

SKRIPSI

**ANALISIS Pengerukan Kolam Pelabuhan di
Pelabuhan Penyeberangan Bira Kabupaten
Bulukumba**

Disusun dan diajukan oleh:

FIRMAN GANI

D0811 81 701



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS Pengerukan Kolam Pelabuhan di
Pelabuhan Penyeberangan Bira Kabupaten
Bulukumba**

Disusun dan diajukan oleh

Firman Gani
D081181701

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik
Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 29 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ashury, ST., MT.
NIP. 197403182006041001

Pembimbing Kedua,



Dr. Hasdinar Umar, ST. MT.
NIP. 197804282003122002

Ketua Departemen,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.
NIP 197506052002121003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Firman Gani

NIM : D081181701

Program Studi : Teknik Kelautan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Analisis Pengerukan Kolam Pelabuhan di Pelabuhan Penyeberangan Bira
Kabupaten Bulukumba**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 November 2023

Yang Menyatakan


Firman Gani

ABSTRAK

Firman Gani. Analisis Pengerukan Kolam Pelabuhan di Pelabuhan Penyeberangan Bira Kabupaten Bulukumba. (Di bimbing oleh Ashury, S.T., M.T. dan Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.)

Pelabuhan Penyeberangan Bira merupakan pelabuhan penyeberangan yang ada di Desa Bira, Kecamatan Bontobahari, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan. Luas pelabuhan tersebut mencapai 24,5 ha. Pelabuhan ini dibuat untuk melayani arus bongkar muat barang, penumpang dan kendaraan menuju dan dari Kabupaten Bulukumba. Pelabuhan Penyeberangan Bira juga memiliki peran yang besar dalam kelancaran lalu lintas antar pulau. Pelabuhan ini juga menjadi tempat bongkar muat barang dan komoditas hasil hutan, pertanian, perkebunan, dan kebutuhan pokok lain. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi hidro-oseanografi dan batimetri di Pelabuhan Penyeberangan Bira yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber informasi mengenai kedalaman serta perencanaan muka air rencana untuk bahan evaluasi perencanaan pengerukan pada area kolam labuh.

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan secara langsung dilokasi selama 15 hari. Observasi yang dilakukan dibagi menjadi 3 konsentrasi, yaitu : pengambilan data batimetri kedalam yang di dapat pada area kolam labuh sebesar -1 sampai -5, hasil analisis data pasang surut di dapat nilai HAT = 3,21 MHHWS = 2,33 MHHWN = 1,99 MSL = 1,60 MLLWN = 1,22 MLLWS = 0,87, dan berdasarkan data yang berupa ukuran butiran dan presentasi kelolosn pada ayakan diduga jenis tanah di Pelabuhan Penyeberangan Bira termasuk pasir sedang.

Berdasarkan hasil survei dan olahan data yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa : Kondisi eksisting area kolam labuh pada Pelabuhan Penyeberangan Bira memiliki kedalam 3-5 m yang mana belum memenuhi kriteria berdasarkan ukuran kapal terbesar yaitu 2000 GT. Oleh karena itu, dilakukan perencanaan pengerukan area kolam labuh dengan kedalaman ideal $4,73 \approx 5$ m. Untuk memenuhi kriteria berdasarkan ukuran sarat kapal rencana terbesar, maka perlu dilakukan pengerukan pada area kolam pelabuhan yang dibagi menjadi 5 segmen dengan volume keruk sebesar $VA1 = 150606,95 \text{ m}^3$, $VA2 = 15632,41 \text{ m}^3$, $VA3 = 29.807,17 \text{ m}^3$, $VA4 = 69982,50 \text{ m}^3$, $VA5 = 12.839,57 \text{ m}^3$ sehingga didapatkan volume total keruk yaitu $284.386,64 \text{ m}^3$, karena terdapat bulking factor sebesar 1,6 untuk jenis tanah *medium rock* sehingga didapat volume pengerukan sebesar $446.189,74 \text{ m}^3$.

Kata Kunci : Pelabuhan Penyeberangan Bira, Hidro-Oseanografi, kolam labuh, Pengerukan.

ABSTRACT

Firman Gani. *Analysis of Port Pond Dredging at Bira Ferry Port, Bulukumba Regency.* (Supervised by Ashury, S.T., M.T. and Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.)

Bira Crossing Port is a crossing port in Bira Village, Bontobahari District, Bulukumba Regency, South Sulawesi. The port area reaches 24.5 ha. This port was made to serve the flow of loading and unloading of goods, passengers and vehicles to and from Bulukumba Regency. Bira Crossing Port also has a big role in the smooth flow of inter-island traffic. This port is also a place for loading and unloading goods and commodities of forest products, agriculture, plantations, and other basic needs. The purpose of this study is to determine the hydro-oceanographic and bathymetric conditions at the Bira Ferry Port which are then utilized as a source of information regarding the depth and planning of the planned water level for evaluation of dredging planning in the berth pond area.

Data collection in this study was carried out directly at the location for 15 days. Observations carried out are divided into 3 concentrations, namely: taking bathymetry data into the depths obtained in the berth pool area of -1 to -5, the results of tidal data analysis obtained $HAT = 3.21$ $MHHWS = 2.33$ $MHHWN = 1.99$ $MSL = 1.60$ $MLLWN = 1.22$ $MLLWS = 0.87$, and based on data in the form of grain size and presentation of kelolosn on the sieve, it is suspected that the type of soil at the Bira Ferry Port includes medium sand.

Based on the survey results and processed data that has been done in this study, it can be concluded that: The existing condition of the berth pool area at the Bira Ferry Port has a depth of 3-5 m which does not meet the criteria based on the size of the largest ship, which is 2000 GT. Therefore, dredging planning is carried out in the berth pool area with an ideal depth of $4.73 \approx 5$ m. To meet the criteria based on the size of the largest planned ship, it is necessary to dredge the harbor pool area which is divided into 5 segments with a dredge volume of $VA1 = 150606.95$ m^3 , $VA2 = 15632.41$ m^3 , $VA3 = 29,807.17$ m^3 , $VA4 = 69982.50$ m^3 , $VA5 = 12,839.57$ m^3 so that the total dredge volume is 284,386.64 m^3 , because there is a bulking factor of 1.6 for medium rock soil types so that the dredging volume is 446,189.74 m^3 .

Keywords: Bira ferry port, hydro-oceanography, berth pond, dredging.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	1
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Manfaat penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengerukan (<i>Dredging</i>)	4
2.1.1 Tipe-tipe Pengerukan	5
2.1.2 Proses Pengerukan	5
2.1.3 Tujuan Pengerukan	6
2.1.4 Perhitungan Volume Pengerukan	6
2.1.5 Produktivitas Pengerukan	7
2.1.6 <i>Bulking Factors</i>	8
2.1.7 Produktivitas <i>Barge</i>	9
2.2 Kapal Keruk	10
2.3.1 <i>Trailing Suction Hopper Dredger</i> (TSHD)	12
2.3.2 <i>Cutter Suction Dredger</i> (CSD)	13
2.3.3 <i>Grab Dredger</i>	14
2.3.4 <i>Backhoe Dredger</i>	15
2.3.5 <i>Bucket Ladder Dredger</i>	16

2.3 Hidro-oceanografi.....	17
2.3.1 Batimetri.....	17
2.3.2 Sedimentasi.....	18
2.3.3 Pasang Surut.....	19
2.4 Daerah Sandar Kapal.....	23
2.5 Alur Pelayaran.....	23
2.5.1 Pemilihan Karakteristik Alur.....	25
2.5.2 Kedalaman Alur.....	25
2.5.3 Lebar Alur.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Data Penelitian.....	30
3.2.1 Alat.....	30
3.2.2 Data.....	30
3.3 <i>Software</i> Yang Digunakan Dalam Pengolahan Data.....	30
3.4 Metode Pengambilan dan Pengolahan Data.....	34
3.3.1 Pengambilan data.....	34
3.3.2 Pengolahan Data.....	35
3.5 Diagram Alur Penelitian.....	37
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4. 1 Gambaran Umum Pelabuhan.....	38
4.1.1 Fasilitas Pelabuhan.....	38
4.1.2 Spesifikasi Kapal.....	40
4. 2 Kondisi Hidro – Oceanografi.....	41
4.2.1. Data Pasang Surut.....	41
4.2.2. Data Kedalaman.....	43
4.2.3. Data Sedimen.....	45
4. 3 Pemilihan Kapal Keruk.....	47
4. 4 Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan.....	49
4.4.1. Kondisi Area Pengerukan.....	49
4.4.2. Pembuatan Cross Section Area.....	50
4.4.3. Perhitungan Volume Keruk.....	50
4.4.4. Produktivitas Alat Keruk.....	52
4.4.5. Produktivitas <i>Barge</i>	53
4.4.6. Waktu Pengerukan.....	55

