

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan didalam penulisan ini, penulis menggunakan metode penelitian sebagai berikut:

1. Pengukuran Langsung

Metode pengambilan data dengan mengukur langsung di lapangan. Pengukuran langsung yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengukuran batimetri,

2. Studi Kepustakaan

Studi Pustaka adalah pengumpulan data dari informasi buku-buku yang telah dibaca oleh penulis, dengan mengembangkan pengamatan yang didapat dari sumber-sumber bacaan dan teori penunjang. Studi pustaka memberikan informasi penting dalam menyelesaikan penelitian ini. Studi dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses dan tipe pengerukan serta informasi jenis kapal keruk.

3.4 Metode Penelitian

Pengolahan data dimulai dari proses mencai dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh baik itu merupakan data primer maupun data sekunder yang bersumber dari catatan lapangan dan studi literatur. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yang dapat dilihat sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi permasalahan. Mengidentifikasi masalah kedalaman pada depan pintu *dock* Semarang dan alur supitan PT. PAL Indonesia yang menghambat proses keluar masuknya kapal.
2. Mengumpulkan berbagai rumus-rumus dan dasar-dasar teori yang menunjang latar belakang dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yaitu terjadinya pendangkalan depan pintu *dock* Semarang dan alur supitan PT. PAL Indonesia.
3. Melakukan pengambilan data kedalaman. Pengukuran kedalaman atau pemeruman dilakukan pada area yang dipilih untuk mewakili keseluruhan daerah yang akan dipetakan. Titik-titik tempat dilakukannya pengukuran untuk penentuan posisi dan kedalaman disebut sebagai titik fiks perum. Setiap titik fiks perum harus dilakukan pencatatan waktu pada saat pengukuran untuk mereduksi hasil pengukuran karena pasang surut. Alat pemeruman yang digunakan pada penelitian ini adalah *echosounder single beam merk* Garmin 2018. Data kedalaman diambil sesuai dengan jalur yang telah dibuat sebelumnya melalui *Mapsource*. Jalur-jalur tersebut disesuaikan dengan area

yang akan dilakukan kegiatan pemeruman, jalur dapat berbentuk vertikal tegak lurus maupun sejajar *horizontal* namun dapat juga digabungkan secara *horizontal* dan *vertikal* sehingga akan didapatkan data kedalaman berupa titik fiks perum yang rapat dan menghasilkan data kedalaman dengan kontur yang detail nantinya.

4. Pengolahan data kedalaman. Data hasil pengukuran kedalaman yang dilakukan tidak dapat langsung digunakan karena masih belum dilakukan koreksi terhadap elevasi pasang surut. Untuk proses pertama, menggunakan *Software MapSource* untuk menginput dan mengoreksi data lalu data pasang surut dianalisis untuk dapat menentukan elevasi muka air yang kemudian dijadikan acuan elevasi untuk diikat ke *bench mark*. Kemudian menghitung kedalaman sebenarnya dengan nilai elevasi pasang surut yang menjadi acuan elevasi *benchmark* adalah 0 LWS. Data elevasi tersebut diolah menggunakan *Microsoft Excel* dengan rumus pada Persamaan (1). Setelah menghitung koreksi pasang surut maka dapat dihitung kedalaman sebenarnya menggunakan rumus pada Persamaan (2).

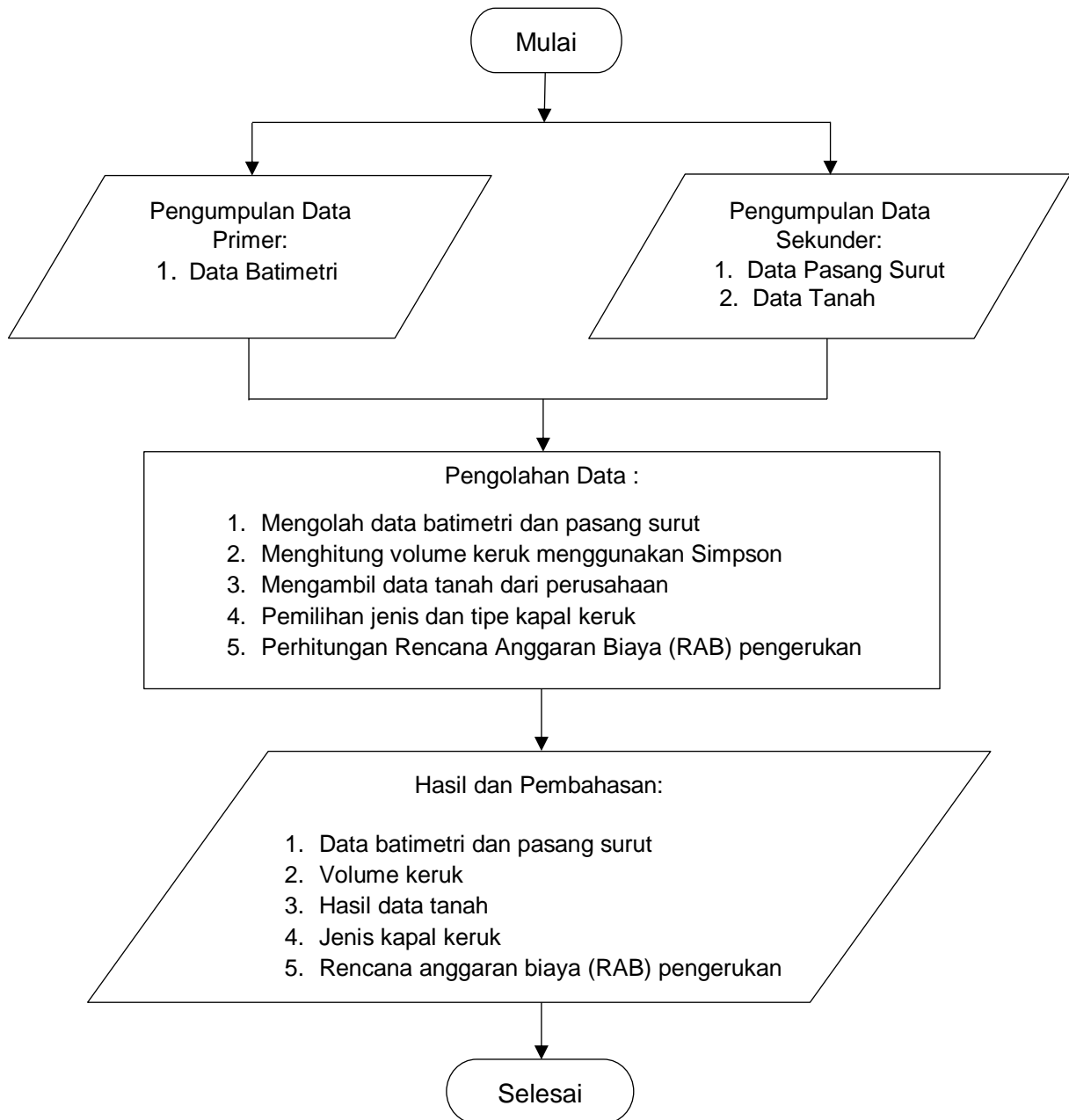
Data kedalaman sebenarnya yang sudah terkoreksi dengan elevasi pasang surut akan diolah menggunakan *ArcGIS 10.3* untuk menghasilkan peta batimetri.

5. Mengolah data pasang surut. Data pasang surut yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data dari web Badan Informasi Geospasial <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasut/>. Pengukuran lapangan yang memiliki titik 0 pada muka air, menghasilkan data mentah pasang surut yang merupakan jarak antara lantai dermaga ke muka air, sehingga untuk memperoleh nilai elevasi pasang surut harus dikoreksi sesuai dengan nilai elevasi lantai dermaga yang sudah diikat pada *benchmark*.
6. Setelah memperoleh nilai data kedalaman sebenarnya, maka data tersebut di *input* menggunakan *software Arcgis* untuk memperoleh peta batimetri. Dari peta batimetri tersebut dapat terlihat daerah yang dangkal.
7. Perhitungan volume keruk. Perhitungan volume untuk pengerukan di PT PAL ini menggunakan perhitungan Simpson dan menggunakan *software Autocad 2017*. Perhitungan luas dan volume keruk menggunakan rumus Simpson. *Software Autocad 2017* dapat memperlihatkan penampang melintang (*cross section*) area yang akan dikeruk. Berikut langkah-langkah dalam perhitungan volume keruk:

- a. Membuat garis melintang (*cross section*) pada area yang akan dikeruk. Pembuatan *cross section* dalam peta batimetri yang akan digunakan sebagai acuan dalam pengerukan, garis melintang (*cross section*) dasar laut sangat diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak material dasar laut yang perlu dikeruk. Dalam pembuatan *cross section* ini, dibuatlah garis yang melintang di area yang telah disounding.
 - b. Menghitung luasan tiap area menggunakan rumus pada Persamaan (29). Setelah memperoleh nilai luas tiap segmen, memasukkan nilai tersebut ke rumus pada Persamaan (30) untuk memperoleh volume total dari area tersebut.
8. Mengambil data tanah dari perusahaan PT. PAL Indonesia yang telah dilakukan pengujian sebelumnya.
 9. Pemilihan kapal keruk. Penentuan kapal keruk ini ditinjau dari jenis tanah pada daerah keruk dan produktivitas pada kapal itu sendiri.
 10. Perhitungan waktu yang digunakan selama proses pengerukan diantaranya: waktu pada saat mengeruk, lama pembuangan material ke *dumping area*, waktu datang kapal ke lokasi pengerukan dan beberapa aktivitas yang dapat menghambat pelaksanaan pengerukan seperti adanya kendala pada alat dan juga apabila adanya kapal yang melintas. Setelah itu dilakukan perhitungan jumlah kapal yang akan digunakan.
 11. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pengerukan. Setelah mengetahui volume yang akan dikeruk maka dapat diperhitungkan untuk biaya dari pelaksanaan pengerukan ini.
 12. Hasil-hasil analisis disimpulkan dan diberikan rekomendasi seperlunya untuk dua tujuan yaitu ditujukan untuk peneliti selanjutnya dan ditujukan untuk praktisi.
 13. Kesimpulan dan saran.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Ada beberapa tahap-tahap yang akan dilaksanakan guna menyelesaikan penelitian yang tertuang dalam alur penelitian yang akan dilakukan yaitu:



