JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Desain Layout dan Pekerjaan Pengerukan Alur Pelayaran dan Kolam Putar Terminal Kalibaru

Almaidah Junsasmi Tambunan(*)

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung Email: almaidah.junsasmi@gmail.com

Eddy Rachman Gandanegara

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung Email: eddyrachmang@ocean.itb.ac.id

Abstrak

Terminal Kalibaru merupakan salah satu terminal di Pelabuhan Tanjung Priok yang melayani aktivitas dan perdagangan Indonesia, terutama untuk jenis petikemas. Terminal Kalibaru diharapkan dapat memfasilitasi masuknya kapal peti kemas generasi terbaru. Agar dapat memenuhi harapan tersebut, dibutuhkan fasilitas pelabuhan seperti alur pelayaran dan kolam putar yang memadai. Alur pelayaran merupakan bagian dari pelabuhan yang berfungsi sebagai jalur masuk dan keluar kapal. Kolam putar merupakan bagian dari pelabuhan yang berfungsi untuk maneuver kapal sebelum dan sesudah kapal melakukan kegiatan bersandar di dermaga. Konfigurasi yang perlu diperhatikan dalam mendesain alur pelayaran adalah kedalaman, lebar, belokan, dan kemiringan samping alur. Sedangkan konfigurasi yang perlu diperhatikan dalam mendesain kolam putar adalah kedalaman dan diameter. Berdasarkan kapal rencana di Terminal Kalibaru, alur pelayaran dan kolam putar didesain dengan kedalaman -16,5 meter LWS. Untuk mencapai kedalaman tersebut, diperlukan pekerjaan pengerukan. Makalah ini meliputi penentuan layout alur pelayaran dan kolam putar, perhitungan volume pengerukan, jenis dan jumlah kapal keruk yang digunakan, estimasi penjadwalan pekerjaan, dan estimasi biaya pekerjaan pengerukan. Volume pekerjaan pengerukan untuk alur pelayaran dan kolam putar di Terminal Kalibaru sebesar 9.131.414 m³ dan akan dikeruk menggunakan 2 TSHD Aru II dan 1 CSD Tona 2. Estimasi biaya yang dibutuhkan adalah Rp147.945 per meter kubik.

Kata-kata Kunci: Alur pelayaran, kolam putar, pengerukan.

Abstract

Kalibaru Terminal is one of the terminal at the Tanjung Priok Port that serves Indonesian activities and trade, especially for container types. The Kalibaru Terminal is expected to facilitate the entry of the latest generation of container ships. In order to meet these expectations, adequate port facilities such as approach channel and turning basin are needed. The approach channel is part of the port that functions as a ship's entry and exit route. Turning basin is part of the port that serves to maneuver the ship before and after the ship anchored at the dock. Configurations that need to be considered in designing approach channel are depth, width, turns, and side slope of the channel. While the configuration that needs to be considered in designing turning basin is the depth and diameter. Based on the planned ship at Kalibaru Terminal, the approach channel and turning basin are designed with a depth of -16,5 meter LWS. To reach this depth, dredging work is required. This paper includes determining the layout of approach channel and turning basin, calculating the volume of dredging, the type and number of dredgers used, estimating work scheduling, and estimating the cost of dredging work. The volume of dredging work for approach channel and turning basin at the Kalibaru Terminal is 9.131.414 m³ and will be dredged using 2 TSHD Aru II and 1 CSD Tona 2. The estimated cost required is Rp147.945 per cubic meter.

Keywords: Approach channel, dredging, turning basin.

1. Pendahuluan

Terminal Kalibaru dibangun untuk mengantisipasi pertumbuhan petikemas di Pelabuhan Tanjung Priok. Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Laut (2016), dengan adanya Terminal Kalibaru maka kapasitas terminal petikemas di Pelabuhan Tanjung Priok bertambah 1,5 juta TEUs/tahun. Terminal Kalibaru

bagian dari program Nawacita dalam meningkatkan kemandirian ekonomi, daya saing pasar internasional, dan produktivitas rakyat.

Menurut Direktur Utama PT Pelabuhan Indonesia II (2020), Terminal Kalibaru direncanakan memiliki kedalaman kolam dan alur pelayaran minus 16 sampai 20 meter agar dapat memfasilitasi masuknya kapal peti

^{*} Penulis Korespondensi: almaidah.junsasmi@gmail.com

kemas generasi terbaru dengan kapasitas sekitar 10.000 TEUs. Dengan kapal tersebut, lalu lintas impor dan ekspor petikemas dapat langsung menuju dan/atau dari Pelabuhan Tanjung Priok, tanpa harus transit untuk berganti kapal ke negara tetangga. Oleh karena itu, diperlukan pekerjaan pengerukan di depan dermaga hingga kedalaman yang direncanakan.

