

**ANALISIS Pengerukan (*DREDGING*) DI KOLAM  
PELABUHAN PERUNTUKAN KAPAL KONTAINER  
*POST PANAMAX***

**(Studi Kasus Di Pelabuhan *Makassar New Port*)**

**Oleh :**

**MUHAMMAD AYYUB ANSYARI BURHANUDDIN**

**D321 16 507**



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi:

**"ANALISIS Pengerukan (DREDGING) DI KOLAM PELABUHAN  
PERUNTUKAN KAPAL KONTAINER *POST PANAMAX*"  
(Studi Kasus di Pelabuhan Makassar *New Port*)**

OLEH  
**MUHAMMAD AYYUB ANSYARI BURHANUDDIN**  
D321 16 507

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Tanggal :

Di : Gowa

Pembimbing I



Ashury, ST., MT.  
Nip. 197403182006041001

Pembimbing II



Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.  
Nip: 197804282003122002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. Chasmi Pagonan, ST., MT.  
197506082002121003

# LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

Judul Skripsi

**” ANALISIS Pengerukan (*DREDGING*) DI KOLAM PELABUHAN  
PERUNTUKAN KAPAL KONTAINER *POST PANAMAX* “  
(Studi Kasus di Pelabuhan Makassar *New Port*)**

OLEH

MUIHAMMAD AYYUB ANSYARI BURHANUDDIN  
D321 16 507

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Tanggal :

Di : Gowa

Dengan panel ujian skripsi

1. Ketua : Ashury, ST., MT.
2. Sekertaris : Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.
3. Anggota 1 : Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.
4. Anggota 2 : Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan



Dr. ~~Chandra~~ Paotonan, ST., MT.

197506082002121003

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Muhammad Ayyub Ansyari Burhanuddin

NIM : D321 16 507

Program Studi : S1 Teknik Kelautan

### **ANALISIS Pengerukan (*DREDGING*) DI KOLAM PELABUHAN PERUNTUKAN KAPAL KONTAINER *POST PANAMAX* (Studi Kasus di Pelabuhan Makassar *New Port*)**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi tugas akhir yang saya tulis ini benar-benar hasil dan karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 05 Mei 2021

Penulis,



Muhammad Ayyub Ansyari Burhanuddin

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas nikmat, kesehatan, dan kekuatan yang telah diberikan didalam semesta ini. Atas berkat dan juga rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini guna untuk menyelesaikan studi pada jenjang sarjana (S1). Penulisan tugas akhir dengan judul **“ANALISIS Pengerukan (*DREDGING*) DI KOLAM PELABUHAN PERUNTUKAN KAPAL KONTAINER *POST PANAMAX*”** (Studi Kasus di Pelabuhan *Makassar New Port*) dapat terselesaikan dengan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Allah SWT** atas limpahan kekuatan, rahmat, dan atas izin-Nya yang telah diberikan kepada penulis.
2. Kepada kedua **Orang Tua** dan **Saudara** penulis. Beliau yang telah memberikan mendidik dan membersarkan penulis hingga saat ini. Doa dan juga dukungan moril tidak henti-hentinya diberikan beliau kepada penulis.
3. Bapak **Dr. Chairul Paotonan, S.T.,M.T.** selaku ketua Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Ashury, S.T.,M.T.** dan ibu **Dr. Hasdinar Umar, S.T.,M.T.** selaku pembimbing I dan juga pembimbing II yang telah memberikan waktunya untuk memberi arahan dan bimbingan penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, S.T.,M.T.** selaku Penasehat Akademik (PA) penulis selama menjadi mahasiswa.
6. Seluruh **bapak/ibu dosen, staf akademik, dan administrasi** Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh pihak **pegawai/staff Makassar New Port** yang telah membantu penulis.
8. Kepada Saudari **Salsabila Aski** yang telah memberikan dukungan moral dan menjadi teman semenjak mahasiswa baru hingga dapat terselesainya penulisan ini.
9. Kepada Saudara **Muh. Alif Putra Utama** yang telah membantu dalam pengambilan data yang dibutuhkan pada penulisan ini.

10. Para sahabat saya dalam grup **Kuatro Taurus** dan **COS**, yang setiap saat memberikan dukungan.
11. Kepada teman-teman **Ocean Engineering 2016** dan **se-teknik**, yang tak henti hentinya memberikan dukungan didalam suka maupun duka. Tak lupa juga penulis ucapkan terima kasih kepada Kakanda Senior dan Adik Junior atas pembelajaran dan dukungan yang telah diberikan.

Tak lupa penulis ucapkan terima kasih atas saran, masukan, dan kritik dalam penulisan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan didalam penyusunan tugas akhir ini. Penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 18 Juni 2021

Penulis

## ABSTRAK

**Muhammad Ayyub Ansyari Burhanuddin (D32116507). Analisis Pengerukan (*Dredging*) Di Kolam Pelabuhan Peruntukan Kapal Kontainer *Post Panamax* (Studi Kasus Di Pelabuhan *Makassar New Port*) di bawah bimbingan Ashury, S.T., M.T. dan Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.**

Pengerukan dilakukan untuk menciptakan pelabuhan baru, tempat berlabuh atau jalur air, atau untuk memperdalam fasilitas yang ada agar memungkinkan kapal dengan sarat yang besar dapat mengaksesnya. Pada studi ini menganalisis pengerukan pada pelabuhan *Makassar New Port* peruntukkan kapal kontainer *Post Panamax*. Analisis ini bertujuan untuk menentukan kapal keruk yang digunakan sesuai dengan data yang ada, menghitung volume keruk, dan menghitung rencana anggaran biaya pengerukan. Dengan adanya data tersebut maka penelitian dapat digunakan sebagai sumber referensi dan bahan pertimbangan untuk para peneliti maupun pihak otoritas pelabuhan.

Metode penelitian ini yaitu deskriptif, dimana data primer adalah data yang diperoleh berdasarkan pengamatan secara langsung pada lokasi penelitian, sedangkan data sekunder adalah data yang diteliti dan dikumpulkan oleh pihak yang berkaitan. Data primer terdiri dari data bathimetri dan data pasang surut air laut. Data sekunder terdiri dari data dimensi kapal *post panamax*, data tanah, dan layout pelabuhan *Makassar New Port*.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengerukan dilakukan dengan menggunakan *cutter suction dredger*, dengan volume keruk mencapai 1.953.764,47 m<sup>3</sup>, dengan lama pengerjaan 349 hari, dan total biaya sebesar Rp. 257.870.430.600.

Kata kunci: pengerukan, *post panamax*, *makassar new port*, volume keruk, biaya.

## ***ABSTRACT***

**Muhammad Ayyub Ansyari Burhanuddin (D32116507). *Dredging Analysis In Port Basin For Post Panamax Container Ship (Study Case at Makassar New Port)* Supervised by Ashury, S.T., M.T. dan Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.**

*The dredging is made to create a new port, berth or waterways, or to deepen the existing facilities to allow the ship with great draft could access it. This study anylizes the dredging at Makassar New Port for the Post Panamax container ship. The analysis aim is to determine the used dredge based on existing data, count the dredge volume, and calculate the dredging cost plan. With this data, the research can be used as a reference and consideration for researchers and port authorities.*

*The research method is descriptive, where primary data is obtained based on direct observation on the research location, while the secondary data is the data that has been researched and collected by the related parties. The primary data consist of bathimetric and tidal data. Secondary data consist of post panamax ship dimension data, soil data, and the layout of Makassar New Port.*

*From this result, it can be concluded that the dredging could be done by using a cutter suction dredger, with the dredging volume of 1.953.764,47 m<sup>3</sup>, the duration of dredge work is 349 days, and the total dredging cost Rp. 257.870.430.600.*

*Keywords: dredging, post panamax, makassar new port, dredge volume, cost.*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR ISTILAH .....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengerukan ( <i>Dredging</i> ).....	6
2.1.1 Tipe-tipe Pengerukan.....	6
2.1.2 Proses Pengerukan.....	7
2.1.3 Tujuan Pengerukan.....	7
2.2 Kapal Keruk .....	8
2.2.1 <i>Trailing Suction Hopper Dredger</i> (TSHD) .....	10
2.2.2 <i>Cutter Suction Dredger</i> (CSD).....	12
2.2.3 <i>Grab Dredger</i> .....	13
2.2.4 <i>Backhoe Dredger</i> .....	14
2.2.5 <i>Bucket Ladder Dredger</i> .....	15
2.3 Produktivitas Pengerukan.....	16

2.3.1 <i>Bulking Factors</i> .....	17
2.3.2 Produktivitas <i>Trailing Suction Hopper Dredger</i> .....	18
2.3.3 Produktivitas <i>Cutter Suction Dredger</i> .....	19
2.3.4 Produktivitas <i>Grab Dredger</i> .....	20
2.3.5 Produktivitas <i>Backhoe Dredger</i> .....	21
2.3.6 Produktivitas <i>Bucket Ladder Dredger</i> .....	22
2.3.7 Produktivitas <i>Barge</i> .....	22
2.4 Pemeriksaan Kedalaman .....	23
2.5 Daerah Sandar Kapal .....	26
2.6 Material Keruk .....	26
2.6.1 Karakteristik Material yang Diangkut .....	26
2.6.2 Kekayaan Sedimen .....	26
2.7 Sedimentasi .....	27
2.7.1 Volume Sedimen .....	27
2.7.2 Metode <i>Cross Section</i> .....	28
2.7.3 Luasan Irisan Melintang <i>One Cross Section</i> .....	28
2.8 Perhitungan Luasan <i>Simpson</i> .....	29
2.8.1 <i>Simpson I</i> .....	29
2.8.2 <i>Simpson II</i> .....	30
2.9 Rencana Anggaran Biaya .....	32
BAB III METODE PENELITIAN .....	35
3.1 Lokasi dan Waktu Pengambilan Data .....	35
3.2 Metode Pengumpulan Data .....	35
3.3 Metode Penelitian .....	36
3.4 Diagram Alur Penelitian .....	39
3.5 Studi Terdahulu .....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1 Gambaran Umum .....	41
4.2 Kondisi Area Pengerukan .....	42
4.3 Perhitungan Volume Sedimen .....	44
4.3.1 Pembuatan <i>Cross Section Area</i> .....	44
4.3.2 Perhitungan Volume Keruk .....	44
4.4 Menentukan Metode Pengerukan Yang Dapat Diterapkan .....	46
4.4.1 Data Tanah .....	46

