



Kajian Teknologi Sand by Passing Penanggulangan Sedimentasi dan Erosi Pantai Bengkulu (Pelabuhan Pulau Baai)

Hamdani

Kementerian Pekerjaan Umum
Balai Wilayah Sungai Sumatera VII, Bengkulu
E-mail: hamdaniawal@yahoo.co.id

Abstract

Currently the port flow conditions Baai Island can no longer be passed if the large size of the ships that will stop at the port. This is because the rut depth at this point is just -2m until -4m LWS, from a normal condition that should be -10m until -12m LWS. This situation is certainly very disturbing process of exit and entry of goods and service to the province of Bengkulu through this port, and negatively impact the local economy. The aim of this thinking is to provide input for the achievement of an optimal solution to overcome sedimentation around Baai island port Bengkulu to know the behaviour of the sedimentation ponds around the harbour entrance and the effect on navigation channel. The scope of research is supporting data collection relating to the port Baai Island Bengkulu including development planning reports, Baai harbour and reports on the sedimentation and the condition of the harbour. The method of analysis used in this study were laboratory analysis techniques. Analysis of what has been studied to mention that the large amount of sedimen transport (litoral transport) along the coast of the port based on wave direction, among others from the west and south-west and north, are as follows: 1) total sediment transport (Q_s) which took place on the beach ports Baai island is: $601,576.20 \text{ m}^3/\text{year}$. 2) The sediment transport that provides the greatest contribution to the sedimentation flow Baai harbour island is the result of calculation is from the west (toward the most dominant), namely: $Q_{s-net} = 573,916.72 \text{ m}^3/\text{year}$.

Keywords: Break water, Sedimentation, Erosion.

Abstrak

Pada saat ini kondisi alur pelabuhan Pulau Baai tidak dapat lagi dilewati olah kapal-kapal ukuran besar yang akan singgah di pelabuhan tersebut. Hal ini disebabkan karena kedalaman alur pada saat ini hanya -2 m s.d. -4 m LWS, dari kondisi normal yang seharusnya -10 m s.d. -12 m. keadaan ini sangat mengganggu proses keluar dan masuknya barang dan jasa ke Propinsi Bengkulu melalui pelabuhan ini, dan berdampak negatif terhadap perekonomian daerah. Tujuan pemikiran ini adalah merumuskan solusi yang optimal guna menanggulangi sedimentasi di sekitar pelabuhan Pulau Baai Bengkulu, dengan mengetahui perilaku sedimentasi di sekitar pintu masuk kolam pelabuhan serta pengaruhnya pada alur pelayaran. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis laboratorium teknik. Analisis kajian yang telah dilakukan menyimpulkan bahwa besarnya angkutan sedimen (litoral transport) sepanjang pantai pelabuhan adalah sebagai berikut: 1) Angkutan sedimen total (Q_s) yang terjadi pada pantai pelabuhan pulau Baai adalah: $601,576.20 \text{ m}^3/\text{tahun}$. 2) Angkutan sedimen yang memberikan kontribusi yang paling besar terhadap pendangkalan alur masuk pelabuhan Pulau Baai adalah dari arah barat (arah yang paling dominan) yaitu: $Q_{s-net} = 573,916.72 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Kata-kata Kunci: Pemecah gelombang, Sedimen, Erosi

Pendahuluan

Morfologi Pulau Baai, sebelum pelabuhan dibangun merupakan suatu kolam yang terbentuk oleh lidah pasir yang membujur dari arah selatan ke utara. Lidah pasir ini terbentuk oleh angkutan pasir pantai (*littoral sand drift*) yang berasal dari sebelah hulu

(*up drift*) Tg. Kerbau. Tg. Kerbau itu sendiri merupakan terumbu karang yang asalnya terlepas dari pantai. Keberadaannya mula-mula membentuk tombolo, kemudian tombolo tumbuh dan menyatu dengan terumbu karang sehingga angkutan pasir melewati terumbu karang tersebut dan membentuk endapan berupa lidah pasir di Pulau Baai.

Kolam yang berbentuk oleh lidah pasir merupakan kolam lidah yang ideal untuk dijadikan kolam pelabuhan. Untuk itu harus ada alur masuk, yaitu dengan menebus lidah pasir dan membangun pemecah gelombang di tempat masuk.