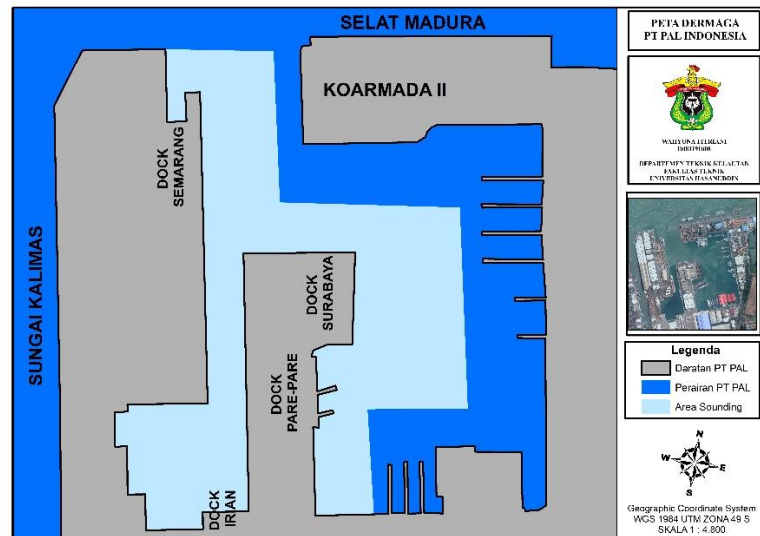
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini yaitu di kolam labuh PT. PAL Indonesia Surabaya, Jawa Timur yang secara geografis berada pada koordinat 7° 12' 10" LS dan 112° 44' 20" BT. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



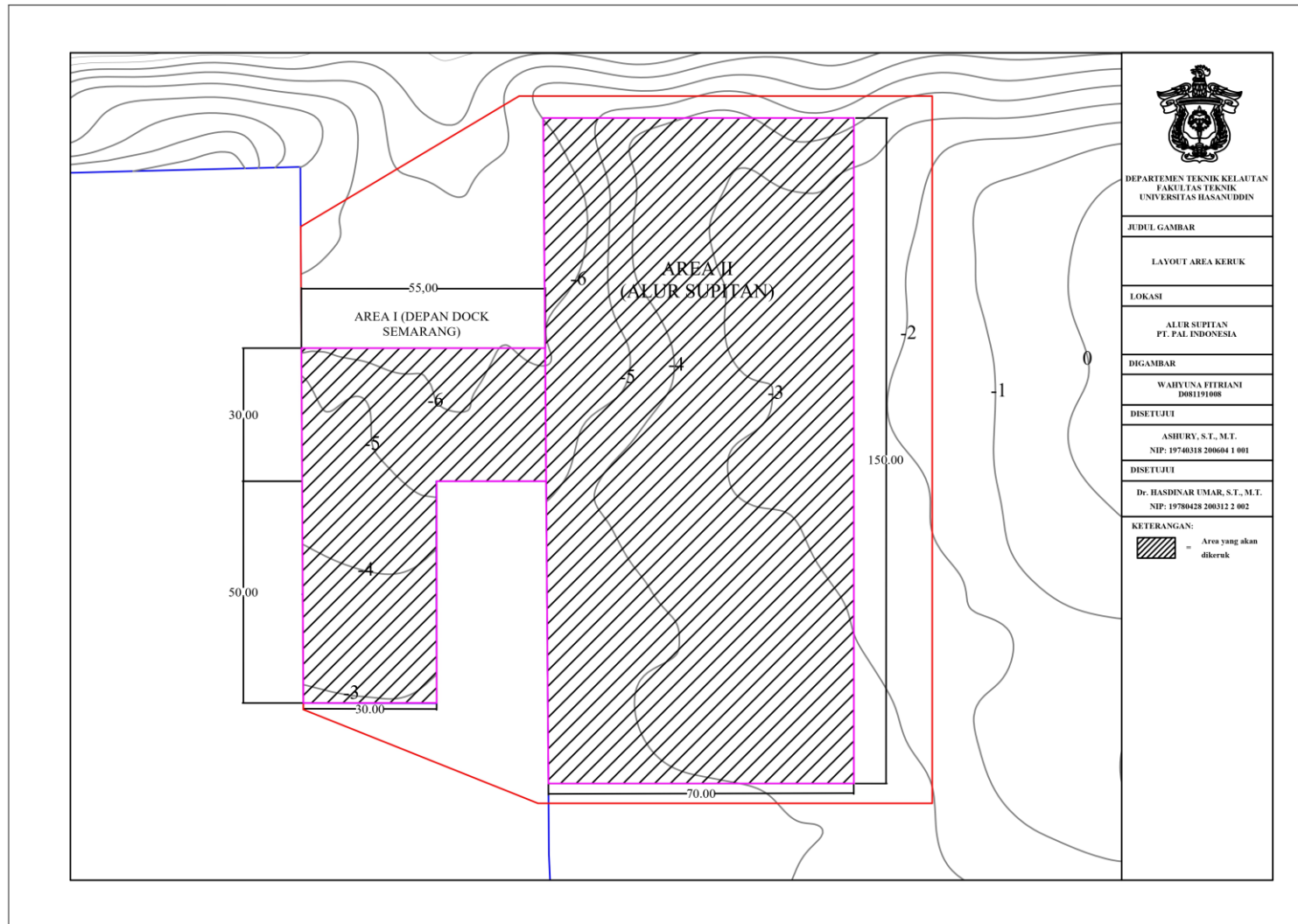
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian di PT PAL Indonesia
(Sumber: Hasil analisis, 2023)

Letak Batas wilayah PT PAL Indonesia (Persero) sebagai berikut:

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Selat Madura
2. Sebelah Timur berbatasan dengan Komando Armada Dua Surabaya
3. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kota Surabaya
4. Sebelah Barat berbatasan dengan Sungai Kalimas Surabaya

4.2 Kondisi Area Pengerukan

Dalam studi kasus ini, area pengerukan saat ini berada di area depan pintu *dock* Semarang dan alur Supitan yang diperuntukkan sebagai jalur keluar-masuknya kapal dari perairan PT. PAL Indonesia yang memiliki *draft* kapal 4-5 m. Adapun kedalaman eksisting area keruk pada kolam pelabuhan PT. PAL Indonesia yaitu sebesar ± 3 meter sehingga rencana kedalaman yaitu 6 meter agar tidak menghambat keluar-masuknya kapal. Berikut *layout* area yang akan dikeruk.



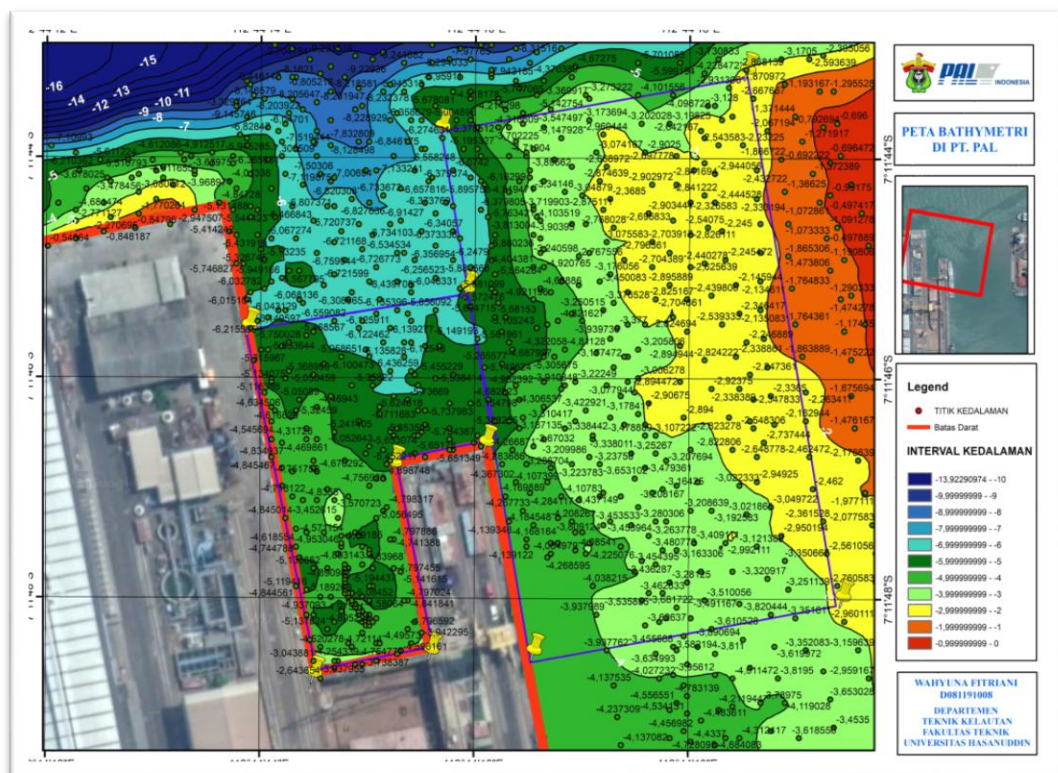
Gambar 4.2 Layout Area Keruk
 (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.3 Batimetri

Langkah awal yang dilakukan pada tahap ini yaitu menyiapkan sarana dan instalasi peralatan yang akan digunakan dalam pemeruman seperti alat transportasi dan kelengkapan peralatan pemeruman, alat yang digunakan yaitu *echosounder single beam merk Garmin 2018*.

Perlu adanya koreksi *transducer* pada data pemeruman selain koreksi pasang surut. Cara penentuan nilai koreksi *transducer* dilakukan dengan cara pengukuran jarak antara bagian bawah bagian *transducer* tegak lurus terhadap permukaan air di atasnya pada saat kapal dalam keadaan berhenti terapung. Pengukuran koreksi *transducer* sebaiknya dilakukan di daerah perairan yang tenang serta diukur beberapa kali untuk mendapatkan nilai rata-ratanya.