4.4.2 Penentuan Kapal Keruk .....	48
4.4.3 Perencanaan Tahapan Pengerukan .....	49
4.5 Produktivitas Pengerukan.....	49
4.5.1 Produktivitas Alat Keruk .....	49
4.5.2 Produktivitas <i>Barge</i> .....	52
4.5.3 Waktu Pengerukan.....	55
4.6 Rencana Anggaran Biaya .....	55
4.6.1 Penentuan Harga Sewa Alat Keruk .....	55
4.6.2 Analisis Harga Satuan Tiap Pekerjaan (AHSP) .....	57
4.6.3 Perhitungan Volume Pekerjaan dan Rencana Anggaran Biaya.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA .....	60
LAMPIRAN.....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Proses Pengerukan.....	7
Gambar 2.2	Ukuran TSHD berdasarkan kapasitas. ....	11
Gambar 2.3	<i>Trailing Suction Hopper Dredger</i> . ....	12
Gambar 2.4	<i>Cutter Suction Dredger</i> . ....	12
Gambar 2.5	<i>Grab Dredger</i> .....	14
Gambar 2.6	<i>Backhoe Dredger</i> .....	15
Gambar 2.7	<i>Bucket Ladder Dredger</i> .....	16
Gambar 2.8	Faktor $f_f$ pada <i>Cutter Suction Dredgers</i> .....	20
Gambar 2.9	<i>Echo sounder</i> kapal, pengukur kedalaman dasar laut. ....	24
Gambar 2.10	Stabilitas talud bila sudut $< \phi$ (sudut pergeseran dalam) tanah dasar laut.....	25
Gambar 2.11	Contoh penerapan irisan melintang pada peta bathimetri. ....	28
Gambar 2.12	Contoh irisan melintang <i>one cross section</i> .....	28
Gambar 2.13	Bidang lengkung ( <i>simpson I</i> ). ....	29
Gambar 2.14	Bidang lengkung ( <i>simpson II</i> ). ....	31
Gambar 3.1	<i>Makassar New Port</i> .....	35
Gambar 3.2	Diagram alur penelitian. ....	39
Gambar 4.1	Rencana Pengembangan <i>Makassar New Port</i> .....	42
Gambar 4.5	Area Pengerukan ..... 43	43
Gambar 4.2	<i>Cross Section Area 0+020</i> .....	44
Gambar 4.3	Gambar Data Uji Tanah di <i>Makassar New Port</i> . ....	47
Gambar 4.6	Kapal DCSD500 DAMEN ..... 48	48
Gambar 4.7	Faktor <i>Various Dredging Depth (fj)</i> ..... 51	51
Gambar 4.8	Titik Lokasi <i>Dumping Area</i> . .... 53	53

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Jenis Kapal Keruk dan Jenis Tanah Yang Mampu Dikeruk. ....	9
Tabel 2.2	Kemampuan Kapal Keruk.....	10
Tabel 2.3	<i>Bulking factors</i> untuk tipe tanah yang berbeda.....	18
Tabel 2.4	Lama tempuh <i>pulse</i> dihadapkan pada kedalaman.....	24
Tabel 4.1	Ukuran Utama Kapal <i>Post Panamax</i> . ....	42
Tabel 4.2	Perhitungan luasan tiap <i>section</i> .....	45
Tabel 4.3	Spesifikasi Kapal DCSD500 DAMEN. ....	48
Tabel 4.4	<i>Bulking Factor</i> pada kapal keruk.....	50
Tabel 4.5	Spesifikasi <i>Split Hopper Barge</i> .....	52
Tabel 4.6	HSP Pengerukan Untuk Kapal <i>Non Hopper</i> .....	56
Tabel 4.7	Analisis Tabel Operasional Kapal Keruk.....	57
Tabel 4.8	Rencana Anggaran Biaya Pengerukan.....	58

## DAFTAR ISTILAH

- Dredging* : Pemindahan material dari dasar bawah air dengan menggunakan peralatan keruk atau setiap kegiatan yang merubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai ataupun daratan sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk.
- Capital Dredging* : Jenis pengerukan yang digunakan dalam pengerjaan pelabuhan, alur pelayaran, waduk, atau area yang akan digunakan sebagai industri.
- Maintenance Dredging* : Jenis pengerukan yang dilakukan untuk membersihkan siltation yang terjadi secara alami.
- Remedial Dredging* : jenis pengerukan yang dapat dilakukan pada wilayah yang telah dikeruk namun mengalami kesalahan.
- Split hopper barge* : Kapal dengan bak penampungan terbuka besar atau membelah menjadi dua bagian yang digunakan untuk memuat dan mengangkat material yang dikeruk.
- Trailing Suction Hopper Dredger* : Kapal keruk menyeret pipa pengisap ketika bekerja, dan mengisi material yang diisap tersebut ke satu atau beberapa penampung (*hopper*) di dalam kapal.
- Grab Dredger* : Kapal keruk yang memiliki konstruksi yang simpel berukuran kecil, memiliki tali untuk mengangkat *grab/clamshell*.

- Backhoe Dredger* : Kapal keruk yang menggunakan *excavator* untuk darat, diletakkan di atas tongkang.
- Bucket Ladder* : Kapal keruk yang dilengkapi dengan beberapa alat seperti timba/bucket yang bergerak secara simultan untuk mengangkat sedimen dari dasar air.
- Cutter Suction Dredger* : Kapal keruk yang berupa tabung untuk menghisap dengan kepala pemotong yang berada di pintu penghisap untuk mengeruk material keras seperti batu.
- Cross Section* : Metode dengan membuat garis sayatan yang memotong lapisan tanah penutup, kemudian dihitung luas masing-masing sayatan dan akhirnya dapat ditentukan volume dengan menggunakan jarak antar sayatan.

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Varian	Satuan
Hpd = daya mesin pompa.....		(kW)
A = Luas area sandar kapal .....		(m <sup>2</sup> )
V = Volume pengerukan .....		(m <sup>3</sup> )
Pnom = Produktivitas nominal.....		(m <sup>3</sup> /jam)
Pmax = Produktivitas maximal .....		(m <sup>3</sup> /jam)
H = Kapasitas <i>hopper</i> kapal keruk .....		(m <sup>3</sup> )
h = Jarak antar <i>section</i> .....		(m)
L = Panjang keseluruhan kapal (LOA) .....		(m)
d = kedalaman perencanaan .....		(m)
dmax = kedalaman keruk maksimal kapal keruk.....		(m)



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1.	Gambar <i>Cross Section Area</i> .....	64
Lampiran 2.	Layout <i>cross section area</i> .....	78
Lampiran 3.	Layout <i>grid</i> .....	79
Lampiran 4.	Tabel Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).....	80

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Menurut Undang-undang No 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran dan Peraturan Pemerintah No 61 Tahun 2009 tentang Kepelabuhanan yang telah diubah dengan Peraturan Pemerintah No 64 Tahun 2015, pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan pengusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra-dan antarmoda transportasi.

Setiap pelabuhan wajib memiliki Rencana Induk Pelabuhan (RIP) yang mengatur ruang pelabuhan berupa peruntukan rencana tata guna tanah dan perairan di Daerah Lingkungan Kerja (DLKr) dan Daerah Lingkungan Kepentingan (DLKp) Pelabuhan. Berdasarkan keputusan Menteri Perhubungan KP 432 Tahun 2017 tentang Rencana Induk Pelabuhan Nasional, Pelabuhan Makassar ditetapkan sebagai Pelabuhan Utama dengan Terminal Petikemas *Makassar New Port* dan Terminal Paotere sebagai Terminal Umum.

Pelabuhan Makassar kini telah memiliki RIP yang sesuai dengan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor PM 92 Tahun 2013 tentang Rencana Induk Pelabuhan Makassar dengan tahapan pengembangan jangka pendek 2013 - 2017, jangka menengah 2013 - 2022 dan jangka panjang 2013 - 2032 dengan luas areal kebutuhan daratan sebesar 2.306,35 Ha dan perairan 40,325 Ha.

Adapun DLKr dan DLKp Pelabuhan Makassar telah ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 215 Tahun 2019 Tentang Batas-Batas Daerah Lingkungan Kerja Dan Daerah Lingkungan Kepentingan Pelabuhan Makassar dengan luas DLKr Daratan seluas 94,72 Ha, luas DLKr Perairan seluas 9.270 Ha dan luas DLKp seluas 12.505 Ha. DLKr daratan Pelabuhan Makassar berada dalam wilayah administratif kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan, tepatnya pada pesisir Utara dan pesisir barat yang merupakan pusat perdagangan

dan bisnis di Kota Makassar. Pelabuhan Makassar berada dalam empat wilayah kecamatan yaitu Kecamatan Tallo, Kecamatan Ujung Tanah, Kecamatan Wajo dan Kecamatan Ujung Pandang (Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 48 Tahun 2020 Tentang Rencana Induk Pelabuhan Makassar Provinsi Sulawesi Selatan).

