaweed Drying Clearing Area	Mon 7/5/21	Wed 7/7/21	Wed 1/12/22	Thu 1/13/22
8		Construction of embankment+Crevice+Gedek+Geotextile	Sat 6/26/21	Sat 7/17/21	Tue 1/11/22	Sun 1/23/22
9		Project Site Area	Sat 6/26/21	Fri 7/2/21	Mon 1/17/22	Sun 1/23/22
10		Front of SPBU Area	Mon 6/28/21	Sat 7/10/21	Tue 1/11/22	Sun 1/23/22
11		Ceningan Stage Area	Mon 7/5/21	Sun 7/11/21	Mon 1/17/22	Sun 1/23/22
12		Seaweed Drying Area	Thu 7/8/21	Wed 7/14/21	Sat 1/15/22	Fri 1/21/22
13		Eka Jaya Area	Wed 7/14/21	Sat 7/17/21	Fri 1/21/22	Sun 1/23/22
14		CSD Mobilitation and demobilitation	Mon 11/1/21	Sun 11/7/21	Mon 11/1/21	Sun 11/7/21
15		Floating Pipe Connecting (Discharge Pipes)	Sun 11/7/21	Mon 11/8/21	Sun 11/7/21	Mon 11/8/21
16		Pekerjaan Pengerukan	Mon 11/8/21	Mon 1/10/22	Mon 11/8/21	Mon 1/10/22
17		Sta. 625 - Sta. 175 Dredging Area	Mon 11/8/21	Thu 12/30/21	Mon 11/8/21	Thu 12/30/21
18		Sta. 175 - Sta. 50 Dredging Area	Thu 12/30/21	Fri 1/7/22	Thu 12/30/21	Fri 1/7/22
19		Sta. 50 - Sta. 00 Dredging Area	Fri 1/7/22	Sun 1/9/22	Fri 1/7/22	Sun 1/9/22
20		Fast Boat Dredging Area	Sun 1/9/22	Mon 1/10/22	Sun 1/9/22	Mon 1/10/22
21		Pekerjaan Dumping	Mon 11/8/21	Mon 1/10/22	Sun 11/21/21	Sun 1/23/22
22		Front of SPBU Dumping Area	Mon 11/8/21	Thu 12/30/21	Sun 11/21/21	Wed 1/12/22
23		Ceningan Stage Dumping Area	Thu 12/30/21	Fri 1/7/22	Wed 1/12/22	Thu 1/20/22
24		Seaweed Drying Dumping Area	Fri 1/7/22	Sun 1/9/22	Thu 1/20/22	Sat 1/22/22
25		Eka Jaya Dumping Area	Sun 1/9/22	Mon 1/10/22	Sat 1/22/22	Sun 1/23/22
26		Pekerjaan Penutup	Sun 11/14/21	Sun 1/23/22	Sun 11/14/21	Sun 1/23/22
27		Bathymetry Sounding	Sun 11/14/21	Mon 1/10/22	Sun 11/14/21	Mon 1/10/22
28		Shipping Lanes Determination	Mon 1/10/22	Tue 1/11/22	Mon 1/10/22	Tue 1/11/22

Gambar 4. Kolom ES, EF, LS, and LF di Microsoft Project

Dengan membandingkan perhitungan manual yang dibuat dengan Microsoft Excel dan penjadwalan yang dibuat dengan Microsoft Project, proses penjadwalan pada Microsoft Project bertujuan untuk menentukan seberapa cocok jalur kritis dalam perencanaan jaringan. Berdasarkan Tabel 10 total slack untuk kedua metode dari Microsoft Project dapat dilihat bahwa jalur kritis yang bekerja untuk kedua metode adalah sama, dengan nilai AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB, dan nilai total slack yang dihasilkan sama dengan perhitungan pada Tabel 8. Untuk memastikan bahwa