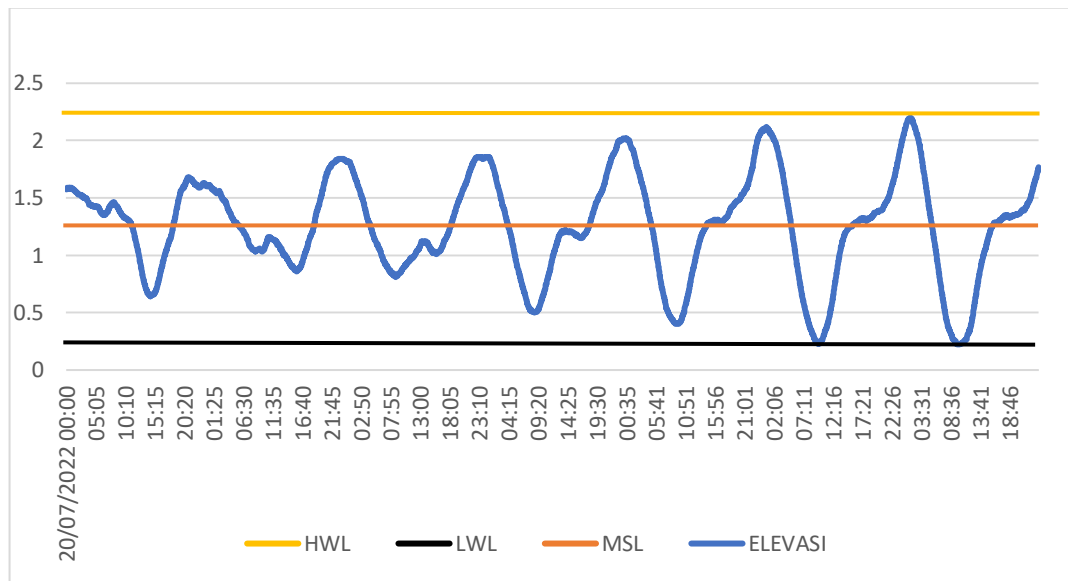
Setelah memperoleh data kedalaman, data kedalaman sebenarnya ditransfer ke perangkat lunak (*software*) *ArcGIS 10.3*. *Output* yang dihasilkan adalah berupa peta batimetri area yang akan di keruk di PT. PAL Indonesia seperti Gambar 4.3



Gambar 4.3 Peta Batimetri Area Keruk Depan Pintu *Dock* Semarang dan Alur Supitan PT. PAL Indonesia
(Sumber: Hasil analisis, 2023)

4.4 Data pasang surut

Pada grafik di bawah terlihat bahwa tipe pasang surut di Perairan PT. PAL Indonesia adalah pasang surut campuran condong ke harian ganda.



Gambar 4.4 Grafik Pasang Surut

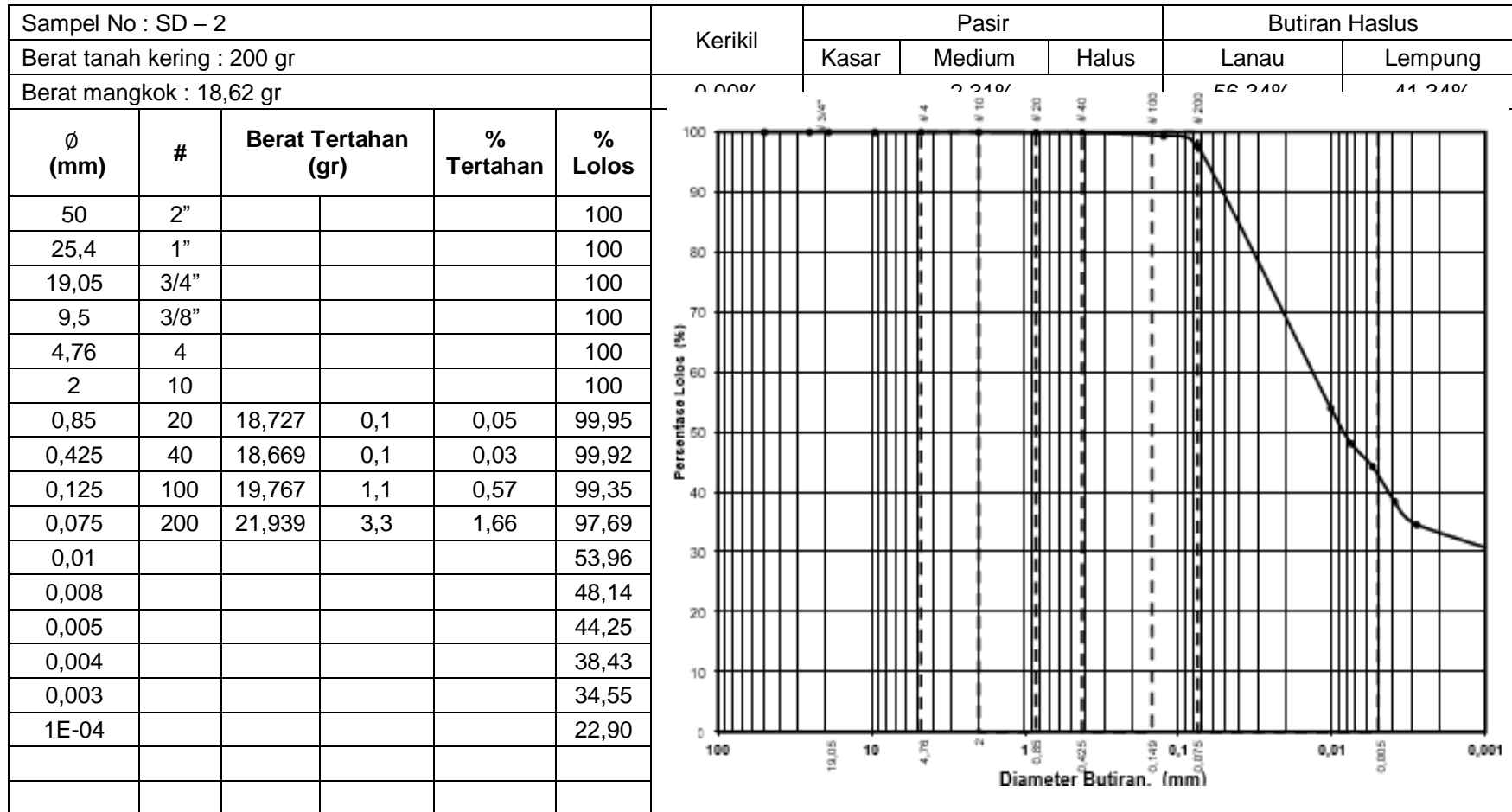
(Sumber: Web Geospasial <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasut/>)

Berdasarkan grafik diatas diperoleh nilai sebagai berikut:

1. Elevasi HWL (*High Water Level*) yaitu $\pm 2,2$ mLWS.
2. Elevasi MSL (*Mean Sea Level*) yaitu $\pm 1,2$ mLWS.
3. Elevasi LWL (*Low Water Level*) yaitu $\pm 0,22$ mLWS.

4.5 Data Tanah

Sebelum pemilihan jenis kapal keruk yang akan digunakan, diperoleh data hasil uji tanah pada area keruk PT. PAL Indonesia. Berdasarkan data tanah pada Gambar 4.5 maka tipe tanah pada area pengerukan yaitu tipe lanau. Hasil uji tanah pada area keruk dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.5 Data Tanah Lokasi Penelitian
(Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan ITS)

4.6 Pemilihan Kapal Keruk

Berdasarkan data tanah perairan PT. PAL Indonesia pada Gambar 4.5 dan kondisi perairan di PT. PAL Indonesia yang terdapat potongan-potongan besi hasil perbaikan kapal, maka dapat disimpulkan bahwa jenis peralatan kapal keruk yang sesuai dengan kondisi area pengerukan yaitu jenis *grab dredger*.

Kapal keruk tipe *grab dredger* yang digunakan ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Material yang dapat dikeruk dari material lunak sampai material keras.
2. Mudah dioperasikan pada area yang sempit dan sulit.
3. Dapat digunakan untuk kedalaman sampai 7 meter.
4. Kapal keruk dilengkapi *crane* untuk pengambilan material lumpur dan *hopper* untuk memuat hasil keruk dengan sistem *bottom door* untuk membuang material keruk.
5. Pengoperasian kapal keruk dibantu oleh *tugboat* untuk mobilisasi ke *dumping area* yang ditentukan.

Mekanisme kerja kapal keruk memiliki 3 tahap yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Menurunkan *bucket* hingga mencapai dasar laut (*sea bed*) atau kedalaman yang diinginkan.
2. Menutup dan mengangkat *bucket* ke area *barge* menggunakan *crane swing*. Dengan kapasitas *bucket* 5 m³.
3. Menurunkan dan membuka *bucket* di area *barge* yang didesain secara khusus untuk menampung material keruk dengan ukuran *barge* 1250 m³.
4. Membawa material ke area pembuangan (*dumping area*).
5. Membuang material keruk dengan sistem *bottom door*.