Seiring dengan meningkatnya arus pergerakan petikemas di Pelabuhan Makassar saat ini sedang dilaksanakan pembangunan Terminal Petikemas *Makassar New Port* Tahap 1 dengan lingkup kegiatan yaitu dermaga 320 m, reklamasi dan lapangan penumpukan petikemas seluas 16 Ha, causeway 1276 m, jalan akses 100 m, breakwater 1310 m, dan pengemkan kolam hingga draft minimal -1 6 m LWS yang dilaksanakan oleh PT. Pelabuhan Indonesia IV (Persero) selaku pemegang konsesi, berdasarkan Perjanjian Konsesi Antara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia dengan PT. Pelabuhan Indonesia IV (Persero) Nomor:HK.107/02/01/OP.MKS. 15 dan Nomor:12/HK.301/3/DUT-2015 pada tanggal 19 Mei 2015 tentang Pengusahaan Terminal Peti Kemas *Makassar New Port* tahap I di Pelabuhan Makassar. Proses pembangunan Terminal *Makassar New Port* yang dilaksanakan dengan berbagai penyesuaian mengikuti situasi dan kondisi di lapangan, rencana penataan dan pengalihan fungsi lahan Terminal Soekamo, Terminal Hasanuddin dan Terminal Hatta eksisting sebagai optimalisasi pemanfaatan fasilitas/lahan eksisting pelabuhan, dan rencana pengembangan pada masing-masing TUKS yang akan berdampak secara langsung pada rencana pengembangan Pelabuhan Makassar menjadi dasar dan bahan pertimbangan dalam penyusunan rewiu dokumen Rencana Induk Pelabuhan (Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 48 Tahun 2020 Tentang Rencana Induk Pelabuhan Makassar Provinsi Sulawesi Selatan).

*Makassar New Port* adalah pelabuhan yang direncanakan sebagai hasil ekspansi dari pelabuhan kapal kontainer di daerah Sulawesi Selatan, tepatnya di kota Makassar ([www.kppi.go.id](http://www.kppi.go.id)). *Makassar New Port* adalah salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN). Proyek ini merupakan karya anak bangsa. Pembangunan *Makassar New Port* sendiri dikerjakan secara bertahap. Tahap I A dibangun pada tahun 2015 hingga tahun 2018. Adapun, panjang dermaga Tahap I A yakni 320 meter dengan kapasitas terpasang 500.000 TEUs. Di Tahap I B juga dibangun

dermaga yang memiliki panjang 330 meter dengan kapasitas terpasang 1 juta TEU's. Untuk Tahap I C, dermaga yang dibangun memiliki panjang 350 meter, dengan kapasitas terpasang 1 juta TEU's . Tahap I D, panjang dermaganya yaitu 1.043 meter ([www.inaport4.com](http://www.inaport4.com)).

Pembangunan *Makassar New Port* Tahap II dengan panjang dermaga 3.380 meter, akan memiliki kapasitas terpasang 5 juta TEU's. Sedangkan Tahap III juga akan dibangun dermaga dengan panjang 4.500 meter dan kapasitas terpasangnya 10 juta TEU's ([www.inaport4.com](http://www.inaport4.com)).

Menurut Presiden Joko Widodo dalam pidatonya saat berkunjung di kota Maros yang dikutip dari ([www.katadata.co.id](http://www.katadata.co.id)), *Makassar New Port* (MNP) juga diperuntukkan sebagai *Hub Port* atau sebagai pelabuhan yang dapat mewartakan kapal dengan sarat kapal yaitu sebesar 15 meter. Kedalaman eksisting saat ini pada kolam pelabuhan *Makassar New Port* yaitu sebesar  $\pm 16$  meter (Analisis data *bathimetri* dan Profil Perusahaan *Makassar New Port*). Kedalaman alur pelayaran yang ideal sebesar 10%-15% dari *draft* kapal perencanaan (Triatmodjo, 2009). Sehingga kedalaman ideal untuk mendatangkan kapal kontainer *Post Panamax* sebesar 17,25 atau 18 m. Perbedaan kedalaman eksisting dan perencanaan inilah sehingga tidak memungkinkan untuk bersandarnya kapal kontaner *Post Panamax* di *Makassar New Port*. Maka dari itu perlu adanya analisis pengerukan yang dilakukan pada *Makassar New Port*.

Pengerukan dilakukan untuk menciptakan pelabuhan baru, tempat berlabuh atau jalur air, atau untuk memperdalam fasilitas yang ada agar memungkinkan akses kapal lebih besar di *Makassar New Port*.

Berdasarkan latar belakang diatas maka, perlu adanya penelitian untuk tugas akhir tentang analisis pengerukan di kolam pelabuhan *Makassar New Port*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tugas akhir ini, sehingga dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana metode pengerukan yang akan dilaksanakan pada Pelabuhan *Makassar New Port*?
2. Berapa banyak volume pengerukan yang dilakukan di Pelabuhan *Makassar New Port* peruntukan kapal kontainer *Post Panamax*?

3. Berapa besar biaya dari metode pengerukan yang diterapkan di kolam pelabuhan *Makassar New Port*?

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk lebih mengarahkan tugas akhir ini, maka perlu adanya masalah. Batasan-batasan masalahnya yaitu:

1. Tidak memperhitungkan dampak pengaruh lingkungan terhadap pengerukan.
2. Tidak memperhitungkan pengaruh posisi kapal keruk terhadap alur lalu lintas kapal.
3. Tidak memperhitungkan pengaruh arus air laut terhadap pengerukan di *Makassar New Port*.
4. Tidak mempertimbangkan kondisi cuaca.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian untuk penyusunan tugas akhir ini yaitu:

1. Memilih kapal keruk yang paling efektif yang dapat dilakukan di kolam Pelabuhan *Makassar New Port*.
2. Menghitung volume pengerukan yang akan dikeruk di kolam pelabuhan *Makassar New Port*.
3. Menghitung RAB (Rencana Anggaran Biaya) pada metode pengerukan yang telah ditetapkan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini yaitu:

1. Sebagai bahan pertimbangan untuk pihak otoritas pelabuhan dalam melakukan pengerukan pada kolam pelabuhan *Makassar New Port*.
2. Sebagai referensi bagi peneliti dalam merencanakan proyek serupa dikemudian hari.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penyusunan skripsi ini dibagi dalam beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas, dan sistematis sekaligus memungkinkan pembaca agar dapat menginterpretasikan hasil tulisan ini secara tepat, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab yang pertama ini penulis menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian yang terkait dengan penerapan pengerukan di kolam pelabuhan *Makassar New Port*.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab kedua ini penulis menjelaskan mengenai kerangka acuan yang berisi tentang teori singkat yang terkait dengan pengerukan pada *Makassar New Port* yang digunakan dalam menyelesaikan dan membahas permasalahannya.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Pada bab ketiga ini penulis menjelaskan mengenai langkah – langkah sistematis penelitian yang terdiri dari lokasi, waktu penelitian, metode pengumpulan data, metode penelitian, diagram alur penelitian dan juga studi terdahulu terkait penelitian yang serupa.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab keempat ini berisi tentang pengolahan data yang ada untuk mengetahui besar volume yang akan dikeruk, produktivitas kapal keruk serta perhitungan rencana anggaran biaya (RAB).

**BAB V : PENUTUP**

Pada bab yang terakhir ini penulis menyimpulkan hasil dari penelitian dan menambahkan saran untuk penelitian berikutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengerukan (*Dredging*)**

Definisi Pengerukan (*Dredging*) menurut *International Association of Dredging Companies* (IADC) adalah mengambil material atau tanah di dasar air, biasanya di perairan dangkal seperti danau, sungai, muara maupun laut dangkal dan memindahkan atau membuangnya di tempat lain. Sedangkan menurut Adlin (2017) merupakan bagian dari ilmu sipil, yang memiliki pengertian pemindahan material dari dasar bawah air dengan menggunakan peralatan keruk atau setiap kegiatan yang merubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai ataupun daratan sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk.

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, artinya pekerjaan tersebut tidak dapat dipisahkan dengan pekerjaan lainnya dan merupakan satu kesatuan yang utuh serta saling keterkaitan.

##### **2.1.1 Tipe-tipe Pengerukan**

Tipe-tipe pengerukan yang dimana menurut Adlin (2017) secara garis besar pengerukan dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

1. Pengerukan Awal (*Capital Dredging*)

*Capital Dredging* 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*)

*Maintenance Dredging* 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*)

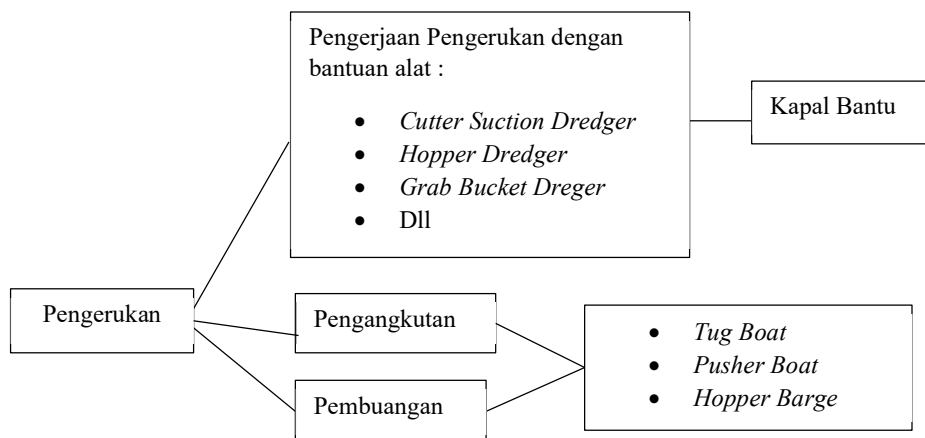
*Remedial Dredging* ini dapat dilakukan pada wilayah yang telah dikeruk namun mengalami kesalahan. Kesalahan ini biasanya berupa kesalahan kedalaman pengerukan.

## 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 2.1 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.

## **2.2 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.

Tabel 2.1 Jenis Kapal Keruk dan Jenis Tanah Yang Mampu Dikeruk.

