

PERENCANAAN Pengerukan (DREDGING) KOLAM LABUH DERMAGA TERMINAL BERLIAN TANJUNG PERAK SURABAYA

Bonita Nabilla Safitri¹, Eding Iskak Imananto², Munasih³
¹²³⁾ Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Email : bonitanabilla28@gmail.com¹

ABSTRACT

The depth of the wharf pool which is currently 8 meters is considered to be incapable of loading and unloading activities with a larger ship capacity. The increasing use of containers and the rising wheels of the economy in Indonesia is the one reasons for dredging the wharf pool. From the results of the borelog, founded that the type of soil in wharf pool area is a type of clay shell sand. By using the trapezoid approach method, the dredging volume is 1.659.786 m³ using a Cutter Suction Dredger (CSD) and Split Hopper Barge (barge). The existence of dredging activities in the wharf pool area can threaten safety of the pier wall. Where at this time the pier wall has been reinforced by steel pipe sheet pile of SPSP1016 T14. In analyzing the stability of the slopes, with computer program PLAXIS V.2, was used to determine the safety figures accurately in a short time. Based on the results of the slope stability analysis on the front and back of the pile, it was found that the pier wall is safe against sliding. And based on the calculation of the cost and duration of dredging is estimated at Rp. 23.267.784,000 for 4 months .

Key words : *Dredging, Slope Stability, Safety Factors, Duration, and Cost*

ABSTRAK

Kedalaman kolam dermaga yang saat ini masih 8 meter dianggap sudah tidak mampu untuk aktivitas bongkar muat dengan kapasitas kapal yang lebih besar. Adanya peningkatan penggunaan peti kemas dan naiknya roda ekonomi di Indonesia menjadi salah satu alasan pendorong untuk dilakukannya pengerukan pada kolam labuh. Dari hasil borelog yang di dapatkan bahwa jenis tanah pada area kolam labuh dermaga berlian adalah jenis pasir kerang lempungan. Dengan menggunakan metode pendekatan trapesium banyak pas maka di dapat volume pengerukan sebesar 1.659.786 m³ dengan menggunakan kapal keruk Cutter Suction Dredger (CSD) dan di bantu oleh kapal Split Hopper Barge (tongkang). Adanya aktifitas pengerukan di area kolam labuh, dapat mengkhawatirkan keamanan dari dinding dermaga. Dimana pada saat ini dinding dermaga telah diperkuat oleh tiang panjang baja tipe SPSP1016 T14. Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan bantuan program komputer yakni PLAXIS V.2 untuk mengetahui angka kemanan secara akurat dalam waktu yang singkat. Berdasarkan hasil analisa stabilitas lereng pada sisi depan dan belakang tiang pancang di dapatkan bahwa dinding dermaga aman terhadap longsor / sliding. Serta berdasarkan perhitungan biaya dan durasi pengerukan diperkirakan sebesar Rp. 23.267.784,000 selama 4 bulan .

Kata kunci : *Pengerukan, Stabilitas lereng, Angka keamanan, Durasi, dan Biaya*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang yang juga menjadi salah satu negara industri untuk barang-barang ekspor yang diperdagangkan ke luar negeri. Salah satu jalur ekspor yang efektif adalah menggunakan jalur laut, dimana jalur tersebut dianggap aman dan dapat di sesuaikan dengan kebutuhan. Pembangunan fasilitas pelabuhan di Indonesia menjadi salah satu fokus pemerintah, disamping karena kebutuhan akan kepelabuhanan yang bertambah. Pemeliharaan pelabuhan dan

peningkatan pelabuhan juga menjadi fokus pemerintah.

Penggunaan peti kemas pada pelabuhan sudah semakin banyak digunakan karena telah meningkatkan efisiensi dalam penanganan kargo serta membutuhkan tenaga kerja yang lebih sedikit. Agar kontainerisasi dapat terakomodasi dengan efektif dan efisien, maka kapal, terminal, dan peralatan bongkar muat juga harus dapat beradaptasi sesuai dengan kondisi. Semakin meningkatnya trend kontainerisasi berdampak pada dimensi kapal pengangkut yang juga semakin bertambah.

Dermaga Terminal Berlian merupakan salah satu 1. dermaga lama yang sampai saat ini masih aktif beroperasi, yang memiliki panjang awal sebesar 1.620 m dan lebar eksisting sebesar 140 m. Dermaga Terminal Berlian sebelumnya melayani kapal dengan bobot 5.000 DWT yang memiliki draft sebesar 8 m. Dikarenakan perkembangan penggunaan peti kemas semakin banyak, maka ukuran kapal yang digunakan semakin besar. Kapal yang rencananya akan bertambat pada Dermaga Terminal Berlian memiliki bobot 50.000 DWT dengan draft sebesar 12,7 m. Untuk meningkatkan produktivitas bongkar muat peti kemas, serta memanfaatkan konstruksi yang sudah ada. Maka, diperlukan pendalaman atau pengerukan/dredging kolam labuh di Dermaga Terminal Berlian Tanjung Perak Surabaya.

Berdasarkan fenomena diatas dilakukanlah sebuah perencanaan pengerukan/dredging kolam labuh Dermaga Terminal Berlian Tanjung Perak Surabaya.

2. DASAR TEORI

2.1 Sedimentasi

Menurut Hambali & Apriyanti (2016;166) 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.

2.2 Pengerukan / Dredging

Mahendra (2014:3) Dredging merupakan salah satu teknik ilmu sipil, yang memiliki pengertian relokasi material dari bawah permukaan air dengan menggunakan peralatan keruk khusus atau setiap kegiatan yang merubah konfigurasi dasar atau kedalaman perairan seperti laut, sungai, danau, pantai sehingga mencapai elevasi tertentu dengan menggunakan peralatan kapal keruk. Secara singkat, pengerukan (Dredging) merupakan kegiatan relokasi sedimen yang berada di bawah permukaan air yang bertujuan untuk pembangunan atau pemeliharaan suatu perairan.

2.2.1 Klasifikasi Pengerukan

Menurut Mahendra (2016:4) pengerukan (Dredging) dibagi menjadi 2 jenis yakni ;

1. Pengerukan awal (Capital Dredging) Capital Dredging adalah aktivitas pengerukan yang dilakukan pada satu perairan yang telah lama terjadi pengendapan, seperti pada pelabuhan, wakduk, bendung.
2. Pengerukan perawatan (Maintenance Dredging) Merupakan jalan yang melayani lalu lintas khususnya melayani angkutan jarak sedang dengan kecepatan rata-rata sedang serta jumlah akses yang dibatasi.

