

Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul

Ranindya Sekarayu, Wimala Lalitya Dhanista, dan Suntoyo
Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wimala_ld@oe.its.ac.id

Abstrak—Kerusakan CSD Galileo menyebabkan pihak kontraktor menghentikan kerja sama dengan Sub-contractor A dan digantikan dengan Sub-contractor B menggunakan CSD Julong untuk melakukan pengerukan alur pelayaran dan kolam fast boat Pelabuhan Bias Munjul. Pengerukan dengan CSD Julong dilakukan dari Sta. 625 sampai Sta. 0 dan area *fast boat*. Dikarenakan terjadi penggantian kapal keruk diperlukan penjadwalan untuk kegiatan pengerukan CSD Julong agar sesuai dengan perencanaan awal dan meminimalisir keterlambatan yang memengaruhi keseluruhan proyek pembangunan Pelabuhan Bias Munjul. Metode *Critical Path Method* (CPM) cukup sering digunakan berbagai proyek, metode tersebut akan dibandingkan dengan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang pengembangan dari metode *Critical Path Method*. Namun metode CCPM menghilangkan *safety times* dari keseluruhan durasi pekerjaan dan dikendalikan dengan *buffer management*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan terhadap *network planning*, durasi dan biaya total pekerjaan. Perhitungan waktu *buffer* menggunakan metode *root square mean error method* (RSEM). Dalam melakukan analisis penjadwalan dilakukan perhitungan secara manual dan menggunakan *software Microsoft Project*. Diperoleh penjadwalan dengan metode *Critical Path Method* (CPM) dapat diselesaikan selama 239 hari. Sedangkan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dapat diselesaikan selama 231 hari, dengan penambahan waktu *buffer* selama 12 hari. Metode CCPM menghasilkan perencanaan penjadwalan dengan durasi lebih cepat 8 hari dibandingkan metode CPM.

Kata Kunci—CPM, CCPM, *Buffer*, Penjadwalan Proyek, Pelabuhan.

I. PENDAHULUAN

PELABUHAN Bias Munjul yang terletak di Provinsi Bali merupakan salah satu rencana strategis dari Dinas Pariwisata Provinsi Bali dengan tujuan untuk menunjang pariwisata di Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan, serta mendukung fasilitas transportasi. Bias Munjul merupakan daerah pesisir di Lembongan, Nusapenida, Klungkung, Bali. Pelabuhan ini termasuk salah satu dari pelabuhan segitiga emas Provinsi Bali yang terdiri dari Pelabuhan Sanur, Pelabuhan Bias Munjul, dan Pelabuhan Sampalan [1]. Pada saat ini Pelabuhan Bias Munjul dalam tahap pembangunan. Pembangunan ini berpedoman pada Peraturan Pemerintah Bali tentang penguatan dan kemajuan Bali, terkait arsitektur pelabuhan supaya sesuai dengan budaya Bali [2].

Pada pembangunan Pelabuhan tersebut dibutuhkan alur pelayaran yang digunakan untuk mengarahkan kapal ke kolam pelabuhan. Perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal yang akan masuk ke pelabuhan [3]. Pada Gambar 1 alur pelayaran Pelabuhan Bias Munjul memiliki kondisi eksisting kedalaman elevasi (-) 2 m. Dalam perencanaannya, alur pelayaran akan dikeruk hingga mencapai kedalaman elevasi (-) 4 m, agar kapal RORO (*roll*



Gambar 1. Layout Alur Pelayaran dan Kolam Fast Pelabuhan Bias Munjul.

on-roll off) dapat melewati alur pelayaran tersebut.

Dalam kegiatan pengerukan alur pelayaran di Proyek Pelabuhan Bias Munjul, pada awalnya pihak kontraktor bekerja sama dengan sub-contractor I, menggunakan kapal *cutter section dredger* (CSD) dengan ukuran pipa 22 inci untuk menyalurkan material hasil pengerukan menuju *dumping area* sebanyak 200 m³ per jam. Namun, saat mengerjakan pengerukan dari STA 850 sampai STA 625 kapal *cutter section dredger* (CSD) milik sub-contractor I, yaitu CSD Galileo sering sekali mengalami kerusakan sehingga terjadi keterlambatan yang tidak bisa ditoleransi lagi oleh pihak kontraktor. Sehingga pada bulan Oktober pihak kontraktor menghentikan kerjasama dengan sub contractor I dan pada bulan November pihak kontraktor utama melakukan kerja sama selanjutnya dengan sub kontraktor II menggunakan CSD Julong. CSD tersebut memiliki dimensi pipa berdiameter 16 inch dan kapasitas pengerukan sebesar 120 m³ per jam, untuk melanjutkan kegiatan pengerukan dari STA 625 sampai STA 0 dan area *fast boat*.