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses Pengerukan	5
Gambar 2. Metode Trapesium.....	7
Gambar 3. <i>Trailing Suction Hopper Dredger</i>	13
Gambar 4. <i>Cutter Suction Dredger</i>	13
Gambar 5. <i>Grab Dredger</i>	15
Gambar 6. <i>Backhoe Dredger</i>	16
Gambar 7. <i>Bucket ladder dredger</i>	17
Gambar 8. Pasang purnama dan Pasang perbani.....	20
Gambar 9. Jenis pasang-surut	20
Gambar 10. Layout alur pelayaran	24
Gambar 11. Pelampung suar.....	24
Gambar 12. Elevasi Kedalaman Alur Pelayaran	25
Gambar 13. Lebar alur satu jalur	27
Gambar 14. Lebar alur dua jalur.....	28
Gambar 15. Lokasi pelabuhan penyeberangan bira	29
Gambar 16. <i>Autocad Civil 3D</i>	31
Gambar 17. <i>Global Mapper</i>	32
Gambar 18. <i>Mapsource</i>	33
Gambar 19. <i>ArcGIS</i>	33
Gambar 20. Diagram Alur Penelitian	37
Gambar 21. Peta Pelabuhan Penyeberangan Bira.	38
Gambar 22. Kondisi Eksisting Pelabuhan Penyeberabgan Bira.....	39
Gambar 23. Titik Lokasi Sarana Bantu Navigasi Pelayaran Eksisting.	40
Gambar 24. Titik Lokasi Pemasangan Alat Ukur Pasang Surut.	41
Gambar 25. Grafik Pasang Surut	43
Gambar 26. Elevasi Muka Air <i>Peil schaal</i> Referensi MSL.	43
Gambar 27. Peta Jalur Pemeruman Survei Batimetri	44
Gambar 28. Peta Titik Lokasi Sampling Sedimen Dasar	45
Gambar 29. Kurva gradasi butiran sampel.....	46
Gambar 30. <i>Cutter Suction Dredger 350</i>	47
Gambar 31. <i>split hopper barge</i>	48
Gambar 32. Cross Section Area A2.1	50

Gambar 33. <i>Dumping Are</i>	54
-------------------------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>Bulking factors</i> untuk tipe tanah yang berbeda.....	9
Tabel 2. Kemampuan kapal keruk.....	11
Tabel 3. Konstanta pasang surut.....	21
Tabel 4. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	30
Tabel 5. Data yang dibutuhkan dalam penelitian	30
Tabel 6. Spesifikasi kapal yang tambat di Pelabuhan Bira	40
Tabel 7. Konstanta pasang-surut.....	42
Tabel 8. Elevasi pasang surut	42
Tabel 9. Hasil analisis gradasi butiran dan massa jenis sedimen dasar	45
Tabel 10. Diameter Butiran Kelolosan 50%	46
Tabel 11. Jenis tanah berdasarkan ukuran butiran.....	47
Tabel 12 Spesifikasi kapal <i>cutter suction dredger</i> 350	48
Tabel 13 Spesifikasi <i>split hopper barge</i>	48
Tabel 14 <i>Standard size of ferry boat</i>	49
Tabel 15. Volume total pengerukan.....	51
Tabel 16. <i>Bulking factor</i> pada kapal keruk	51

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
V	volume antar segmen / volume antar penampang luas
L1	Luas segmen satu
d	jarak antar segmen
Vt	volume total area pengerukan
TSHD	<i>Trailing Suction Hopper Dredger</i>
GD	<i>Grab Dredger – GD</i>
BHD	<i>Backhoe Dredger – BHD</i>
BLD	<i>Bucket Ladder Dredger – BLD</i>
SD	<i>Suction Dredger – SD</i>
CSD	<i>Cutter Suction Dredger – CSD</i>
h(t)	Tinggi muka air fungsi dari waktu
Ai	Amplitudo komponen ke-i
ω_i	Kecepatan sudut komponen ke-i
g _i	Fase komponen ke-i
hm	Tinggi muka air rerata
t	Waktu
k	Jumlah komponen
V(t _n)	Residu
SBNP	Sarana Bantu Navigasi Pelayaran
D	<i>draft</i> kapal (m)
G	Gerak vertikal kapal karena gelombang dan <i>squat</i> (m)
R	Ruang kebebasan bersih (m)
P	Ketelitian pengukuran (m)
S	Pengendapan sedimen antara dua pengerukan (m)
K	Toleransi pengukuran (m)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Layout eksisting pelabuhan penyeberangan bira.
- Lampiran 2. Hasil pengamatan pasang surut.
- Lampiran 3. Peta batimetri pelabuhan penyeberangan bira.
- Lampiran 4. Kurva gradasi butiran sampel.
- Lampiran 5. Garis potongan dan segmen area pengerukan.
- Lampiran 6. *Cross section area* pengerukan.
- Lampiran 7. Perhitungan volume pengerukan

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Analisis Pengerukan Kolam Pelabuhan di Pelabuhan Penyeberangan Bira Kabupaten Bulukumba**”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis Menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Ashury, ST., MT.** selaku dosen pembimbing utama skripsi atas segala bimbingan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST. MT.** selaku dosen Pembimbing II yang telah memberikan petunjuk serta saran yang berharga sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Seluruh **Dosen** dan **Staff Akademik** Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin yang telah banyak memberikan pembelajaran dan pengalaman berharga kepada penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin.
5. Keluarga terkhususnya kedua orang tua penulis, ayahanda **Nusdin dan** Ibunda **Farida Mony**, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta atas kesabarannya yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis, yang merupakan anugrah terbesar dalam hidup. Penulis berharap dapat menjadi anak yang dapat membanggakan.
6. Kepada teman-teman **Teknik Kelautan 2018** dan **se-teknik** yang banyak memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis, serta terimakasih telah menjadi keluarga kedua penulis dalam suka duka yang dilalui bersama selama berada di perantaun ini. Tak lupa pula juga penulis ucapkan terima

kasih kepada Kakanda Senior dan Adik Junior atas pembelajaram dan dukungan yang telah diberikan.

7. Pihak-pihak lain yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per-satu.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan pembelajaran dan evaluasi bagi penulis dalam penelitian kedepannya. Penulis berharap semoga tulisan ini bisa bermanfaat bagi pembaca dan kepada penulis terkhususnya. Akhir kata penulis ucapkan,

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, November 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan merupakan kegiatan ekonomi dasar yang penting sehingga banyak kota di dunia dimana kegiatan ekonomi berpusat sekitar pelabuhan. Sebagai bagian dari sistem transportasi dan sebagai turunan pertama dari ekonomi, pelabuhan dapat mempengaruhi ekonomi dan sebaliknya pembangunan ekonomi dapat mempengaruhi kegiatan pelabuhan. Antara lain faktor utama yang mempengaruhi pelabuhan adalah peningkatan jumlah penduduk dunia, dan sumber-sumber bahan baku (Mulyono, 2018)

Pelabuhan Bira merupakan sebuah pelabuhan penyeberangan yang terletak di desa Bira, Bontobahari, Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan. Luas pelabuhan tersebut mencapai 24,5 ha. Pelabuhan ini dibuat untuk melayani arus bongkar muat barang, penumpang dan kendaraan menuju dan dari Kabupaten Bulukumba. Pelabuhan Penyeberangan Bira juga memiliki peran yang besar dalam kelancaran lalu lintas antar pulau. Pelabuhan ini juga menjadi tempat bongkar muat barang dan komoditas hasil hutan, pertanian, perkebunan, dan kebutuhan pokok lain.

Melihat kondisi Pelabuhan Penyeberangan Bira adapun masalah yang terjadi pada area kolam labuh yang mana terdapat terumbu karang di beberapa titik dan terjadinya sedimentasi yang mengakibatkan kandasnya kapal yang masuk ke dalam area kolam labuh, hal ini yang menjadi salah satu faktor utama yang menghambat aktivitas pelayaran di Pelabuhan Penyeberangan Bira. Untuk mencegah permasalahan yang terjadi maka perlu dilakukan kegiatan perencanaan pengerukan dasar laut guna mendapatkan kedalaman yang dibutuhkan agar aktivitas pada Pelabuhan Penyeberangan Bira ini tidak terhambat dan berjalan sebagaimana mestinya.

1.2 Rumusan masalah

Meninjau fungsi dari pelabuhan itu sendiri agar dapat bermanfaat dengan baik, maka perlu dilakukan upaya perawatan pelabuhan, seperti pekerjaan pengerukan pada kolam labuh. Maka dari itu perlu dilakukan studi mengenai permasalahan tersebut. Adapun rumusan masalah yang ada pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimna kondisi eksisting hidro-oseanografi yang ada pada Pelabuhan Penyeberangan Bira?
2. Berapa volume kerukan yang perlu dilakukan guna memenuhi kedalaman yang dibutuhkan dalam melayani kapal yang akan keluar atau masuk pelabuhan?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kondisi eksisting hidro-oseanografi yang ada pada Pelabuhan Penyeberangan Bira
2. Untuk mengetahui besaran volume keruk yang perlu dilakukan guna memenuhi kedalaman yang dibutuhkan dalam melayani kapal yang akan keluar atau masuk pelabuhan.

1.4 Manfaat penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini diharapkan memiliki manfaat dari berbagai pihak. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai bahan pertimbangan untuk pihak otoritas pelabuhan dalam melakukan pengerukan pada kolam pelabuhan Penyeberangan Bira.
2. Sebagai referensi bagi peneliti dalam merencanakan proyek serupa dikemudian hari.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka batasan penelitan ini hanya membahas mengenai kegiatan survei pemetaan laut (survei batimetri), menganalisis perencanaan pengerukan pada kolam pelabuhan dan data pendukung lainnya serta gambaran umum mengenai kondisi eksisting hidro-oseanografi yang ada pada Pelabuhan Penyeberangan Bira.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis sekaligus memungkinkan pembaca dapat menginterpretasikan hasil tulisan secara tepat, maka tugas akhir ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan konsep penyusunan penelitian yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas tentang teori-teori yang mendukung dan relevan dengan penelitian. Mulai dari pengertian alur pelayaran, jenis-jenis sarana bantu navigasi, pekerjaan pengerukan, kegiatan survei batimetri, teori pasang surut dan elevasi muka air rencana, sedimentasi, dan pengolahan data batimetri.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memberikan penjelasan tentang lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan selama kegiatan pengukuran batimetri, metode pengambilan dan pengolahan data, serta bagan alur penelitian yang dilakukan.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang hasil pengamatan dan pengukuran batimetri, secara langsung di lapangan yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan beberapa aplikasi pendukung dengan mempertimbangkan beberapa aspek yang ada dan menghitung besarnya volume keruk pada area kolam labuh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan yang dibahas pada bab-bab sebelumnya yang mencakup kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengukuran dan pengolahan data batimetri serta saran-saran yang berkaitan dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerukan (*Dredging*)

Pengerukan (*dredging*) adalah mengambil tanah atau material dari lokasi di dasar air, perairan dangkal seperti danau, sungai, muara ataupun laut dangkal, dan memindahkan atau membuangnya ke lokasi lain (Yuwono dkk., 2014). Sedangkan menurut Mahendra (2014), pengerukan merupakan bagian dari ilmu sipil yang memiliki pengertian pemindahan material dari dasar bawah air dengan 10 Institut Teknologi Nasional menggunakan peralatan keruk, atau setiap kegiatan yang mengubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan, seperti laut, sungai, danau, pantai ataupun daratan sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk (Rizkiansyah, 2020).