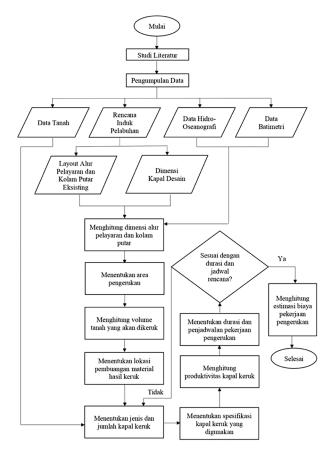
Terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam rencana pekerjaan pengerukan, yaitu volume pengerukan, jumlah dan jenis kapal keruk yang digunakan, dan lokasi pembuangan material hasil keruk. Makalah ini membahas tentang pekerjaan pengerukan pada alur pelayaran dan kolam putar di Terminal Kalibaru. Pekerjaan pengerukan yang akan dibahas meliputi volume pengerukan, jenis dan jumlah kapal keruk yang digunakan, penentuan lokasi pembuangan material hasil pengerukan, estimasi penjadwalan pekerjaan, dan estimasi biaya pekerjaan pengerukan.

2. Teori dan Metodologi

Makalah ini menjabarkan langkah-langkah dalam mendesain kolam putar dan alur pelayaran. Hasil dari desain tersebut digunakan untuk menentukan volume pengerukan. Setelah didapatkan volume pengerukan, maka dapat ditentukan jenis dan jumlah kapal keruk yang digunakan, penentuan lokasi pembuangan material hasil pengerukan, estimasi penjadwalan pekerjaan, dan estimasi biaya pekerjaan pengerukan. Semua langkah tersebut dilakukan berdasarkan standar yang berlaku. Terdapat beberapa standar yang digunakan pada makalah ini, yaitu British Standard (1991), British Standard (2000), PIANC (2014), OCDI (2002), dan Bray dkk (1996). Standar tersebut dianggap masih applicable dan relevant untuk digunakan dalam mengistimasi pekerjaan pengerukan saat ini. Hal tersebut dikarenakan belum adanya standar terbaru yang memperbarui standar terdahulu. Namun, untuk estimasi biaya pekerjaan pengerukan dapat disesuaikan dengan kondisi saat ini seperti harga bahan bakar per liter, sewa tug boat dan biaya pekerja. Pada makalah ini, diatur batasan pekerjaan pengerukan agar dapat selesai dalam waktu 1 tahun. Metodologi penelitian dijelaskan dalam bentuk skema pada Gambar 1.

Menurut peraturan menteri perhubungan nomor pm 125 tahun 2018 tentang pengerukan dan reklamasi, pengerukan adalah pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material dasar perairan yang dipergunakan untuk keperluan tertentu. Bray dkk (1996) menyatakan bahwa pengerukan dilakukan berdasarkan beberapa faktor, yaitu ekonomi, lingkungan dan sudut pandang pembangunan total yang direncanakan. Berdasarkan hal tersebut, skala prioritas kebutuhan pengerukan antara lain: tidak perlu pengerukan, capital dredging saja, serta capital dan maintenance dredging.

Dimensi utama kapal dibagi menjadi tiga, yaitu panjang kapal, lebar kapal, dan kedalaman kapal. Dimensi utama dari panjang kapal adalah *length over*



Gambar 1. Metodologi penelitian

all (LOA), length between perpendiculars (LBP), dan length on the Load Water Line (LWL). Dimensi utama dari lebar kapal adalah beam dan moulded beam. Dimensi utama dari kedalaman kapal adalah depth, draft, dan freeboard.

Kolam putar adalah area di pelabuhan yang digunakan untuk manuver kapal sebelum dan sesudah kapal melakukan kegiatan bersandar di dermaga. OCDI (2002) menyatakan bahwa kedalaman kolam putar sama dengan kedalaman alur pelayaran. Ukuran diameter kolam putar adalah 3LOA apabila kapal berputar tanpa bantuan *tug boat* dan 2LOA apabila kapal berputar dengan bantuan *tug boat*.

Menurut peraturan menteri perhubungan nomor pm 129 tahun 2016 tentang alur pelayaran di laut dan bangunan dan/atau instalasi di perairan, alur pelayaran adalah perairan yang dari segi kedalaman, lebar dan bebas hambatan pelayaran lainnya dianggap aman dan selamat untuk dilayari kapal angkutan laut. Berdasarkan PIANC (2014) dan *British Standard* (1991), konfigurasi yang perlu diperhatikan dalam mendesain alur pelayaran adalah kedalaman, lebar, belokan, dan kemiringan samping alur.