<i>Type of Soil</i>			<i>Type of Dredger</i>				
<i>Classification</i>	<i>State</i>	<i>N Soil</i>	CSD	TSHD	Grab	Bucket	Dipper
<i>Clay</i>	<i>Soft Mud</i>	- 4	■	■	■	■	■
	<i>Soft</i>	4 - 10	■	■	■	■	■
	<i>Medium</i>	10 - 20	■	■	■	■	■
	<i>Hard</i>	20 - 30	■	■	■	■	■
	<i>Harder</i>	30 - 40	■	■	■	■	■
	<i>Hardest</i>	40 - 50	■	■	■	■	■
<i>Sand</i>	<i>Soft</i>	- 10	■	■	■	■	■
	<i>Medium</i>	10 - 20	■	■	■	■	■
	<i>Hard</i>	20 - 30	■	■	■	■	■
	<i>Harder</i>	30 - 40	■	■	■	■	■
	<i>Hardest</i>	40 - 50	■	■	■	■	■
<i>Clay w/ Gravel</i>	<i>Soft</i>	- 30	■	■	■	■	■
	<i>Hard</i>	30 -	■	■	■	■	■
<i>Rock</i>	<i>Softer</i>	40 - 50	■	■	■	■	■
	<i>Soft</i>	50 - 60	■	■	■	■	■
<i>Gravel</i>	<i>Medium</i>		■	■	■	■	■
	<i>Hard</i>		■	■	■	■	■
	<i>Hardest</i>		■	■	■	■	■
	<i>Loose</i>		■	■	■	■	■
	<i>Packed</i>		■	■	■	■	■

(Sumber : International Association of Dredging Companies)

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:

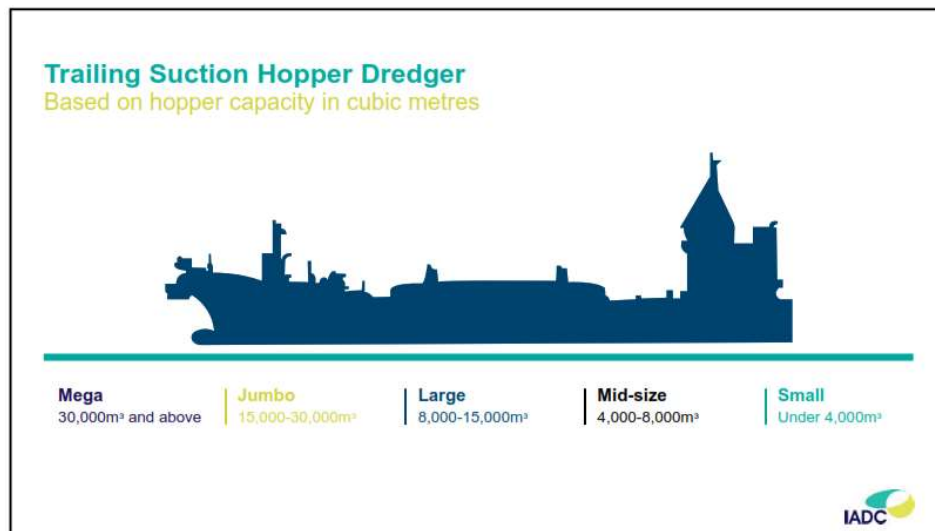
Tabel 2.2 Kemampuan Kapal Keruk

	<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 <i>Clay</i>	√	√	√	√	√	√
Mengeruk Material Batu	√	-	√	-	√	-
Penambat	√	√	-	√	√	-
Kedalaman Keruk Maks. (meter)	30	>100	20	70	25	100
Akurasi Pengerukan	√	-	√	-	√	-
Bekerja di Laut Lepas	-	√	-	√	-	√
Pembuangan dengan <i>pipeline</i>	-	-	-	√	√	-

(Sumber : Vlasblom, 2003)

### 2.2.1 *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.



Gambar 2.2 Ukuran TSHD berdasarkan kapasitas.

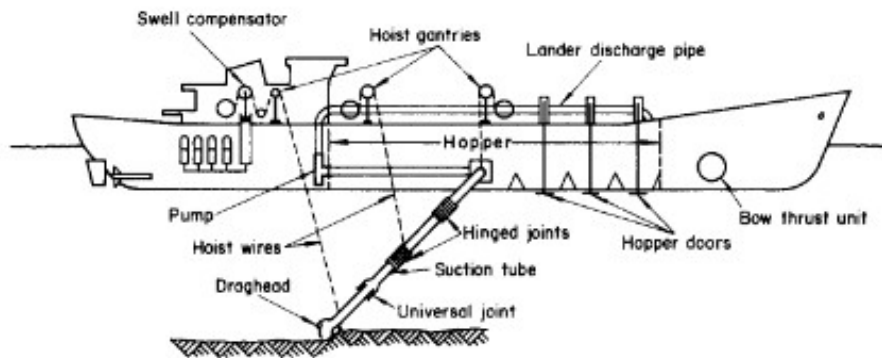
(Sumber : International Association of Dredging Companies)

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 m<sup>3</sup>/jam).
6. Mampu mengangkut material pada jarak yang jauh.

Sedangkan, kekurangan yang dimiliki untuk kapal TSHD adalah :

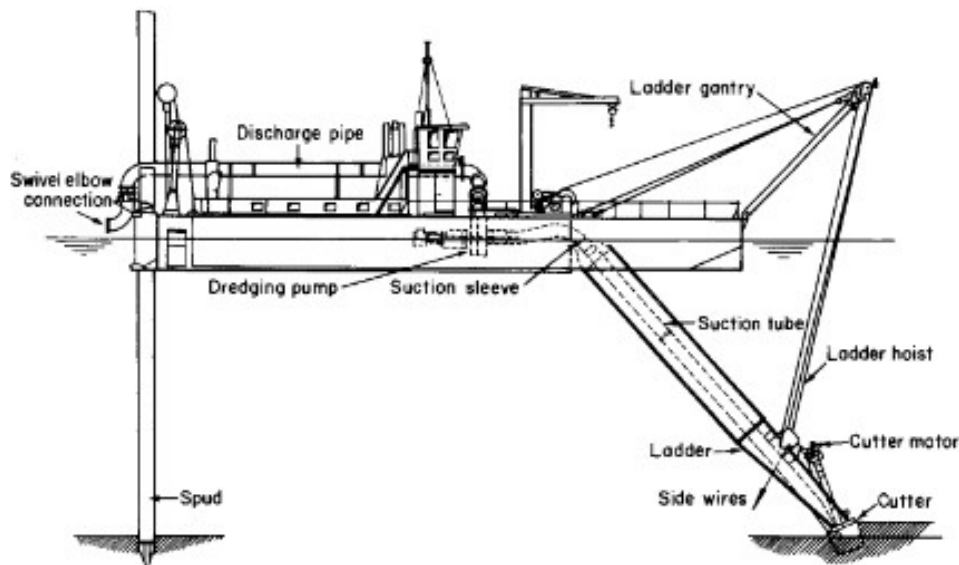
1. Membutuhkan kedalaman air yang cukup dalam pada area pengerukan, pembuangan, maupun rutenya.
2. Kemampuan terbatas untuk mengeruk batu karang.
3. Tidak mampu bekerja di daerah terbatas.
4. Material keruk yang kohesif sulit dikeluarkan dari *hopper*.



Gambar 2.3 *Trailing Suction Hopper Dredger*.  
(Sumber : Bray, 1979)

### 2.2.2 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 2.4 *Cutter Suction Dredger*.  
(Sumber : Bray, 1979)

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 m<sup>3</sup>/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.

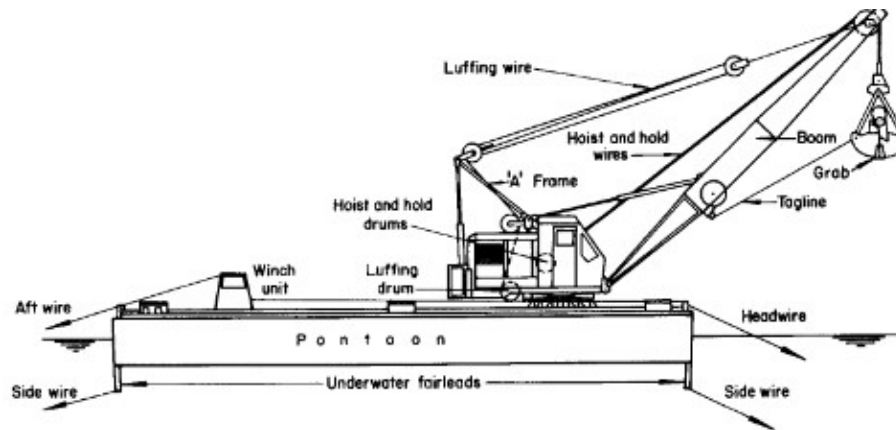
### **2.2.3 Grab Dredger**

*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 di lengkapi dengan *hopper barge* saat melakukan pengerukan untuk menampung dan membuang hasil kerukan. Kapal ini memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Dapat mengeruk dengan cara membuat jalan di depan kapal ketika melakukan pengerukan di daerah yang dangkal.
2. Cocok untuk daerah pengerukan terbatas dan untuk berbagai kedalaman.
3. Dapat mengeruk tanah yang cukup padat, seperti tanah liat dan bebatuan yang longgar.
4. Ukuran material yang diambil dapat diubah sesuai kebutuhan (1 m<sup>3</sup>-20 m<sup>3</sup>).

Sedangkan, kekurangan dari *grab dredger* sendiri adalah:

1. Kurang produktif jika digunakan untuk mengeruk tanah dan bebatuan yang keras.
2. Produktivitas relatif rendah (100-800 m<sup>3</sup>/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.



Gambar 2.5 *Grab Dredger*  
(Sumber : Bray, 1979)

*Crane* dilengkapi dengan *grab bucket*, ukuran *grab bucket* ini bervariasi antara 0,75-200 m<sup>3</sup> namun biasanya untuk ukuran diatas 20 m<sup>3</sup> sulit ditemukan di pasaran.