Menurut PERMENHUB PM No 52 Tahun 2011 Pasal 1 ayat 1, Pengerukan adalah pekerjaan mengubah bentuk dasar perairan untuk mencapai kedalaman dan lebar yang dikehendaki atau untuk mengambil material yang dipergunakan untuk keperluan tertentu.

Pengerukan dilakukan pada saat pembangunan pelabuhan (*capital dredging*), yaitu dalam melaksanakan pembuatan kolam pelabuhan, pembuatan alur pelayaran, perataan dasar (alas) pemecah gelombang. Disamping itu, pengerukan digunakan juga dalam memelihara (*maintenance dredging*) ke dalam kolam pelabuhan, alur pelayaran atau alur sungai, dikarenakan adanya pergerakan dan pengendapan lumpur (*sediment transport*) di alur pelayaran mengakibatkan pendangkalan, sehingga kedalamannya tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku bagi alur pelayaran di Pelabuhan (Fitrah, 2022)

Secara teknis, pengerukan itu adalah merelokasi sedimen bawah air untuk pembangunan dan pemeliharaan saluran air, tanggul dan prasarana transportasi laut, serta untuk perbaikan tanah atau reklamasi. Jadi pada gilirannya nanti, pengerukan itu juga menopang pembangunan dan pengembangan sosial, ekonomi dan restorasi lingkungan. Pekerjaan pengerukan itu sendiri untuk pembangunan yang berkelanjutan, seperti proyek-proyek infrastruktur yang menggunakan pendekatan holistik. merupakan satu kesatuan yang utuh serta saling keterkaitan (Mahendra, 2014).

2.1.1 Tipe-tipe Pengerukan

Pekerjaan pengerukan dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu (Josep, 2019):

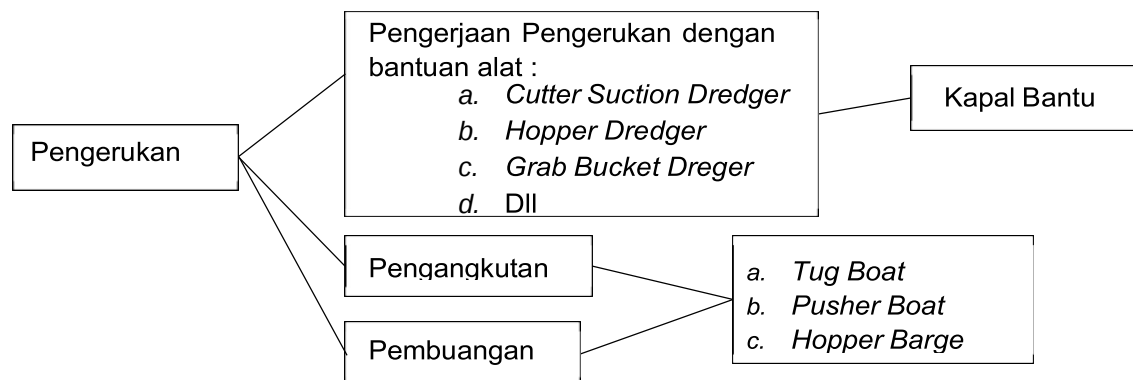
1. Pengerukan awal (*capital dredging*) yang dilakukan pada tipe tanah yang telah lama mengendap. Pengerukan jenis ini biasanya digunakan dalam pengerjaan pelabuhan, alur pelayaran, waduk, atau area yang akan digunakan sebagai industri;
2. Pengerukan perawatan (*maintenance dredging*) yang dilakukan pada tipe tanah yang belum lama mengendap. Pengerukan ini dilakukan untuk membersihkan siltation yang terjadi secara alami. Pengerukan ini biasanya diterapkan pada perawatan alur pelayaran dan pelabuhan;
3. Pengerukan ulang (*remedial dredging*) yang dilakukan pada wilayah yang telah dikeruk namun mengalami kesalahan, biasanya berupa kesalahan kedalaman.

2.1.2 Proses Pengerukan

Menurut Bray dan Cohen (2010), pada umumnya proses pengerukan dilakukan dalam 4 tahapan, yaitu:

1. Penggalian (*Excavation*)
2. Transport Vertikal (*Vertical Transport*)
3. Transport Horizontal (*Horizontal Transport*)
4. Pembuangan atau penggunaan material kerukan

Sedangkan menurut Adlin (2017), pekerjaan pengerukan secara garis besar dapat dibagi dalam 3 proses utama, yaitu penggalian, pengangkutan, dan pembuangan. Masing-masing proses ini dibantu oleh kapal dalam pengerjaannya.



Gambar 1. Proses pengerukan
(Sumber: Adlin, 2017)

2.1.3 Tujuan Pengerukan

Tujuan pengerukan menurut Bray dan Cohen (2010) adalah sebagai berikut :

1. Pelayaran : Untuk membuat atau memperpanjang pelabuhan, untuk memelihara perluasan, perbaikan sarana lalu lintas laut pelabuhan.
2. Konstruksi dan Reklamasi : Untuk mendapatkan material bangunan seperti pasir, kerikil, dan tanah liat atau untuk menimbun lahan (dengan material kerukan) sebagai tempat membangun daerah industri, pemukiman, jalan dan lainnya.
3. Perbaikan Lingkungan : Untuk menghilangkan atau memulihkan polutan pada saluran air dan meningkatkan kualitas air.
4. Pengendali Banjir : Untuk memperbaiki atau memperlancar aliran sungai dengan memperdalam dasar sungai.
5. Pertambangan : Untuk memperoleh bahan-bahan tambang seperti mineral dan lainnya.

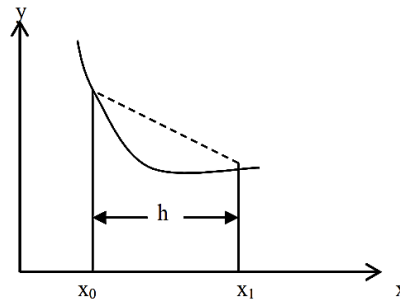
2.1.4 Perhitungan Volume Pengerukan

Dalam hitungan pengerukan, data utama yang digunakan adalah data kedalaman perairan yang didapatkan dari pelaksanaan survei batimetri. Data kedalaman yang didapatkan kemudian dikoreksi dahulu terhadap pasang surut. Data batimetri yang sudah dikoreksi selanjutnya ditentukan area pengerukan dalam perhitungan volume keruk.

Hitungan volume didapatkan dengan menggunakan beberapa pendekatan seperti Metode Pias yaitu hitungan berdasarkan tafsiran integral yang dibagi atas sejumlah pias (segmen) yang berbentuk segiempat, kemudian Metode Newton-Cotes yaitu pendekatan berdasarkan polinom interpolasi. Metode ini yang umum digunakan dalam menurunkan rumus integrasi numerik. Tiga metode yang terkenal berdasarkan Metode Newton-Cotes yaitu : Metode Trapezium (*Trapezoidal Rule*), Metode Simpson 1/3 (*Simpson's 1/3 Rule*), dan Metode Simpson 3/8 (*Simpson's 3/8 Rule*). Pendekatan ketiga yaitu dengan Metode Kuadrat Gauss (Santoso et al., 2015). Namun pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu Metode Newton-Cotes Trapezium dikarenakan metode ini cukup efisien dan akurat dalam perhitungan volume keruk

Pada Metode Trapezium, perhitungan volume keruk dilakukan secara manual dengan hitungan luasan pada beberapa segmen. Luas daerah yang

dihitung sebagai hampiran nilai integrasi adalah daerah di bawah garis lengkung, lihat sebuah pias berbentuk trapesium dari $x = x_0$ sampai $x = x_1$ sebagai berikut :



Gambar 2. Metode trapesium
(Sumber : Santoso et al., 2015)

Setelah didapatkan luasan tiap area, maka dimasukkan kedalam hitungan volume keruk dalam mencari nilai volume antara dua segmen sebagai berikut :

$$V1 = \frac{1}{2} (L1+L2) \times d \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

V = volume antar segmen / volume antar penampang

$L1$ = luas segmen satu

$L2$ = luas segmen kedua

d = jarak antar segmen

Rumus volume total area adalah penjumlahan antara rumus volume dua segmen sehingga didapatkan rumus sebagai berikut :

$$Vt = V1 + V2 + Vn \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

Vt = volume total area pengerukan

$V1$ = volume antar $L1$ dan $L2$

$V2$ = volume antar $L2$ dan $L3$

Vn = volume antar $Ln-1$ dan Ln

2.1.5 Produktivitas Pengerukan

Estimasi kinerja dari sebuah kapal keruk dalam setiap kondisi itu tidaklah mudah. Tetapi, tidak hanya insinyur yang sangat berpengalaman atau secara teknis dapat menguasainya. Tentu saja untuk organisasi yang memiliki dan menjalankan kapal keruk, dan harus membangun detail catatan dari tiap performa kapal keruk, akan sangat cocok untuk menilai kinerja dari unit tertentu, tapi didalam memberikan informasi yang cukup, setiap insinyur seharusnya bisa

untuk menilai kinerja kapal keruk dengan tingkat akurasi yang cukup untuk dapat memahami program dan anggaran biaya pekerjaan untuk dibuat (Bray, 1979).