Volume pengerukan adalah volume dari suatu material yang didapatkan dari hasil kegiatan pengerukan. Perhitungan volume pengerukan dibagi menjadi dua, yaitu metode *cross-section* dan metode *grid*. Metode *cross-section* adalah perhitungan volume dengan mengalikan luas rata-rata potongan dengan jarak antar

potongan. Metode grid adalah perhitungan volume dengan mengalikan kedalaman keruk dengan luas grid.

Menurut peraturan menteri perhubungan nomor pm 125 tahun 2018 tentang pengerukan dan reklamasi, lokasi pembuangan hasil pengerukan (dumping area) adalah lokasi yang digunakan untuk tempat penimbunan hasil kegiatan kerja keruk. Lokasi pembuangan hasil pengerukan dapat dilakukan di laut dan/atau di darat. Jika tempat pembuangan material keruk di laut, idealnya dibuang pada jarak 12 mil dari daratan dan/atau pada kedalaman lebih dari 20 meter. Jika tempat pembuangan material keruk di darat, maka harus mendapat persetujuan dari Pemerintah Daerah setempat.

Kapal keruk digunakan untuk melaksanakan kegiatan pengerukan. Kapal keruk dibagi menjadi dua jenis berdasarkan cara pengambilan material, yaitu mekanis (bantuan alat mekanik) dan hidrolis (bantuan tenaga air atau pompa). Menurut Bray dkk (1996), kapal keruk yang tersedia untuk wilayah Asia Tenggara, yaitu TSHD, CSD, Suction, Hopper Suction, Bucket, Backhoe, Dipper, dan Grab.

Bray dkk (1996) menyatakan bahwa perhitungan produktivitas kapal keruk dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bulking factor (B), base productive unit (U_b), modification factor (f_m), cycle factor (f_c), delay factor (f_d), operational factor (f_o), dan mechanical breakdown factor (f_b). Langkah pertama produktivitas perhitungan kapal keruk adalah menghitung unit produksi termodifikasi (U_m) dengan mengalikan modification factor (fm) dengan base productive unit (U_b). Langkah kedua adalah menghitung produksi potensial maksimum (P_{max}) dengan mengalikan cycle factor (f_c) dengan unit produksi termodifikasi (U_m). Langkah terakhir adalah menghitung produksi nyata (P) dengan mengalikan delay factor (fd), operational factor (f_o), dan mechanical breakdown factor (f_b) dengan produksi potensial maksimum (P_{max}).

Pemilihan kapal keruk dipengaruhi oleh beberapa faktor fisik yang meliputi jenis pekerjaan, jenis tanah, kondisi lokasi pekerjaan, dan volume material yang akan dikeruk. Perencanaan kegiatan pengerukan didasarkan oleh tujuan dari jenis pengerukannya seperti capital dredging, maintenance dredging, pengambilan material untuk reklamasi, dan sebagainya. Untuk mempermudah pemilihan kapal keruk, dapat digunakan tabel panduan pemilihan kapal keruk yang terdapat pada *British Srtandard* (1991), dengan dengan skala 1 sampai 3 (cocok sampai kurang cocok) dan nilai N (tidak cocok) berdasarkan kondisi lapangan pada area pengerukan.

3. Hasil dan Analisis

Kapal rencana yang akan bersandar di dermaga adalah jenis Post Panamax Plus dengan kapasitas 10000 TEUs. Ukuran dari kapal Post Panamax Plus, yaitu Length Over All (LOA) sebesar 340,69 meter, lebar (b) sebesar 45,64 meter, dan draft (d) sebesar 15 meter.

Kedalaman alur pelayaran dihitung menurut British Standard (2000). Kedalaman alur pelayaran adalah 10% dari draft kapal rencana. Nilai tersebut sudah memperhitungkan toleransi dan underkeel clearance saat kapal berada pada kecepatan manuver pelabuhan. Perhitungan kedalaman alur dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$Kedalaman \ alur \ pelayaran = 1,1 \ . \ d = 16,5 \ m$$
 (1)

Lebar alur pelayaran dihitung menurut British Standard (2000). Lebar alur pelayaran dua arah adalah 6 sampai 8 kali lebar kapal terbesar. Berdasarkan Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Priok (2012), Terminal Kalibaru memiliki alur pelayaran dua arah (two way). Asumsi lebar alur pelayaran yang digunakan adalah 6 kali lebar kapal. Perhitungan lebar alur dapat dilihat pada Persamaan (2).