#### 2.2.4 *Backhoe Dredger*

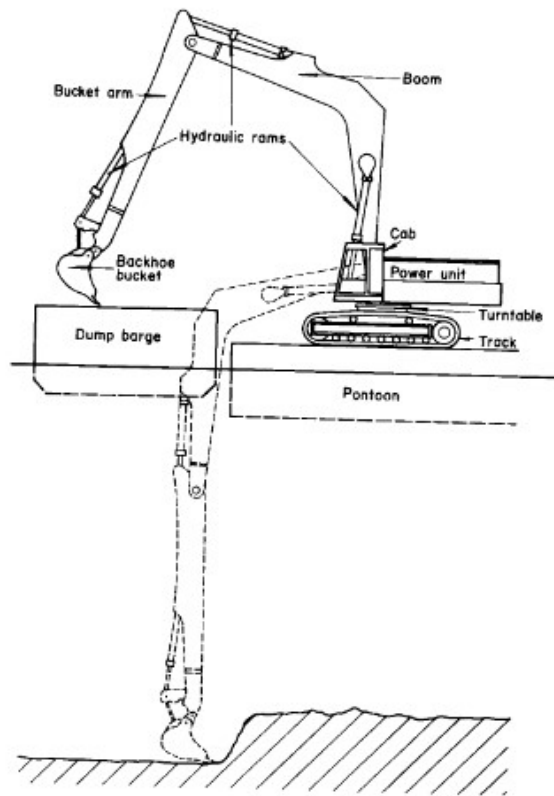
*Backhoe Dredger* (BHD) merupakan kapal keruk yang terdiri dari *excavator* darat yang dipasang disalah satu ujung ponton. Ukuran *excavator* dan ember bervariasi dengan sifat material yang akan dikeruk dan kedalaman pengerukan. Hasil kerukan akan diangkat dan dituangkan ke dalam tongkang. Kelebihan 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 m<sup>3</sup>/jam tergantung bahan dan ember keruk).
3. Tidak mudah digerakkan.
4. Menghasilkan kekeruhan yang relatif tinggi.



Gambar 2.6 *Backhoe Dredger*  
(Sumber : Bray, 1979)

### 2.2.5 *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:

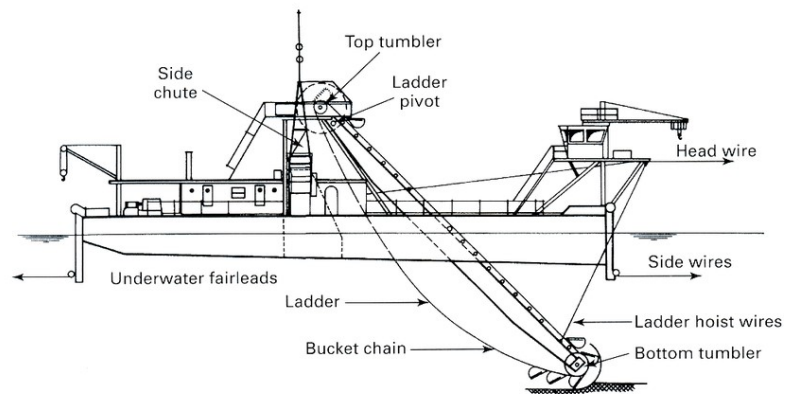
1. Dapat mengeruk semua tipe tanah yang sulit diremas.



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 2.7 *Bucket Ladder Dredger*

(Sumber : Bray, 1979)

### 2.3 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:

$$\text{Waktu Pengerukan} = \frac{V}{P_{max}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V = Volume Pengerukan. (m<sup>3</sup>)

Pmax = Produktivitas maksimum kapal keruk. (m<sup>3</sup>/jam)

### **2.3.1 *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 2.4 memberikan indikasi rentang nilai yang kemungkinan besar akan ditemui. Untuk kapal keruk hidrolis, tingkat *bulking* akan berubah sesuai dengan densitas material in situ yang akan dikeruk, jarak pipa atau kapasitas *hopper* dan diameter pipa.

Tabel 2.3 *Bulking factors* untuk tipe tanah yang berbeda.

<i>Soil Type</i>	<i>Bulking Factor (B)</i>
<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, 1979)

### 2.3.2 Produktivitas *Trailing Suction Hopper Dredger*

Rata-rata karakteristik dari *trailing suction hopper dredgers* bisa dilihat pada Gambar 2.3. Meskipun ada pertimbangan perbedaan dari karakteristik ini terutama pada kapal keruk yang lebih besar, kecenderungan umum tetap hampir konstan. Metode estimasi yang diberikan dibawah, diasumsikan mengikuti standar karakteristik dan produktivitasnya harus disesuaikan, jika tidak sesuai dengan kasusnya.

Unit produktivitas harus diubah oleh *bulking factor (B)*, digunakan untuk menghitung *bulking* dari material keruk, didalam kasus ini rasio volume dari material yang ada di *hopper* menuju volume *in situ*. Maka modifikasi produktivitas unit :

$$U_m = \frac{H}{B} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

H = kapasitas *hopper* kapal keruk (m<sup>3</sup>).

B = *Bulking factors*.

Waktu yang digunakan untuk membuang hasil keruk ke dasar, tergantung pada tipe tanah dan desain *hopper* ( $t_d$ ). Maka, total waktu siklus tidak produktif sebagaimana berikut :

$$Unproductive\ cycle\ time = \frac{6.84\ l t_t}{l} + \frac{1.02}{V_g} + t_d \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- l = panjang area pengerukan (km)
- $t_t$  = waktu yang digunakan untuk berputar (jam)
- $V_g$  = kecepatan kapal muatan penuh (kn)
- g = jarak tempat pembuangan material (km)
- $t_d$  = waktu yang digunakan untuk membuang material (jam)

Maka total  $P_{max}$  adalah :

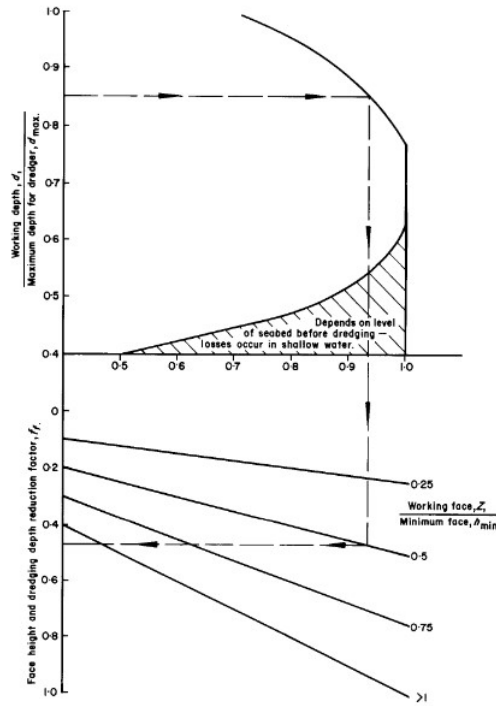
$$P_{max} = \frac{total\ load}{total\ cycle\ time} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$P_{max} = \frac{H f_c}{B(t_l + \frac{6.84\ l t_t}{l} + \frac{1.02}{V_g} + t_d)} \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.3.3 Produktivitas *Cutter Suction Dredger*

Rata-rata karakteristik dari *cutter suction dredger* bisa dilihat pada Gambar 2.4. *Cutter suction dredger* yang modern dibuat untuk tipe pengerjaan yang spesifik, seperti pengerukan batuan dan pengerukan yang sangat dalam. estimasi yang ada di bawah diasumsikan berlaku untuk rata-rata karakteristik yang sesuai dan produktivitas seharusnya, jika tidak maka sesuaikan (Bray, 1979).

Reduksi pada teori produktivitas diakibatkan oleh dua faktor terakhir bisa di estimasikan dari grafik pada Gambar 2.16. Faktor  $f_f$  didapatkan dari grafik dan di aplikasikan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Faktor  $f_f$  pada *Cutter Suction Dredgers*.

(Sumber : Bray, 1979)

$$P_{nom} = f_f P_t = f_f f_m h p_d \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$f_f$  = faktor *various*

$h p_d$  = daya pompa mesin (hp)

Untuk memperhitungkan waktu yang hilang akibat kelajuan kapal keruk terhadap *spuds*, faktor *delay* ( $F_p$ ) didapatkan sebagai berikut :

$$f_p = \frac{1}{(1 + \frac{P_{nom} \times t_p}{z x p x b})} \dots\dots\dots (2.7)$$

Adapun tambahan *delay* akibat waktu yang digunakan untuk memindahkan angkur. Faktor *delay* ( $F_a$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f_a = \frac{1}{1 + \frac{P_{nom} \times f_p \times t_a}{z x a x b}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Potensi produktivitas maksimal  $P_{max}$  adalah :

$$P_{max} = f_a f_p P_{nom} \dots\dots\dots (2.9)$$

### 2.3.4 Produktivitas *Grab Dredger*

*Grab dredger* merupakan kapak keruk dengan penggerak sendiri dan juga pembuang. Kapal keruk penggerak sendiri juga mempunyai *hopper* tersendiri.

Kapal keruk buang ini akan membuang tangkapannya ke *hopper*. Untuk kedua tipe ini tidak ada hubungan tertentu diantara *grab* dan ukuran *hopper* (Bray, 1979).

Faktor *delay* akibat kapal melaju dan pergantian *hopper* dapat dinyatakan sama seperti *dipper* dan *backhoe dredger*, sebagai berikut :

$$f_a = \frac{1}{(1 + \frac{t_a \times P_{nom} \times B}{A \times z})} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana  $F_a$  adalah faktor untuk melaju dan :

$$f_h = \frac{1}{(1 + \frac{t_h \times f_a \times P_{nom} \times B}{H})} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana  $F_h$  adalah faktor akibat pergantian *hoppers*. Potensi produktivitas maksimum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{max} = f_a f_h P_{nom} \dots\dots\dots (2.12)$$

### 2.3.5 Produktivitas *Backhoe Dredger*

*Backhoe dredger* sangat mirip dengan *dipper dredger*. Namun, *backhoe dredger* hidrolik yang modern merupakan mesin sangat serbaguna dan memiliki variasi kekuatan , kapasitas *bucket*, dan jangkauan galian yang bisa didapatkan. Metode estimasi berikut, diasumsikan dengan hubungan antara kapasitas *bucket* dan kekuatannya distandarisasi. Jika tidak, kapasitas *bucket* yang setara sebaiknya digunakan untuk menyamakan daya mesin yang digunakan (Bray, 1979).