Pada tahun 1986 (hanya satu tahun setelah pembangunan pemecah gelombang selesai dibangun), pengendapan telah sampai dimulut pemecah gelombang. Pada tahun berikutnya alur-alur, alur dalam dan tepi bagian dalam pemecah gelombang telah menjadi dangkal. Ini menyiratkan bahwa kecepatan pengendapan sama dengan laju kecepatan pembangunan pemecahan gelombang yang panjangnya 390 m dari garis pantai asli. Menurut peramalannya, jarak sekitar 400 m, akan dicapai dalam waktu 10 tahun. Kenyataannya, hanya dalam waktu 3 tahun endapan pasir sudah sampai diujung pemecah gelombang.

Dalam kasus ini ada dua kemungkinan yang terjadi :

1. Panjang pemecah gelombang dibangun kurang dari 390 meter dari garis pantai, atau
2. Keliru dalam penaksiran model angkutan pasir.

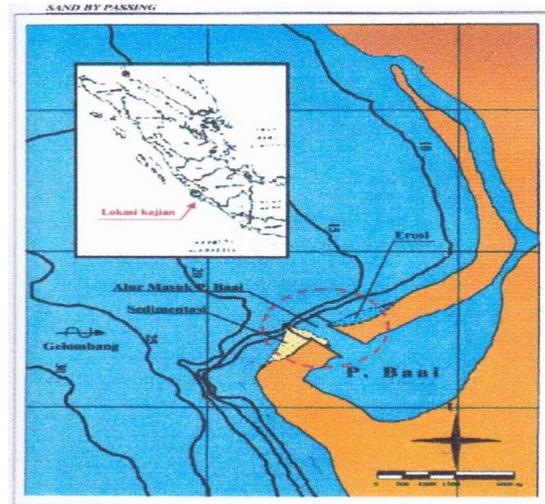
Untuk mengatasi masalah ini, PERUMPEL pada tahun 1986/1987 telah melaksanakan pengamatan dan pengerukan pasir di alur-alur dan alur dalam pelabuhan. Pelaksanaan pengerukan ternyata cukup sulit, karena gelombang besar, maka kapal keruk harus menjaga jarak cukup jauh dari pemecah gelombang.

Karena gelombang yang kuat, maka pembuangan pasir tidak mungkin dengan tata-pipa, tetapi harus digunakan *hopper dredge*. Pembuangan pasir dengan maksud mengisi pantai yang telah terkikis ombak juga ternyata sulit dilaksanakan. Akhirnya hasil pengerukan dibuang di lepas pantai. Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa cara-cara penanganan yang telah dilaksanakan mengenai angkutan pasir pantai yang menyebabkan pendangkalan tidak memuaskan dan diperlukan alternatif penyelesaian yang dapat diandalkan.

Tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisis perilaku sedimentasi di sekitar pintu masuk kolam pelabuhan serta pengaruhnya pada alur pelayaran.

Masalah utama pada Pelabuhan Pulau Baai adalah proses terjadinya pendangkalan pada alur pelabuhan yang tepatnya dimulut pelabuhan. Berdasarkan hasil pengamatan secara visual dimana jenis butiran sedimen yang mengendap berupa sedimen pasir laut, maka dapat diperkirakan bahwa sedimen yang terjadi diakibatkan oleh terbawanya sedimen laut ke arah mulut pelabuhan. Pada saat gelombang pecah

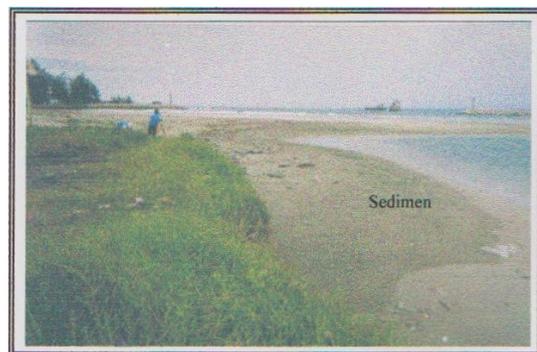
($H=0,8d$) dan jika arus cukup kuat atau gelombang cukup besar kemudian sampai ketinggian beberapa meter diatas dasar, dan dibawa oleh arus. Pergeseran cara ini dikenal sebagai sedimen layang (*suspended load*). Dalam sedimen layang, butiran bergerak dengan fluida dan didorong turbelensi, pada saat kecepatan berkurang butiran akan mengendap.