Lebar alur pelayaran =
$$6 \cdot d = 274 \text{ m}$$
 (2)

Belokan pada alur dihitung menurut PIANC (2014). Nilai radius minimum belokan berdasarkan PIANC (2014) dapat dilihat pada Tabel 1. Karena kapal petikemas yang digunakan adalah Post Panamax Plus, maka jenis kapal ini tergolong ke dalam kategori Container ship (over Panamax). Sehingga nilai radius belokan adalah 7 kali panjang kapal (LOA) atau sebesar 2.384,83 meter. Nilai faktor berdasarkan jenis kapal (a) adalah 4,5 karena untuk kapal besar. Lebar tambahan untuk lintasan dalam belokan alur (ΔW_{DA}) dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$\Delta W_{\rm DA} = \frac{LOA^2}{a.\,Rc} = 10.8\,m \approx 11\,m \tag{3}$$

Tabel 1. Radius minimum belokan (PIANC, 2014)

No	Ship Type	R _c
1	Cargo Ship	5 LOA
2	Small Cargo Ship	6 LOA
3	Container Ship (over Panamax)	7 LOA
4	Container Ship (Panamax)	6 LOA
5	Very Large Bulk Carrier	6 LOA
6	Large Bulk Carrier (Panamax)	6 LOA
7	Small Bulk Carrier	5 LOA
8	VLCC	5 LOA
9	Small Tanker	5 LOA
10	LNG Ship	4 LOA
11	Refrigerated Cargo Carrier	5 LOA
12	Passenger Ship	4 LOA
13	Ferry Boat	5 LOA

Kemiringan samping alur pelayaran dihitung menurut British Standard (1991). Nilai kemiringan samping alur pelayaran ditentukan oleh jenis tanah. Jenis tanah di lokasi pekerjaan adalah tanah lempung berlanau (silty clay, very soft) dengan nilai N-SPT 0-2 pukulan. Nilai kemiringan alur berdasarkan British Standard (1991) dapat dilihat pada Tabel 2. Diasumsikan bahwa jenis tanah very soft clay sama dengan jenis tanah mud and silt karena sama-sama mengandung lanau dan diasumsikan still water karena area di lokasi pekerjaan sudah dilindungi oleh breakwater. Sehingga, nilai kemiringan samping alur pelayaran yang digunakan adalah 9°.

Tabel 2. Nilai kemiringan samping alur (British Standard, 1991)

Soil Tune	Side slope		
Soil Type	Still water	Active water	
Rock	Nearly vertical	Nearly vertical	
Stiff clay	45°	45°	
Firm clay	40°	35°	
Sandy clay	25°	15°	
Coarse sand	20°	10°	
Fine sand	15°	5°	
Mud and Silt	10° to 1°	5° or less	

Kolam putar dihitung menurut OCDI (2002). Kedalaman kolam putar sama dengan kedalaman alur pelayaran. Sehingga kedalaman kolam putar sebesar 16,5 meter. Berdasarkan Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Priok (2012), kapal yang ada di dalam pelabuhan akan dibantu oleh *tug boat*. Diameter kolam putar dapat dilihat pada **Persamaan (4)**.

Diameter kolam putar =
$$2 \cdot LOA = 700 \text{ m}$$
 (4)

Sketsa potongan alur pelayaran dua arah dapat dilihat pada **Gambar 2**. Layout alur pelayaran dan kolam putar pada Terminal Kalibaru dapat dilihat pada **Gambar 3**.

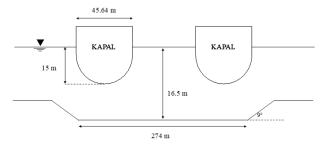
Perhitungan volume keruk dibagi menjadi dua bagian, yaitu untuk volume hasil *capital dredging* dan *maintenance dredging*. Perhitungan volume keruk dilakukan dengan metode *cross section*. Contoh potongan melintang *cross section* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Metode *cross section* memanfaatkan prinsip luas trapesium untuk menghitung volume. Volume pengerukan didapatkan dari rata-rata luas area yang dikeruk dari setiap potongan kemudian dikalikan dengan jarak antar potongan. Perhitungan volume keruk untuk area capital dredging dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Volume total pengerukan yang didapatkan untuk area *capital dredging* adalah 6.360.915 m³. Perhitungan volume di area *maintenance dredging* dihitung dengan cara