Siklus dari *backhoe dredger* dipengaruhi oleh kedalaman keruk, dengan demikian, nominal hasil  $P_{nom}$  adalah fungsi terhadap kedalaman keruk dan tipe tanah. Faktor *delay* berdasarkan kelajuan dan pergantian *hopper* dapat di ekspresikan seperti *dipper dredger*, sebagai berikut:

$$f_a = \frac{1}{(1 + \frac{t_a \times P_{nom}}{A \times z})} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana  $f_a$  adalah faktor *delay* kemajuan dan :

$$f_h = \frac{1}{(1 + \frac{t_h \times f_a \times P_{nom} \times B}{H})} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana  $f_s$  adalah faktor *delay* disebabkan oleh pergantian *hopper*. Dengan ini kita dapat menyatakan hasil maksimum potensial produktivitas, sebagai berikut:

$$P_{max} = f_a f_h P_{nom} \dots\dots\dots (2.15)$$

### 2.3.6 Produktivitas *Bucket Ladder Dredger*

Karakteristik umum dari *bucket ladder dredgers* dapat dilihat pada Gambar 2.7. Didalam mengestimasi produksi dari tipe kapal keruk ini diperlukan informasi (Bray, 1979).

Unit produktif dasar ( $U_b$ ) untuk *bucket dredger* adalah kapasitas *bucket* ( $C$ ) dari sebuah *bucket* pada *bucket chain*. Ini harus diubah untuk mengambil perhitungan dari tanah yang akan dikeruk. Nominal produksi yang tidak terputus dari kapal keruk ( $P_{nom}$ ), dapat di estimasikan sebagai berikut :

$$P_{nom} = 60Cf_mnf_\theta \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$n$  = kecepatan *bucket chain* (*buckets per menit*).

$f_\theta$  = *tilt factor*.

Kecepatan *bucket chain* ( $n$ ), berhubungan dengan tipe tanah yang dikeruk dan juga faktor lokasi. Ketika *bucket dredger* beroperasi dengan menggunakan *ladder* panjang yang normal dan daya mesin itu berhubungan dengan kapasitas *bucket*, dan kecepatan *bucket chain* kemungkinan dapat di estimasikan.

Faktor *delay* ( $F_h$ ) yang diakibatkan :

$$f_h = \frac{1}{(1 + \frac{th \times P_{nom} \times B}{H})} \dots\dots\dots(2.17)$$

Sebagai tambahan, angkur samping harus di pindahkan ketika kapal keruk melaju pada jarak tertentu. Faktor *delay* akibat perpindahan angkur ( $F_a$ ) :

$$f_a = \frac{1}{(1 + \frac{ta \times f_h \times P_{nom}}{a \times b \times z})} \dots\dots\dots(2.18)$$

Potensi produktivitas maksimum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{max} = f_a f_h P_{nom} \dots\dots\dots(2.19)$$

### 2.3.7 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.

$$Loading\ Time = \frac{H}{P_{max}} \dots\dots\dots(2.20)$$

2. *Travelling time*

*Travelling time* dipengaruhi oleh jarak *dumping area* dan juga kecepatan dari *barge*.

$$\text{Travelling Time} = \frac{\text{Jarak Dumping Area}}{V_{\text{barge}}} \dots\dots\dots(2.21)$$

3. *Unloading Time*

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

4. *Return Time*

Perhitungan waktu kembali dipengaruhi oleh kecepatan kapal saat muatan kosong dan jarak *dumping area*.

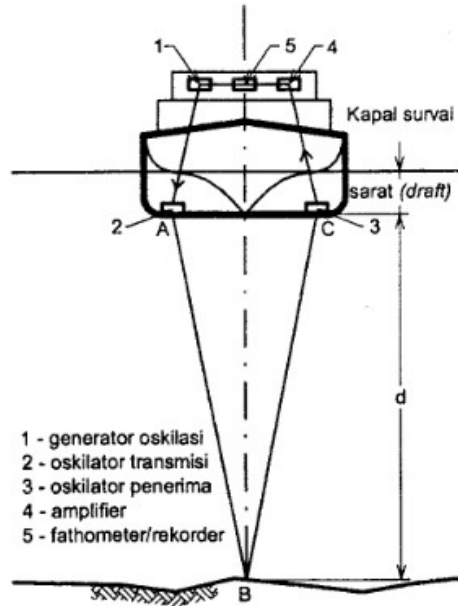
$$\text{Return Time} = \frac{\text{Jarak Dumping Area}}{V_{\text{barge kosong}}} \dots\dots\dots(2.22)$$

**2.4 Pemeriksaan Kedalaman**

Secara sederhana, pemeriksaan kedalaman laut dapat dilakukan dengan tali yang dibebani timah dan padanya diberikan ukuran dihitung mulai dari ujung timah pemberat. Untuk penelitian daerah yang sangat luas, cara ini kurang efisien.

Pada saat ini biasa digunakan suatu alat elektronis, biasa disebut *echo sounders* yang telah dipakai sejak tahun.1925. prinsip kerja dari *echo sounders* adalah dengan mengirimkan getaran *pulse* pendek secara periodik dari luas kapal (titik A) yaitu antara 500-600 *pulse* tiap menit. Getaran ini diteruskan secara vertikal ke bawah dan dasar laut, memantulkan *pulse* tersebut (titik B) untuk kemudian diterima kembali oleh oskilator penerima yang ditempatkan di bagian lunas kapal yang sama (titik C) (lihat Gambar 2.10).





Gambar 2.9 *Echo sounder* kapal, pengukur kedalaman dasar laut.

(Sumber : Kramadibrata, 2002)

Tergantung dari kedalaman perairan, getaran-getaran *pulse* tadi menempuh jarak sejak dikirimkan sampai diterima kembali. Jadi satu *pulse* getaran, di mana  $d$  adalah jarak antara lunas kapal sampai dengan dasar laut. Perbedaan kecil, secara dalil *pythagoras*, untuk jarak tempuh  $(AB + BC) > 2d$  dapat diabaikan. Bila kecepatan *pulse* getaran dalam air laut : 1.500 m/detik, untuk waktu tempuh satu detik berarti:  $2d : 1.500$  atau  $d=750$  meter.

Secara tabelaris, maka pada Tabel didapatkan hubungan antara lama tempuh pulsa ( $t$  dalam detik) dengan kedalaman ( $d$  dalam meter) sebagai berikut:

Tabel 2.4 Lama tempuh *pulse* dihadapkan pada kedalaman.

t.	d	t.	d	t	d
0,01	7,5	0,15	112,5	1	750
0,02	15	0,2	150	1,2	900
0,03	22,5	0,3	225	1,4	1.050
0,04	30	0,4	300	1,6	1.200
0,05	37,5	0,5	375	1,8	1.350
0,06	45	0,6	450	2	1.500
0,08	60	0,7	525	2,2	1.650
0,1	75	0,8	600	2,4	1.800
		0,9	675	2,6	1.950

(Sumber : Kramadibrata, 2002)

Bila diketahui kecepatan kapal = 10 Nmi tiap jam, frekuensi pencatatan dapat mencapai 500 X tiap menit, maka ;

Jarak 1 jam = 10 Nmi = 18,53 km.

1 menit =  $1/60 \times 18,53 = 0,30883$  km = 308,83 m atau = 500 X pencatatan

Jadi jarak antara 2 pencatatan berurutan adalah :

$1/500 \times 308,83 \text{ m} = 0,617 \text{ m}$ .

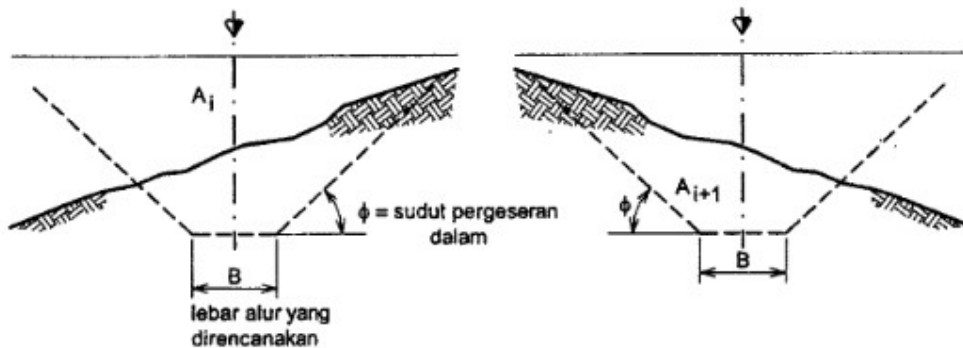
Dalam memperkirakan pekerjaan keruk, alur yang direncanakan untuk dikeruk, disurvei kedalamannya. Kemudian panjang alur ini dibagi menjadi bagian (segmen), dengan jarak 300 m. Tiap-tiap bagian kemudian digambarkan penampang dasar laut asli dan potongan dari pengerukan yang direncanakan (lihat Gambar 2.9)

Bila luas potongan keruk dari dua penampang yang berurutan adalah  $A_i$  dan  $A_{i+1}$ , pada segmen ini isi hasil keruk adalah :

$$I_i = \left( \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \times 300 \dots\dots\dots(2.23)$$

Jadi jumlah keseluruhan pengerukan adalah :

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \dots\dots\dots(2.24)$$



Gambar 2.10 Stabilitas talud bila sudut <  $\phi$  (sudut pergeseran dalam) tanah dasar laut.