2.2.2 Pemilihan Kapal Keruk

Pemilihan penggunaan kapal keruk yang akan digunakan tidak dapat dipilih secara sembarang. Ada beberapa factor utama yang harus diperhatikan dalam pemilihan kapal keruk.

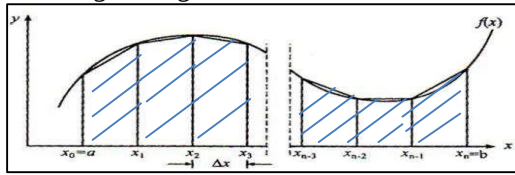
Table 1 Pedoman Teknis kegiatan Pengerukan Dan Reklamasi Tahun 2006

JENIS TANAH			JENIS ALAT KERUK					
Klasifikasi	Kedatan	N	Pump Dredger	Hopper Dredger	Grab Dredger	Bucket Dredger	Dipper Dredger	Rock Breaker
Tanah Lempung	Sangat lunak	< 40	✓	✓	✓	✓		
	Lunak	40	✓	✓	✓	✓		
	Sedang	100	✓	✓	✓	✓		
	Keras	100	✓		✓	✓		
	Lebih keras	200	✓		✓	✓	✓	✓
Tanah Keras	Sangat keras	200	✓		✓	✓	✓	✓
	Lunak	< 10	✓	✓	✓	✓		
	Sedang	10	✓	✓	✓	✓		
	Keras	20	✓	✓	✓	✓		
	Lebih keras	20	✓		✓	✓	✓	✓
Tanah Keras Berkerikil	Sangat keras	30	✓		✓	✓	✓	✓
	Lunak	< 30	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Keras	> 30	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Lunak	< 30	✓		✓	✓	✓	✓
	Keras	> 30	✓		✓	✓	✓	✓
Batu	Lebih lunak	40	✓		✓	✓	✓	✓
	Lunak	50	✓		✓	✓	✓	✓
	Sedang	50			✓	✓	✓	✓
	Keras	60			✓			✓
	Lebih keras	60			✓			✓
Kerikil	Sangat keras	60			✓			✓
	Lepas Menyatu		✓		✓	✓	✓	

2.3 Metode Perhitungan Volume Pengerukan

Menurut Vlandari (2017;53) Metode integral numerik merupakan integral tertentu yang didasarkan pada hitungan perkiraan. Dalam integral numerik terdapat pendekatan dengan metode trapesium. Dimana pendekatan trapesium terbagi menjadi 2 pendekatan kembali yakni, metode trapesium satu pias dan metode trapesium banyak pias. Pendekatan trapesium banyak pias dapat digunakan apabila hanya tersedia 2 data yaitu data f(a) dan f(b). apabila terdapat lebih dari dua data maka dapat dilakukan pendekatan trapesium banyak pias. Pada gambar 2.1 dengan tiga data dapat dibentuk dua trapesium, dan luas kedua

trapesium (bidang yang diarsir) adalah pendekatan dari integral fungsi.



Gambar 1. Metode Trapesium

Maka luas daerah dibawah garis lengkung dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{\Delta x}{2} [f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + \dots + f(x_n)]$$

Dimana :

- L : Luas segmen/penampungan (Meter)
 Δx : Total panjang setiap/pias (Meter)
 $f(x_0)$: angka kedalaman awal (Meter)
 $f(x_i)$: Angka kedalaman ke i (Meter)
 $f(x_n)$: Angka kedalaman ke n (Meter)

dengan demikian maka rumus mencari volume antara 2 segmen dan volume total pengerukan dapat dicari dengan :

$$V = \frac{L_1 + L_2}{2} \times \text{jarak}$$

Dimana :

- V : Volume (M3)
 L_1 : Luas ke 1 (M2)
 L_2 : Luas ke 2 (M2)
 Jarak : jarak antar segmen (Meter)

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n$$

Dimana :

- V_t : Volume total (M3)
 V_1 : Volume antara STA 1 dan STA 2 (M3)
 V_2 : Volume antara STA 2 dan STA 3 (M3)
 V_n : Volume antara L_{n-1} dan L_n (M3)

2.4 Tekanan Yang Bekerja Pada Turap

2.4.1 Tekanan Tanah Aktif Dan Pasif

Fungsi utama dari turap adalah menahan beban horizontal/lateral. Dimana beban tersebut terbagi menjadi 2 tekanan yakni, tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif.

Tekanan tanah aktif dan pasif menurut Rankie :

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Dimana :

- ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$)

2.4.2 Gaya Aktif Dan Pasif

Perhitungan gaya gaya pasif dan aktif yang bekerja pada turap dipengaruhi oleh tekanan tanah aktif dan pasif yang bekerja pada bidang tersebut.

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma H$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma H$$

Dimana :

- K_a : Tekanan tanah aktif
 K_p : Tekanan tanah pasif
 γ : berat volume tanah
 H : Ketinggian (meter)

2.5 Analisa Stabilitas

2.5.1 Stabilitas Terhadap Penggeseran

Dalam perhitungan stabilitas terhadap penggeseran menggunakan factor keamanan yang dikeluarkan oleh Bowles (1997) :

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah granuler

$F_{gs} \geq 2,0$ untuk tanah kohesi

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{\sum R_h + \sum P_p}{\sum P_a} \geq 1,5$$

Untuk tanah granuler ($c=0$)

$$\sum R_h = W \cdot f$$

$$W \tan \delta_b ; \text{ dengan } \delta_b \geq \phi$$

Dimana :

- W : Berat total dinding penahan (Kn)
 δ_b : Sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi
 $\sum P_h$: Jumlah gaya horizontal (Kn)
 f : $\tan \delta_b$ (koefisien geser antara tanah dasar dan dasar pondasi)

2.5.2 Stabilitas Terhadap Penggulingan

Adanya tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh tanah uruk yang berada di belakang dinding penahan, dapat menggulingkan dinding enahan yang memiliki pusat rotasi di ujung kkaai depan pondasi. Maka stabilitas penggulingan harus diperhitungkan.

$$F_{gl} = \frac{\sum \text{Penahan}}{\sum \text{Pendorong}} \geq 1,5$$

$$\sum \text{penahan} = \sum W + \sum MP$$

Dimana :

- $\sum \text{Penahan}$: Momen penahan penggulingan (Kn/M)
 $\sum M_{gl}$: Momen pendorong penggulingan (Kn/M)