Berikut ini adalah gambar kapal yang digunakan untuk pengerukan yaitu kapal tongkang dan *tugboat*:



Gambar 4.6 Kapal Tongkang *Golden Deer I*
(Sumber: Perusahaan PT PAL Indonesia)



Gambar 4.7 Kapal *Tugboat Golden Deer II*
(Sumber: Perusahaan PT PAL Indonesia)

Berikut spesifikasi kapal yang digunakan untuk pengerukan yaitu kapal tongkang dan *tugboat* sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Kapal *Tugboat Golden Deer I*

Spesifikasi Kapal	
Nama Kapal	<i>Golden Deer I</i>
Tempat/Tahun	Japan/1994
Kelas	B.K.I
Pelabuhan Daftar	Tanjung Perak
LOA	31,51 m
LBP	29,81 m
Lebar	9,6 m
Tinggi	3,35 m
Main Engine	2000 PS
Aux. Engine	155 PS
F.O. Consumption	200 ltr/jam

(Sumber:Perusahaan PT PAL Indonesia)

Tabel 4.2 Data Kapal Tongkang *Golden Deer II*

Spesifikasi Kapal	
Nama Kapal	<i>Golden Deer II</i>
Tempat/Tahun	Japan/1994
Kelas	B.K.I
Pelabuhan Daftar	Tanjung Perak
LOA	64,15 m
LBP	61,50 m
Lebar	15 m
Tinggi	5,5 m
<i>Aux. Engine 1</i>	275 KVA
<i>Aux. Engine 2</i>	75 KVA
<i>F.O. Consumption</i>	30 ltr/jam
Kapasitas Kargo	1.250 m ³
Kapasitas <i>Clampshell</i>	5 m ³

(Sumber:Perusahaan PT PAL Indonesia)

4.7 Volume Keruk

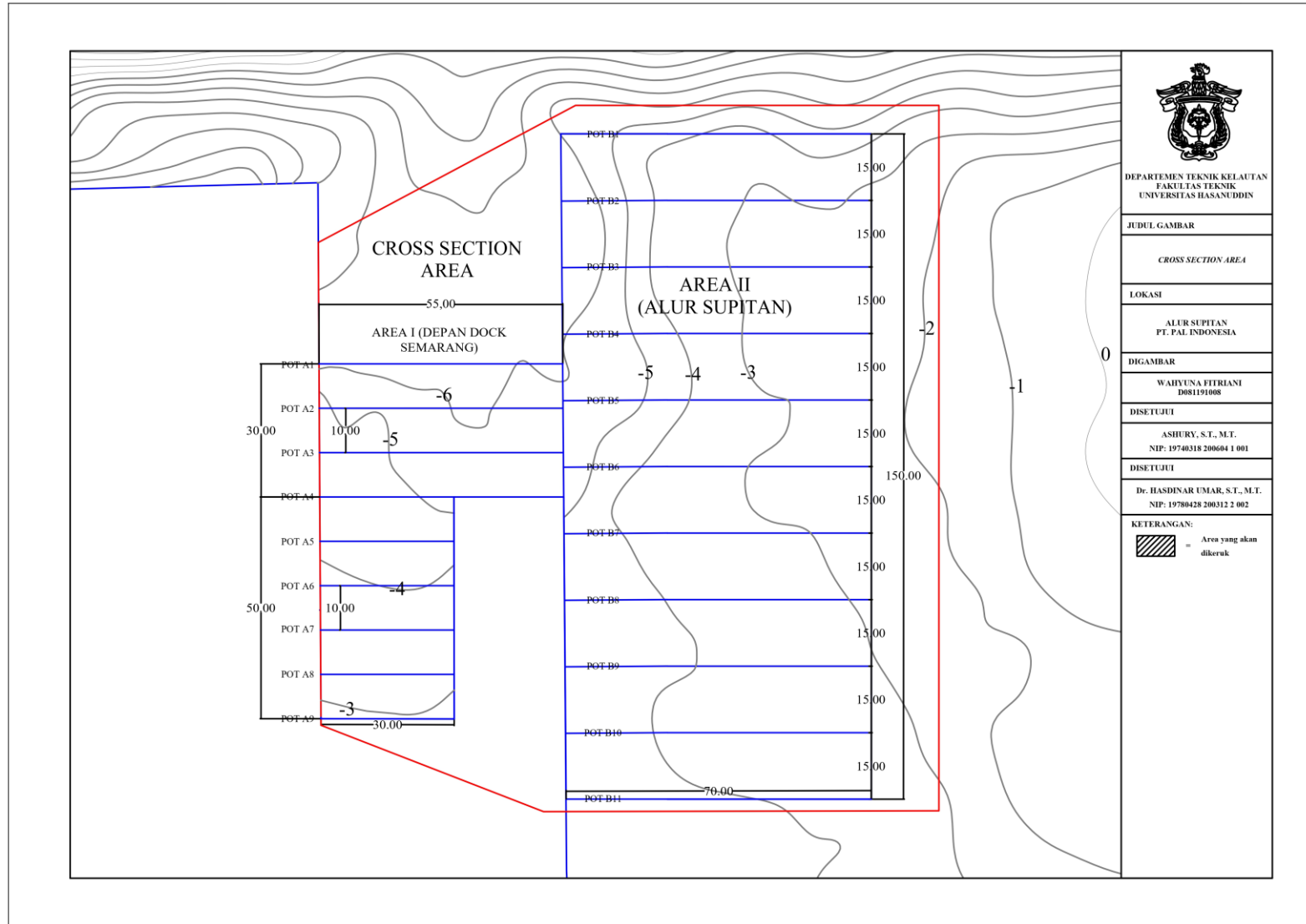
Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan *software AutoCAD 2018* dan *Arcgis 10.3*. Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode *cross section* dikarenakan penggunaan metode *cross section* akurat untuk perhitungan volume.

4.7.3 Pembuatan Cross Section Area

Pembuatan penampang melintang (*cross section area*) menggunakan *software Autocad 2017* dengan jarak masing-masing disetiap *section area* keruk depan *dock* Semarang yaitu 10 meter, sedangkan jarak masing-masing disetiap *section area* keruk alur supitan yaitu 15 meter.

Pembagian segmen-segmen pada area pengerukan dapat mempermudah perhitungan luas dan volume pada area pengerukan dengan metode Simpson. Perhitungan luas area menggunakan metode Simpson pada Persamaan (29). Dari hasil semua luas segmen dapat dihitung jumlah volume antar segmen pada area pengerukan, perhitungan volume menggunakan Persamaan (30). Selain menghitung volume antar segmen, harus juga dihitung volume total pada area pengerukan dengan dengan memperhitungkan *bulking factor*.

Cross section area keruk pada studi kasus ini dapat dilihat pada gambar berikut:




 DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS HASANUDDIN

JUDUL GAMBAR

CROSS SECTION AREA

LOKASI

ALUR SUPITAN
PT. PAL INDONESIA

DIGAMBAR

WAHYUNA FITRIANI
D881191008

DISETUJUI

ASHURY, S.T., M.T.
NIP: 19740318 200604 1 001

DISETUJUI

Dr. HASDINAR UMAR, S.T., M.T.
NIP: 19780428 200312 2 002

KETERANGAN:

 = Area yang akan dikeruk

Gambar 4.8 Cross Section Area Keruk
(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.7.2 Perhitungan Luas Area Keruk

Luas area keruk depan pintu *dock* Semarang yaitu 3.150 m², pembagian segmen-segmennya dibagi menjadi 8 potongan dari potongan A1 hingga potongan A9 dengan ukuran persegmennya masing-masing 10 m. Sedangkan luas area keruk alur supitan yaitu 10.500 m², pembagian segmen-segmennya dibagi menjadi 10 potongan dari potongan B1 hingga B11 dengan ukuran persegmennya masing-masing 15 m dan menggunakan Persamaan (29) untuk perhitungan luas pada area keruk.

Salah satu contoh perhitungan luas pengerukan untuk potongan B1 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan Luas pada Potongan B1

No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali
a	0	0.06	0
b	0.1016	0.24	0.0247
1	0.2001	1.06	0.2123
2	0.5217	4	2.0868
3	0.85	2	1.7
4	1.1775	4	4.71
5	1.5233	2	3.0466
6	1.8229	4	7.2916
7	1.9373	2	3.8746
8	2.0161	4	8.0644
9	2.0478	2	4.0956
10	2.0796	4	8.3184
11	2.0859	2	4.1718
12	2.0465	4	8.186
13	2.0072	2	4.0144
14	1.8651	4	7.4604
15	1.7	1.51	2.5687
c	0.8502	2.04	1.7378
d	0	0.51	0
	sigma		71.5641
	Luas Potongan B1 (m ²)		119.2736

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

4.7.3 Perhitungan Volume Area Keruk

Dengan demikian telah didapatkan luas segmen ($A_1 - A_n$) dari rumus Persamaan (29), maka nilai tersebut dimasukkan ke rumus pada Persamaan (30) untuk mencari volume dari area keruk. Berikut hasil perhitungan volume keruk pada area alur supitan PT. PAL Indonesia:

Tabel 4.4 Perhitungan Volume Keruk Alur Supitan di PT. PAL Indonesia

Potongan	Luas Perpotongan (m ²)	Fs	Luas X Fs	Volume Perpotongan (m ³)
LB1	4.9705	1	4.9705	16.5682
LB2	29.8943	4	119.5770	398.5901
LB3	47.6776	2	95.3553	317.8509
LB4	59.1264	4	236.5057	788.3524
LB5	54.0152	2	108.0303	360.1010
LB6	62.9624	4	251.8496	839.4987
LB7	70.7174	2	141.4348	471.4493
LB8	88.5826	4	354.3304	1181.1013
LB9	99.7626	1	99.7626	332.5420
TOTAL	739.6406		1411.8162	4706.0540

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Jumlah volume yang dikeruk pada area depan pintu *dock* Semarang sebanyak 4.706,1 m³, sedangkan jumlah volume yang dikeruk pada alur supitan sebanyak 26.438,5 m³ sehingga untuk total volume yang dikeruk sebesar 31.144,6 m³.