Kinerja, produksi dan hasil merupakan syarat yang digunakan untuk menggambarkan nilai dimana kapal keruk bisa memindahkan material keruk. Didalam bab ini syarat dari hasil kinerja akan digunakan dan ditentukan oleh kuantitas *in situ* dari tanah keruk dalam periode waktu yang diberikan. Sebuah kapal keruk akan mempunyai nilai hasil untuk kondisi apapun tergantung dari periode waktu yang dipertimbangkan. Hasil kinerja harus berkualitas sebagaimana mengikuti :

1. *Hourly output* – rata-rata jumlah pengerukan didalam satu jam pengerjaan.
2. *Shift output* – rata-rata jumlah pengerukan selama satu *shift* yang utuh.
3. *Weekly output* – rata-rata jumlah pengerukan didalam satu minggu.
4. *Annual output* – jumlah total pengerukan dalam satu tahun.

Produktivitas pengerukan sangat tergantung dari volume pengerukan dan produktivitas kapal keruk itu sendiri, kapal keruk hidrolis memiliki produktivitas lebih tinggi daripada kapal keruk mekanik (Yunus, 2016). Perhitungan waktu pengerukan adalah sebagai berikut:

$$\text{Waktu Pengerukan} = \frac{V}{P_{max}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

V = Volume Pengerukan. (m^3)

P_{max} = Produktivitas maksimum kapal keruk. (m^3/jam)

2.1.6 Bulking Factors

Hasil kinerja telah ditentukan oleh kuantitas *in situ* dari tanah pengerukan didalam satu periode waktu yang diberikan. Didalam prakteknya, karakteristik dan terutama kepadatan dari tanah akan berubah selama proses pengerukan berlangsung. Perubahan kepadatan disebabkan oleh bentukan lubang di tanah. Dimana akan terisi air disaat proses pengerukan terganggu. Jadi ketika kapal keruk mengangkat tanah dari dasar laut yang dimana tanah akan memenuhi *hopper* atau area reklamasi, volumenya akan lebih besar ketika memenuhi *in situ*. Peningkatan ini dapat dinyatakan dalam persentasi volume *in situ* atau rasio dari dua volume yang akan diketahui sebagai *bulking factor* (Bray, 1979).

Ketika mengestimasi hasil untuk kapal keruk mekanis dan *hopper*, diperlukan untuk menilai *bulking factor* untuk soal tanah tertentu. Pada tabel 1 memberikan indikasi rentang nilai yang kemungkinan besar akan ditemui. Untuk

kapal keruk hidrolik, tingkat *bulking* akan berubah sesuai dengan densitas material in situ yang akan dikeruk, jarak pipa atau kapasitas *hopper* dan diameter pipa.

Tabel 1 *Bulking factors* untuk tipe tanah yang berbeda.

Soil Type	Bulking Factor (B)
Hard rock (blasted)	1.50-2.00
Medium rock (blasted)	1.40-1.80
Soft rock (unblasted)	1.25-1.40
Gravel, hardpacked	1.35
Gravel, loose	1.10
Sand, hardpacked	1.25-1.35
Sand, medium to hard	1.15-1.25
Sand, soft	1.05-1.15
Silts, freshly deposited	1.00-1.10
Silts, consolidated	1.10-1.40
Clay, very hard	1.15-1.25
Clay, medium to soft hard	1.10-1.15
Clay, soft	1.00-1.10
Sand/gravel/clay mixtures	1.15-1.35

(Sumber : Bray, 1979)

2.1.7 Produktivitas Barge

Produktivitas *barge* ditentukan oleh siklus waktu dari pengerukan, yaitu *loading time*, *travelling time*, *unloading time*, *return time* (Yunus, 2016). Berikut adalah perhitungan produktivitas *barge*:

1. Loading Time

Loading time adalah waktu yang digunakan untuk mengangkut material. Berikut merupakan persamaan rumus yang digunakan untuk memperoleh *loading time*:

$$\text{Loading Time} = \frac{H}{P_{\max}} \dots\dots\dots(4)$$

2. Travelling Time

Travelling Time adalah waktu yang digunakan saat perjalanan ke lokasi pembuangan. *Travelling Time* dipengaruhi oleh jarak *dumping area* dan juga kecepatan dari *barge*.

$$\text{Travelling Time} = \frac{\text{Jarak Dumping Area}}{\text{Kecepatan kapal}} \dots\dots\dots(5)$$

3. Unloading Time

Unloading time adalah waktu yang digunakan *barge* untuk membuang material hasil pengerukan.

4. Return Time

Return Time adalah waktu yang digunakan saat perjalanan kembali ke lokasi keruk. Perhitungan waktu kembali dipengaruhi oleh kecepatan kapal saat muatan kosong dan jarak *dumping area*.

$$\text{Return Time} = \frac{\text{Jarak Dumping Area}}{\text{Kecepatan kapal}} \dots\dots\dots (6)$$

Setelah memperoleh waktu siklus, maka dihitung pula jumlah siklus dalam 1 hari sesuai dengan lama jam kerja yang ditetapkan. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah siklus:

$$\text{Jumlah siklus} = \frac{\text{Jam kerja}}{\text{waktu siklus}} \dots\dots\dots (7)$$

Menghitung jumlah total angkut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total angkut} = \frac{\text{jumlah total volume}}{\text{volume yang diangkut perhari}} \dots\dots\dots (8)$$

2.2 Kapal Keruk

Menurut Pullar dan Stuart (2009) secara umum, pemilihan peralatan pengerukan untuk sebuah proyek ditentukan oleh kontraktor yang ditunjuk untuk pekerjaan berdasarkan ketersediaan saat rencana dan keuangan. Berikut ini adalah daftar peralatan pengerukan yang pada prinsipnya bisa digunakan untuk mengeruk perairan:

1. *Trailing Suction Hopper Dredger* – TSHD
2. *Grab Dredger* – GD
3. *Backhoe Dredger* – BHD
4. *Bucket Ladder Dredger* – BLD
5. *Suction Dredger* – SD
6. *Cutter Suction Dredger* – CSD

Ketika memilih jenis peralatan yang sesuai yang akan digunakan, kontraktor akan memeriksa persyaratan kontrak dan materi serta tata letak pekerjaan pengerukan. Aspek yang akan dipertimbangkan adalah :

1. Kemampuan untuk mengeruk material secara efektif dan ekonomis.
2. Potensi untuk meminimalkan toleransi pengerukan untuk mencapai kedalaman yang dibutuhkan.
3. Kemampuan untuk mengangkut hasil kerukan ke area pembuangan.
4. Fleksibilitas kerja dalam segala kondisi cuaca.

5. Aspek lingkungan.
6. Efisiensi waktu dan biaya dalam pengerjaan proyek.

Jenis Tanah menjadi faktor utama yang mempengaruhi dalam pemilihan kapal keruk dan produktivitas kapal.

Selain jenis tanah dalam pemilihan kapal keruk juga mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Karakteristik tanah/batuan dasar laut.
2. Area pengerukan.
3. Volume tanah/batuan yang akan dikeruk.
4. Kondisi perairan laut.
5. Lalu lintas kapal di lokasi pengerukan.
6. Keadaan cuaca.
7. Lokasi pembuangan material keruk.
8. Produksi kapal keruk.

Menurut Vlasblom (2003) dalam bukunya yang berjudul *Introduction of Dredging Equipment* terdapat tabel kemampuan kapal keruk berdasarkan beberapa aspek pertimbangan seperti berikut ini:

Tabel 2. Kemampuan kapal keruk

	<i>Bucket Dredger</i>	<i>Grab Dredger</i>	<i>Backhoe Dredger</i>	<i>Suction Dredger</i>	<i>Cutter Dredger</i>	TSHD
Mengeruk Material Pasir	√	√	√	√	√	√
Mengeruk Material Clay	√	√	√	√	√	√
Mengeruk Material Batu	√	-	√	-	√	-
Penambat Kedalaman Keruk Maks. (meter)	√	√	-	√	√	-
Akurasi Pengerukan	30	>100	20	70	25	100
Bekerja di Laut Lepas	√	-	√	-	√	-
	-	√	-	√	-	√

	<i>Bucket Dredger</i>	<i>Grab Dredger</i>	<i>Backhoe Dredger</i>	<i>Suction Dredger</i>	<i>Cutter Dredger</i>	TSHD
Pembuangan dengan <i>pipeline</i>	-	-	-	√	√	-

(Sumber : Vlasblom, 2003)

2.3.1 *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD)

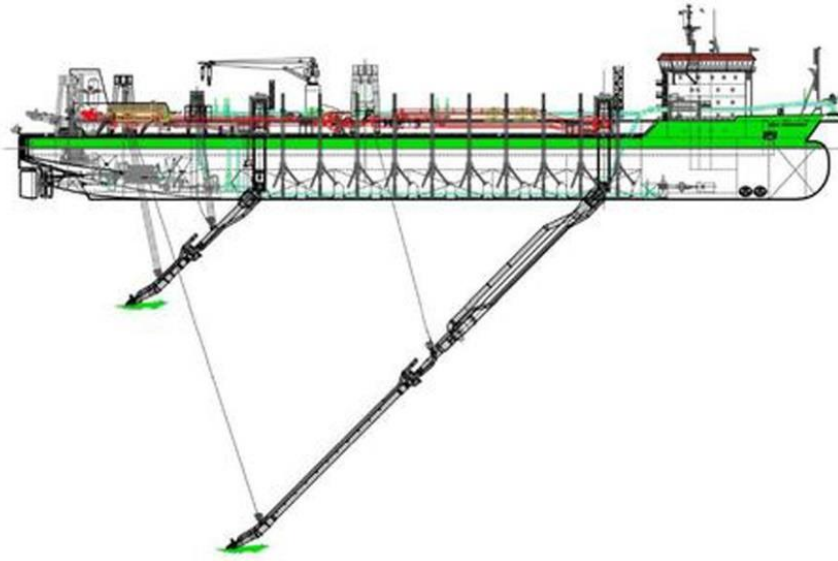
Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD) merupakan jenis kapal keruk yang dilengkapi dengan *propeller* (untuk berlayar) dan ruang muatan material (*Hopper*). Ukuran dari kapal keruk jenis TSHD ini adalah kapasitas *hopper*, dan saat ini sudah berbagai ukuran yang telah dibangun dan dioperasikan. Berikut ini adalah gambar TSHD dengan berbagai ukuran yang telah dibangun berbasiskan kapasitas.