Tabel 3. Perhitungan volume keruk capital dredging

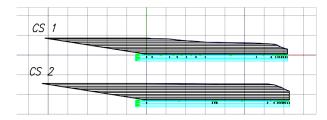
Nama CS	Area (m²)	Panjang (m)	Volume (m³)
CS 1	1.016,57	50	0
CS 2	1.245,20	50	56.544,41
CS 3	1.833,23	50	76.960,90
CS 4	1.938,34	50	94.289,34
CS 5	1.942,63	50	97.024,18
	•		
-	-		
CS 30	5.472,31	50	267.792,23
CS 31	5.214,96	50	267.181,88
CS 32	2.684,08	50	197.475,91
CS 33	1.215,43	40	77.990,09
		Jumlah	6.058.014,58
		Overhead 5%	302.900,73
		Total	6. 360. 915,31



Gambar 2. Sketsa potongan alur pelayaran



Gambar 3. Layout alur pelayaran dan kolam putar



Gambar 4. Potongan melintang cross section

yang sama seperti perhitungan volume di area *capital dredging*. Kemudian didapatkan volume total pengerukan untuk area *maintenance dredging* adalah 2.770.499 m³.

Pembuangan material keruk pada pengerukan di Terminal Kalibaru dibagi menjadi dua, yaitu pembuangan ke disposal area di sekitar lokasi pekerjaan dan pembuangan ke offshore. Perhitungan volume yang dapat ditampung di disposal area dihitung dengan cara yang sama dengan perhitungan volume di area capital dredging. Untuk perhitungan volume timbunan, elevasi tanah dibatasi sampai dengan 0 meter dan diasumsikan breakwater sudah dibangun di disposal area. Volume total yang dapat ditampung di disposal area adalah 4.599.739 m³. Volume sisa yang akan dibuang ke offshore sebesar 4.531.685 m³.

Beberapa pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan lokasi pembuangan di *offshore* berdasarkan peraturan yang berlaku dan RTRL (Rencana Tata Ruang Laut) di Pelabuhan Tanjung Priok yang disajikan pada **Gambar 5**, antara lain:

 Lokasi di kedalaman sekitar 20 meter tidak dapat dijadikan dumping area karena terdapat anchorage area (garis putus-putus hijau) dan restriced area (garis putus-putus merah).

- Lokasi pembuangan di sebelah barat tidak dapat dijadikan dumping area karena terdapat fishing stakes atau area penangkapan ikan (kotak yang dicetak tebal).
- Lokasi pembuangan di sebelah utara tidak dapat dijadikan dumping area karena terdapat terumbu karang.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, lokasi pembuangan dipilih di sebelah timur karena tidak termasuk area yang dilarang oleh peraturan menteri perhubungan nomor pm 125 tahun 2018 serta tidak mengganggu ekosistem laut dan aktivitas nelayan. Lokasi pembuangan ditandai dengan area yang diarsir pada Gambar 5. Lokasi pembuangan juga sudah sesuai persyaratan karena jarak terdekat dari Pelabuhan Tanjung Priok berkisar 15 mil sampai 16 mil, kedalaman berkisar 28 meter sampai 35 meter, dan sudah disetujui oleh Kepala Kantor Otoritas Pelabuhan Tanjung Priok. Lokasi dumping area di offshore (kotak berwarna hijau) disajikan pada Gambar 6 dan lokasi disposal area (kotak berwarna merah) disajikan pada Gambar 7.

Pemilihan kapal keruk mengacu pada British Standard (1991) dengan kriteria antara lain, yaitu jenis material adalah soft clay atau loose silt, kondisi perairan adalah sheltered water, lokasi pembuangan adalah sea, kuantitas pengerukan menggunakan kategori > 500.000 m³, dan lalu lintas kapal padat. Pemilihan jenis kapal keruk untuk capital dredging dan maintenance dredging mengacu pada Tabel di British Standard (1991) dengan menggunakan skala angka dengan angka terkecil adalah jenis kapal keruk yang paling cocok. Apabila ada nilai N, maka alat tersebut dianggap tidak cocok untuk digunakan.

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5, jenis kapal keruk dengan nilai terkecil (paling cocok) untuk capital dredging dan maintenance dredging adalah standard trailer. Jenis kapal keruk yang akan digunakan adalah trailing suction hopper dredger (TSHD). Akan tetapi, TSHD memiliki kedalaman minimum untuk beroperasi, yaitu 4 meter. Kedalaman minimum pada capital dredging adalah 1 meter. Sehingga dibutuhkan kapal keruk jenis lain sebagai tambahan yang dapat mengeruk material pada kedalaman 1 meter. Berdasarkan Bray dkk (1996), kedalaman minimum Cutter Suction Dredger (CSD) untuk beroperasi adalah 0,75 meter. Oleh karena itu, untuk kedalaman yang dangkal, pengerukan dilakukan oleh CSD.