Tabel 4.5 *Bulking Factor* Pada Kapal Keruk

Soil Type	<i>Bulking Factor</i> (B)
<i>Hard rock (blasted)</i>	1,50-2,00
<i>Medium rock (blasted)</i>	1,40-1,80
<i>Soft rock (unblasted)</i>	1,25-1,40
<i>Gravel, hardpacked</i>	1,35
<i>Gravel, loose</i>	1,10
<i>Sand, hardpacked</i>	1,25-1,35
<i>Sand, medium to hard</i>	1,15-1,25
<i>Sand, soft</i>	1,05-1,15
<i>Silts, freshly deposited</i>	1,00-1,10
<i>Silts, consolidated</i>	1,10-1,40
<i>Clay, very hard</i>	1,15-1,25
<i>Clay, medium to soft hard</i>	1,10-1,15
<i>Clay, soft</i>	1,00-1,10
<i>Sand/gravel/clay mixtures</i>	1,15-1,35

(Sumber: Bray, 2010)

Karena terdapat *bulking factor* untuk tanah jenis *silts, consolidated* seperti pada Tabel 4.6 sebesar 1,4, sehingga didapatkan volume pengerukan sebesar:

Volume = *bulking factor* x volume keruk

$$= 1,4 \times 31.144,6$$

$$= 43.600 \text{ m}^3$$

4.8 Waktu yang Digunakan Selama Pengerjaan Pengerukan

Waktu yang digunakan dari pelaksanaan pengerukan dapat meliputi *loading time*, *travelling time*, *unloading time*, dan *return time*. Berdasarkan hasil survei waktu yang digunakan selama pengerjaan pengerukan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Waktu Pengerjaan Pengerukan

Waktu Pengerukan							
Tanggal	Mengeruk	Selesai	Berangkat	Sampai	Pulang	Tiba	Ket
14 Juli 2022	0:05:00	3:05:00	3:10:00	8:10:00	8:18:00	12:18:00	1
	12:23:00	15:38:00	15:43:00	20:53:00			
15 Juli 2022					0:48:00	9:05:00	2
	0:53:00	4:01:00	4:06:00	9:06:00	9:16:00	13:16:00	3
	13:21:00	16:26:00	16:31:00	21:31:00	21:41:00		
16 Juli 2022						1:36:00	4
	1:41:00	4:41:00	4:46:00	9:46:00	13:56:00	13:56:00	5
	14:01:00	15:30:00					Dilakukan perbaikan kapal
18 Juli 2022	0:05:00	3:15:00	3:20:00	8:20:00	8:30:00	12:28:00	6
	12:33:00	15:41:00	15:46:00	20:46:00	20:51:00		
19 Juli 2022						0:51:00	7
	0:56:00	3:56:00	4:01:00	9:01:00	9:11:00	13:11:00	8
	13:16:00	16:31:00	16:36:00	21:36:00	21:46:00		
20 Juli 2022						1:44:00	9
	1:49:00	4:45:00	4:59:00	9:59:00	10:09:00	13:59:00	10
21 Juli 2022	0:05:00	3:05:00	3:10:00	8:10:00	8:30:00	12:15:00	11
	12:20:00	15:28:00	15:33:00	20:33:00	20:43:00		
22 Juli 2022						0:38:00	12
	0:43:00	3:43:00	3:48:00	8:48:00	8:58:00	12:56:00	Dilakukan perbaikan kapal
25 Juli 2022	0:00:00	3:08:00	3:13:00	8:13:00	8:28:00	12:28:00	14
	12:33:00	15:43:00	15:48:00	20:48:00	20:58:00		
26 Juli 2022						0:53:00	15
	0:58:00	3:58:00	4:03:00	9:03:00	9:13:00	13:11:00	16
	13:16:00	16:31:00	16:36:00	21:36:00	21:46:00		
27 Juli 2022						1:41:00	17
	1:46:00	4:46:00	4:51:00	9:51:00	10:01:00	14:06:00	18
	14:11:00	17:16:00	17:21:00	22:21:00	22:31:00		
28 Juli 2022						2:29:00	19
	2:34:00	5:34:00	5:39:00	10:39:00	10:49:00	14:47:00	20
	14:52:00	18:02:00	18:07:00	23:02:00	23:12:00		
29 Juli 2022					3:07:00	Dilakukan perbaikan kapal	
1 Agustus 2022	0:00:00	3:00:00	3:05:00	8:05:00	8:15:00	12:13:00	22
	12:18:00	15:18:00	15:23:00	20:23:00	20:33:00		
2 Agustus 2022						0:28:00	23
	0:33:00	3:33:00	3:38:00	8:33:00	8:43:00	12:38:00	24
	12:43:00	15:55:00	16:00:00	21:00:00	21:10:00		
						1:05:00	25

Waktu Pengerukan							
Tanggal	Mengeruk	Selesai	Berangkat	Sampai	Pulang	Tiba	Ket
3 Agustus 2022	1:10:00	4:15:00	4:20:00	9:20:00	9:30:00	13:28:00	26
	13:33:00	16:43:00	16:48:00	21:48:00	21:58:00		
4 Agustus 2022						1:48:00	27 28
	1:53:00	4:58:00	5:03:00	10:03:00	10:13:00	14:08:00	
	14:13:00	17:13:00	17:18:00	22:18:00	22:28:00		
5 Agustus 2022						2:26:00	29 30
	2:31:00	5:31:00	5:36:00	10:36:00	10:46:00	14:36:00	
	14:41:00	17:46:00	17:51:00	22:51:00	23:01:00		
6 Agustus 2022						2:56:00	31 32
	3:01:00	6:01:00	6:06:00	11:06:00	11:16:00	15:14:00	
	15:19:00	18:24:00	18:29:00	23:29:00	22:39:00		
7 Agustus 2022						3:29:00	33 34
	3:34:00	6:34:00	6:39:00	11:39:00	11:49:00	15:44:00	
	15:49:00	18:54:00	18:59:00	23:59:00			
8 Agustus 2022					0:09:00	3:59:00	35

(Sumber: Perusahaan PT. PAL Indonesia)

Berdasarkan hasil survei waktu pengerjaan pengerukan, waktu yang digunakan selama pengerjaan pengerukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Loading Time

Kapasitas *barge* sebesar 1.250 m³ sedangkan untuk kapasitas *clamshell* sebesar 5 m³ dengan produktivitas 415 m³/jam. *Factor bulking* sebesar 1,10 – 1,40. Berdasarkan Persamaan (5), maka *loading time* sebesar:

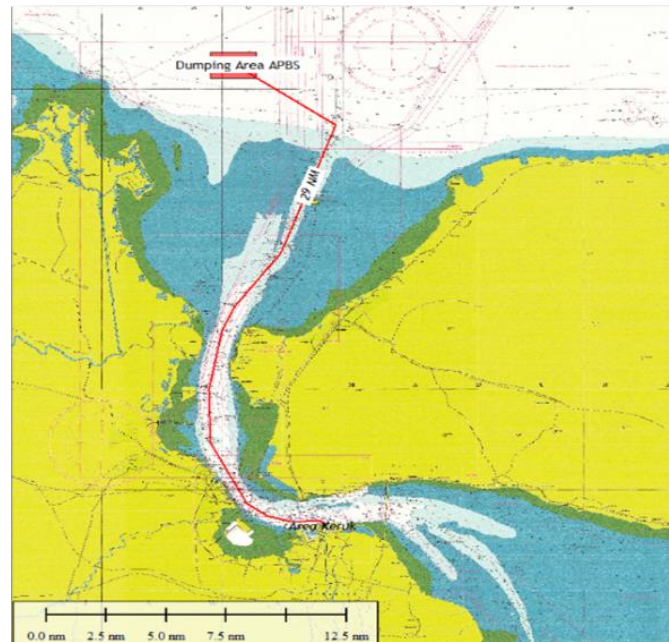
$$\text{Loading Time} = \frac{1.250 \text{ m}^3}{415 \text{ m}^3/\text{jam}} = 3,02 \text{ jam}$$

Berdasarkan *survey* waktu yang digunakan untuk mengangkut material ke hopper yaitu 190 menit atau 11.400 detik.

2. Travelling Time

Kedalaman pada lokasi *dumping area* adalah ± 30m LWS dengan jarak 29 Nmil dari area keruk. Mengacu pada referensi sebelumnya yaitu Persetujuan Pembuangan (*Dumping*) Limbah atau Material Lainnya Di Laut No. AL.605/09/04/SYB.TPr/2020.

Lokasi pembuangan hasil keruk (*dumping area*) yang telah disetujui oleh Kantor Otoritas Pelabuhan pada koordinat sebagai berikut: 06°49'35.00" S ; 112°41'30.00" E; 06°50'55.00" S ; 112°41'30.00" E; 06°49'35.00" S ; 112°39'35.00" E; 06°50'55.00" S ; 112°39'35.00" E;



Gambar 4.8 Lokasi *Dumping Area*
(Sumber: Perusahaan PT. PAL Indonesia)

Jarak dari lokasi pengerukan menuju *dumping area* yaitu 46.661 meter dengan kecepatan kapal saat *barge full loading* yaitu 2,98 m/s (5,78 knot). Sehingga berdasarkan Persamaan (6) didapatkan *travelling time* sebesar :

$$\text{Travelling Time} = \frac{46.661 \text{ m}}{2,98 \text{ m/s}} = 15.658 \text{ s} = 4,4 \text{ jam}$$

Berdasarkan survey waktu yang digunakan untuk perjalanan ke *dumping area* yaitu 5 jam atau 18.000 detik.

3. *Unloading Time*

Menurut *International Association of Dredging Companies*, lama pembuangan material dilakukan selama 5-10 menit. Berdasarkan survey waktu yang digunakan untuk proses membuang material 10 menit atau 600 detik.

4. *Return Time*

Jarak dari lokasi pengerukan menuju *dumping area* yaitu 46.661 meter dengan kecepatan kapal saat muatan kosong 3,73 m/s (7,2 knot). Sehingga berdasarkan Persamaan (7) didapatkan *return time* sebesar:

$$\text{Return Time} = \frac{46.661 \text{ m}}{3,73 \text{ m/s}} = 12.509 \text{ s} = 3,5 \text{ jam}$$

Berdasarkan survey waktu yang digunakan untuk kembali ke lokasi pengerukan yaitu 4 jam atau 14.400 detik.