2.5.3 Stabilitas Terhadap Runtuh

Stabilitas terhadap runtuh dapat dihitung menggunakan persamaan Terzaghi, dimana kapasitas dukung tanah dengan fondasi berbentuk lingkaran adalah :

Keruntuhan geser setempat (*Local Shear Failure*)

$$q_u' = cN_c + qN_q + 0,5\gamma B N_\gamma$$

Keruntuhan geser menyeluruh (*Generall Shear Failure*)

$$q_u = 1,3 c'N_c' + qN_q' + 0,4\gamma B N_\gamma'$$

Faktor keamanan

$$F = q_u / q \geq$$

Dimana :

C : Kohesi tanah
(Kn/M2)

N_c, N_q, N_γ : Faktor kapasitas Terzaghi

B : Lebar / diameter pondasi
(Meter)

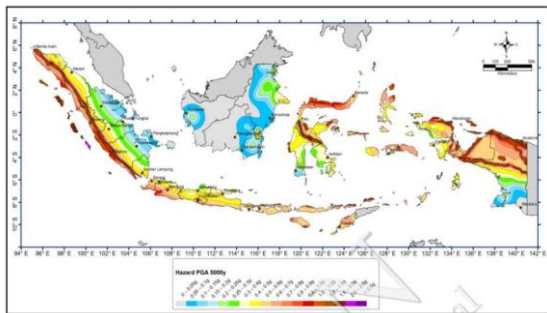
F : Faktor keamanan

q : tekanan akibat beban struktur
(Kn/M)

γ : Berat volume tanah
(Kn/M3)

2.5.4 Stabilitas Terhadap Gempa Bumi

Dalam perhitungan stabilitas terhadap gempa bumi, pada tugas akhir ini menggunakan metode Mononobe-Okabe (1924) . Metode Mononobe-Okabe (1924) merupakan metode hasil pengembangan dari metode Coloumb, Dimana komponen horizontal dan vertical dari percepatan gempa akan diperhitungkan. Dimana nilai komponen percepatan gempa di dapatkan dari Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.



Gambar 2. Peta Percepatan Puncak Pada Batuan Dasar (SB)

$$K_h = \frac{\text{Komponen horisontal dari percepatan gempa}}{g}$$

$$K_v = \frac{\text{Komponen vertikal dari percepatan gempa}}{g}$$

$$K'a = \frac{\cos^2(\theta - \theta - \beta)}{\cos^2 \theta \cos \beta \cos(\delta + \theta + \beta) \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\delta + \theta) \sin(\theta - \alpha - \beta)}{\cos(\delta + \theta + \beta) \cos(\theta - \alpha)} \right]^2 \right\}}$$

Dimana :

K_h : Komponen horizontal percepatan gempa

K_v : Komponen vertikal percepatan gempa

$K'a$: gaya aktif yang bekerja pada dinding akibat gempa

g : gravitasi (9,18)

β : Sudut anatara bidang longsor dan horisontal ($^\circ$)

2.5.5 PLAXIS

Plaxis merupakan sebuah program bantu teknik sipil yang memiliki fungsi sebagai alat bantu dalam perhitungan analisa stabilitas dan analisa deformasi dalam bidang geoteknik. Plaxis menggunakan metode elemen hingga, dengan menggunakan

pemodelan secara grafis maka suatu model elemen hingga yang rumit dapat di aplikasikan secara cepat dan detail. Dalam perencanaan ini juga menggunakan analisa dengan program bantuan teknik sipil PLAXIS V.2

2.6 Bathymetri

Menurut Poerbandono dan Djunarsjah (2005:71), Batimetri adalah gambar kontur kedalaman dari suatu perairan, yang digambarkan sejak proses pengukuran, pengolahan data, hingga visualisasi kontur akhir yang nantinya akan berbentuk suatu peta kontur kedalaman, kemiringan, serta kelandaian suatu perairan.

2.7 Pasang Surut

Menurut Triadmodjo (2010:69) 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. Elevasi muka air pasang surut ditentukan berdasarkan pengukuran selama 30 hari. Beberapaa elevasi tersebut antara lain : HWL, LWS, MHWL, MLWL, MSL dan HHWL.

2.8 Data Rencana Kapal

Pemilihan modete pelaksaan pengerukan juga di dasari oleh kebutuhan kedalaman kolam labuh yang akan di direncanakan. Dimana kolam labuh tersebut akan di menjadi tempat sandar kapal, ukuran dan kebutuhan kedalaman kolam tergantung pada besar kapal yang akan di sandarkan.

2.9 Data Tanah

Kondisi tanah / jenis tanah yang ada pada lokasi perencanaan juga mempengaruhi jenis kapal keruk yang dapat di aplikasikan. untuk mencari jenis kapal keruk yang efisien. Data tanah di dapat dari hasil boring lapangan di kawasan terminal Berlian Surabaya, yang kemudian di analisis di Laboratorium mekanika tanah. Data tanah yang telah di uji pada laboratorium dalam bentuk grafik N-SPT dan juga tabel hasil penyelidikan tanah.

2.10 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perkiraan biaya yang perlu di persiapan untuk suatu kegiatan yang akan dilaksanakan sesuai dengan kondisi yang ada.. Rab dibuat dengan menggunakan dasar Harga Satuan Dasar (HSD) yang secara resmi dikeluarkan oleh pemerintah, kementerian, Daerah maupun OPD. Dalam penyusunan tugas akhir ini RAB yang dihitung mengikuti Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (PM) Nomor 29/PRT/M/2016 Tentang pedoman analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum.

2.10.1 Biaya pasti / Harga pokok alat (B)

Harga pokok alat yang akan digunakan menggunakan harga sewa alat kapal keruk yang didapatkan dari perusahaan persewaan kapal keruk.

2.10.2 Biaya tidak pasti / Biaya bahan bakar (H)

Biaya bahan bakar merupakan biaya yang akan menghitung besarnya biaya yang diperlukan untuk keperluan kapal selama beroperasi. Dimana besarnya adalah liter/jam.