Berdasarkan permasalahan pada kegiatan pengerukan di Proyek Pelabuhan Bias Munjul, proses perencanaan dan pengerjaan kegiatan pengerukan membutuhkan manajemen proyek yang baik [4]. Keberhasilan suatu proyek dapat ditinjau apabila proyek tersebut sesuai perencanaan yang telah disepakati, dengan peluang terhadap keterlambatan yang kecil [5]. Suatu proyek yang berjalan tanpa didasari dengan manajemen yang baik, dapat menyebabkan risiko-risiko yang akan menimbulkan kerugian terhadap pihak utama dan beberapa pihak lainnya [4]. Manajemen proyek menjadi faktor utama yang harus diperhatikan dalam berlangsungnya kegiatan. Oleh karena itu, manajemen proyek yang baik sudah seharusnya menjadi fokus utama dalam kegiatan pengerukan alur pelayaran Pelabuhan Bias Munjul untuk menghasilkan hasil kerja yang lebih optimal.

Dalam menjadwalkan kegiatan pengerukan akan digunakan metode *Critical Path Method* (CPM), yang

merupakan salah satu metode yang cukup umum digunakan pada proyek. Dalam metode *Critical Path Method* (CPM) akan dijabarkan seluruh daftar kegiatan yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek, durasi yang dibutuhkan dari setiap kegiatan, serta perencanaan SDM. Dari proses tersebut didapatkanlah jalur kritis dari sebuah *network* diagram, yang nantinya dapat ditemukan beberapa kegiatan yang waktu pembuatannya dapat dipersingkat sehingga didapatkan pengerjaan proyek yang paling efisien [6]. Selanjutnya akan di bandingkan dengan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dimana metode ini adalah kembangan dari *Critical Path Method* (CPM). *Critical Chain Project Management* (CCPM) adalah sebuah metode perencanaan proyek yang menekankan pada sumber daya yang diperlukan dalam melakukan aktivitas yang ada di proyek [7]. Konsep kerja dari metode ini ialah dengan menggunakan *buffer management*, dimana setiap kegiatan di dalamnya tidak dimasukan *safety time* atau waktu aman tetapi menggantinya dengan *buffer time* atau waktu cadangan.

Sehingga pada tugas akhir ini akan melakukan analisis terhadap penjadwalan kegiatan pengerukan pada proyek Pelabuhan Bias Munjul. Dimana pada akhir analisis dapat ditentukan penjadwalan yang diperkirakan lebih optimal bagi kegiatan pengerukan pada Pelabuhan Bias Munjul.

II. DASAR TEORI

A. Pelabuhan dan Alur Pelayaran

Menurut B. Triatmodjo, Pelabuhan adalah daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga yang dimana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang, *crane* untuk bongkar muat barang, gudang laut (*transito*) dan tempat-tempat penyimpanan dimana kapal membongkar muatannya, dan gudang-gudang dimana barang-barang dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan atau pengapalan [3]. Dalam arti lain, pelabuhan adalah sebuah fasilitas di ujung samudera, sungai, atau danau untuk menerima kapal dan memindahkan barang kargo maupun penumpang ke dalamnya.

Alur pelayaran merupakan alur yang digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan. Perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal terbesar yang akan masuk ke pelabuhan, serta kondisi meteorologi dan oseanografi. Secara umum terdapat beberapa daerah yang dilewati sebuah kapal untuk sampai ke dermaga [3], yaitu:

1. Daerah tempat kapal melempar sauh di luar Pelabuhan
2. Daerah pendekatan di luar alur masuk
3. Alur masuk di luar pelabuhan dan kemudian di dalam daerah terlindungi
4. Saluran menuju ke dermaga, apabila pelabuhan berada di dalam daerah daratan
5. Kolam putar

B. Pengerukan (*Dredging*)

Pengerukan (*Dredging*) merupakan proses pengambilan material atau tanah pada dasar perairan atau *seabed*, perairan dangkal seperti danau, sungai, muara ataupun laut dangkal, dan memindahkan atau membuangnya ke lokasi lain [8]. Sedangkan menurut J. Mahendra merupakan bagian dari

ilmu sipil, yang memiliki pengertian pemindahan material dari dasar bawah air dengan menggunakan peralatan keruk atau setiap kegiatan yang merubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai ataupun daratan sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk [9].

1) Proses Keruk

Menurut N. Bray dan M. Cohen pada umumnya proses pengerukan dilakukan dalam 4 tahapan[10], yaitu:

- a. Penggalian (*Excavation*)
- b. *Transport* Vertikal (*Vertical Transport*)
- c. *Transport* Horizontal (*Horizontal Transport*)
- d. Pembuangan atau penggunaan material kerukan

Sedangkan menurut H.A.A Salim pekerjaan pengerukan secara garis besar dapat dibagi dalam 3 proses, yaitu penggalian, pengangkutan, dan pembuangan. Setiap proses dari pengerukan dibantu oleh kapal dalam pelaksanaannya [10]

2) *Cutter Suction Dredger* (CSD)

Cutter Suction Dredger merupakan kapal keruk dengan penggalian dan operasinya secara hidrolik. Cara kerja dari *Cutter Suction Dredger* adalah dengan memotong dan menghancurkan material atau tanah dibawahnya. Kemudian setelah dihancurkan, material tersebut akan akan disedot dengan Pompa Sentrifugal di pipa hisapnya [11]

3) Perhitungan Durasi Pengerukan

Menurut A. Husen penentuan durasi dapat didasarkan pada produktivitas dan volume pekerjaan. Durasi pengerukan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 1 yang telah dikemukakan oleh [6].

$$\text{Durasi Pengerukkan} = \frac{\text{volume pengerukkan}}{\text{kapasitas produksi}} \quad (1)$$

C. *Critical Path Method* (CPM)

Critical Path Method (CPM) merupakan metode yang dikenal dengan adanya jalur kritis. Sedangkan jalur kritis adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan durasi waktu tercepat selesainya suatu proyek. Sehingga jalur kritis merupakan rangkaian dari kegiatan kritis dimulai dari kegiatan pertama hingga terakhir proyek [12].