Sehingga total waktu siklus yang diperlukan selama melakukan pengerukan yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Waktu Siklus} &= \text{loading time} + \text{travelling time} + \text{unloading time} + \text{return time} \\ &= 181 \text{ menit} + 261 \text{ menit} + 10 \text{ menit} + 210 \text{ menit} \\ &= 662 \text{ menit} = 11 \text{ jam}\end{aligned}$$

Setelah didapatkan waktu siklus, maka dihitung pula jumlah siklus dalam 1 hari sesuai dengan lama jam kerja yang ditetapkan (24 jam). Jumlah siklus yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah siklus} &= \frac{\text{Jam kerja}}{\text{waktu siklus}} \\ &= \frac{24 \text{ jam}}{11 \text{ jam}} \\ &= 2,18 = 2 \text{ siklus dalam 1 hari}\end{aligned}$$

Waktu pengerukan diperlukan untuk mengetahui rentang waktu yang dibutuhkan sebuah alat keruk untuk dapat menyelesaikan pekerjaannya. Berikut adalah perhitungan waktu pengerukan dengan jam kerja 24 jam:

$$\begin{aligned}\text{Total Angkut} &= \frac{\text{jumlah total volume}}{\text{volume yang diangkut perhari}} \\ &= \frac{43.600 \text{ m}^3}{1.250 \text{ m}^3} \\ &= 35 \text{ kali pengangkutan}\end{aligned}$$

Dapat disimpulkan bahwa total waktu yang digunakan selama pengerjaan pengerukan pada PT. PAL Indonesia yaitu selama 18 hari dengan jumlah pengangkutan sebanyak 35 kali dengan total volume sebesar 43.600 m³.

4.9 Analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Pengerukan

Rencana Anggaran Biaya pengerukan merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pengerukan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 83 Tahun 2011 Tentang Standar Biaya Kementrian Perhubungan Tahun Anggaran 2012, mengenai Rekapitulasi harga satuan pengerukan alur pelayaran/kolam pelabuhan yang tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Daftar Harga Satuan

No.	Uraian	Satuan	Harga Satuan
1	Gaji ABK	Bulan	Rp. 2.049.000
2	Biaya Pemeruman	Hari	Rp. 3.200.000
2	Ait Tawar	m ³	Rp. 3.000
3	Bbm Kapal Tongkang	Liter	Rp. 7.000
4	BBM Kapal <i>Tugboat</i>	Liter	Rp. 7.000
5	Pelumas Kapal Tongkang	Liter	Rp. 45.000
6	Pelumas Kapal <i>Tagboat</i>	Liter	Rp. 45.000
7	Konsumsi	Hari	Rp. 50.000
8	Asuransi <i>Clamshell</i>	Ls	Rp. 1.098.630
9	Perawatan <i>Clamshell</i>	Ls	Rp. 6.849.316
10	Penyusutan <i>Clamshell</i>	Ls	Rp. 3.452.055
11	Asuransi <i>Tugboat</i>	Ls	Rp. 1.112.329
12	Perawatan <i>Tugboat</i>	Ls	Rp. 4.109.590
13	Penyusutan <i>Tugboat</i>	Ls	Rp. 1.808.219

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2013)

4.9.1 Biaya Persiapan Pengerukan

Pada pekerjaan persiapan anggaran biaya pada tahap awal yaitu tertera di bawah ini:

1. Biaya Alat Tulis dan Gambar

Alat tulis dan gambar merupakan bagian dari pekerjaan persiapan yang mendukung kelancaran selama pekerjaan pengerukan yang digunakan pada kegiatan *sounding* dan pekerjaan pengerukan.

2. Biaya *Sounding*/pemeruman

Kegiatan pemeruman memerlukan biaya seperti sewa kapal dan nahkoda. Pada penelitian ini, *sounding* dilakukan selama 3 kali, yaitu pada saat sebelum dilakukannya pekerjaan pengerukan (eksisting), *sounding* progres, dan *final sounding*.

Biaya yang digunakan pada tahap awal pekerjaan pengerukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.8 Biaya Tahap Awal Pengerukan

No.	Survey Pemeruman/ sounding	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1	Sewa Perahu	Hari	1 x 3 = 3	Rp. 1.500.000	Rp. 4.500.000
	Tenaga kerja	Hari	3 x 3 = 9	Rp. 200.000	Rp. 1.800.000
2	Sewa Alat Sounding	Hari	1 x 3 = 3	Rp. 1.500.000	Rp. 4.500.000
3	Penggambaran Batimetri	Pkt	1	Rp. 200.000	Rp. 200.000
Total Biaya					Rp. 11.000.000

(Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2013)

4.9.2 Analisis Biaya pada Operasional Kapal Keruk

Pada proses pelaksanaan pengerukan dibutuhkan waktu 11 jam dalam satu siklus dengan volume sedimen yang diangkut 1.250 m³. Pada pengerukan ini, dilakukan analisis biaya yang dibutuhkan selama pelaksanaan pengerukan selama 18 hari berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 83 Tahun 2011 tentang Standar Biaya Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012 sebagai berikut:

1. Volume Air yang Dibutuhkan

Volume air yang digunakan dalam pekerjaan pengerukan yaitu keperluan *cooling main engine*, *cooling generator*, kebutuhan cuci, dan mandi. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 83 Tahun 2011 tentang Standar Biaya Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012 konsumsi air untuk *cooling main engine* pada *clamshell type 5 m³* perhari sebanyak 500 liter dan untuk *cooling generator* pada *clamshell type 5 m³* perhari sebanyak 300 liter. Dapat disimpulkan keperluan air pada kapal tongkang dan tugboat yaitu 1600 liter. Kebutuhan air tawar untuk minum para ABK biasanya membutuhkan sekitar 10 ltr/orang/hari, kebutuhan air tawar untuk mencuci para ABK umumnya membutuhkan sekitar 80 ltr/orang/hari, kebutuhan air tawar untuk BAK/BAB umumnya membutuhkan sekitar 15 ltr/orang/hari (Kurniawan, 2019). Dapat disimpulkan penggunaan air tawar sebanyak 100 liter/orang/hari dengan jumlah ABK sebanyak 12 orang. Jumlah total penggunaan air yaitu sebanyak 3000 liter/hari (3 m³/hari).

2. Volume BBM yang Dibutuhkan

Perhitungan BBM pada cakram dengan *type 5 m³* dapat dilihat pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 83 Tahun 2011 tentang Standar Biaya Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012. Jumlah BBM dalam

pekerjaan pengerukan ini digunakan untuk *main engine*, *crane*, dan *tugboat* yang secara rinci dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

BBM untuk kapal tongkang:

- 1) *Aux. Engine* = $2 \times 370 \text{ HP} \times 30 \text{ lt/HP/Jam} \times 3,02 \text{ jam} : 1000 = 68 \text{ liter}$
- 2) *Gen. Crane* = $1 \times 520 \text{ HP} \times 60 \text{ lt/HP/Jam} \times 24 \text{ jam} : 1000 = 749 \text{ liter}$
- 3) *Hydraulic* = $1 \times 50 \text{ HP} \times 170 \text{ lt/HP/Jam} \times 3,02 \text{ jam} : 1000 = 26 \text{ liter}$
- Total = 843 liter/siklus

BBM untuk kapal *tugboat*:

- 1) *Main Engine* = $1 \times 2000 \text{ HP} \times 200 \text{ lt/HP/Jam} \times 7,9 \text{ jam} : 1000 = 3.160 \text{ liter}$
- 2) *Aux. Engine* = $1 \times 155 \text{ HP} \times 20 \text{ lt/HP/Jam} \times 7,9 \text{ jam} : 1000 = 24,5 \text{ liter}$
- Total = 3.184,5 liter/siklus

3. Volume Pelumas yang Dibutuhkan

Jumlah pelumas dalam pekerjaan pengerukan ini digunakan untuk *main engine*, *crane*, dan *tugboat* dengan perhitungan 10% dari penggunaan BBM yang secara rinci dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

Pelumas untuk kapal tongkang:

- 1) *Aux. Engine* = $68 \text{ liter} \times 10\% = 6,8 \text{ liter}$
- 2) *Gen. Crane* = $749 \text{ liter} \times 10\% = 74,9 \text{ liter}$
- 3) *Hydraulic* = $26 \text{ liter} \times 10\% = 2,6 \text{ liter}$
- Total = 84,3 liter/siklus

Pelumas untuk kapal *tugboat*:

- 1) *Main Engine* = $3160 \text{ liter} \times 10\% = 316 \text{ liter}$
- 2) *Aux. Engine* = $24,5 \text{ liter} \times 10\% = 2,45 \text{ liter}$
- Total = 318,45 liter/siklus

Berdasarkan analisis penggunaan air tawar, bahan bakar minyak (BBM), dan pelumas pada kapal, rincian biaya operasional pada kapal keruk dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.9 Analisis Biaya Operasional Kapal Keruk

No.	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Gaji Abk	Bulan	1 x 12 = 12	Rp.2.049.000	Rp. 24.588.000
2	Ait Tawar	m ³ /hari	3 x 18 = 54	Rp. 3.000	Rp. 162.000
3	BBM Kapal Tongkang	Liter/siklus	35 x 843 = 29.505	Rp. 7.000	Rp. 206.535.000
4	BBM Kapal Tagbout	Liter/siklus	35 x 3185 = 111.475	Rp. 7.000	Rp. 780.325.000
5	Pelumas Kapal Tongkang	Liter/siklus	35 x 84,3 = 2.950,5	Rp. 45.000	Rp. 132.772.500
6	Pelumas Kapal Tugboat	Liter/siklus	35 x 318,5 = 11.148	Rp. 45.000	Rp. 501.660.000
7	Konsumsi	Hari	12 x 18 = 216	Rp. 60.000	Rp. 12.960.000
8	Asuransi Clamshell	Ls	1	Rp.1.098.630	Rp. 1.098.630
9	Perawatan Clamshell	Ls	1	Rp.6.849.316	Rp. 6.849.316
10	Penyusutan Clamshell	Ls	1	Rp.3.452.055	Rp. 3.452.055
11	Asuransi Tugboat	Ls	1	Rp.1.112.329	Rp. 1.112.329
12	Perawatan Tugboat	Ls	1	Rp.4.109.590	Rp. 4.109.591
13	Penyusutan Tugboat	Ls	1	Rp.1.808.219	Rp. 1.808.219
Total Biaya					Rp.1.677.432.640
Total Biaya/Hari					Rp. 93.190.703
Total Biaya/Jam					Rp. 3.882.946
Total Biaya/m ³					Rp. 38.474

(Sumber: Analisis data,2023)

4.9.3 Perhitungan Volume Pekerjaan dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Berikut ini merupakan rincian perhitungan volume pekerjaan dan rencana anggaran biaya yang akan dikeluarkan.