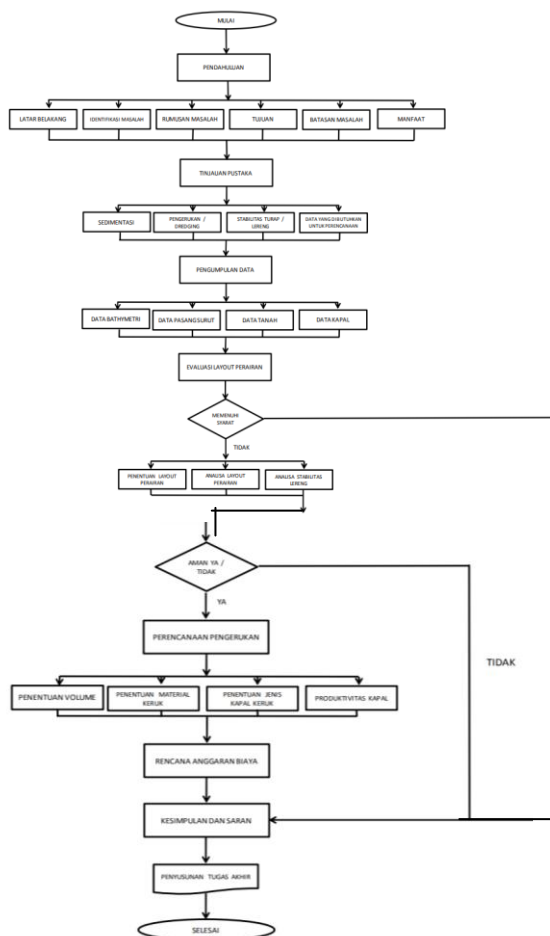
$$H = (12,00 \text{ s/d } 15,00) \% \times HP$$

Dimana :

H : biaya bahan bakar (liter/jam)

HP : Horsepower / kapasitas mesin penggerak

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisa Kondisi Eksisting

a. Kebutuhan Kedalaman Kolam

$H = 1,1 \times \text{Draft Kapal rencana}$

$H = 1,1 \times 12,7$

$H = 13,97 \text{ meter atau } 14 \text{ meter}$

Table 2 Kedalaman kolam pelabuhan Tritmodjo 2010

Tabel 4.4. Kedalaman kolam pelabuhan

Bobot	Kedalaman (m)	Bobot (DWT)	Kedalaman (m)
Kapal Pemumpang (GT)			
500	3,5	20.000	11,0
1.000	4,0	30.000	12,0
2.000	4,5	40.000	13,0
3.000	5,0	50.000	14,0
5.000	6,0	60.000	15,0
8.000	6,5	70.000	16,0
10.000	7,0	80.000	17,0
15.000	7,5		
20.000	9,0		
30.000	10,0		
Kapal Barang (DWT)			
700	4,5	10.000	9,0
1.000	5,0	15.000	10,0
2.000	5,5	20.000	11,0
3.000	6,5	30.000	12,0
5.000	7,5	40.000	13,0
8.000	9,0	50.000	14,0
10.000	10,0	60.000	15,0
15.000	11,0	70.000	16,0
20.000	11,5	80.000	17,0
30.000	12,0	100.000	18,0
40.000	13,0	150.000	20,0
50.000	14,0		
Kapal Ferry (GT)			
1.000	4,5		
2.000	5,5		
3.000	6,5		
4.000	7,5		
6.000	8,0		
8.000	8,0		
10.000	8,0		
Kapal peti kemas (DWT)			
3.000	6,5	20.000	12,0
5.000	7,5	30.000	13,0
10.000	9,0	40.000	14,0
15.000	10,0	50.000	15,0

b. Gelombang pasang surut

Berdasarkan hasil pengamatan pada alat TideMaster Actual Record yang kemudian di analisa oleh alat T-Tide selama 31 hari pengamatan oleh BMKG Tanjung Perak Surabaya didapatkan hasil bahwa kondisi pasang surut Dermaga Terminal Berlian :

- Elvasi HWS (High Water Spring) pada $\pm 2.958 \text{ mLWS}$
- Elevasi MSL (Mean Sea Level) pada $\pm 1.50 \text{ mLWS}$
- Elvasi LWS (Low Water Spring) pada $\pm 0.00 \text{ mLWS}$
- Beda pasang surut $\pm 2.958 \text{ m}$

c. Analisa Data Tanah

Berikut adalah rekomendasi parameter tanah desain yang akan digunakan sebagai acuan parameter dasar dalam melakukan analisa terhadap stabilitas dan deformasi pada dinding dermaga, hingga kondisi setelah muka asli di dredging hingga elevasi rencana -14 mLws . Yang diambil dari 3 titik borelog :

Project : PENINGKATAN KAPASITAS TERMINAL BERLIAN PELABUHAN TANJUNGO PERAK													
Location : SURABAYA - JAWA TIMUR													
Boring : BH-02 (AREA LAUT)													
Elevation : -9.0 mLWS													
Date : M : 200													
Recommendation Parameters													
Depth (m)	Soil Type	N-SPT	Symbol	Undrained Parameter				Drained Parameter				γ	Tau
				c_u	ϕ	c_u	ϕ	c_u	ϕ	c_u	ϕ		
0.0 - 5.0	Lempung	2	C1	7	-	1000	0.35	84.0	0.20	1	25	15.60	16.60
5.0 - 20.0	Passir Keras Lempungan	3	M	10	-	5103	0.35	3062	0.20	1	26	15.80	16.80
20.0 - 24.0	Passir Halus Hiran	23	S	-	37	17608	0.25	17618	0.15	-	37	18.40	19.40
24.0 - 30.0	Lempung Abu-Abu	23	C2	143	-	57000	0.25	34200	0.20	29	36	18.70	19.70

Project : PENINGKATAN KAPASITAS TERMINAL BERLIAN PELABUHAN TANJUNGO PERAK													
Location : SURABAYA - JAWA TIMUR													
Boring : BH-03 (AREA DARAT)													
Elevation : +4.3 KMLWS													
Date : M : 200													
Recommendation Parameters													
Depth (m)	Soil Type	N-SPT	Symbol	Undrained Parameter				Drained Parameter				γ	Tau
				c_u	ϕ	c_u	ϕ	c_u	ϕ	c_u	ϕ		
0.0 - 18.0	Silti Sand	14	M	42	31	20764	0.35	12458	0.20	4	33	17.40	18.40

Properties tanah timbunan

- Jenis tanah = Pasir
- Berat isi = 18 kN/m^3
- c'_{ref} = 10 kN/m^2
- ϕ' = 33°
- $E'_{timbunan}$ = 11490 kN/m^2

Gambar 3. Rekomendasi parameter tanah zona I berdasarkan Boring BH02 & 03 area laut dan tanah uruk

Berdasarkan hasil boring tanah diatas didapatkan hasil bahwa jenis tanah pada kolam labuh dermaga Terminal Berlian sisi barat pada kedalaman 0 sampai dengan -14 mLWS adalah Sand/Berpasir. Hal ini dapat dilihat dari nilai N-SPT >10.