Gambar 1. Peta Pulau BAAI

Permasalahan yang dihadapi

Pada mulut Pelabuhan Pulau Baai, dimana arus sejajar pantai yang membawa sedimen layang dan saat air laut pasang masuk ke mulut pelabuhan maka akan terjadi benturan antara arus pasang dengan arus dari alur masuk pelabuhan sehingga kondisi stagnan yang mengakibatkan butiran akan mengendap dan terjadi sedimentasi (Gambar 2). Jauhnya pengendapan masuk ke dalam alur tergantung pada pasangannya air laut HWL (*High Water Level*, elevasi muka air tinggi) atau HWS (*High Water Spring*, elevasi muka air tertinggi saat purnama) dan arus yang dari alur masuk yang lebih dominan, sehingga pada posisi tertentu kecepatan berkurang atau stagnan maka disitu akan terjadi pengendapan.

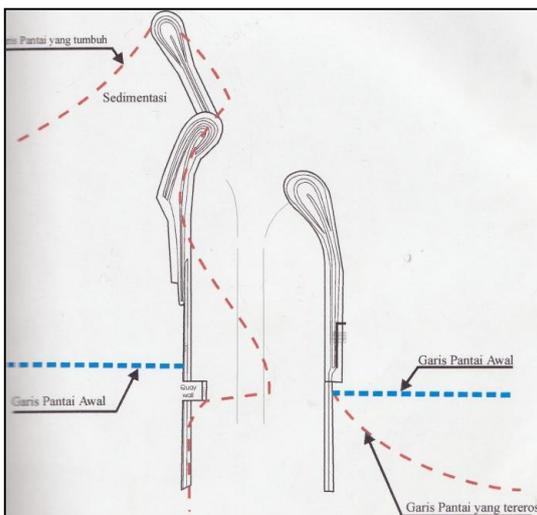


Gambar 2. Lokasi pengendapan pada alur masuk pelabuhan Pulau Baai

Tahap Penelitian

Tahapan penelitian pada kajian ini adalah:

1. Mempelajari data terdahulu
2. Menganalisis data yang diperlukan dalam kajian teknologi *Sand by Passing* untuk mengatasi sedimentasi dan erosi pada Pantai Bengkulu meliputi :
 - a. Data angin
 - b. Data gelombang di lokasi kajian
 - c. Data pasang surut
 - d. Peta batimetri
 - e. Data sedimen
3. Sedimen yang diambil dari lokasi penelitian, dibuat analisa ayakannya. Dari analisa ayakan ini dibuat grafik jenis sedimen di sepanjang pantai untuk mengetahui besarnya butiran sedimen (*grain size*). Dari analisa sedimen ini dapat diuraikan arah gerakan (*sand drift*) di lokasi kajian.
4. Mencari data besarnya angkutan sedimen yang terjadi di lokasi kajian pada saat ini.
5. Menganalisis tata rekayasa teknologi (*sand by passing*) untuk penanggulangan sedimentasi dan erosi.
6. Menentukan rancangan dasar teknologi *sand by passing*.
7. Pemecahan solusi untuk teknologi *sand by passing* pada saat ini dan di masa yang akan datang pada Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu.



Gambar 3. Pelabuhan Pulau Baai

Gambaran umum Pelabuhan Bengkulu

Pelabuhan Pulau Baai terletak di Propinsi Bengkulu yang jaraknya dari kota Bengkulu kurang lebih 25 km ke arah selatan. Pelabuhan ini mulai dibangun sejak tahun 1980 dan mulai dioperasikan pada bulan Juli 1984. Pelabuhan ini dapat dijangkau dengan transportasi umum seperti mobil kira-kira 30 menit. Jalan telah dibangun dengan konstruksi aspal hotmix dengan lebar 8 meter, sebagai pelabuhan baru berkembang dan berperan dalam menghidupkan serta mengembangkan kegiatan ekonomi daerah yang dapat digunakan oleh investor untuk lahan penumpukan batubara, pertama (Petroleum), Pusat Kantor, Penjagaan Pantai dan Polisi. Sejak tahun 2000 pelabuhan Pulau Baai mendapat Sertifikat ISO 1992.