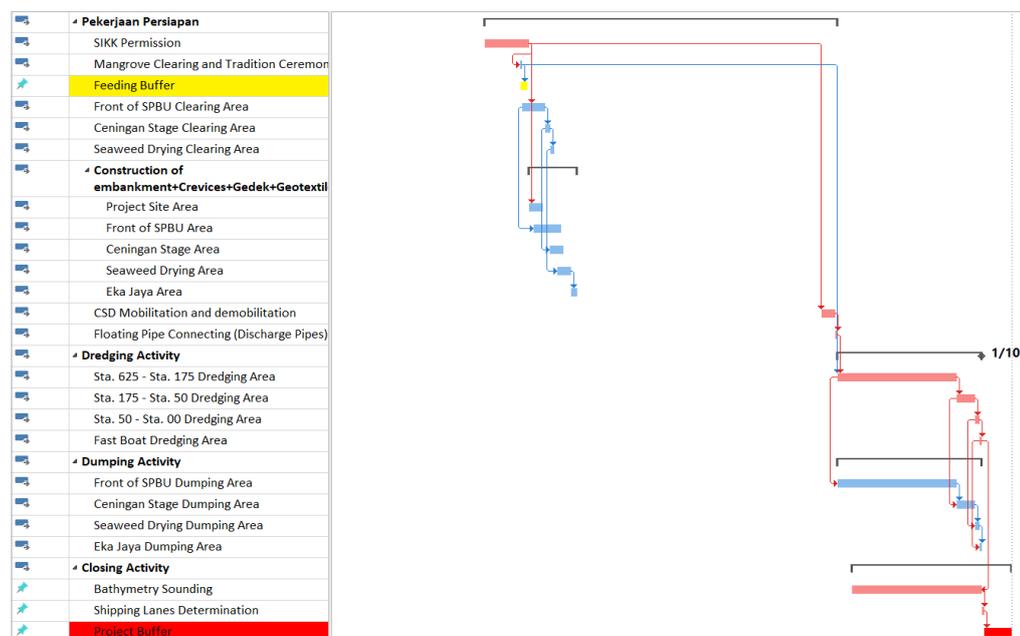
perhitungan manual yang dilakukan di Microsoft Excel untuk keperluan penjadwalan sinkron dengan prosedur penjadwalan Microsoft Project. Rantai kritis dan kelonggaran total yang dihasilkan menunjukkan hal ini. Seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan 6, *Gantt chart* juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis. Aktivitas berada di jalur kritis jika bagan *Gantt* menunjukkannya dengan kotak merah. Kotak bagan *Gantt* berwarna biru menunjukkan bahwa aktivitas tidak berada di jalur kritis.

Pada Gambar 6 menunjukkan *Gantt Chart* untuk metode CCPM di Microsoft Project. Kotak kuning di *Gantt Chart* menunjukkan penyangga makan, dan kotak merah tua menunjukkan penyangga proyek. Keduanya, *Gantt Chart* CPM dan CCPM, memiliki bagan yang serupa, yang menunjukkan bahwa kedua metode di Microsoft Project menghasilkan jalur kritis yang sama.



Gambar 5. CPM *Gantt Chart* di Microsoft Project

Pada Gambar 5 menunjukkan *Gantt Chart* untuk metode CPM di Microsoft Project.



Gambar 6. CCPM *Gantt Chart* di Microsoft Project

5. KESIMPULAN

Berikut kesimpulan yang diambil dari hasil analisis penjadwalan critical path method (CPM) dan critical chain project management (CCPM) pada kegiatan pengerukan di Pelabuhan Bias Munjul:

1. Jalur kritis ditemukan dengan menggunakan ID atau kode aktivitas AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB pada metode CPM, dengan total durasi 239 hari.
2. Jalur kritis ditemukan menggunakan ID atau kode aktivitas AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB pada metode CCPM, menghasilkan total durasi 231 hari.
3. Hasil kegiatan pengerukan dari segi durasi menunjukkan bahwa metode CCPM menjadwalkan dengan durasi yang lebih pendek yaitu 8 hari kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia.Kementerian Perhubungan, *Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 243 Tahun 2019 Tentang Penetapan Lokasi Pelabuhan Bias Munjul Untuk Melayani Angkutan Penyeberangan Yang Berlokasi di Banjar Ceningan Kangin, Desa Lembongan, Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungk.* 2019.
- [2] D. K. P. Bali, *Peraturan Daerah Provinsi Bali Nomor 4 Tahun 2020 tentang Penguatan Dan Pemajuan Kebudayaan Bali.* 2020.
- [3] D. Prof. Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, *Perencanaan Pelabuhan.* Beta Offset, 2009, 2009.
- [4] A. Husen, *Manajemen Proyek : Perencanaan, Penjadwalan, Dan Pengendalian Proyek.* Yogyakarta: ANDI, 2011.
- [5] R. C. Newbold, *Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints.* Taylor & Francis, 1998.
- [6] E. Yuwono and M. Sabaruddin, "Kajian Pengerukan Waduk Sengguruh Kepanjen Kabupaten Malang," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 2, no. 1, 2014.
- [7] J. Mahendra, "Cutter Suction Dredger Dan Jenis Material (Pada Pekerjaan Capital Dredging Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamongan)," *Konstruksia*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [8] N. Bray and M. Cohen, *Dredging for development.* International Association of Dredging Companies, 2004.
- [9] M. A. Drs. H.A. Abbas Salim, S.E., *Manajemen Transportasi.* Jakarta: Rajawali Pers, 2016.
- [10] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional.* Jakarta: Erlangga, 1997.
- [11] B. Santosa, *Manajemen Proyek : Konsep & Implementasi.* Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.