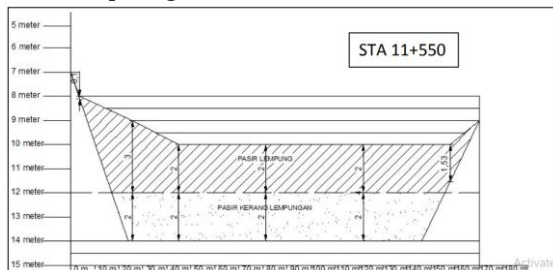
4.2 Perhitungan Volume Pengerukan

Dalam perhitungan volume pengerukan dilakukan dengan cara membagi layout kolam labuh dermaga Terminal Berlian menjadi beberapa cross section, berikut adalah pembagian cross section area pengerukan :



Gambar 5. Pemabagian Cross Section

Berdasarkan hasil pembagian cross section seperti gambar diatas, dapat di gunakan sebagai dasar detail potongan melintang masing-masing cross section seperti gambar dibawah ini :



Gambar 6. Cross section STA 11+550

Dengan menggunakan perhitungan numerik trapesium maka di dapat :

a. Tanah Pasir

STA	h	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Σ
STA 11+550	170.17	0	0.1	3	2	2	2	1.53	0	1.809

Dengan menggunakan perhitungan numerik trapesium maka di dapat :

$$\begin{aligned} \text{Luas STA 11+550} &= \frac{h}{2} \times f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + 2f(x_3) + 2f(x_4) + \\ &2f(x_5) + 2f(x_6) + f(x_7) \\ &= 170.17/2 \times f(0) + 2f(0.1) + 2f(3) + 2f(2) + 2f(2) + \\ &2f(2) + 2f(1.53) + f(0) \\ &= 1.809 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Tanah Lempung

STA	h	x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Σ
STA 11+550	170.18	0	2	2	2	2	0	0	0	1.361

$$\begin{aligned} \text{Luas STA 11+550} &= \frac{h}{2} \times f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + 2f(x_3) + 2f(x_4) + \\ &2f(x_5) + 2f(x_6) + f(x_7) \\ &= 170.18/2 \times f(0) + 2f(2) + 2f(2) + 2f(2) + 2f(2) + \\ &+ f(0) \\ &= 1.361 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dengan masing-masing Bulking Factor sesuai dengan jenis tanah yang ada,

Soil type	Bulking factor, B
Hard rock (blasted)	1.50-2.00
Medium rock (blasted)	1.40-1.80
Soft rock (blasted)	1.25-1.40
Gravel, hardpacked	1.35
Gravel, loose	1.10
Sand, hardpacked	1.25-1.35
Sand, medium soft to hard	1.15-1.25
Sand, soft	1.05-1.15
Silts, freshly deposited	1.00-1.10
Silts, consolidated	1.10-1.30
Clay, very hard	1.15-1.25
Clay, medium soft to hard	1.10-1.15
Clay, soft	1.00-1.10
Sand/gravel/clay mixtures	1.15-1.35

Tabel 4. Bulking factor

Selanjutnya perhitungan volume dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

KEDALAMAN 0-5 TANAH LEMPUNG					
No	Potongan (STA)	A (m ²)	A (Rata-rata)	Jarak (m)	Volume (m ³)
1	STA 1+50	2.178	2.178	50	108.913
2	STA 2+100	1.029	1.604	50	80.178
3	STA 3+150	1.736	1.383	50	69.130
4	STA 4+200	2.790	2.263	50	113.159
5	STA 5+250	1.805	2.298	50	114.886
6	STA 6+300	1.434	1.620	50	80.996
7	STA 7+350	1.871	1.653	50	82.634
8	STA 8+400	1.752	1.812	50	90.581
9	STA 9+450	1.485	1.619	50	80.941
10	STA 10+500	1.549	1.517	50	75.866
11	STA 11+550	1.809	1.679	50	83.955
12	STA 12+600	1.638	1.723	50	86.168
TOTAL VOLUME Pengerukan					1.067.408
BULKING FACTOR, B					1.10
TOTAL VOLUME Pengerukan X BULKING FACTOR					1.174.148.5

KEDALAMAN 5-7 TANAH PASIR KERANG LEMPUNGAN					
No	Potongan (STA)	A (m ²)	A (Rata-rata)	Jarak (m)	Volume (m ³)
1	STA 1+50	0	0	50	0
2	STA 2+100	317	159	50	7.927
3	STA 3+150	484	401	50	20.030
4	STA 4+200	656	570	50	28.516
5	STA 5+250	501	579	50	28.927
6	STA 6+300	300	400	50	20.025
7	STA 7+350	1.277	789	50	39.445
8	STA 8+400	1.647	1.462	50	73.108
9	STA 9+450	476	1.062	50	53.075
10	STA 10+500	1.334	905	50	45.259
11	STA 11+550	1.361	1.348	50	67.392
12	STA 12+600	950	1.156	50	57.787
TOTAL VOLUME Pengerukan					441.489
BULKING FACTOR, B					1.10
TOTAL VOLUME Pengerukan X BULKING FACTOR					485.637.922

Tabel 5. Perhitungan volume pengerukan tanah lempung dan pasir

$$\begin{aligned} \text{Volume penegrukan} &= \text{Volume Pengerukan Tanah} \\ &\text{Lempung} + \text{Volume Pengerukan Tanah Pasir} \\ &\text{Kerang Lempungan} \\ &= 1.174.148,5 + 485.637,922 = 1.659.786 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari data diatas dan berdasarkan pedoman teknis kegiatan pengerukan dan reklamasi tahun 2006 (tabel 1), maka di dapat jenis kapal keruk yang dapat digunakan adalah *Cutter Section Dredger (CSD)*. Dalam perenanaan ini kapal CSD yang digunakan adalah kapal CSD Batang Anai milik PT. Pengerukan Indonesia.