1. Perhitungan Maju/*Earliest Event Time*

Bertujuan untuk mencari waktu paling awal dari suatu kegiatan untuk dimulai ataupun diselesaikan (*earliest start* dan *earliest finish*).

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

2. Perhitungan Mundur/*Latest Event Time*

Bertujuan untuk menentukan waktu paling lambat dari suatu pekerjaan dapat dimulai ataupun diselesaikan.

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

3. Total Float

Berfungsi sebagai penentu suatu pekerjaan termasuk ke dalam lintasan kritis. Jika total float suatu pekerjaan sama dengan nol (0), maka pekerjaan tersebut termasuk ke dalam lintasan kritis.

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

D. Critical Chain Project Management

Critical Chain Project Management (CCPM) merupakan kumpulan dari beberapa aktivitas atau kegiatan yang dapat menentukan durasi proyek secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan prioritas dan ketergantungan sumber daya [7]

Untuk menjamin *critical chain* tepat waktu, metode CCPM mengganti *safety time* dengan *buffer time*. *Buffer time* terdiri dari *feeding buffer* dan *project buffer*. Kedua *buffer time* tersebut yang akan menjamin *critical chain* dan integritas jadwal proyek secara keseluruhan [13]

1. Metode Root Square Error (RSEM)

Metode perhitungan *buffer time* dengan mengaplikasikan dua standar deviasi dari durasi CPM (S) dan durasi CCPM (A)

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

III. METODOLOGI

A. Data

Dalam melakukan analisis penjadwalan terhadap kegiatan pengerukan, data yang digunakan diperoleh dari dokumen perencanaan oleh pihak kontraktor. Durasi pekerjaan dipengaruhi oleh volume yang berbeda di setiap STA. Data seluruh pekerjaan dapat ditampilkan pada Tabel 1.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana lintasan kritis dan durasi total kegiatan pengerukan pada proyek Pelabuhan Bias Munjul dengan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM)?
2. Bagaimana lintasan kritis dan durasi total untuk kegiatan pengerukan pada proyek Pelabuhan Bias Munjul dengan menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM)?
3. Bagaimana perbandingan durasi dan biaya antara *Critical Path Method* (CPM) dan *Critical Chain Project Management* (CCPM)?

C. Langkah Penelitian

1) Penjadwalan menggunakan metode CPM

Penjadwalan CPM diawali dengan membuat jaringan kerja sesuai dengan *Work Breakdown Structure* (WBS) proyek Pelabuhan Bias Munjul khususnya pada kegiatan pengerukan alur pelayaran yang telah di dapat dari data perusahaan. Kemudian dilanjutkan untuk menentukan membentuk *network planning* dan jalur kritis dengan metode perhitungan maju dan perhitungan mundur, sehingga dihasilkan *critical path*-nya dan *total float* pada penjadwalan tersebut.

2) Penjadwalan dengan metode CCPM

Penjadwalan dengan metode CCPM dimulai dengan membuat *network planning* sesuai data proyek dari kontraktor Pelabuhan Bias Munjul, dengan mengilangkan *safety times* dan menggantikannya dengan *buffer time*. Kemudian menentukan jalur kritis pada penjadwalan tersebut.

Tabel 1.

Data Pekerjaan Pengerukan

No	ID	Kegiatan	Predecessor
1	A	Pekerjaan Persiapan	
2	AA	Perizinan SIKK	2FS-5days
3	AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut	
4		Clearing:	2FS-4days
5	AC	Area Depan SPBU (Dumping Area)	5FS
6	AD	Area Stage Ceningan	6FS
7	AE	Area Penjemuran Rumput Laut	
8		Pembuatan Tanggul Cerucuk + Gedek + Geotextile:	2FS-1day
9	AF	Area Site Proyek	5SS+7days
10	AG	Area Depan SPBU	6SS+3days
11	AH	Area Stage Ceningan	7SS+5days
12	AI	Area Penjemuran Rumput Laut	2FS-5days
13	AJ	Area Eka Jaya	12FS
14	AK	Mobilisasi CSD	2FS+141days
15	AL	Penyambungan Pipa Apung (Discharge Pipes)	14FS
16	B	Pekerjaan Pengerukan	
17	BA	Area Keruk Sta. 625 – Sta. 175	15FS, 3FS
18	BB	Area Keruk Sta. 175 – Sta. 50	17FS
19	BC	Area Keruk Sta. 50 – Sta. 0	18FS
20	BD	Area Keruk Fast Boat	19FS
21	C	Pekerjaan Dumping	
22	CA	Area Depan SPBU	17SS
23	CB	Area Stage Ceningan	18SS; 22FS
24	CC	Area Penjemuran Rumput Laut	19SS; 23FS
25	CD	Area Eka Jaya	20SS; 24FS
26	D	Pekerjaan Penutup	
27	DA	Sounding Batimetri	19FF+1
28	DB	Penetapan Alur Pelayaran	27FS