Jenis Kapal Keruk	Nilai	
Strandard Trailer	5	
Light Trailer	9	
Cutter Suction	8	
Bucket Wheel	7	
Grab Hopper	N	
Grab Pontoon	N	
Bucket	N	
Backhoe	N	
Dipper	N	
Barge Unloader	1	



Gambar 5. RTRL pelabuhan Tanjung Priok (Website Navionics, 2021)



Gambar 6. Lokasi dumping area (Google Earth Pro, 2021)



Gambar 7. Lokasi disposal (Google Earth Pro, 2021)

Tabel 5. Hasil analisis untuk maintenance dredging

Jenis Kapal Keruk	Nilai	
Strandard Trailer	5	
Light Trailer	6	
Cutter Suction	N	
Bucket Wheel	N	
Grab Hopper	9	
Grab Pontoon	9	
Bucket	8	
Backhoe	8	
Dipper	N	
Barge Unloader	N	

Agar pekerjaan pengerukan dapat selesai sesuai dengan target durasi yang diizinkan, dipilih 1 kapal CSD bernama Tona 2 dengan diameter *discharge* 500 mm dan 2 kapal TSHD bernama Aru II dengan kapasitas sebesar 5.000 m³. Penamaan TSHD dibedakan menjadi dua, yaitu TSHD A dan TSHD B. Setelah dilakukan perhitungan produktivitas, didapatkan produktivitas untuk kapal keruk jenis CSD adalah 1.025,80 m³/jam. Produktivitas untuk kapal keruk jenis TSHD yang membuang material ke *offshore* adalah 792 m³/jam, sedangkan produktivitas untuk kapal keruk jenis TSHD yang membuang material ke *disposal area* adalah 1.091,75 m³/jam.

Durasi yang dibutuhkan untuk pekerjaan pengerukan dapat dihitung dengan membagi volume pekerjaan dengan produktivitas kapal keruk. Diasumsikan bahwa pekerjaan pengerukan akan dilakukan selama 16 jam setiap hari. Sehingga didapatkan durasi yang diperlukan oleh CSD untuk mengeruk di area capital dredging adalah selama 14 hari. CSD akan membuang material ke disposal area. TSHD A akan mengeruk di area capital dredging pada kedalaman lebih dari 4 meter setelah wilayah kerja CSD selesai. Kemudian TSHD A akan membuang material ke disposal area sampai volume di disposal area terisi penuh. Durasi yang diperlukan oleh TSHD A adalah selama 249 hari. TSHD B akan melakukan pekerjaan pengerukan di seluruh area maintenance dredging, kemudian TSHD B akan membuang material ke offshore. Durasi yang diperlukan oleh TSHD B adalah selama 217 hari. Setelah pekerjaan

Tabel 6. Penjadwalan pekerjaan pengerukan

Bulan dan Tahun	CSD	TSHD A	TSHD B
Juli 2021	V	V	V
Agustus 2021		V	V
September 2021		V	V
Oktober 2021		V	V
November 2021		V	V
Desember 2021		V	V
Januari 2022		V	V
Februari 2022		V	V
Maret 2022		V	V
April 2022			V
Mei 2022			V
Juni 2022			V

pengerukan untuk area *maintenance dredging* selesai, TSHD B akan melakukan pengerukan sisa di area *capital dredging* dan TSHD B akan membuang material ke *offshore*. Durasi yang diperlukan oleh TSHD B adalah selama 142 hari. Sehingga durasi total yang diperlukan oleh TSHD B adalah 359 hari atau 12 bulan. Durasi tersebut sesuai dengan target durasi yang diizinkan untuk melaksanakan pekerjaan pengerukan alur pelayaran dan kolam putar di Terminal Kalibaru, yaitu 1 tahun atau 12 bulan. Diasumsikan pekerjaan dilakukan pada Bulan Juli 2021 dan akan selesai pada Bulan Juni 2022. Oleh karena itu, penjadwalan pekerjaan pengerukan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Perhitungan estimasi biaya pekerjaan mengacu pada Bray dkk (1996). Terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan estimasi biaya, yaitu bahan bakar, pelumas, pekerja, biaya perawatan, biaya perbaikan, depresiasi alat, harga penyewaan *tug boat* untuk CSD, mobilisasi, asuransi, dan *overhead*.