(Sumber : Kramadibrata, 2002)

## 2.5 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:

$$A = 1,8L \times 1,5L \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\text{Luas Areal Tambat} = n \times A \dots \dots \dots (2.26)$$

## 2.6 Material Keruk

Material keruk adalah endapan butiran mikro seperti yang didefinisikan untuk D10, D30, D50 dan D60 yang mengendap di alur pelayaran. Endapan ini yang menyebabkan pendangkalan pada alur pelayaran sehingga harus di keruk untuk mendapatkan kembali kedalam ideal alur pelayaran (Wiwin, 2019).

### 2.6.1 Karakteristik Material yang Diangkut

Karakteristik pengangkutan material merupakan fungsi dari geometris, kinematik, fisik dan kekayaan kimia pada material padat (*solid*). Pengangkutan = f (jarak (x), karakteristik geometri (e), karakteristik kinematik (k), karakteristik fisik (l), karakteristik kimia (m), dan waktu (t)).

### 2.6.2 Kekayaan Sedimen

Pada umumnya kekayaan sedimen dapat dibagi menjadi 2 kategori (Adlin, 2017) yaitu:

1. Kohesi, antara lain endapan lumpur (*silt*) dan tanah liat (*clay*) dengan diameter rata-rata ( $dm < 0,0625 \text{ mm}$ ).
2. Non kohesi, antara lain endapan pasir (*sand*), kerikil (*gravel*), *cobbles*, dll. Dengan diameter rata-rata ( $dm > 0,0625 \text{ mm}$ ).

Untuk meningkatkan efisiensi pengerukan banyak hal yang dapat dilakukan. Peningkatan tersebut dapat dicapai dengan pemahaman yang lebih baik tentang materi yang akan dikeruk serta pemilihan alat pengerukan yang disesuaikan dengan tipe tanah atau material yang akan dikeruk. Adapun tipe tanah / material tersebut antara lain:

1. Batu besar (*boulders and cobbles*) Ukuran partikel  $> 200 \text{ mm}$ .

2. Batu kerikil (*gravels*) Ukuran partikel antara : 1. Kasar (*coarse*) : 60 – 20 mm 2. Sedang (*medium*) : 20 – 6 mm 3. Halus (*fine*) : 6 – 2 mm.
3. Pasir (*sands*) Ukuran partikel antara : 1. Kasar (*coarse*) : 2 – 0,6 mm 2. Sedang (*medium*) : 0,6 – 0,2 mm 3. Halus (*fine*) : 0,2 – 0,06 mm.
4. Endapan lumpur (*silts*) Ukuran partikel antara : 1. Kasar (*coarse*) : 0,06 – 0,02 mm 2. Sedang (*medium*) : 0,02 – 0,006 mm 3. Halus (*fine*) : 0,006 – 0,002 mm.
5. Tanah liat : ukuran partikel < 0,002 mm.
6. Tanah *organic* : ukuran partikel < 0,002 mm

## 2.7 Sedimentasi

Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin (Adlin, 2017). 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. Karena itu pengendapan ini bisa terjadi di sungai, danau, dan di laut. Batuan hasil pelapukan secara berangsur diangkut ke tempat lain oleh tenaga air, angin, dan gletser (es yang mengalir secara lambat). Air mengalir di permukaan tanah atau sungai membawa batuan halus baik terapung, melayang atau digeser di dasar sungai menuju tempat yang lebih rendah. Hembusan angin juga bisa mengangkat debu, pasir, bahkan bahan material yang lebih besar. Makin kuat hembusan itu, makin besar pula daya angkutnya. Di padang pasir misalnya, timbunan pasir yang luas dapat dihembuskan angin dan berpindah ke tempat lain. Sedangkan gletser, walaupun lambat gerakannya, tetapi memiliki daya angkut besar.

Kecepatan gerakan sedimen dapat dihitung, jika diketahui ukuran butiran, kedalaman air dalam alur dan kemiringan alurnya. Demikian pula volume butiran yang bergerak dapat diketahui jika debit air dalam alur tersebut diketahui.

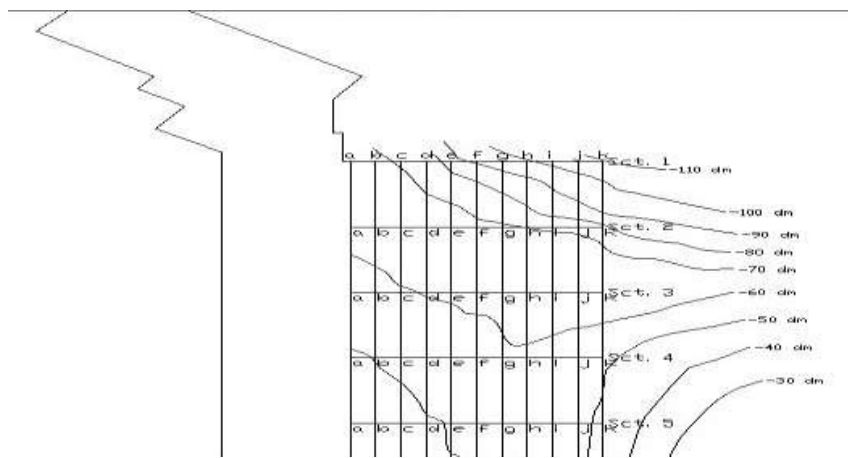
### 2.7.1 Volume Sedimen

Menurut Yunus (2016) dalam memperkirakan volume pekerjaan, alur yang akan dikeruk disurvei kedalamannya. Kemudian panjang alur dibagi menjadi bagian-bagian (segmen) dengan jarak tertentu. Tiap-tiap bagian kemudian

digambarkan penampang dari dasar alur asli dan potongan dari pengerukan yang direncanakan.

### 2.7.2 Metode *Cross Section*

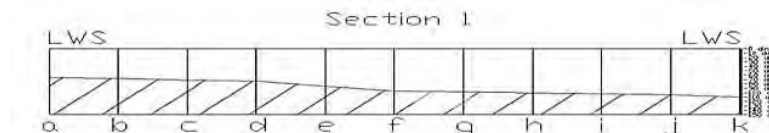
Perhitungan volume dengan menggunakan metode *Cross Section* ini dilakukan dengan cara membuat irisan melintang yang diambil tegak lurus terhadap sumbu proyek dengan interval jarak tertentu dan sama untuk tiap irisan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan software *Ms. Excel*, *AutoCAD*, serta *Land Desktop Civil 3D 2018*.



Gambar 2.11 Contoh penerapan irisan melintang pada peta bathimetri.  
(Sumber : Adlin, 2017)

### 2.7.3 Luasan Irisan Melintang *One Cross Section*

Adapun juga metode dengan menghitung luasan irisan melintang (*one cross section*). Pada dasarnya volume tanah antara dua penampang *Cross Section* dapat dihitung apabila luasan dari penampang-penampang tersebut diketahui terlebih dahulu. Untuk mengetahui luasan penampang melintang dapat dilakukan dengan bantuan software *AutoCAD*.



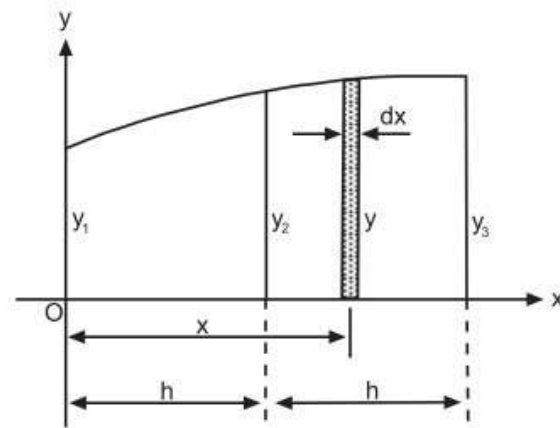
Gambar 2.12 Contoh irisan melintang *one cross section*.  
(Sumber : Adlin, 2017)

## 2.8 Perhitungan Luasan *Simpson*

Aturan *Simpson* dapat digunakan untuk mencari luas dan volume dari angka yang tidak teratur. Aturan didasarkan pada asumsi bahwa batas-batas angka tersebut merupakan kurva yang mengikuti hitungan matematika pasti. Bila diterapkan pada irisan melintang mereka memberikan pendekatan yang baik untuk luas dan volume. Akurasi jawaban yang diperoleh akan tergantung pada jarak dari koordinat dan pada seberapa dekat kurva berikut hukum. (Barras dan Derret 1999).

### 2.8.1 *Simpson I*

Pada aturan ini diasumsikan bahwa kurva merupakan parabola orde ke dua yang Persamaannya berdasarkan koordinat sumbu  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ . Dimana  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  adalah konstan. Berikut adalah gambar dari parabola orde dua yang mana  $y_1$ ,  $y_2$  dan  $y_3$  merupakan 3 ordinat dengan jarak  $h$  yang sama.



Gambar 2.13 Bidang lengkung (*simpson I*).