3) Menghilangkan safety

Berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, penghapusan *safety time* ditujukan untuk memaksimalkan produktivitas pekerja karena tidak ada waktu yang terbuang Metode yang digunakan untuk menghitung *safety time* adalah metode *root square mean error method* (RSEM).

4) Menentukan dan memasukkan project buffer pada akhir kegiatan

Setelah *safety time* telah terhapus dari setiap aktivitas, langkah selanjutnya adalah dengan menghitung *project buffer*. *Project buffer* merupakan waktu penyangga yang diletakkan di akir *critical chain* (rantai kritis).Metode yang digunakan adalah dengan menghitung dua standar deviasi dan menggunakan metode *root mean square error method* (RSEM).

5) Memasukan feeding buffer

Feeding buffer adalah waktu peyangga yang menghubungkan aktifitas non-*critical chain* dengan aktivitas *critical chain*. *Feeding buffer* berfungsi untuk *Feeding buffer* berfungsi untuk melindungi jalur kritis dari penundaan atau keterlambatan yang disebabkan oleh

6) Perbandingan Hasil

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

Tabel 2.
Durasi Pekerjaan Pengerukan dan Dumping

ID	Kegiatan	Durasi
B	Pekerjaan Pengerukan	
BA	Area Keruk Sta. 625 – Sta. 175	55
BB	Area Keruk Sta. 175 – Sta. 50	9
BC	Area Keruk Sta. 50 – Sta. 0	2
BD	Area Keruk Fast Boat	1
C	Pekerjaan Dumping	
CA	Area Depan SPBU	55
CB	Area Stage Ceningan	9
CC	Area Penjemuran Rumput Laut	2
CD	Area Eka Jaya	1

Tabel 3.
Nilai ES, EF, LS, dan LF Penjadwalan CPM

ID	Kegiatan	ES	EF	LF	LS
A	Pekerjaan Persiapan				
AA	Perizinan SIKK	-	21	-	21
AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut Clearing:	16	17	169	170
AC	Area Depan SPBU	17	31	207	221
AD	Area Stage Ceningan	31	34	221	224
AE	Area Penjemuran Rumput Laut Pembuatan Tanggul Cerucuk + Gedek + Geotextile:	34	36	224	226
AF	Area Site Proyek	20	27	232	239
AG	Area Depan SPBU	24	38	215	239
AH	Area Stage Ceningan	34	41	232	239
AI	Area Penjemuran Rumput Laut	39	46	229	236
AJ	Area Eka Jaya	46	49	236	239
AK	Mobilisasi CSD	162	169	162	169
AL	Penyambungan Pipa Apung (Discharge Pipes)	169	170	169	170
B	Pekerjaan Pengerukan				
BA	Area Keruk Sta. 625 – Sta. 175	170	225	170	225
BB	Area Keruk Sta. 175 – Sta. 50	225	234	225	234
BC	Area Keruk Sta. 50 – Sta. 0	234	236	234	236
BD	Area Keruk Fast Boat	236	237	236	237
C	Pekerjaan Dumping				
CA	Area Depan SPBU	170	225	172	227
CB	Area Stage Ceningan	225	234	227	236
CC	Area Penjemuran Rumput Laut	234	236	236	238
CD	Area Eka Jaya	236	237	238	239
D	Pekerjaan Penutup				
DA	Sounding Batimetri	170	238	170	238
DB	Penetapan Alur Pelayaran	238	239	238	239

7) *Kesimpulan dan Hasil*

Setelah dilakukan perbandingan terhadap kedua metode dan dapat ditentukan metode yang lebih efektif, maka akan rangkuman dari analisa data dan pembahasan kedua metode tersebut. Pada tahap ini akan menjawab rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan sebagai tugas akhir dan menyimpulkannya serta memberikan saran-saran yang diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca, peneliti selanjutnya, dan proyek sebagai objek penelitian.