Kapal TSHD dapat dioperasikan di segala medan dan cuaca, karena kapal ini dilengkapi dengan alat gerak untuk berlayar sendiri. TSHD merupakan jenis kapal keruk yang cepat pertumbuhan dan perkembangannya, karena banyak permintaan terhadap kapal ini dan serba guna/*multi purpose*. Kelebihan dari kapal ini yaitu :

1. Memiliki kemampuan pada hampir semua jenis tanah, sangat efisien dalam lumpur dan pasir.
2. Pada umumnya dilengkapi dengan teknologi yang canggih.
3. Tingkat kekeruhan yang dihasilkan relatif rendah.
4. Dapat bekerja dalam cuaca buruk dan kondisi laut.
5. Kapasitas produksi yang relatif tinggi (1000-12.500 m³/jam).
6. Mampu mengangkut material pada jarak yang jauh.

Sedangkan, kekurangan yang dimiliki untuk kapal TSHD adalah :

1. Membutuhkan kedalaman air yang cukup dalam pada area pengerukan, pembuangan, maupun rutenya.
2. Kemampuan terbatas untuk mengeruk batu karang.
3. Tidak mampu bekerja di daerah terbatas.
4. Material keruk yang kohesif sulit dikeluarkan dari *hopper*.

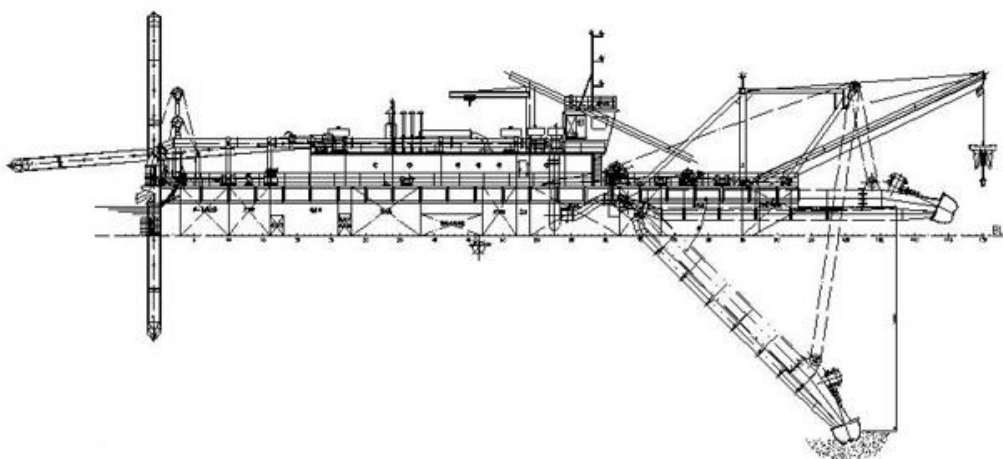


Gambar 3. *Trailing suction hopper dredger.*

(Sumber : <https://www.jinbomarine.com/trailing-suction-hopper-dredger.html>, 2023)

2.3.2 Cutter Suction Dredger (CSD)

Kapal keruk berdasarkan cara penggalian dan operasinya dapat dibagi dalam 3 jenis, yaitu cara mekanik, cara hidrolik dan cara hidrodinamik. Kapal keruk Hidrolik itu mencakup seluruh peralatan keruk yang menggunakan Pompa sentrifugal dalam sistem transportasinya memindahkan material hasil pengerukan. CSD diklasifikasikan kedalam kapal keruk hidrolik, yang memiliki kemampuan untuk mengeruk hampir seluruh jenis tanah (pasir, tanah liat, batu).



Gambar 4. *Cutter suction dredger.*

(Sumber : <http://www.hiseadredge.com/12-inch-cutter-suction-dredger/>, 2023)

Prosedur pekerjaan pengerukan dengan menggunakan *Cutter Suction Dredger*. Pergerakan CSD dalam mengeruk menggunakan jangkar yang disambung dengan *Sling* yang diikatkan pada *Cutterhead*, dengan *Winch Draghead* ditarik kekiri-kanan untuk memotong material di dalam air. Sedangkan satu *spud* bekerja agar CSD tetap pada posisinya. Untuk menggerakkan CSD pada lokasi lain dengan menggunakan *spud* (seperti melangkah) salah satu *spud station* dan *spud* lainnya bergerak maju. Untuk pergerakan vertikal *draghead*, dengan menggunakan *winch* yang disambungkan dengan sling dan diikatkan pada *Pontoon/Barge*. Segala kegiatan dalam air dimonitor melalui komputer, yaitu pergerakan *draghead*, sudut CSD dan tekanan pada pipa buang material disalurkan melalui pipa. Kelebihan kapal jenis ini adalah:

1. Mampu mengeruk berbagai bahan, termasuk batu.
2. Dapat memindahkan material kerukan langsung ke pembuangan terdekat, daerah reklamasi, maupun ke dalam tongkang.
3. Dapat mengeruk dengan menggali jalan ke depan saat mengeruk daerah yang dangkal.
4. Kapasitas produksi cukup tinggi (500-3.000 m³/jam, tergantung ukuran kapal, kapasitas *barge* penampung, dan tipe tanah).

Sedangkan, kekurangan dari kapal *cutter suction dredger* adalah:

1. Keterbatasan kerja dalam kondisi gelombang sedang.
2. Kurang fleksibel dalam perubahan lokasi.

2.3.3 *Grab Dredger*

Grab dredger terdiri dari *pontoon* sederhana yang dilengkapi dengan *grab crane* dan tidak dilengkapi dengan *hopper* atau lambung kapal, oleh karena itu *grab dredger* harus dilengkapi dengan *hopper barge* saat melakukan pengerukan untuk menampung dan membuang hasil kerukan. Kapal ini memiliki kelebihan sebagai berikut :

Dapat mengeruk dengan cara membuat jalan di depan kapal ketika melakukan pengerukan di daerah yang dangkal.

1. Cocok untuk daerah pengerukan terbatas dan untuk berbagai kedalaman.
2. Dapat mengeruk tanah yang cukup padat, seperti tanah liat dan bebatuan yang longgar.
3. Ukuran material yang diambil dapat diubah sesuai kebutuhan (1 m³-20 m³).

Sedangkan, kekurangan dari *grab dredger* sendiri adalah:

1. Kurang produktif jika digunakan untuk mengeruk tanah dan bebatuan yang keras.
2. Produktivitas relatif rendah ($100\text{--}800\text{ m}^3/\text{jam}$ tergantung pada ukuran *grab* dan material).
3. Menghasilkan kekeruhan yang relatif tinggi namun bisa diatasi dengan menggunakan *grab special*.
4. Tidak mudah dipindahkan dari jalur pelayaran.
5. Dibutuhkan yang sesuai untuk kapal tunda dan tongkang.

Crane dilengkapi dengan *grab bucket*, ukuran *grab bucket* ini bervariasi antara $0,75\text{--}200\text{ m}^3$ namun biasanya untuk ukuran diatas 20 m^3 sulit ditemukan dipasaran.



Gambar 5. *Grab dredger*.

(Sumber : <https://www.pixtastock.com/illustration/4793813>, 2023)

2.3.4 *Backhoe Dredger*

Backhoe Dredger (BHD) merupakan kapal keruk yang terdiri dari *excavator* darat yang dipasang disalah satu ujung ponton. Ukuran *excavator* dan ember bervariasi dengan sifat material yang akan dikeruk dan kedalaman pengerukan. Hasil kerukan akan diangkat dan dituangkan ke dalam tongkang. Kelebihan metode pengerukan ini adalah:

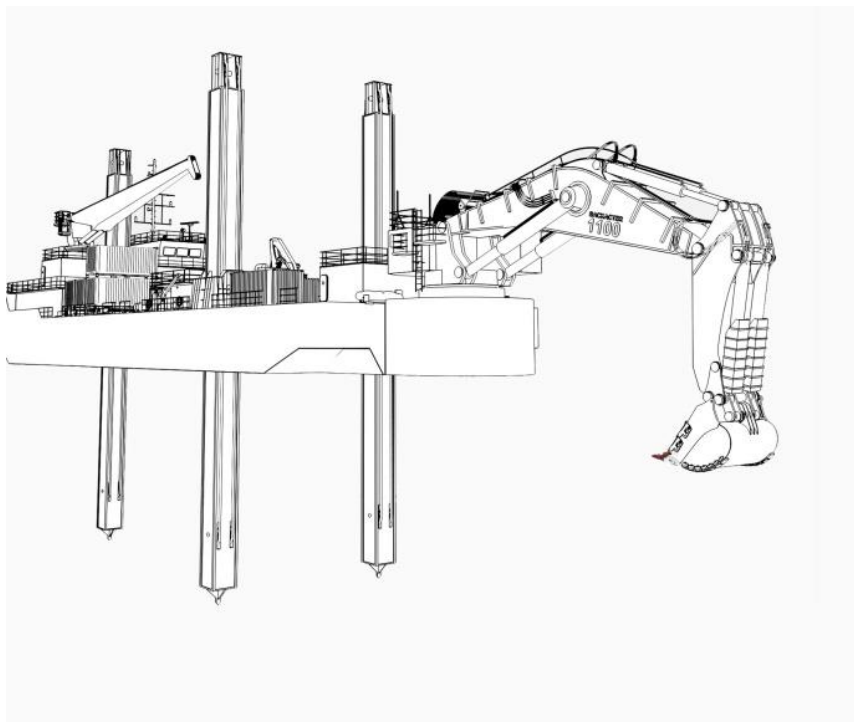
1. Dapat mengeruk tanah yang kohesif.
2. Efektif digunakan di area pengerukan yang terbatas.