Menurut Bray dkk (1996), asumsi penggunaan bahan bakar adalah 0,182 liter per horsepower per jam. Volume bahan bakar per hari dapat diperkirakan sesuai dengan daya yang digunakan oleh masing-masing kapal keruk dan durasi kegiatan per hari. Kemudian perhitungan biaya bahan bakar didapatkan dengan mengalikan harga bahan bakar dengan volume bahan bakar. Sedangkan biaya pelumas dapat diasumsikan 10% dari biaya bahan bakar (Bray dkk, 1996). Berdasarkan Fair Work Ombudsman Australian Government (2020), gaji pekerja bergantung pada jenis kapal keruk dan jabatan pekerja. Menurut Bray dkk (1996), biaya perawatan untuk TSHD adalah sebesar 0,000135 dari capital value kapal. Sedangkan biaya perawatan untuk CSD adalah sebesar 0,000140 dari capital value kapal. Selain itu, biaya perbaikan untuk TSHD adalah sebesar 0,000275 dari capital value kapal. Sedangkan biaya perbaikan untuk CSD adalah sebesar 0,000300 dari capital value kapal. Harga capital value kapal keruk dihitung berdasarkan Bray dkk (1996). Harga tersebut merupakan harga pada tahun 1996 sehingga perlu dikonversi untuk tahun 2021 dengan asumsi suku bunga sebesar 6%. Faktor konversi ditentukan berdasarkan Blank dan Tarquin (2012). Perhitungan biaya depresiasi alat bergantung pada periode keria kapal dan setiap kapal keruk memiliki periode kerja yang berbeda-beda. Estimasi

Tabel 7. Estimasi biaya harian pekerjaan pengerukan

Keperluan	TSHD A	TSHD B	CSD
Biaya Bahan Bakar	Rp299.173.262	Rp312.448.987	Rp107.423.347
Biaya Pelumas	Rp29.917.326	Rp31.244.899	Rp10.742.335
Biaya Pekerja	Rp157.001.584	Rp157.001.584	Rp72.913.485
Biaya Perawatan	Rp241.785.753	Rp241.785.753	Rp12.537.039
Biaya Perbaikan	Rp492.526.534	Rp492.526.534	Rp26.865.084
Biaya Depresiasi	Rp199.000.620	Rp199.000.620	Rp14.925.046
Jumlah Biaya Harian	Rp1.419.405.078	Rp1.434.008.736	Rp245.406.336
Durasi	249 Hari	359 Hari	14 Hari
Jumlah Biaya	Rp353.431.864.527	Rp514.809.007.064	Rp3.435.688.703

Tabel 8. Estimasi biaya mobilasi dan demobilisasi serta sewa tug boat pekerjaan pengerukan

Keperluan	TSHD A	TSHD B	CSD
Biaya Mob & Demob perbulan	Rp14.224.000.000	Rp14.224.000.000	Rp14.224.000.000
Durasi	9 Bulan	12 Bulan	1 Bulan
Jumlah Biaya Mob & Demob	Rp128.016.000.000	Rp170.688.000.000	Rp14.224.000.000
Sewa Tug Boat	Rp0	Rp0	Rp435.000.000

Tabel 9. Estimasi total biaya pekerjaan pengerukan

Keperluan	TSHD A	TSHD B	CSD
Total Biaya (Jumlah Biaya + Jumlah Biaya Mob & Demob + Sewa <i>Tug Boat</i>)	Rp481.447.864.527	Rp685.497.007.064	Rp18.094.688.703
Asuransi (5% Total)	Rp24.072.393.226	Rp34.274.850.353	Rp904.734.435
Overhead (9% Total)	Rp43.330.307.807	Rp61.694.730.636	Rp1.628.521.983
Total Bloom Balandana	Rp548.850.565.561	Rp781.466.588.053	Rp20.627.945.121
Total Biaya Pekerjaan			Rp1.350.945.098.735
	4.337.900 m ³	4.569.773 m ³	223.741 m ³
Volume Pekerjaan			9.131.414 m³
Total Biaya / Volume	Rp126.524 / m ³	Rp171.008 / m ³	Rp92.196 / m ³
			Rp147.945 / m ³