(Sumber : Barras, 1999)

Luas dari area yang diarsir adalah  $ydx$ , sedangkan luas daerah yang dibatasi oleh kurva dan sumbu adalah sebagai berikut.

$$A = \int_0^{2h} dA = \int_0^{2h} ydx \dots\dots\dots (2.27)$$

$$y = a_0 \cdot x + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \dots\dots\dots (2.28)$$

Sehingga

$$A = \int_0^{2h} (a_0 \cdot x + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) dx \dots\dots\dots (2.29)$$

$$A = 2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3}a_2h^2 \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\text{Asumsikan area pada gambar} = Ay_1 + By_2 + Cy_3 \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan menggunakan Persamaan kurva dan mensubstitusikan 'x' untuk 0, h dan 2h maka masing-masing:

$$A = Aa_0 + B(a_0 + a_1h + a_2h^2) + C(a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2)$$

$$= a_0(A + B + C) + a_1h(B + 2C) + a_2h^2(B + 4C) \dots\dots\dots(2.32)$$

Sehingga

$$2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3}a_2h^3 = a_0(A + B + C) + a_1h(B + 2C) + a_2h^2(B + 4C)$$

$$\dots\dots\dots(2.33)$$

Menyamakan koefisien :

$$A + B + C = 2h, B + 2C = 2h, \text{ dan } B + 4C = \frac{8}{3}h$$

$$A = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3) \dots\dots\dots(2.34)$$

Persamaan diatas juga dapat digunakan untuk mencari volume dengan luasan tak tentu yaitu dengan cara mengganti (y) dengan (a) yang merupakan area untuk mencari volume sebagaimana persamaan berikut.

$$V = \frac{h}{3}(a_1 + ay_2 + a_3) \dots\dots\dots(2.35)$$

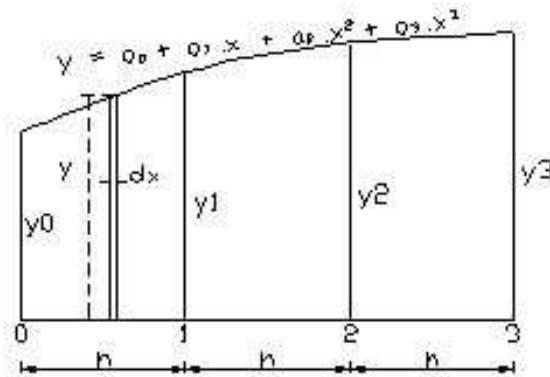
Dimana :

h = jarak tiap potongan (m)

a = luas tiap potongan ( $m^2$ )

**2.8.2 Simpson II**

Rumus pendekatan luas bidang lengkung dengan aturan *Simpson II* adalah rumus luas untuk 4 (empat) ordinat yaitu:  $y_0, y_1, y_2$  dan  $y_3$  atau jika jumlah ordinat lebih banyak dapat dikatakan, rumus pendekatan ini digunakan untuk menghitung luas bidang lengkung pada setiap jarak ordinat (h) kelipatan 3.



Gambar 2.14 Bidang lengkung (*simpson II*).

(Sumber : Barras, 1999)

Berikut ini uraian untuk mendapatkan rumus pendekatan menghitung luas bidang lengkung dengan aturan *simpson II*. Seperti terlihat pada gambar 2.5, Persamaan garis lengkung bidang tersebut adalah:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan integrasi, dapat diuraikan sebagai berikut :

Persamaan garis :

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 \dots\dots\dots(2.37)$$

Luas Semua :

$$A = \int_0^{3h} dA = \int_0^{3h} ydx \dots\dots\dots(2.38)$$

$$A = \int_0^{3h} (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3) dx \dots\dots\dots(2.39)$$

$$A = a_0 \cdot x + \frac{1}{2}a_1 \cdot x^2 + \frac{1}{3}a_2 \cdot x^3 + \frac{1}{4}a_3 \cdot x^4 \dots\dots\dots(2.40)$$

$$A = 3a_0 \cdot h + 4\frac{1}{2}a_1 \cdot h^2 + 9\frac{1}{3}a_2 \cdot h^3 + 8\frac{1}{4}a_3 \cdot h^4 \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimisalkan Luas :

$$A = A \cdot y_0 + B \cdot y_1 + C \cdot y_2 + D \cdot y_3 \dots\dots\dots(2.42)$$

Bila harga x diganti dengan 0, h, 2h, dan 3h, dan harganya tersebut y0, y1, y2, dan y3 maka dari Persamaan (2.37) diatas didapat :

$$y_0 = a_0 \dots\dots\dots(2.43)$$

$$y_1 = a_0 + a_1 \cdot h + a_2 \cdot h^2 + a_3 \cdot h^3 \dots\dots\dots(2.44)$$

$$y_2 = a_0 + 2a_1 \cdot h + 4a_2 \cdot h^2 + 8a_3 \cdot h^3 \dots\dots\dots(2.45)$$



$$y^3 = a_0 + 3a_1 \cdot h + 9a_2 \cdot h^2 + 27a_3 \cdot h^3 \dots\dots\dots(2.46)$$

Masukkan Persamaan (2.42) diatas, maka akan diperoleh :

$$A = A \cdot a_0 + B(a_0 + a_1 \cdot h + a_2 \cdot h^2 + a_3 \cdot h^3) + C(a_0 + 2a_1 \cdot h + 4a_2 \cdot h^2 + 8a_3 \cdot h^3) + D(a_0 + 3a_1 \cdot h + 9a_2 \cdot h^2 + 27a_3 \cdot h^3) \dots\dots\dots(2.47)$$

$$A = (A + B + C + D)a_0 + (B + 2C + 3D)a_1 \cdot h + (B + 4C + 9D)a_2 \cdot h^2 + (B + 8C + 27D)a_3 \cdot h^3 \dots\dots\dots(2.48)$$

Dari Persamaan (2.41) dan (2.48) diperoleh :

$$(A + B + C + D) = 3h \dots\dots\dots(2.49)$$

$$(B + 2C + 3D) = 4 \frac{1}{2} h \dots\dots\dots(2.50)$$

$$(B + 4C + 9D) = 9h \dots\dots\dots(2.51)$$

$$(B + 8C + 27D) = 20 \frac{1}{4} h \dots\dots\dots(2.52)$$

Persamaan (2.49), (2.50), (2.51) dan (2.52) diselesaikan maka diperoleh :

$$A = \frac{3}{8}h, B = \frac{9}{8}h, C = \frac{9}{8}h, D = \frac{3}{8}h \dots\dots\dots(2.53)$$

Dimasukkan ke Persamaan (2.42), diperoleh :

$$A = \frac{3}{8}h(1 \cdot y_0 + 3 \cdot y_2 + 3 \cdot y_3 + 1 \cdot y_4) \dots\dots\dots(2.54)$$

Persamaan diatas juga dapat digunakan untuk mencari volume dengan luasan tak tentu. Yaitu dengan cara mengganti y dengan a yang merupakan area untuk mencari volume sebagaimana Persamaan (2.55) berikut.

$$V = \frac{3}{8}h(1 \cdot a_0 + 3 \cdot a_2 + 3 \cdot a_3 + 1 \cdot a_4) \dots\dots\dots(2.55)$$

Dimana :

h = jarak tiap potongan (m)

a = luas tiap potongan (m<sup>2</sup>)

## 2.9 Rencana Anggaran Biaya

Membuat Rencana Anggaran Biaya (RAB) artinya membuat perkiraan biaya yang akan dikeluarkan untuk Omelaksanakan proyek. Dalam sebuah tender pengadaan barang/jasa, RAB salah satu bagian dari dokumen yang harus dipersiapkan.

Nantinya RAB tersebut dijadikan sebagai dasar bagaimana kontraktor memberikan nilai penawarannya. RAB yang disajikan dalam sebuah tender

pengadaan barang/jasa sudah termasuk pajak, iuran BPJS Ketenaga Kerjaan, provit dan *over head*.

Sebelum pelaksanaan proyek, penyusunan RAB merupakan hal yang paling penting. Sesuai dengan istilahnya, RAB memiliki fungsi sebagai acuan dasar perencanaan pelaksanaan proyek, mulai dari pemilihan penyedia, pemilihan bahan material, sampai pengawasan tender agar berjalan sesuai dengan rancangan dan kesepakatan awal/kontrak.

Menurut (Rahmah, 2019) RAB memiliki beberapa komponen di dalamnya. Berikut di bawah ini item rincian yang harus ada dalam RAB :

1. Uraian pekerjaan.

Jika pekerjaan konstruksi biasanya terdapat sub jenis pekerjaan misalnya pekerjaan persiapan, galian, urugan dan pekerjaan pondasi beton.

2. Volume pekerjaan (Unit).

Jika di dalam pengadaan barang biasanya digunakan satuan unit. Sedangkan untuk pekerjaan konstruksi kebanyakan dihitung dalam satuan meter persegi ( $m^2$ ), meter kubik ( $m^3$ ), atau unit.

3. Harga satuan.

Jika pengadaan barang cukup mengalikan harga satuan dengan unit barang sehingga ditemukan biaya belanja modal. Sedangkan untuk pekerjaan konstruksi dipisah menjadi dua bagian, yaitu harga jasa atau harga jasa berikut materialnya. Kemudian, kalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan.

4. Total upah pekerja.

Upah pekerja ini umumnya hanya untuk pekerjaan jasa konstruksi saja, yaitu didapatkan dari biaya per jam x estimasi waktu pekerjaan x total pekerja.

5. Total material bahan bangunan.

6. *Grand Total*

*Grand total* yaitu jumlah harga yang didapatkan dari penjumlahan total upah dengan total material atau perkalian volume dengan total upah.

*Payback Period* (PBP) ialah jangka waktu pengembalian biaya awal. Semakin cepat pengembaliannya maka alternatif tersebut lebih menarik dibandingkan dengan alternatif lainnya. Kelebihan dari metode *payback period* adalah mudah dalam penggunaan dan perhitungan, berguna untuk memilih

investasi yang mana yang mempunyai masa pemulihan tercepat, masa pemulihan modal dapat digunakan untuk alat prediksi resiko ketidakpastian pada masa mendatang, dan masa pemulihan tercepat memiliki resiko lebih kecil dibandingkan dengan masa pemulihan yang relatif lebih lama (Purnatiyo, 2014).

Sedangkan kelemahannya adalah mengabaikan adanya perubahan nilai uang dari waktu ke waktu, mengabaikan arus kas setelah periode pemulihan modal dicapai, mengabaikan nilai sisa proses dan sering menjebak analisator jika biaya modal atau bunga kredit tidak diperhitungkan dalam arus kas yang menyebabkan usaha tidak likuid (Purnatiyo, 2014).

$$Payback\ Period = \frac{Investasi}{Cashflow} \times 1\ tahun \dots\dots\dots(2.56)$$