3. Dapat mengeruk dengan menggali jalan ke depan saat pengerukan daerah dangkal.

4. Posisi dan kontrol kedalaman penggalian sangat akurat.

Sedangkan, kekurangan yang dimiliki dari *backhoe dredger* adalah:

1. Kedalaman pengerukan dibatasi pada panjang lengan *excavator*.
2. Tingkat produksi relatif rendah (200-800 m³/jam tergantung bahan dan emberkeruk).
3. Tidak mudah digerakkan.
4. Menghasilkan kekeruhan yang relatif tinggi.



Gambar 6. *Backhoe dredger*

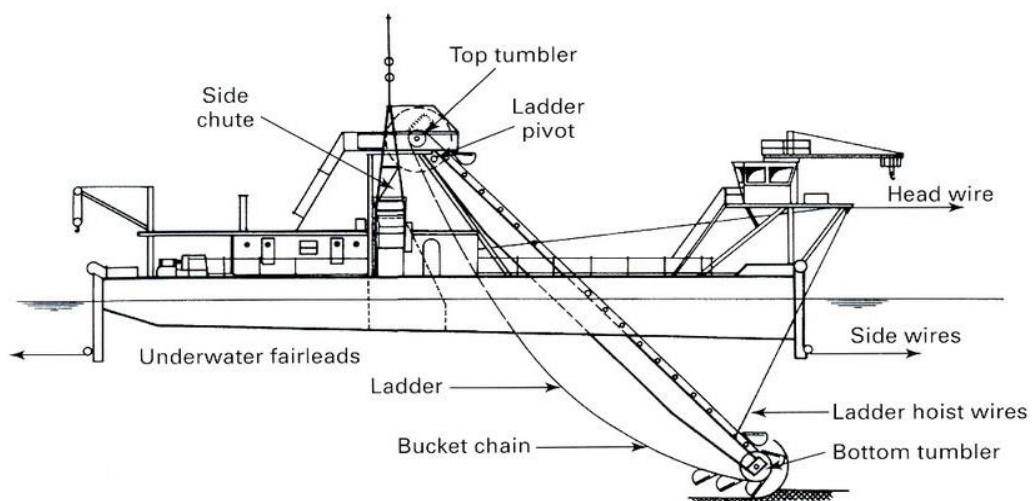
(Sumber : <https://mtgcorp.com/en/dredging/backhoe-dredger>, 2023)

2.3.5 *Bucket Ladder Dredger*

Bucket Ladder Dredger merupakan kapal keruk dengan sistem kerja berupa rantai ember yang mengeruk dasar laut secara terus menerus kemudian menuangkannya ke tongkang yang tertambat pada kapal. Kapal ini bergerak sistematis di atas area pengerukan dengan menggunakan sistem *mooring lines* dan derek. Kelebihan kapal jenis ini adalah:

1. Dapat mengeruk semua tipe tanah yang sulit diremas.
2. Dapat mengeruk material yang mengarah ke area dangkal.
3. Merupakan sistem pengerukan yang kontinyu.

4. Bisa mengeruk dengan menggali jalan ke depan saat pengerukan wilayah dangkal.
 5. Tidak terpengaruh oleh batu-batu besar dan puing-puing.
 6. Kontrol kedalaman yang relatif akurat meminimalkan toleransi pengerukan.
- Sedangkan, beberapa kekurangan yang dimiliki *bucket ladder dredger* adalah berikut ini :
1. Penyebaran jangkar yang luas dapat mengganggu navigasi.
 2. Mobilitas yang buruk.
 3. Tidak terlalu bisa diterapkan dalam kondisi berombak.
 4. Tingkat produksi yang rata-rata ($200-1000 \text{ m}^3/\text{jam}$ tergantung ukuran ember, tanah dan tongkang).
 5. Potensi untuk menghasilkan tingkat kekeruhan tinggi terutama pada bahan halus



Gambar 7. *Bucket ladder dredger*
(Sumber : Bray, 1979)

2.3 Hidro-oceanografi

2.3.1 Batimetri

Batimetri (dari bahasa Yunani: *bathy*, berarti “kedalaman”, dan *metry*, berarti “ukuran”) adalah ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi lantai samudra atau danau. Sebuah peta batimetri umumnya menampilkan relief lantai atau dataran dengan garis-garis kontur (*countour lines*) yang disebut kontur kedalaman (*depth contours* atau *isobath*), dan dapat memiliki informasi tambahan berupa informasi navigasi permukaan.

Survei batimetri adalah proses penggambaran dasar perairan, dimulai dari pengukuran, pengolahan, hingga visualisasi dasar perairan. Awalnya, batimetri mengacu kepada pengukuran kedalaman samudra. Teknik-teknik awal *bathimetri* menggunakan tali berat terukur atau kabel yang diturunkan dari sisi kapal. Keterbatasan utama teknik ini adalah hanya dapat melakukan satu pengukuran dalam satu waktu sehingga dianggap tidak efisien. teknik tersebut juga menjadi subjek terhadap pergerakan kapal dan arus.

Pemeruman adalah proses dan aktivitas yang ditunjukan untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan (topografi) dasar perairan (*seabed surface*). Proses penggambaran dasar perairan tersebut (sejak pengukuran, pengolahan hingga visualisasinya) disebut sebagai survei batimetri. Pemeruman dilakukan dengan membuat profil (potongan) pengukuran kedalaman. Lajur perum dapat berbentuk garis-garis lurus, lingkaran-lingkaran kosentrik, atau lainnya sesuai metode yang digunakan untuk penentuan posisi fiks perumnya. Lajur-lajur perum didesain sedemikian rupa sehingga memungkinkan pendeteksian perubahan kedalaman yang lebih ekstrim. Untuk itu, desain lajur-lajur perum harus memperlihatkan kecenderungan bentuk dan topografi pantai 10 di sekitar perairan yang akan disurvei. Agar mampu mendeteksi perubahan kedalaman yang lebih ekstrim lajur perum dipilih dengan arah yang tegak lurus terhadap kecenderungan arah garis pantai (Erlian, 2019).

2.3.2 Sedimentasi

Sedimentasi Adalah proses pengendapan material yang terbawa oleh air, angin, maupun gletser. Sedimentasi dapat terjadi di muara sungai dan di pelabuhan. Sedimentasi di muara sungai terdiri atas proses penutupan dan proses pendangkalan muara.

Penutupan sungai terjadi tepat di mulut sungai pada pantai yang berpasir atau berlumpur, yaitu dengan terjadinya formasi ambang di muara. Proses ini biasanya disebabkan karena debit sungai kecil, terutama di musim kemarau, sehingga aliran air tidak mampu membilas sedimen. Pendangkalan muara sungai dapat terjadi mulai dari muara ke udik sampai pada suatu lokasi di sungai dimana pengaruh intrusi air laut (pengaruh pasang surut dan pencampuran air garam) masih ada (Muliati, 2010).

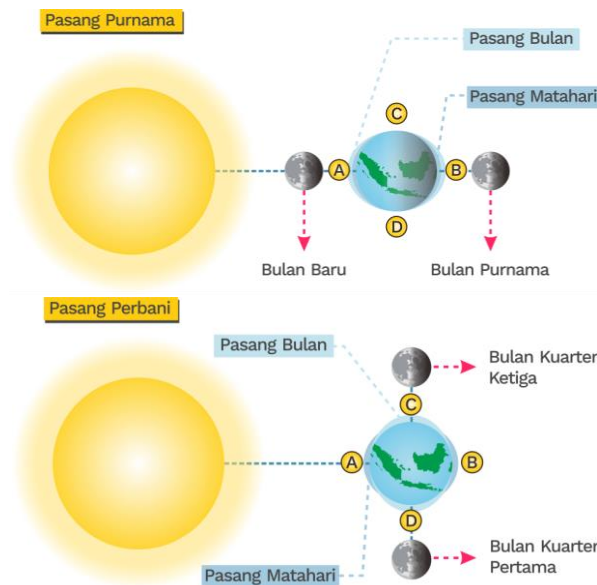
Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa

batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air. Oleh karena itu pengendapan dapat terjadi pada aliran-aliran sungai, danau, dan juga laut yang memiliki arus yang cenderung aktif. Batuan yang dihasilkan pada saat kegiatan pelapukan secara berangsur-angsur akan terbawa ke tempat yang lain oleh aliran air, angin, dan juga aktivitas es yang mencair. Untuk kasus endapan di daerah laut juga dapat dibawa oleh kapal- kapal yang sedang berlalu lintas yang ditambah dengan adanya arus laut (Hambali and Apriyanti, 2016).