jumlah biaya pekerjaan pengerukan untuk masingmasing alat keruk dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Menurut Wowtschuk dan Randall (2018), biaya mobilisasi dan demobilisasi adalah harga yang terkait dengan transportasi alat keruk ke dan dari lokasi kerja. Biaya tersebut biasanya sulit untuk diprediksi, sehingga biaya mobilisasi atau demobilisasi direkomendasikan sebesar \$1.000.000. Diasumsikan biaya tersebut merupakan biaya mobiliasi dan demobilisasi per bulan untuk masing masing kapal. Perhitungan biaya mobilisasi dan demobilisasi dapat dihitung dengan mengalikan durasi pekerjaan dalam bulan dengan biaya mobilisasi dan demobilisasi per bulan. Cutter suction dredger membutuhkan tug boat untuk manuvering. Berdasarkan informasi yang diakses melalui internet pada 22 Juni 2021, biaya penyewaan tug boat per bulan adalah Rp435.000.000. Estimasi biaya mobiliasasi dan demobilisasi serta sewa tug boat dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Total biaya dapat dihitung dengan menambahkan jumlah biaya pada Tabel 7 dan jumlah biaya mobilisasi dan demobilisasi serta sewa tugboat pada Tabel 8. Setelah itu, dapat dihitung biaya asuransi dan biaya overhead dari total biaya tersebut. Menurut Bray dkk (1996), nilai biaya overhead adalah sebesar 9% dari total biaya pengerukan. Diasumsikan nilai biaya asuransi yang digunakan adalah sebesar 5% dari total biaya pekerjaan pengerukan. Estimasi total biaya pengerukan untuk masing-masing alat keruk dapat dilihat pada **Tabel 9**.

pekerjaan pengerukan biaya adalah Rp1.350.945.098.735 dengan volume pengerukan 9.131.414 m³. Sehingga biaya pekerjaan per meter kubiknya adalah Rp147.945.

4. Kesimpulan

- 1. Telah dilakukan perhitungan dimensi alur pelayaran dan kolam putar di Terminal Kalibaru. Layout alur pelayaran dan kolam putar ditunjukkan pada Gambar 3.
- Volume pekerjaan pengerukan untuk alur pelayaran dan kolam putar di Terminal Kalibaru sebesar 9.131.414 m³. Volume hasil kerukan tersebut berasal dari area *capital dredging* sebanyak 6.360.915 m³ dan area maintenance dredging sebanyak 2.770.499 m³.
- 3. Kapal keruk yang digunakan sebanyak 3 kapal, yaitu 2 kapal keruk jenis TSHD dan 1 kapal keruk jenis CSD. Dengan menggunakan 3 kapal keruk tersebut, pekerjaan pengerukan dapat selesai sesuai dengan target durasi yang diizinkan.
- 4. Penjadwalan pekerjaan pengerukan ditunjukkan pada Tabel 6. Pekerjaan di area capital dredging dimulai bersamaan dengan pekerjaan di area maintenance dredging. Pekerjaan di area capital dredging dimulai dengan menggunakan CSD dan dilanjutkan dengan menggunakan TSHD.
- 5. Estimasi biaya yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pengerukan di Terminal Kalibaru adalah Rp1.350.945.098.735 atau sebesar Rp147.945 per meter kubik.

Daftar Pustaka

Abramowski, T., Cepowski, T. dan Zvolenský, P., 2018, Determination of Regression Formulas for Key Design Characteristics of Container Ships at Preliminary Design Stage, SCIENDO, Vol. 1, No.1, 247-257.

- Blank, L. dan Tarquin, A., 2012, Engineering Economy: Seventh Edition, McGraw-Hill.
- Bray, R.N., Bates, A.D., dan Land, J.M., 1996, *Dredging: A Handbook for Engineers*, Buttemworth-Heinemann.
- British Standard 6349-1, 2000, Maritime Structures Part 1: Code of Practice for General Criteria, British Standars Institution.
- British Standard 6349-5, 1991, Maritime Structures –
 Part 5: Code of Practice for Dredging and
 Land Reclamation, British Standards
 Institution.
- Fair Work Ombudsman Australian Government, 2020, Pay Guide – Dredging Industri Award.
- Japan International Cooperation Agency, 2016, Data Collection Survey Report for Improvement of Navigation Channel of Yangon Port in The Republic of The Union of Myanmar, Asia Air Survey Co., Ltd.
- Menteri Perhubungan, 2011, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 83 tahun 2011 tentang Standar Biaya di Lingkungan Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012.
- Menteri Perhubungan, 2012, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 38 tahun 2012 tentang Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Priok.
- Menteri Perhubungan, 2016, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 129 tahun 2016 tentang Alur Pelayaran di Laut dan Bangunan dan/atau Instalasi di Perairan.
- Menteri Perhubungan, 2018, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 125 tahun 2018 tentang Pengerukan dan Reklamasi.
- Miedema, S. A., 2013, Dredging Processes The Loading Process of a Trailing Suction Hopper Dredge, Delft University of Technology.
- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2002, *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, OCDI.*
- The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2014, *Harbour Approach Channels Design Guidelines*, PIANC.
- Wowtschuk, B.M., dan Randall, R.E., 2018, Production and Cost Estimating for Trailing Suction Hopper Dredge, Journal of Dredging, WEDA, Vol. 16, No.1, 3-23.