CUTTER SUCTION DREDGER BATANG ANAI



Call Sign	: Y.F.C.P	Depth to main deck	: 7,00 m
Class	: BKL	Draught max	: 4,996 m
Description of ship	: Self Propeller Cutter Dredger	Gross tonnage	: 2,550 m
Capacity	: 30" / 6000 m3/ house	Netto tonnage	: 765 ton
Full speed	: 12 Knot	Main engine	: 2x 2650 kw
Length over all	: 98,80 m	Maker	: MAK
Length between anchor	: 75,00	Dredging depth	: 24 m
Breadth moulded	: 18,50	Ship yard	: Volswerft GmbH Stralsund Germany 1994
Pipe dimension	: 0,80 m	Rent Price	: Rp. 1.400.000.000,00 / month

Gambar 7. Cutter Section Dredger Batang Anai

4.3 Produktivitas Pengerukan

Dalam proses pengerukan, kapal hidrolik akan dibantu oleh air yang akan bercampur dengan lumpur (slurry) yang bertujuan agar memudahkan proses pengerukan. Dimana terdapat sebanyak 60% air dan 40% tanah. PIANC (2014:121) .

- Produktivitas = kapasitas alat keruk x kandungan tanah

$$= 6000 \times 40\% \\ = 2400 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan diketahui ff adalah 0,97

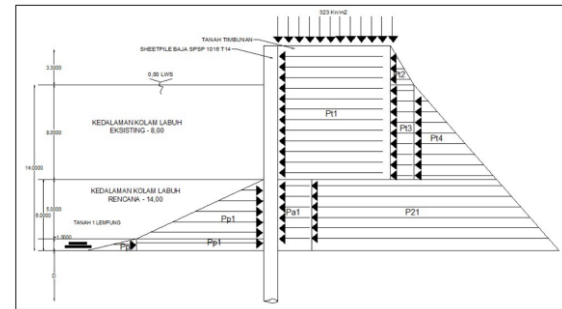
- Pnom = ff x produktivitas kapal keruk
= 0,97 x 40%
= 2328 m³/jam
- Faktor *delay* akibat perpindahan *Spuud* : 2,4 meter
- Faktor *delay* akibat perpindahan *Angkur* : 0,92
- Faktor *delay* akibat perpindahan *Hopper* : 0,93 meter
- Produksi maksimum :
Pmax = fa x fp x Pnom x fh
= 0,92 x 0,60 x 2328 x 0,927
= 1195 m³/jam

4.3.1 Durasi pengerukan

Dalam perencanaan pada tugas akhir ini, pengerukan dilakukan oleh 1 kapal keruk dan 1 split hopper barge. Dimana direncanakan akan bekerja selama 7 hari dimana setiap hari bekerja selama 8 jam/hari.

$$T1 = \frac{V}{P_{maks}} \\ = \frac{1.659.786}{1195} \\ = 1389 \text{ jam} = 116 \text{ hari} = 4 \text{ Bulan}$$

4.4 Analisa Stabilitas



Gambar 8. Diagram tekanan tanah
Perhitungan koefisien dibelakang tiang pancang dengan permukaan rata :

$$Ka1 = tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ = tg^2 \left(45 - \frac{33}{2} \right) \\ = 0.2948$$

Koefisien tanah pasif (Kp)

$$Kp1 = tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ = tg^2 \left(45 - \frac{33}{2} \right) \\ = 3.392$$

Perhitungan koefisien di depan tiang pancang
Tanah 1 Lempung

$$Ka2-1 = tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad Ka2-2 = tg^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ = tg^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \quad = tg^2 \left(45 - \frac{26}{2} \right) \\ = 0.405 \quad = 0.390$$

Perhitungan Koefisien tanah pasif (Kp)
Tanah 1 Lempung

$$Kp1 = tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ = tg^2 \left(45 + \frac{25}{2} \right) \\ = 2.463$$

Tanah 2 Pasir Kerang Lempungan

$$Kp2 = tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ = tg^2 \left(45 + \frac{26}{2} \right) \\ = 2.561$$

Perhitungan tanah aktif dan pasif

- Gaya aktif

Pa1	Pa1 = (ysat - yw) x Ka1 x H6 = (18.4-10.3) x 0.2948 x 6 = 14.327	Ea1 = 1/2 x (H4+H5) + D = 1/2 x (5+1) + D = 1/2 + 6 D	84.963 + 7.163D ²
Pa2	Pa1 = 1/2 x (ysat - yw) x Ka1 x H6 = 1/2 x (18.4-10.3) x 0.2948 x 6 ² = 42.981	Ea2 = 1/3 x (H4+H5)+D = 1/3 x (5+1)+D = 1/2 + 6D	257.891 + 14.1840D ²
Σ Momen Aktif			2250.791D + 93.127D ² + 272.075 D ²

• Gaya Pasif

Nama	Gaya (Kn)	Jarak (Meter)	Momen (Kn/m2) Gaya x Jarak
PPI	$PPI = \frac{1}{2} \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times Ka1 \times H4$ $= \frac{1}{2} \times (16.6 - 10.3) \times 2.463 \times 5^2$ $= 193.961$	$EPI = \frac{1}{3} \times (H4 + H5) + D$ $= \frac{1}{3} \times (5 + 1) + D$ $= \frac{1}{3} \times (6) + D$	$1163.768 +$ $64.007 D^2$
PP2	$PP2 = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times Kp1 \times H5$ $= (16.80 - 10.3) \times 2.561 \times 1$ $= 16.645$	$EP2 = \frac{1}{2} \times (H4 + H5) + D$ $= \frac{1}{2} \times (5 + 1) + D$ $= \frac{1}{2} \times (6) + D$	$99.879 + 8.323 D^2$
PP3	$PP3 = \frac{1}{2} \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times Kp1 \times H5$ $= \frac{1}{2} \times (16.80 - 10.3) \times 2.561 \times 1^2$ $= 8.323$	$PP2 = \frac{1}{3} \times (H5 + H4) + D$ $= \frac{1}{3} \times (1 + 5) + D$ $= \frac{1}{3} \times (6) + D$	$49.939 + 2.746 D^2$
Σ Momen Pasif			$1227.775 D^2$ $+ 108.2023 D^2 +$ $52.686 D^2$

Perhitungan kedalaman turap

$$\Sigma = 0 \quad \Sigma_{total} = \Sigma MP - \Sigma MA = 0$$

$$\Sigma_{total} = (2250.791D + 93.127D^2 + 272.075 D^2) - (1227.775 D^2 + 108.2023 D^2 + 52.686 D^2) = 0$$

Mencari kedalaman D :

Dengan menggunakan cara coba-coba didapatkan nilai D0, yakni : D0 = 2.199 meter

Kedalaman turap, D = SF x D0

$$= 1.5 \times 2.199$$

$$= 3.29 \text{ meter} = 3.5 \text{ Meter}$$

Mencari nilai berat total (W) :

γ SPSP 1016 T14 : 16,7 Kn/M3

Luas SPSP : 417 cm

$$W = \gamma \times \text{Luas}$$

$$= 16,7 \times 417$$

$$= 6963,9 \text{ kNm}$$

4.4.1 Stabilitas terhadap penggeseran

Untuk tanah granuler c=0

$$\Sigma RH = W \times \text{tg} \delta b$$

$$= 6963,9 \times 25,5$$

$$= 3322 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Pp = 218,931 \text{ kNm}$$

$$\Sigma Pa = 259,461 \text{ kNm}$$

$$F_{gs} = \frac{3322 + 218.931}{259.461}$$

$$= 13,6 \geq 1,5 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Struktur aman dari terhadap penggeseran dasar fondasi.