IV. PEMBAHASAN

A. *Analisis Durasi Pekerjaan Pengerukan dan Pekerjaan Dumping*

Penentuan untuk durasi dapat didasarkan pada volume dan

Tabel 4.
Safety Time CCPM

ID	Kegiatan	Safety Time
AA-AB	Perizinan SIKK Dan Upacara Adat	9%
AC-AE	Pembersihan Lahan	26%
AF-AJ	Pembuatan Tanggul	15%
AK-AL	Mobilisasi CSD dan Penyambungan Pipa	12%
BA-BD	Pengerukan (<i>Dredging</i>)	5%
CA-CD	Pembuangan Hasil Pengerukan (<i>Dumping</i>)	5%
DA	Sounding Batimetri	16%
DB	Penetapan Alur Pelayaran	0%

Tabel 5.
Predecessor Baru Untuk CCPM

No	ID	Kegiatan	Predecessor
1	A	Pekerjaan Persiapan	
2	AA	Perizinan SIKK	
3	AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut Clearing:	2FS-4days
4			
5	AC	Area Depan SPBU (Dumping Area)	2FS-3days
6	AD	Area Stage Ceningan	5FS
7	AE	Area Penjemuran Rumput Laut	6FS
8		Pembuatan Tanggul Cerucuk + Gedek + Geotextile:	
9	AF	Area Site Proyek	2FS
10	AG	Area Depan SPBU	5SS+5days
11	AH	Area Stage Ceningan	6SS+2days
12	AI	Area Penjemuran Rumput Laut	7SS+3days
13	AJ	Area Eka Jaya	12FS
14	AK	Mobilisasi CSD	2FS+128days
15	AL	Penyambungan Pipa Apung (<i>Discharge Pipes</i>)	14FS
16	B	Pekerjaan Pengerukan	
17	BA	Area Keruk Sta. 625 – Sta. 175	15FS, 3FS
18	BB	Area Keruk Sta. 175 – Sta. 50	17FS
19	BC	Area Keruk Sta. 50 – Sta. 0	20FS
20	BD	Area Keruk Fast Boat	21FS
21	C	Pekerjaan Dumping	
22	CA	Area Depan SPBU	17SS
23	CB	Area Stage Ceningan	18SS; 22FS
24	CC	Area Penjemuran Rumput Laut	19SS; 23FS
25	CD	Area Eka Jaya	20SS; 24FS
26	D	Pekerjaan Penutup	
27	DA	Sounding Batimetri	20FF
28	DB	Penetapan Alur Pelayaran	28FS

produktivitas pekerjaan dalam menyelesaikan kegiatan pengerukan. Untuk pekerjaan persiapan, durasi telah ditentukan pada dokumen kesepakatan pihak kontraktor. Menurut A. Husen dalam menentukan durasi pekerjaan untuk pekerjaan pengerukan dan *dumping* dapat diselesaikan dengan persamaan 1 [14]. Sehingga dapat diperoleh durasi untuk pengerukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pekerjaan pengerukan dan *dumping* dilakukan secara bersamaan, oleh karena itu durasi yang dibutuhkan kedua pekerjaan tersebut akan sama.

B. *Penjadwalan CPM*

1) *Perhitungan Maju dan Perhitungan Mundur*

Pada penjadwalan dengan metode *Critical Path Method* (CPM) dilakukan perhitungan maju dan mundur sesuai dengan *predecessor*, perhitungan tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan 2 dan 3. Nilai yang telah diperoleh dari

Tabel 6.
ES, EF, LS, dan LF Penjadwalan CCPM

ID	Kegiatan	ES	EF	LF	LS
A	Pekerjaan Persiapan				
AA	Perizinan SIKK	0	19.11	0	19.11
AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut Clearing:	15.11	16.02	153.24	154.15
AC	Area Depan SPBU	16.11	26.47	194.72	205.08
AD	Area Stage Ceningan	26.47	28.69	205.08	207.3
AE	Area Penjemuran Rumput Laut Pembuatan Tanggul Cerucuk+Gedek+Geotextile:	28.69	30.17	207.3	208.78
AF	Area Site Proyek	19.11	25.06	212.85	218.8
AG	Area Depan SPBU	21.11	33.01	206.9	218.8
AH	Area Stage Ceningan	28.47	34.42	212.85	218.8
AI	Area Penjemuran Rumput Laut	31.69	37.64	210.3	216.25
AJ	Area Eka Jaya	37.64	40.19	216.25	218.8
AK	Mobilisasi CSD	147.11	153.27	147.11	153.27
AL	Penyambungan Pipa Apung (Discharge Pipes)	153.27	154.15	153.27	154.15
B	Pekerjaan Pengerukan				
BA	Area Keruk Sta.625-Sta. 175	154.15	206.4	154.15	206.4
BB	Area Keruk Sta.175-Sta. 50	206.4	214.95	206.4	214.95
BC	Area Keruk Sta.50-Sta.0	214.95	216.85	214.95	216.85
BD	Area Keruk Fast Boat	216.85	217.8	216.85	217.8
C	Pekerjaan Dumping				
CA	Area Depan SPBU	154.15	206.4	155.15	207.4
CB	Area Stage Ceningan	206.4	214.95	207.4	215.95
CC	Area Penjemuran Rumput Laut	214.95	216.85	215.95	217.85
CD	Area Eka Jaya	216.85	217.8	217.85	218.8
D	Pekerjaan Penutup				
DA	Sounding Batimetri	160.68	217.8	160.68	217.8
DB	Penetapan Alur Pelayaran	217.8	218.8	217.8	218.8

perhitungan maju dan mundur dapat menentukan nilai Total Float yang akan digunakan dalam mengidentifikasi pekerjaan-pekerjaan yang termasuk ke dalam lintasan kritis. Berikut merupakan nilai ES, EF, LS, dan LF yang ditunjukkan pada Tabel 3.