Tabel 4.10 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Pengerukan

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
1.	<i>Sounding/</i> pemeruman	Pkt	1	Rp. 11.000.000	Rp. 11.000.000
2.	Pekerjaan Pengerukan	m ³	43.600	Rp. 113.700	Rp.4.957.320.000
3.	Mobilisasi Dan Demobilisasi	Ls	1	Rp.250.000.000	Rp. 250.000.000
4.	Dokumentasi Dan Administrasi	Ls	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
5.	Direksi <i>Keet</i>	Ls	1	Rp.120.000.000	Rp. 120.000.000
Total Biaya Sebelum Pajak					Rp.5.363.320.000
PPN 10%					Rp. 536.332.000
Total Biaya Estimasi					Rp.5.899.652.000

(Sumber: Analisis data,2023)

Jadi total biaya yang dianggarkan untuk kegiatan pengerukan di depan pintu *dock* Semarang dan alur supitan di PT. PAL Indonesia yaitu sebesar Rp.5.899.652.000.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik setelah melakukan analisis terkait pengerukan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan kapal keruk berdasarkan data tanah dan kondisi perairan di lokasi pengerukan yaitu menggunakan kapal jenis *grab dredger* dengan kapal *Golden Deer I* dan *Golden Deer II*.
2. Volume yang akan dikeruk pada area depan pintu *dock* Semarang yaitu 4.706,1 m³ sedangkan di area alur supitan yaitu 26.438,5 m³. Total volume yang dikeruk di PT. PAL Indonesia adalah 43.600 m³.
3. Waktu yang digunakan selama pekerjaan pengerukan di PT. PAL Indonesia yaitu 18 hari dengan total angkut 35 kali.
4. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk melakukan pengerukan di PT. PAL Indonesia sebesar Rp.5.899.652.000.

5.2 Saran

Dalam rangka penyempurnaan lebih lanjut, peneliti bermaksud menyampaikan beberapa saran bagi peneliti selanjutnya agar penelitian ini dapat berkembang sebagaimana yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Bagi peneliti selanjutnya, untuk perhitungan biaya dapat lebih akurat apabila menggunakan sumber referensi berdasarkan pengamatan biaya secara langsung dan dari sumber yang terbaru. Pada perhitungan volume pengerukan sebaiknya membandingkan metode manual dengan penggunaan *software Autocad*.
2. Bagi perusahaan, sebaiknya dapat dilakukan pengecekan sedimentasi secara rutin setidaknya setiap satu bulan sekali. Hal ini dikarenakan proses sedimentasi di alur pada kolam labuh cukup tinggi selain dikarenakan tingkat lalu lintas kapal yang sangat tinggi serta pintu masuk area kolam labuh langsung berhadapan dengan Selat Madura.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlin. 2017. *Analisa Pemilihan Metode Pengerukan Di Area Tertutup Canal Water Intake PLTU Banten 3 Lontar. Undergraduate thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian. (Rev. ed)*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Arszandi, dkk. 2023. *Survei Batimetri*. <https://www.handalseras.com/survei-batimetri>. Diakses pada 28 Juli 2023
- Ayyub M. 2021. *Analisis Pengerukan (Dredging) Di Kolam Pelabuhan Peruntukan Kapal Kontainer Post Panamax (Studi Kasus Di Pelabuhan Makassar New Port)*. Universitas Hasanuddin.
- Barras, Bryan dan C Derrett. 1999. *Ship Stability for Masters and Mates 5th Edition*. Oxford. Elsevier Ltd.
- Bray. 1979. *Dredging : A Handbook for Engineers*. Bedford Square, London. Edward Arnold Ltd.
- Bray, Nick, dan Marsha Cohen. (2010). *Dredging For Development. 6th edition*. Netherland : International Association of Dredging Companies (IADC).
- Direktorat Jendral Perhubungan Laut. 2017. *Pedoman Teknis Pengerukan Alur Pelayaran dan/atau Kolam Pelabuhan*. Kementrian Perhubungan. Indonesia.
- Direktorat Kepelabuhan Direktur Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan. 2017. *Pedoman Teknis Pengerukan Alur Pelayaran dan/atau Kolam Pelabuhan*. Jakarta: Direktorat Kepelabuhan Direktur Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan.
- Djamaluddin, A. 2023. *Manajemen Operasional Pelabuhan*. Makassar. Universitas Hasanuddin.
- Firdaus, dkk. 2020. *Analisis Perbandingan Biaya pada Pekerjaan Pengerukan di Alur Pelabuhan Bandar Bakau Jaya Banten*. Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan. vol. 4, no. 2.
- Khomsin, dkk. 2019. *Analisis Volume Pengerukan Alur Pelayaran Barat Surabaya Dengan Data Multibeam Echosounder Menggunakan Perangkat Lunak Hypack Dan Autocad Civil 3d*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kramadibrata, S. 2002. *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung.

- Kurniawan, D. 2019. *Studi Kebutuhan Air Tawar Pada Pengembangan Landing Shiptank (Lst) 128 Meter Berdasarkan Perilaku Manusia*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lutfie, T. 2017. *Dredging Pekerjaan Untuk Mengubah Bentuk Dasar Laut, Menuju Transportasi Laut Yang Aman*. Semarang.
- Mahendra, J. 2014. *Cutter Suction Dredger dan Jenis Material (Pada Pekerjaan Capital Dredging Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamongan*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Mahendra, J. 2014. *Dunia Dredging dan Reklamasi di Indonesia*. Depok, Indonesia.
- Penataran Angkatan Laut (PAL) Indonesia Persero. 2017. *Tentang Perusahaan*. <http://pal.co.id/> [18 November 2022].
- Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 83 Tahun 2011 tentang Standar Biaya Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012
- Permana, dkk. 2019. *Pengerukan Pemeliharaan Alur Pelayaran Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu dengan Sistim Sand By Passing*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Poerbondono, dan Djunansjah. 2005. *Survey Hidrografi*. PT. Refika Aditama, Bandung.
- Purnomo, H. 2003, *Pengantar Teknik Industri*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Rahmah, N. 2019. *Pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB), RAP, dan Contoh Format RAB Pekerjaan Konstruksi*. <https://www.pengadaanbarang.co.id/2019/08/pengertian-rab-rap-dan-contohnya.html>. Diakses pada tanggal 8 Desember 2022.
- Rijn, V. 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Acqua Publications, Amsterdam.
- Soemarto. 1995. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Swastika, dkk. 2015. *Pemetaan Bathimetri Menggunakan SingleBeam Echosounder di Perairan Lembar, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat*. *Jurnal Oseanografi*. vol. 4, no. 1, pp. 10-17.
- Syakinah, dkk. 2020. *Pengukuran Batimetri Untuk Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan Peti Kemas Belawan Sumatera Utara*. *Jurnal Oseanografi*. Vol. 2, no. 3.
- Triadmojo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*, Beta Offset: Yogyakarta.

- Tsinker. 2004. *Port Engineering : Planning, Construction, Maintenance, and Security*. New Jersey
- Yunus. 2016. *Perencanaan Pemecah Gelombang (Breakwater) Di Terminal Khusus TPPI Tuban, Jawa Timur*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali
a	0	0,85	0	a	0	0,75	0	a	0	0,9	0	a	0	1,25	0
b	0,85	3,4	2,890	b	0,85	3	2,550	b	0,9	3,6	3,240	b	1,25	5	6,250
1	1,7	1,85	3,145	1	1,5	1,75	2,625	1	1,8	1,9	3,420	1	2,5	2,25	5,625
2	1,7	4	6,800	2	1,5	4	6,000	2	1,804	4	7,216	2	2,5	4	10,000
3	1,688	2	3,376	3	1,619	2	3,237	3	1,855	2	3,710	3	2,340	2	4,679
4	1,626	4	6,504	4	1,807	4	7,227	4	1,906	4	7,623	4	2,140	4	8,561
5	1,564	2	3,128	5	1,995	2	3,990	5	1,957	2	3,913	5	2,131	2	4,261
6	1,502	4	6,008	6	1,974	4	7,896	6	2,004	4	8,016	6	2,169	4	8,676
7	1,485	2	2,971	7	1,833	2	3,666	7	2,031	2	4,062	7	2,222	2	4,443
8	1,470	4	5,881	8	1,876	4	7,504	8	2,058	4	8,232	8	2,332	4	9,327
9	1,455	2	2,910	9	1,976	2	3,952	9	2,085	2	4,170	9	2,442	2	4,884
10	1,45	4	5,800	10	1,914	4	7,655	10	2,1	4	8,400	10	2,5	4	10,000
11	1,45	1,725	2,501	11	1,8	1,9	3,420	11	2,1	2,05	4,305	11	2,5	2,25	5,625
c	0,725	2,9	2,103	c	0,9	3,6	3,240	c	1,05	4,2	4,410	c	1,25	5	6,250
d	0	0,725	0	d	0	0,9	0	d	0	1,05	0	d	0	1,25	0
sigma			54,015	sigma			62,963	sigma			70,718	sigma			88,583
Luas Potongan 5A (m ²)			54,015	Luas Potongan 6A (m ²)			62,963	Luas Potongan 7A (m ²)			70,718	Luas Potongan 8A (m ²)			88,583