Pelabuhan Pulau Baai terletak di dua Kecamatan Selebar Kota Bengkulu yang berada pada posisi Lintang Selatan 03° 47' 30" dan Bujur Timur 102° 15' 04". Pelabuhan Pulau Baai merupakan salah satu pelabuhan laut yang terbuka untuk umum dan merupakan pelabuhan samudera di daerah Provinsi Bengkulu.

Luas tanah daratan daerah kerja pelabuhan mengacu pada SKB No. 20 tahun 1991, tanggal 19 Februari 1991 antara Menteri Dalam Negeri dengan Menteri Perhubungan yang meliputi tanah daratan seluas 1.192,6 ha serta kolam pelabuhan yang terdiri dari perairan dalam 1.000 ha dan perairan luar 2.183,47 ha.

Sedimen pada Alur Masuk Pelabuhan Pulau Baai

Kondisi saat ini di pelabuhan Pulau Baai masih terjadi sedimen dari laut pada mulut pelabuhan (Gambar 3). Dengan pengamatan langsung di lapangan, sedimen di mulut pelabuhan butirannya sama dengan yang ada di pantai (*uncohesive*). Hal tersebut diakibatkan oleh sedimen (pasir) yang terbawa arus sejajar pantai dan masuk ke mulut pelabuhan yang terbawa arus sejajar pasang surut, kemudian berbenturan dengan arus dari pelabuhan, sehingga terjadi stagnasi yang mengakibatkan pengendapan butiran sedimen dan menyebabkan penyempitan alur lalulintas pelayaran sehingga mengganggu aktivitas kegiatan pelabuhan (Gambar 4).



Gambar 4. Kondisi sedimentasi di alur masuk Pelabuhan Pulau Baai

Tabel 1. Komponen pasang surut

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	U ₀	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
A _{cm}	66.7	32.9	12.8	7.5	16.8	8.6	1.3	1.8	3.5	5.6
g ₀	171.6	231.5	149.2	275.2	250.1	353.3	36.0	232.5	275.3

Topografi Lokasi Kajian

Kondisi topografi di lokasi Pelabuhan Pulau Baai relatif datar dengan kemiringan antara 0% sampai dengan 10%

Keadaan Hidro Oceanografi

Pelabuhan Pulau Baai terletak di bekas rawa dengan dasar pasir lembut dan panjang kolam 4km, lebar 2,5km dengan kedalaman -7 M LWS. Pelabuhan ini juga didukung dengan *break water* (penahan gelombang) sebelah kiri sepanjang 595m dan kanan sepanjang 420m.

Pasang Surut

Diperkirakan air pasang surut di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu berganti rata-rata 6 jam. Hasil peramalan data pasang surut untuk selang waktu 10 tahun dari tahun 1992-2001 dengan menggunakan program RAMPAS. Kemudian dilakukan analisis statistik dengan menggunakan Fortran untuk mendapatkan elevasi-elevasi yang penting dari kelompok data yang dihasilkan oleh RAMPAS. Komponen pasang surut sebagai Tabel 1.

Gelombang

Karakteristik pantai sangat dipengaruhi oleh gelombang, terutama gelombang yang diakibatkan oleh angin. Gelombang menyebabkan terjadinya arus di pantai yang berakibat terjadinya erosi dan sedimentasi. Gaya gelombang menyebabkan kerusakan pada pantai, sehingga dapat terjadi perubahan morfologi pantai.

Penyebab terjadinya gelombang ada beberapa macam seperti akibat angin, gempa, pasut dan

lain sebagainya. Dalam analisis ini menyebabkan terjadinya gelombang dibatasi semata-mata akibat adanya hembusan angin pada perairan di lokasi studi, hal ini disebabkan angin merupakan faktor yang dominan dalam mekanisme pembentukan daerah *offshore*.