4.4.2 Stabilitas terhadap guling

Untuk tanah granuler c=0

$$\Sigma \text{penahan} = \Sigma W \times \Sigma MA$$

$$= 6963,9 \times 8483,131$$

$$= 15447,031 \text{ kNm}$$

$$\Sigma \text{Pendorong} = 2233,280 \text{ kNm}$$

$$F_{gl} = \frac{15447.03}{2233.280} \geq 1,5$$

$$= 6,91 \geq 1,5 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Struktur aman terhadap penggulingan.

4.4.3 Stabilitas terhadap runtuh

• Keruntuhan geser setempat

Nilai N_c , N_q , N_γ : 16, 6, 3

q : 323 Kn/m

B : 1,016 m

$$qu' = CN_c + qN_q + 0,5 \gamma BN_\gamma$$

$$= 1.16 + 323.6 + 0,5 \times 16,6 \times 1,016.3$$

$$= 16 + 1938 + 25,298$$

$$= 1979,298 \text{ Knm}$$

$$F = qu / q \geq 3$$

$$= 1979,298 / 323$$

$$= 6,127 \geq 3 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Sehingga struktur aman terhadap keruntuhan setempat.

• Keruntuhan geser menyeluruh

Nilai N_c , N_q , N_γ : 25, 12, 9

q : 323 Kn/m

B : 1,016 m

$$qu' = CN_c + qN_q + 0,4 \gamma BN_\gamma$$

$$= 1.25 + 323.12 + 0,4 \times 16,6 \times 1,016.9$$

$$= 32,5 + 3876 + 60,716$$

$$= 3969,216 \text{ Knm}$$

$$F = qu / q \geq 3$$

$$= 3969,216 / 323$$

$$= 12,288 \geq 3 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Sehingga struktur aman terhadap keruntuhan menyeluruh.

4.4.4 Stabilitas terhadap penggeseran kondisi gempa

$$K_v = \frac{\text{Komponen vertikal dari percepatan gempa}}{g} = \frac{0,25}{9,18} = 0,025$$

$$K_h = \frac{\text{Komponen horisontal dari percepatan gempa}}{g} = \frac{0,7}{9,1} = 0,071$$

$$\bar{\beta} = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,071}{1 - 0,0} \right) = 4,85$$

$$\alpha = 0 \text{ (Permukaan tanah datar)}$$

$$\delta = 0 \text{ (sudut geser tanah terhadap tembok)}$$

$$\theta = 0 \text{ (muka belakang tembok tegak)}$$

$$Ka = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 25}{1 + \sin 25} = \frac{0,577}{1,422} = 0,405$$

$$K'a = \frac{\cos^2(\theta - \bar{\beta})}{\cos^2 \theta \cos \bar{\beta} \cos(\delta + \theta + \bar{\beta}) \left\{ 1 + \frac{\sin(\delta + \theta) \sin(\theta - \alpha - \bar{\beta})}{\cos(\delta + \theta + \bar{\beta}) \cos(\theta - \alpha)} \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$K'a = \frac{\cos^2(25 - 0 - 4,85)}{\cos^2 0 \cos 4,85 \cos(0 + 0 + 4,85) \left\{ 1 + \frac{\sin(0 + 25) \sin(25 - 0 - 4,85)}{\cos(0 + 0 + 4,85) \cos(0 - 0)} \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{0,999}{0,9927 \left\{ 1 + \frac{0,1}{0,9964} \right\}^{\frac{1}{2}}} = 1,1376$$

$$Pae = 1804,381 \text{ Knm}$$

$$Pa = 658,854 \text{ Knm}$$

$$\Delta Pae = 1145,527 \text{ Knm}$$

$$\Sigma RH = W \times \text{tg} \delta b$$

$$= 6963,9 \times 25,5$$

$$= 3322 \text{ kNm}$$

$$F_{gs} = \frac{3322}{1145,527}$$

$$= 2,89 \geq 1,5 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Struktur aman dari terhadap penggeseran dasar fondasi.

4.4.5 Stabilitas terhadap guling kondisi gempa

Untuk tanah granuler $c=0$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{penahan} &= \Sigma W \times \Sigma MA \\ &= 6963,9 \times 8483,131 \\ &= 15447,031 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Sigma \text{Pendorong} = 1804,38 \text{ kNm}$$

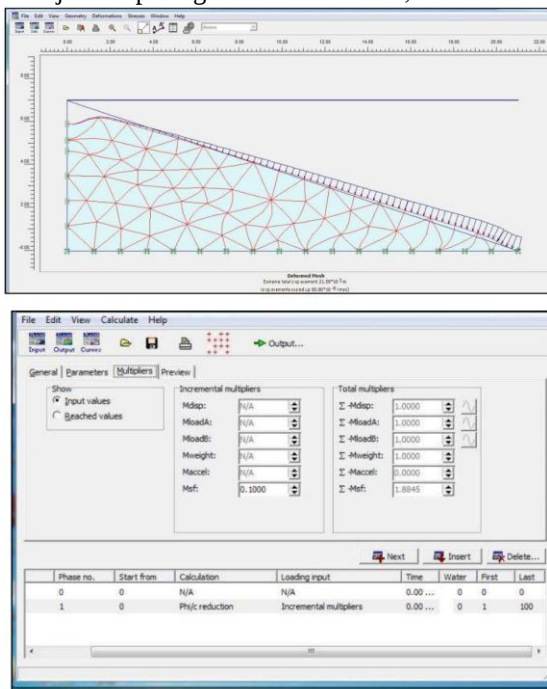
$$F_{gl} = \frac{15447,031}{1804,38} \geq 1,5$$

$$= 8,56 \geq 1,5 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Struktur aman terhadap penggulingan.