2.3.3 Pasang Surut

Pasang surut (*Tides*) didefinisikan sebagai perubahan jangka pendek pada ketinggian permukaan laut yang disebabkan oleh gaya gravitasi bulan dan matahari dan rotasi bumi. (Indiana University, 2007; Gerwick. Jr, 2007). Jadi pasang laut adalah naik atau turunnya (fluktuasi) posisi permukaan perairan atau samudera yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari (Yayasan PPEWP, 2015) atau karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo, 1999; Mahatmawati, Efendy, & Siswanto, 2009).

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Pasangnya air laut dipengaruhi oleh gaya gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi. Tetapi pasang terutama disebabkan oleh gaya gravitasi bulan karena jarak antara bumi dengan bulan jauh lebih dekat daripada jarak antara bumi dengan matahari. Jika antara gravitasi bulan dan gravitasi matahari bekerja dalam arah yang sama akan terjadi pasang yang sangat besar. Untuk setiap kali bulan melintasi meridian, akan terjadi dua pasang yang utama karena pengaruh gravitasi bulan. dalam satu bulan terdapat dua pasang purnama dan dua pasang perbani. Di mana pasang purnama ditandai dengan pasang terbesar dan pasang perbani ditandai dengan pasang terkecil (Muliati, 2010).

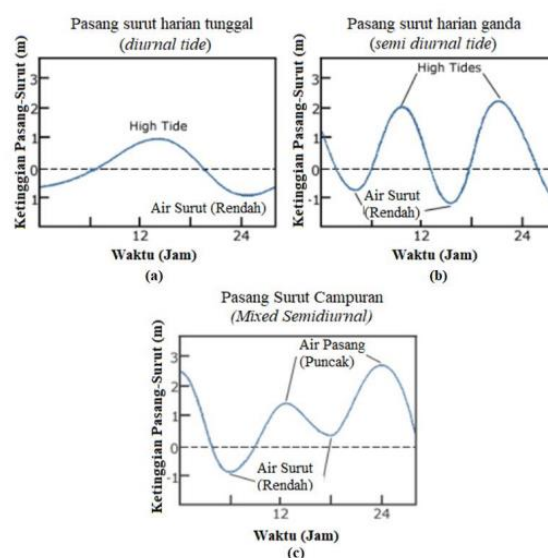


Gambar 8. Pasang purnama dan pasang perbani

(sumber: <https://www.selamatpagi.id/pasang-surut-air-laut/#!/>, 2023)

Pasang surut yang merupakan fenomena alam berkala berupa menyusut dan meningginya permukaan air laut ternyata mempunyai beberapa tipe yang berbeda-beda. Tipe- tipe pasang surut air laut ini berbeda apabila dilihat dari waktu terjadinya.

Jenis pasang surut secara umum dibagi menjadi tiga jenis yaitu, Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), dan gabungan pasang surut harian tunggal dan ganda (*mixed semidiurnal tide*) seperti Gambar 10. (NOAA, 2005; Cornell, et al., 2018).



Gambar 9. Jenis pasang-surut
(Sumber: NOAA, 2005)

Metode yang biasa digunakan untuk proses analisis pasut adalah metode harmonik menggunakan metode hitung kuadrat terkecil (*least square*). Prinsip analisis pasut dengan metode kuadrat terkecil yaitu dengan meminimalkan perbedaan sinyal komposit dan sinyal ukuran. Perhitungan metode kuadrat terkecil dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$h(t) + v(t_n) = h_m + A_i \cos(\omega_i t - g_i) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$h(t)$: tinggi muka air fungsi dari waktu

A_i : amplitudo komponen ke-i

ω_i : kecepatan sudut komponen ke-i

g_i : fase komponen ke-i

h_m : tinggi muka air rerata

t : waktu

k : jumlah komponen

$V(t_n)$: residu

Hasil proses analisis harmonik pasang surut adalah nilai amplitudo dan beda fase dari konstanta harmonik pasang surut. Konstanta harmonik pasut adalah konstanta-konstanta yang dapat menyebabkan terjadinya pasang surut. Konstanta pasang surut memiliki sifat yang harmonik terhadap waktu, sehingga dinamakan konstanta harmonik pasang surut. Untuk keperluan rekayasa, ada beberapa unsur utama pembangkit pasang surut atau komponen utama konstanta harmonik pasut yang sering digunakan, yaitu M2, S2, K2, N2, K1, O1, dan P1, dengan besaran fase dan amplitudo setiap konstanta dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Konstanta pasang surut

Konstanta	Jenis Pasang Surut	Periode (Jam)	Amplitudo
M2	Pasang bulan ganda harian	12,40	Tergantung Lokasi Yang Diukur
S2	Pasang matahari ganda harian	12,00	
N2	Pasang ellips ganda harian	12,60	
K2	Pasang deklinasi ganda harian	11,97	
K1	Pasang deklinasi tunggal harian	23,93	
O1	Pasang deklinasi tunggal harian	25,80	
P1	Pasang deklinasi tunggal harian	24,07	

(Sumber : Soedjono K, 2002)

Menurut (Mulyono, 2013) Tipe dari pasang surut air laut di Indonesia terdiri dari:

1. Pasang surut harian ganda (semi diurnal tide)
2. Pasang surut harian tunggal (diurnal tide)
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal)
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (Mixed Tide Prevailing Diurnal)

Tipe pasang surut ditentukan dengan formula Formzahl (F):

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \dots\dots\dots (10)$$

Dari nilai Formzahl, dibagi dalam empat tipe pasang surut:

- 0 < F ≤ 0,25 : pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal*)
- 0,25 < F < 1,50 : pasang surut campuran cenderung ganda (*Mixed Semi Diurnal*)
- 1,50 < F < 3,00 : pasang surut campuran cenderung tunggal (*Mixed Diurnal*)
- F ≥ 3,00 : pasang surut harian tunggal (*Diurnal*)

Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman didalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut ini (Triatmodjo, 2010).

1. Muka air tinggi (*high water level*, HWL), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*, LWL), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun
5. Muka air tinggi purnama (*mean high water spring*, MHWS), adalah rerata dari dua muka air tinggi berturut-turut selama periode pasang purnama, yaitu jika tunggang (*range*) pasut itu tertinggi.
6. Muka air rendah purnama (*mean low water spring*, MLWS), adalah rerata dari dua muka air rendah berturut-turut selama periode pasang purnama.
7. Muka air laut rerata (*mean sea level*, MSL), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.

8. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*, HHWL), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
9. Muka air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
10. *Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
11. *Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

2.4 Daerah Sandar Kapal

Perhitungan daerah sandar kapal dibutuhkan untuk mengetahui seberapa luas daerah yang akan dikeruk. Menurut Husnah (2015), untuk menghitung luas daerah sandar kapal yaitu:

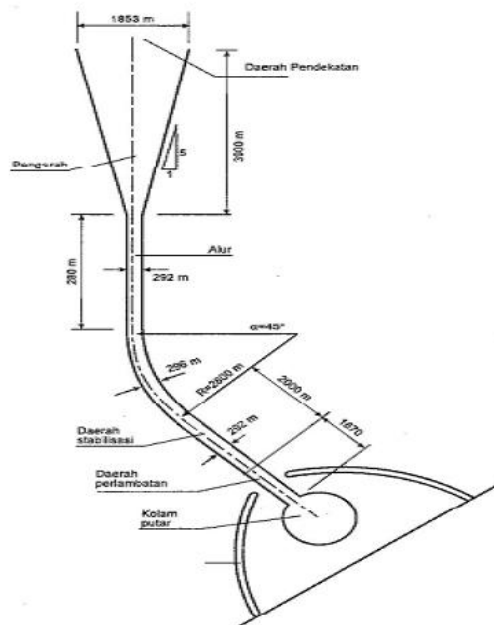
$$A = 1,8L \times 1,5L \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Luas Areal Tambat} = n \times A \dots\dots\dots(12)$$

2.5 Alur Pelayaran

Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal ayang akan masuk ke kolam pelabuhan. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus cukup tenang terhadap pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal terbesar yang akan masuk ke pelabuhan dan kondisi meteorologi dan oseanografi.

Alur pelayaran ini di tandai dengan alat bantu pelayaran yang berupa pelampung dan lampu-lampu. Pada umumnya daerah-daerah tersebut mempunyai kedalaman yang diperlukan. Gambar 11. menunjukkan contoh layout dari alur masuk ke pelabuhan (Triatmodjo, 2010).



Gambar 10. Layout alur pelayaran

(sumber: <http://sipilworld.blogspot.com/2013/03/alur-pelayaran-pada-perencanaan.html>, 2023)

Alur Pelayaran (Navigation Channel) digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan. Keberadaan alur pelayaran di pelabuhan salah satunya ditandai dengan adanya SBNP atau Sarana Bantu Navigasi Pelayaran, yang berfungsi sebagai penanda batas dari alur pelayaran yang berupa pelampung dan lampu-lampu (Gambar 10). Karena pelabuhan berada di pantai maka biasanya kedalaman di sekitar pelabuhan cukup kecil sehingga diperlukan pengerukan untuk mendapatkan kedalaman yang diperlukan.