C. Penjadwalan CCPM

1) Pengurangan Durasi

Metode CCPM memiliki konsep mengurangi durasi yang berlebihan pada setiap pekerjaan. Adapun pengurangan tersebut dilakukan sebagai langkah awal dari CCPM untuk mengurangi safety times yang berlebihan pada metode CPM, sehingga durasi setiap pekerjaan menjadi efektif serta bertujuan untuk mengatasi masalah seperti multitasking dan overestimated activity durations. Bobot safety times dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

2) Predecessor CCPM

Setelah dilakukan pengurangan durasi sesuai dengan bobot safety times, predecessor juga harus disetarakan. Sehingga data predecessor yang baru dapat ditampilkan pada Tabel 5.

3) Perhitungan Maju dan Perhitungan Mundur CCPM

Berikut merupakan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur sesuai predecessor yang telah disetarakan, yang ditunjukkan pada Tabel 6.

4) Perhitungan Buffer pada CCPM

Perhitungan feeding buffer dan project buffer dapat diselesaikan dengan persamaan 5, sehingga durasi buffer dapat ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 diperoleh untuk durasi feeding buffer selama 2 hari dan project buffer selama 12 hari. Untuk rantai non-kritis memiliki waktu penyangga 2 hari untuk dipakai jika terjadi

keterlambatan agar tidak memengaruhi rantai kritis. Sedangkan rantai kritis memiliki durasi penyangga selama 12 hari jika terjadi keterlambatan, agar tidak memengaruhi kegiatan lain atau keseluruhan proyek dalam proyek pembangunan Pelabuhan Bias Munjul.

D. Identifikasi Lintasan Kritis Metode CPM dan CCPM

Lintasan kritis merupakan merupakan kumpulan kegiatan yang memiliki nilai total float sama dengan nol. Total float adalah waktu tenggang maksimum suatu pekerjaan boleh terlambat tanpa menunda waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan, menjadikan total float sebagai penentu dalam memperoleh lintasan kritis. Berdasarkan Tabel 8 pengerjaan penjadwalan dengan metode CPM dan CCPM mempunyai lintasan kritis yang sama. Lintasan yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut, yaitu AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB. Terdapat perbedaan durasi total yang dihasilkan oleh lintasan kritis kedua metode tersebut. Untuk metode CPM durasi yang dihasilkan selama 239 hari, sedangkan metode CCPM menghasilkan durasi total selama 231 hari, termasuk buffer time selama 8 hari pada metode CCPM. Namun berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, bahwa penjadwalan menggunakan metode CCPM dapat dimulai lebih lambat selama 6 hari, namun dapat diselesaikan 2 hari lebih cepat dari metode penjadwalan CPM. Hal tersebut dikarenakan pekerjaan pengerukan dengan CSD Julong harus dimulai pada bulan November, sehingga dengan adanya pemotongan safety time pada pekerjaan pendahulunya maka waktu dimulainya penjadwalan dengan metode CCPM secara keseluruhan dapat dimundurkan menjadi 6 hari lebih lambat dari pada metode CPM. Kasus serupa pernah terjadi pada penelitian yang dilakukan pada M. Taghipour, F. Seraj, M. Amin, and M. C. Delivand, 2020 [14] bahwa hasil penelitian

Tabel 7.
Durasi Buffer pada Metode CCPM

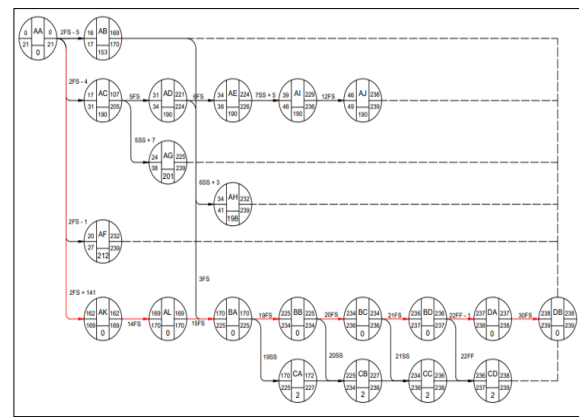
ID	Buffer	Durasi Buffer (hari)	Durasi Pembulatan ke Atas (hari)
FB	Feeding Buffer	1.8921	2
PB	Project Buffer	11.4212	12