4.4.6 Stabilitas dengan PLAXIS

Berdasarkan hasil running pemodelan lereng menggunakan aplikasi PLAXIS dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini. Pada gambar 9 dapat dilihat deformasi dan displacement unit yang terjadi ditunjukkan pada gambar dibawah ini,



Gambar 9. Analisa Stabilitas Lereng PLAXIS Output

Berdasarkan hasil running program PLAXIS terhadap bidang longsor / sliding yang terjadi, di dapatkan nilai Safety Factor (SF) sebesar 1,88. dengan nilai $SF = 1,88$ maka lereng aman terhadap kelongsoran.

4.5 Rencana Anggaran Biaya

• Biaya pasti / bulan :

Harga sewa kapal CSD : 1.400.000.000 / Bulan

Harga sewa kapal tongkang : 825.000.000 / bulan

• Biaya tidak pasti / bulan :

Harga sewa kapal CSD : 3.169.623,000 / Bulan

Harga sewa kapal tongkang : 422.323,200 / bulan

• Total biaya operasi

Harga sewa kapal CSD : 4.569.623,000 / Bulan

Harga sewa kapal tongkang : 1.247.323,200 / bulan

• Total biaya pengerukan

Harga sewa kapal CSD : 4.569.623,000 x 4 = 18.278.492,000

Harga sewa kapal tongkang : 1.247.323,200 x 4 = 4.989.292,800

• Total biaya pengerukan

= 18.278.492,000 + 4.989.292,800

= 23.267.784,000

5. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume sedimen / volume pengerukan kolam labuh Dermaga Terminal Berlian sisi barat adalah 1.659.786 m³
2. Keamanan turap / dinding penahan dermaga Terminal Berlian setelah dilakukan pengerukan dinyatakan AMAN
 - a. Stabilitas terhadap penggeseran (F_{gs})
= $13,6 \geq 1,5$ OK
 - b. Stabilitas terhadap guling (F_{gl})
= $6,91 \geq 1,5$ OK
 - c. Stabilitas terhadap keruntuhan (F)
= $16,409 \geq 3$ OK
 - d. Stabilitas penggeseran terhadap gempa (F_{gs}) = $2,89 \geq 1,5$ OK
 - e. Stabilitas guling terhadap gempa (F_{gl})
= $8,56 \geq 1,5$ OK
3. Alat keruk / kapal keruk yang efektif digunakan untuk pengerukan kolam labuh ini adalah kapal keruk jenis Cutter Section Dredger (CSD) dan dibantu juga dengan kapal tongkang jenis Split Hopper Barge.
4. Durasi pengerukan dan rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam Perencanaan Pengerukan (Dredging) Kolam Labuh Dermaga Terminal Berlian, sebagai berikut :
 - a. Durasi pengerukan diperkirakan selama 1389 jam atau selama 115 hari atau selama 4 bulan.
 - b. Dengan perkiraan biaya pengerukan sebesar Rp. 23.267.784,000

(Dua Puluh Tiga Milyard Dua Ratus Enam Puluh Tujuh Juta Tujuh Ratus Delapan Puluh Empat Ribu Rupiah)

Saran

Saran yang dapat diberikan dalam perencanaan ini adalah :

1. Data batas wilayah perairan antara Dermaga Terminal Berlian dengan Dermaga Nilam(sisi barat) dan Dermaga Mirah (sisi timur) sebaiknya menggunakan data yang terbaru, agar perencanaan selanjutnya dapat lebih akurat.
2. Diperlukannya penelitian lebih lanjut terkait keamanan dinding Dermaga Nilam agar kedua sisi dinding dermaga keamanan terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

- Atrya Swascipta Rekayasa.(2019). Laporan Detailed Engineering Design (DED) Perkuatan Struktur Dermaga Terminal Berlian Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Laporan DED. Tidak dipublikasikan. Surabaya: PT PELINDO III.
- Bray.Nick, C. M. (2010). Dredging for development (C. M. Bray.Nick (ed.); 6th ed.). International Association of Dredging Companies (IADC).
- Bray,R.N.(1979). Dredging : A Handbook For Engineers. London:Edward Arnold
- Chalid, F. & Kamaluddin, L. (2018). Analisa Perancangan Dinding Turap Pada Proyek Pembangunan Dermaga di Belawan International Container Terminal. Jurnal CEBT. Vol 2 _ 2 September 2018.
- Departemen Perhubungan.(2006). Pedoman Teknis Kegiatan Pengerukan (Dredging) Dan Reklamasi. Jakarta.
- Halleux, L., Heeling, A., La Casta, M., Lee, M., Roukema, D., Sraders, G., Van Damme, L., Van Den Broeck, M., Verhoef, P., & Yavary, M. (2014). Classification of soils and rocks for the maritime dredging process.
- Hambali, R., & Apriyanti, Y. (2016). Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng. Jurnal Fropil, 4(2), 165_174.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). TEKNIK FONDASI 2. In Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951_952. (2nd ed.). Universitas Gajah Mada.
- Mahendra, J. (n.d.). Cutter Suction Dredger dan Jenis Material (Pada Pekerjaan Capital Dredging Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamongan). 2014, 31_43.
- Mahendra, J. (2016). Dredging And Reclamation Technology.
- Noor, E., & Mochtar,I.(1985). Mekanika Tanah Jilid II (Braja M. Das). Jakarta
- Poerbondono, & Djunasjah, E. (2005). Survei Hidrografi. In (R.Herlina, Ed.) (Cetakan Pe). Bandung, Indonesia: PT. Refika Aditama.
- PT.PP.(2020). Metode Pelaksanaan Perkuatan Dermaga Terminal Berlian Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Metode Pelaksanaan. Tidak dipublikasikan. Surabaya: PT PP.
- Satoso Dwi., et al. Hitungan. Hitungan Volume Pengerukan. STTAL. ITB.
- Triatmodjo, B. (2010). Perencanaan Pelabuhan (1st ed.). Beta Offset Yogyakarta.
- Vulandari Retno Tri (2017). Metode Numerik. Mavendra Pers. Surabaya
- Wesley, L. D. (2012). Mekanika Tanah untuk tanah endapan dan residu. [http://web.ipb.ac.id/~erizal/mektan/2010_Mekanika Tanah untuk Tanah endapan dan residu.pdf](http://web.ipb.ac.id/~erizal/mektan/2010_Mekanika_Tanah_untuk_Tanah_endapan_dan_residu.pdf) 99