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 2,55 \text{ m}$$

$$l'' = 2,175 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 2,25 \text{ m}$$

$$l'' = 2,7 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 2,7 \text{ m}$$

$$l'' = 3,15 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 3,75 \text{ m}$$

$$l'' = 3,75 \text{ m}$$

No.	Ordinat (m)	F _s	Hasil Kali	Luas Perpotongan (m ²)	F _s	Luas X F _s	Volume Perpotongan (m ³)	
a	0	1,4	0	LA1	5,067	1	5,067	16,890
b	1,4	5,6	7,840	LA2	29,894	4	119,577	398,590
1	2,8	2,4	6,720	LA3	47,678	2	95,355	317,851
2	2,727	4	10,907	LA4	59,126	4	236,506	788,352
3	2,588	2	5,175	LA5	54,015	2	108,030	360,101
4	2,519	4	10,074	LA6	62,962	4	251,850	839,499
5	2,407	2	4,814	LA7	70,717	2	141,435	471,449
6	2,431	4	9,722	LA8	88,583	4	354,330	1.181,101
7	2,463	2	4,927	LA9	99,763	1	99,763	332,542
8	2,496	4	9,984	Total	739,641		1.411,913	4.706,376
9	2,591	2	5,183					
10	2,695	4	10,780					
11	2,7	2,35	6,345					
c	1,35	5,4	7,290					
d	0	1,35	0					
	sigma		99,763					
	Luas Potongan 9A (m ²)		99,763					

$h = 10 \text{ meter}$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 4,2 \text{ m}$$

$$l'' = 4,05 \text{ m}$$

No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali
a	0	0,06	0	a	0	0	0	a	0	0	0	a	0	0	0
b	0,102	0,24	0,025	b	0,005	0,01	0,00006	b	0,005	0,01	0,00006	b	0,005	0,01	0,00006
1	0,200	1,06	0,212	1	0,010	1	0,01003	1	0,010	1	0,01003	1	0,01	1	0,01003
2	0,522	4	2,087	2	0,065	4	0,260	2	0,059	4	0,237	2	0,256	4	1,022
3	0,85	2	1,7	3	0,296	2	0,592	3	0,926	2	1,852	3	0,553	2	1,107
4	1,178	4	4,71	4	0,850	4	3,400	4	2,007	4	8,029	4	0,851	4	3,404
5	1,523	2	3,047	5	1,820	2	3,641	5	2,242	2	4,484	5	1,309	2	2,618
6	1,823	4	7,292	6	2,227	4	8,908	6	2,453	4	9,813	6	1,792	4	7,168
7	1,937	2	3,875	7	2,362	2	4,725	7	2,787	2	5,574	7	2,169	2	4,338
8	2,016	4	8,064	8	2,498	4	9,990	8	2,790	4	11,161	8	2,477	4	9,908
9	2,048	2	4,096	9	2,633	2	5,266	9	3,110	2	6,219	9	2,785	2	5,571
10	2,080	4	8,318	10	2,770	4	11,080	10	3,172	4	12,689	10	2,972	4	11,888
11	2,086	2	4,172	11	2,909	2	5,818	11	3,235	2	6,470	11	3,087	2	6,173
12	2,047	4	8,186	12	2,970	4	11,882	12	3,298	4	13,192	12	3,202	4	12,806
13	2,007	2	4,014	13	2,884	2	5,768	13	3,365	2	6,730	13	3,313	2	6,626
14	1,865	4	7,461	14	2,797	4	11,189	14	3,433	4	13,730	14	3,407	4	13,626
15	1,7	1,51	2,569	15	3,000	1,9	5,700	15	3,500	2,05	7,175	15	3,5	2,05	7,175
c	0,850	2,04	1,738	c	1,5	3,6	5,4	c	1,75	4,2	7,35	c	1,75	4,2	7,35
d	0	0,51	0	d	0	0,9	0	d	0	1,05	0	d	0	1,05	0
	sigma		71,565		sigma		93,628		sigma		114,716		sigma		100,792
	Luas Potongan B1 (m ²)		119,274		Luas Potongan B2 (m ²)		156,046		Luas Potongan B3 (m ²)		191,194		Luas Potongan B4 (m ²)		167,987

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 0,305 \text{ m}$$

$$l'' = 2,555 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 0,015 \text{ m}$$

$$l'' = 4,5 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 0,015 \text{ m}$$

$$l'' = 5,25 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 0,015 \text{ m}$$

$$l'' = 5,25 \text{ m}$$

No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali
a	0	0,09	0	a	0	0,21	0	a	0	0,54	0	a	0	0,54	0
b	0,15	0,36	0,054	b	0,35	0,84	0,294	b	0,9	2,16	1,944	b	0,9	2,16	1,944
1	0,300	1,09	0,327	1	0,7	1,21	0,847	1	1,8	1,54	2,772	1	1,8	1,54	2,772
2	0,477	4	1,910	2	0,931	4	3,722	2	1,958	4	7,834	2	1,8	4	7,2
3	0,655	2	1,310	3	1,380	2	2,760	3	2,109	2	4,218	3	1,809	2	3,617
4	0,863	4	3,451	4	1,924	4	7,696	4	2,253	4	9,010	4	1,845	4	7,381
5	1,130	2	2,260	5	2,280	2	4,560	5	2,39	2	4,780	5	1,882	2	3,763
6	1,477	4	5,906	6	2,441	4	9,763	6	2,527	4	10,109	6	2,037	4	8,148
7	1,820	2	3,639	7	2,596	2	5,191	7	2,663	2	5,326	7	2,220	2	4,439
8	2,106	4	8,423	8	2,733	4	10,931	8	2,799	4	11,196	8	2,390	4	9,561
9	2,401	2	4,802		2,833	2	5,667	9	2,935	2	5,869	9	2,561	2	5,122
10	2,676	4	10,704	10	2,940	4	11,762	10	3,069	4	12,276	10	2,732	4	10,927
11	2,906	2	5,811	11	3,060	2	6,120	11	3,2	2	6,400	11	2,848	2	5,695
12	3,094	4	12,374	12	3,180	4	12,718	12	3,2	4	12,800	12	2,927	4	11,707
13	3,253	2	6,505	13	3,299	2	6,598	13	3,241	2	6,481	13	3,006	2	6,012
14	3,424	4	13,694	14	3,400	4	13,599	14	3,320	4	13,281	14	3,085	4	12,341
15	3,600	2,08	7,488	15	3,500	2,05	7,175	15	3,4	2,02	6,868	15	3,130	1,94	6,072
c	1,8	4,32	7,776	c	1,75	4,2	7,35	c	1,7	4,08	6,936	c	1,565	3,76	5,884
d	0	1,08	0	d	0	1,05	0	d	0	1,02	0	d	0	0,94	0
	sigma		96,433		Sigma		116,753		Sigma		128,100		sigma		112,586
	Luas Potongan B5 (m ²)		160,722		Luas Potongan B6 (m ²)		194,587		Luas Potongan B7 (m ²)		213,500		Luas Potongan B8 (m ²)		187,643

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 0,45 \text{ m}$$

$$l'' = 5,4 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 1,05 \text{ m}$$

$$l'' = 5,25 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 2,7 \text{ m}$$

$$l'' = 5,1 \text{ m}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

$$l' = 2,7 \text{ m}$$

$$l'' = 4,7 \text{ m}$$

No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali	No.	Ordinat (m)	Fs	Hasil Kali
a	0	0,54	0	a	0	0,54	0	a	0	0,51	0
b	0,9	2,16	1,944	b	0,9	2,16	1,944	b	0.85	2,04	1,734
1	1,8	1,54	2,772	1	1,8	1,54	2,772	1	1.7	1,51	2,567
2	1,866	4	7,464	2	1,889	4	7,560	2	1.7421	4	6,968
3	1,933	2	3,865	3	1,931	2	3,862	3	1.7842	2	3,568
4	1,999	4	7,999	4	1,966	4	7,865	4	1.8	4	7,200
5	2,091	2	4,182	5	2,005	2	4,010	5	1.8113	2	3,623
6	2,183	4	8,731	6	2,125	4	8,504	6	1.8465	4	7,386
7	2,274	2	4,548	7	2,206	2	4,413	7	1.8818	2	3,764
8	2,348	4	9,394	8	2,287	4	9,148	8	1.9189	4	7,676
9	2,415	2	4,831	9	2,367	2	4,735	9	1.9612	2	3,922
10	2,480	4	9,921	10	2,425	4	9,701	10	2.0035	4	8,014
11	2,545	2	5,090	11	2,467	2	4,934	11	2.0672	2	4,134
12	2,619	4	10,479	12	2,513	4	10,054	12	2.1317	4	8,527
13	2,746	2	5,493	13	2,575	2	5,151	13	2.1962	2	4,392
14	2,973	4	11,893	14	2,637	4	10,552	14	2.2964	4	9,186
15	3	1,9	5,7	15	2,7	1,81	4,887	15	2.4	1,72	4,128
c	1,5	3,6	5,4	c	1,35	3,24	4,374	c	1.2	2,88	3,456
d	0	0,9	0	d	0	0,81	0	d	0	0,72	0
	sigma		109,708		sigma		104,466		sigma		90,245
	Luas Potongan B9 (m ²)		182,847		Luas Potongan B10 (m ²)		174,111		Luas Potongan B11 (m ²)		150,408

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 2,7 \text{ m}$$

$$l'' = 4,5 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 2,7 \text{ m}$$

$$l'' = 4,05 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$l' = 2,55 \text{ m}$$

$$l'' = 3,6 \text{ m}$$

Potongan	Luas Per Potongan (m ²)	Fs	Luas X Fs	Volome Per Potongan (m ³)
LB1	119,27	1	119,27	596,37
LB2	156,05	4	624,18	3.120,92
LB3	191,19	2	382,39	1.911,94
LB4	167,99	4	671,95	3.359,73
LB5	160,72	2	321,44	1.607,22
LB6	194,59	4	778,35	3.891,75
LB7	213,50	2	427,00	2.135,00
LB8	187,64	4	750,57	3.752,87
LB9	182,85	2	365,69	1.828,47
LB10	174,11	4	696,45	3.482,23
LB11	150,41	1	150,41	752,04
Total	1.898,32		5.287,71	26.438,53

$h = 15$ meter