Tabel 8.
Nilai Total Float untuk Metode CPM dan CCPM

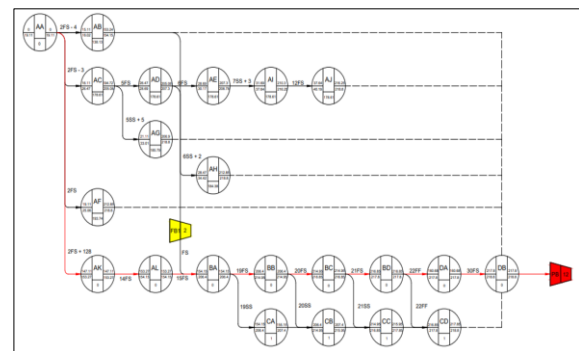
ID	Kegiatan	Total Float CPM	Total Float CCPM
A Pekerjaan Persiapan			
AA	Perizinan SIKK	0	0
AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut Clearing:	153	138.13
AC	Area Depan SPBU	190	178.61
AD	Area Stage Ceningan	190	178.61
AE	Area Penjemuran Rumput Laut Pembuatan Tanggul Cerucuk+Gedek+Geotextile:	190	178.61
AF	Area Site Proyek	212	193.74
AG	Area Depan SPBU	201	185.79
AH	Area Stage Ceningan	198	185.38
AI	Area Penjemuran Rumput Laut	190	178.61
AJ	Area Eka Jaya	190	178.61
AK	Mobilisasi CSD	0	0
AL	Penyambungan Pipa Apung (Discharge Pipes)	0	0
B Pekerjaan Pengerukan			
BA	Area Keruk Sta.625-Sta. 175	0	0
BB	Area Keruk Sta.175–Sta. 50	0	0
BC	Area Keruk Sta.50–Sta.0	0	0
BD	Area Keruk Fast Boat	0	0
C Pekerjaan Dumping			
CA	Area Depan SPBU	2	1
CB	Area Stage Ceningan	2	1
CC	Area Penjemuran Rumput Laut	2	1
CD	Area Eka Jaya	2	1
D Pekerjaan Penutup			
DA	Sounding Batimetri	0	0
DB	Penetapan Alur Pelayaran	0	0

yang dilakukan menghasilkan penjadwalan CCPM dimulai 15 hari lebih lambat dari penjadwalan CPM, perbandingan metode CPM dan CCPM dapat ditunjukkan pada Tabel 9 *safety time* pada pekerjaan pendahulunya maka waktu dimulainya penjadwalan dengan metode CCPM secara keseluruhan dapat dimundurkan menjadi 6 hari lebih lambat dari pada metode CPM. Kasus serupa pernah terjadi pada penelitian yang dilakukan pada Taghipour et al, 2020 bahwa hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan penjadwalan CCPM dimulai 15 hari lebih lambat dari penjadwalan CPM, perbandingan metode CPM dan CCPM dapat ditunjukkan pada Tabel 9.

Secara teori, metode CCPM menghasilkan penjadwalan yang total durasi lebih kecil, artinya kegiatan tersebut dapat diselesaikan lebih cepat, dibandingkan dengan metode CPM. Hal tersebut dikarenakan adanya penambahan waktu *buffer* yang berperan sebagai waktu penyangga untuk menggantikan *safety times* yang telah dihilangkan. Disisi lain CPM tidak menghilangkan *safety times* yang terdapat setiap pekerjaannya, sehingga tidak diperlukan perhitungan *feeding buffer* dan *project buffer*. Dari hasil identifikasi lintasan kritis, *project network* dapat dibentuk seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada Gambar 2. menunjukkan *project network* dari pengerjaan CPM, anak panah berwarna merah



Gambar 2. Project Network CPM.



Gambar 3. Project Network CCPM.

Tabel 9.
Hasil Penjadwalan Metode CPM dan CCPM

Metode	Durasi	Durasi Buffer	Tanggal Mulai	Tanggal Selesai	Durasi Total
CPM	239 hari	-	31 Mei 2021	25 Januari 2022	239 hari
	219 hari	12 hari	6 Juni 2021	23 Januari 2022	231 hari

menandakan bahwa pekerjaan tersebut termasuk kedalam lintasan kritis. Pada Gambar 3. menunjukkan *project network* dari pengerjaan penjadwalan dengan metode CCPM, anak panah berwarna merah menandakan bahwa pekerjaan tersebut termasuk kedalam lintasan kritis. Bentuk trapesium berwarna kuning menandakan *feeding buffer*, dan trapesium berwarna merah menandakan *project buffer*.

E. Microsoft Project

1) Identifikasi Lintasan Kritis dengan Ms. Project

Penyusunan *project network* menggunakan *Microsoft Project* membutuhkan data kegiatan, tanggal mulai, tanggal selesai, durasi setiap pekerjaan dan urutan keterkaitan antar kegiatan. Selanjutnya *Microsoft Project* secara langsung akan menampilkan *Earliest Start (ES)*, *Earliest Finish (EF)*, *Latest Start (LS)*, dan *Latest Finish (LF)*. Pada menu *Task Sheet* di Ms. Project akan memberikan nilai *total slack* untuk menentukan lintasan kritis. Nilai total slack Ms. Project untuk metode CPM dan metode CCPM dapat ditunjukkan pada proses penjadwalan yang dilakukan pada *Microsoft Project* bertujuan untuk melihat kesesuaian lintasan kritis dalam membentuk *network planning* antara perhitungan manual menggunakan *Microsoft Excel* dan penjadwalan menggunakan *Microsoft Project*. Berdasarkan Tabel 10 yang merupakan hasil total slack kedua metode dari Ms. Project,