Gambar 11. Pelampung suar

(Sumber: <https://www.kemenangan.co.id/id/produk/bantuan-untuk-navigasi>, 2023)

2.5.1 Pemilihan Karakteristik Alur

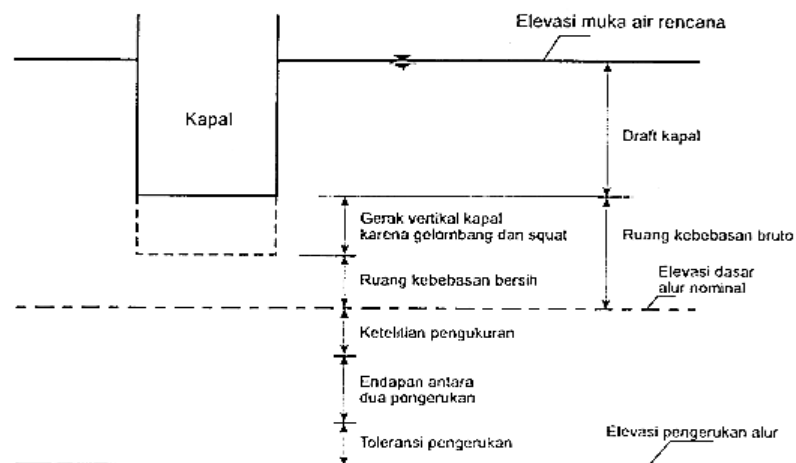
Alur masuk ke pelabuhan biasanya sempit dan dangkal. Alur-alur tersebut merupakan tempat terjadinya arus, terutama yang disebabkan oleh pasang surut. Sebuah kapal yang mengalami/menerima arus dari depan akan dapat mengatur gerakannya (*maneuver*), tetapi apabila arus berasal dari belakang kapal akan menyebabkan gerakan yang tidak baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan karakteristik alur masuk ke pelabuhan adalah sebagai berikut ini (Triatmodjo, 2010).

1. Keadaan trafik kapal
2. Keadaan geografi dan meteorologi di daerah alur
3. Sifat-sifat fisik dan variasi dasar saluran.
4. Fasilitas-fasilitas atau abntuan-bantuan yang diberikan pada pelayaran.
5. Karakteristik maksimum kapal-kapal yang menggunakan pelabuhan.
6. Kondisi pasang surut, arus dan gelombang.

2.5.2 Kedalaman Alur

Untuk mendapatkan kondisi operasi yang ideal kedalaman air di alur masuk harus cukup besar untuk memungkinkan pelayaran pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh. Kedalaman air diukur terhadap muka air referensi. Biasanya muka air referensi ini ditentukan berdasarkan nilai rerata dari muka air surut terendah pada saat pasang besar (*spring tide*) dalam periode panjang, yang disebut LLWS (*lower low water spring tide*). Kedalaman alur pelayaran (H) total adalah (Triatmodjo, 2010).

$$H = D + G + R + P + S + K \dots \dots \dots (13)$$



Gambar 12. Elevasi kedalaman alur pelayaran
(Sumber : Triatmodjo, 2010)

Dimana :

D = *draft* kapal (m)

G = gerak vertikal kapal karena gelombang dan *squat* (m)

R = ruang kebebasan bersih (m)

P = ketelitian pengukuran (m)

S = pengendapan sedimen antara dua pengerukan (m)

K = toleransi pengukuran (m)

Dan $G + R$ adalah ruang kebebasan bruto.

Kedalaman air diukur terhadap muka air referensi. Biasanya muka air referensi ini ditentukan berdasarkan nilai rerata dari muka air surut terendah pada saat pasang besar (*spring tide*) dalam periode panjang, yang disebut LLWS (*Lowest Low Water Spring Tide*).

Beberapa definisi yang terdapat dalam Gambar 12. adalah sebagai berikut ini :

1. Elevasi dasar alur nominal adalah elevasi di mana tidak terdapat rintangan yang mengganggu pelayaran. Kedalaman elevasi ini adalah jumlah *draft* kapal dan ruang kebebasan bruto, yang dihitung dari muka air rencana.
2. Ruang kebebasan bruto adalah jarak antara sisi terbawah kapal dan elevasi dasar alur nominal, pada *draft* kapal maksimum yang diukur pada air diam. Ruang ini terdiri dari ruang gerak vertikal kapal karena pengaruh gelombang, *squat* dan ruang kebebasan bersih.
3. Ruang kebebasan bersih adalah ruang minimum yang tersisa antara sisi terbawah kapal dan elevasi dasar alur nominal kapal. Pada kondisi kapal bergerak dengan kecepatan bersih minimum, elevasi ini berjarak 0,5 m dari dasar laut berpasir dan 1,0 m dari dasar karang.
4. Elevasi pengerukan alur ditetapkan dari elevasi dasar alur nominal dengan memperhitungkan beberapa hal berikut ini :
 - a. Jumlah endapan yang terjadi antara dua periode pengerukan;
 - b. Toleransi pengerukan;
 - c. Ketelitian pengukuran.

2.5.3 Lebar Alur

Lebar alur biasanya diukur pada kaki sisi-sisi miring kedalaman yang direncanakan. Lebar alur tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

1. Lebar, kecepatan, dan gerak kapal
2. Trafik kapal, apakah alur direncanakan untuk satu atau dua jalur

3. Kedalaman alur
4. Apakah alur sempit atau lebar
5. Stabilitas tebing alur
6. Angin, gelombang, dan arus dalam alur

Tidak ada rumus yang memuat faktor-faktor tersebut secara eksplisit, tetapi beberapa kriteria telah ditetapkan berdasarkan lebar kapal dan faktor-faktor tersebut secara implisit yaitu:

1. Lebar Alur Satu Jalur Pelayaran (H)

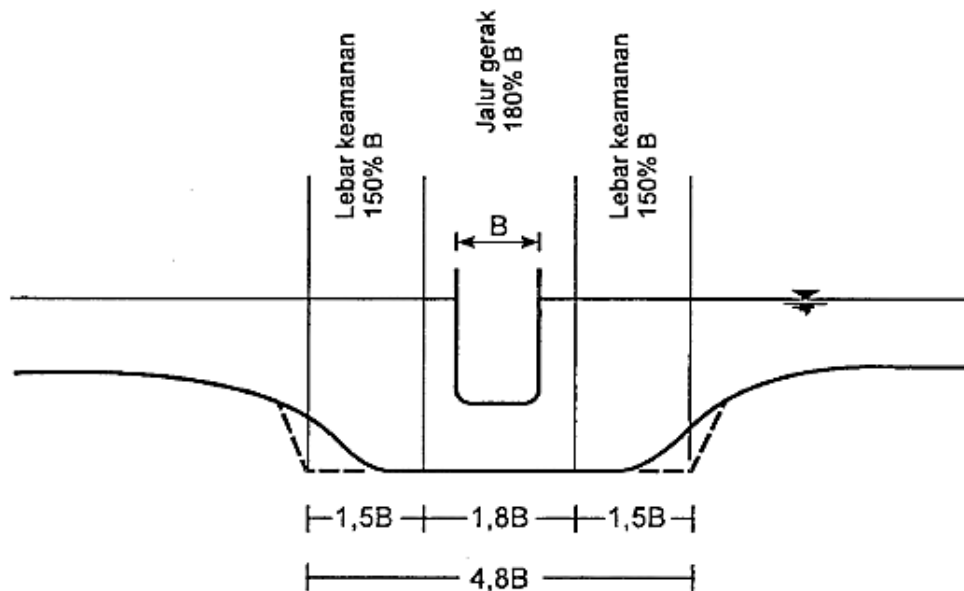
$$\text{Lebar alur} = 1,5B + 1,8B + 1,5B \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

B = lebar kapal (m)

A = lebar lintasan manuver kapal = $1,8B$ (m)

D = ruang bebas minimum di bawah lunas kapal (keel) (m)



Gambar 13. Lebar alur satu jalur

(Sumber : Triatmodjo, 2010)

2. Lebar Alur Dua Jalur Pelayaran (H)

$$\text{Lebar alur} = 1,5B + 1,8B + C + 1,8B + 1,5B \dots\dots\dots (15)$$

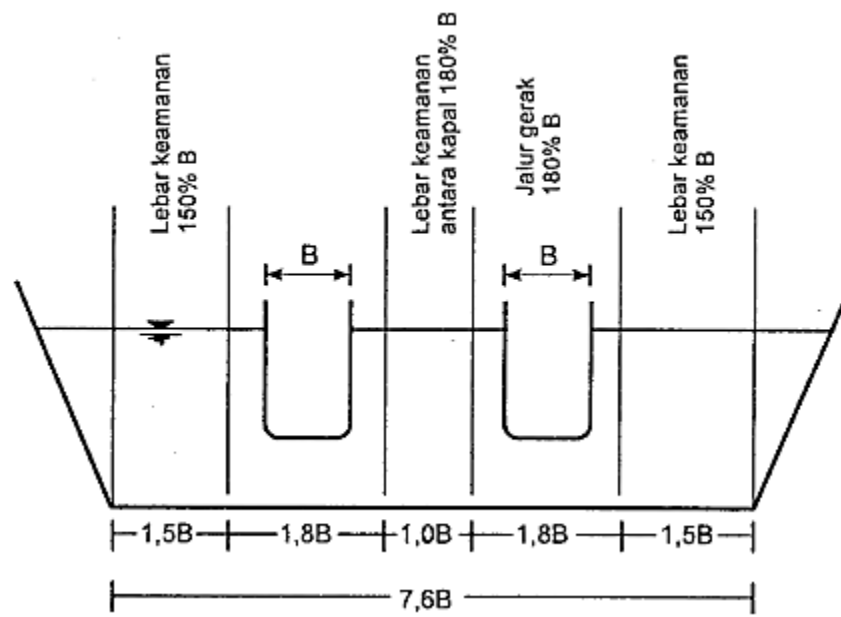
Dimana:

B = lebar kapal (m)

A = lebar lintasan manuver kapal = $1,8B$ (m)

C = ruang bebas antara lintasan manuver kapal = B (m)

D = ruang bebas minimum di bawah lunas kapal (keel) (m)



Gambar 14. Lebar alur dua jalur
(Sumber : Triatmodjo, 2010)