Tabel 10.
Output Total Slack Microsoft Project

ID	Kegiatan	Total Slack CPM	Total Slack CCPM
A	Pekerjaan Persiapan	0 days	0 days
AA	Perizinan SIKK	0 days	0 days
AB	Upacara Adat Clearing Mangrove & Upacara Laut Clearing:	153 days	138.13 days
AC	Area Depan SPBU	190 days	178.61 days
AD	Area Stage Ceningan	190 days	178.61 days
AE	Area Penjemuran Rumput Laut Pembuatan Tanggul Cerucuk+Gedek+Geotextile:	190 days	178.61 days
AF	Area Site Proyek	212 days	193.74 days
AG	Area Depan SPBU	201 days	185.79 days
AH	Area Stage Ceningan	198 days	185.38 days
AI	Area Penjemuran Rumput Laut	190 days	178.61 days
AJ	Area Eka Jaya	190 days	178.61 days
AK	Mobilisasi CSD	0 days	0 days
AL	Penyambungan Pipa Apung (Discharge Pipes)	0 days	0 days
B	Pekerjaan Pengerukan		
BA	Area Keruk Sta.625-Sta. 175	0 days	0 days
BB	Area Keruk Sta.175–Sta. 50	0 days	0 days
BC	Area Keruk Sta.50–Sta.0	0 days	0 days
BD	Area Keruk Fast Boat	0 days	0 days
C	Pekerjaan Dumping		
CA	Area Depan SPBU	2 days	1 days
CB	Area Stage Ceningan	2 days	1 days
CC	Area Penjemuran Rumput Laut	2 days	1 days
CD	Area Eka Jaya	2 days	1 days
D	Pekerjaan Penutup		
DA	Sounding Batimetri	0 days	0 days
DB	Penetapan Alur Pelayaran	0 days	0 days

diperoleh bahwa pekerjaan yang termasuk ke dalam lintasan kritis untuk kedua metode tersebut sama, yaitu AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB, dan nilai *total slack* yang dihasilkan sama seperti perhitungan sebelumnya pada Tabel 8. Sehingga pengerjaan penjadwalan menggunakan perhitungan manual menggunakan *Microsoft Excel* sesuai dengan pengerjaan penjadwalan menggunakan *Microsoft Project*. Hal tersebut dapat dilihat pada rantai kritis dan *total slack* yang dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis penjadwalan kegiatanp pengerukan Pelabuhan Bias Munjul dengan metode Critical Path Method (CPM) dan Critical Chain Project Management (CCPM), diperoleh kesimpulan yaitu pada metode CPM diperoleh lintasan kritis dengan ID atau kode kegiatan AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB, menghasilkan durasi total selama 239 hari. Pada metode CCPM diperoleh lintasan kritis dengan ID atau kode kegiatan AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB, menghasilkan durasi total selama 231 hari. Hasil durasi kegiatan pengerukan diperoleh bahwa metode CCPM merencanakan penjadwalan dengan durasi lebih cepat 8 hari kerja

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 243 Tahun 2019*. Jakarta, 2019.

[2] Pemerintah Provinsi Bali, *Peraturan Daerah Provinsi Bali Nomor 4 Tahun 2020*. Bali: LD.2020/No.4, 2020.

[3] B. Triatmodjo, *Perencanaan Pelabuhan. Sleman*. Yogyakarta: Beta Offset, 2009.

[4] Aldio Arya Pratama Sutedjo, “Analisa Biaya Percepatan Optimal dengan Penjadwalan Ulang pada Galangan,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2017.

[5] Prathama Putra Wiryawan, “Analisa Keterlambatan Proyek Pembangunan Dermaga Pelabuhan Laut Calang,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 2016.

[6] A. Husen, *Perencanaan Penjadwalan & Pengendalian Proyek*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2009.

[7] R. C. Newbold, *Project Management in The Fast Lane: Applying the Theory of Constraints*. New York: CRC Press, 1998.

[8] E. Yuwono and M. Sabaruddin, “Kajian Pengerukan Waduk Sengguruh Kepanjen Kabupaten Malang,” *J. Teknol. Terpadu*, vol. 1, no. 2, pp. 46–54, 2014.

[9] J. Mahendra, “Cutter suction dredger dan jenis material (pada pekerjaan capital dredging pembangunan pelabuhan Teluk Lamong),” *J. Konstruksia*, vol. 6, no. 1, pp. 31–43, 2014.

[10] H. A. A. Salim, *Manajemen Transportasi*. Jakarta: Rajawali Pers, 1993.

[11] N. (Richard N. Bray and Marsha. Cohen, *Dredging for Development*, 6th ed. USA: International Association of Dredging Companies, IADC, 2010.

[12] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga, 1999.

[13] S. Budi, *Manajemen Proyek Konsep & Implementasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.

[14] M. Taghipour, F. Seraj, M. Amin, and M. C. Delivand, “Evaluating CCPM method versus CPM in multiple petrochemical projects,” *Management*, vol. 3, no. 3, pp. 2617–4596, 2020, doi: 10.31058/j.mana.2020.32004.