Salah satu metode yang umum dipergunakan untuk peramalan gelombang adalah metode Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) untuk gelombang perairan.

$$\frac{gH_0}{Ua^2} = 1.6 \times 10^3 \left(\frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{gT}{Ua} = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{gt}{Ua} = 6.88 \times 10 \left(\frac{gF}{Ua^2} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (3)$$

Tinggi gelombang hasil peramalan dengan metode SMB merupakan tinggi gelombang yang dikenal dengan tinggi gelombang (H_s). Tinggi gelombang lainnya adalah H₁₀, H_s, dan H₁.

H_s = rata-rata tinggi gelombang dari 1/3 tinggi gelombang tertinggi (suatu definisi alternatif dari H_s adalah 4 kali deviasi standar dari elevasi).

H₁₀ = 1.27

H_s = rata-rata tinggi gelombang dari 10% tinggi gelombang tertinggi.

H_s = 1,37

H_s = rata-rata tinggi gelombang 5% dari tinggi gelombang tertinggi.

H₁ = 1,67

H_s = rata-rata tinggi gelombang 1% dari tinggi gelombang.

Tabel 2. Ramalan tinggi gelombang dan periode gelombang di sta. Pulau Baai

Kala ulang (tahun)	Tinggi gelombang	Periode gelombang (dtk)
5	2.16	6
10	2.26	
25	3.23	
50	2.48	

Gelombang makna (significant waves)

Menurut pengamatan Nedeco, arah gelombang tertinggi di kawasan Pulau Baai Bengkulu datang dari arah 240° dan 300° (barat daya dan timur laut) gelombang ini terjadi di bulan Desember dan Februari (tiga bulan) sehingga keadaan lingkungan sangat tidak menguntungkan pada bulan-bulan tersebut, tinggi gelombang mengena dan kekerapannya.

Tabel 3. Tinggi gelombang maksimum lawan kekerapan

Tinggi Gelombang Makna (N) pada kedalaman 10m	Kekerapan/selang kejadian (tahun)
2.75	1
3.00	2
3.25	4
3.50	7
3.75	14
4.00	25
4.25	50
4.50	10

Tabel 4 merupakan hasil pengamatan gelombang pada koordinat 20 - 10° LS dan 100°-105° BT yang telah dilakukan sebelumnya, posisi garis pantai Pulau Baai menyebabkan hanya gelombang dengan arah datang 240°, 270°, 300° dan 330° yang terpakai, selebihnya dianggap berada pada kondisi *calm sea*, seperti terlihat pada Tabel 4. Hal ini tidak cukup baik untuk permodelan perumusan

Tabel 4 Data Gelombang

Direction sector	Yearly (January-December)			December, January, February			March, April			May, June, July, Agust, September			October, November		
	H ² _{ms}	T _r	%	H ² _{ms}	T _r	%	H ² _{ms}	T _r	%	H ² _{ms}	T _r	%	H ² _{ms}	T _r	%
120 ⁰	2.03	7.5	19.9	1.27	7.6	7.7	1.31	7.9	1.9	2.29	7.5	28.6	2.00	7.3	18.7
150 ⁰	1.83	7.7	31.9	1.24	7.6	25.2	1.64	7.9	20.9	2.17	7.5	32.8	1.80	7.3	42.4
158 ⁰	1.82	8.4	20.7	1.48	7.6	21.1	1.70	7.9	27.8	2.11	7.5	16.6	1.84	7.3	21.6
210 ⁰	1.82	8.5	5.3	1.85	7.6	6.3	1.57	7.9	9.4	2.06	7.5	3.6	1.51	7.3	5.1
240 ⁰	1.59	7.1	1.8	1.30	7.6	4.6	2.19	7.9	2.2	1.74	7.5	0.5	0.85	7.3	2.2
270 ⁰	1.52	7.9	4.5	1.75	7.6	9.8	1.24	7.9	7.6	1.98	7.5	0.5	0.94	7.3	2.4
300 ⁰	1.35	7.5	5.1	1.71	7.6	13.1	1.86	7.9	8.6	2.00	7.5	0.6	0.92	7.3	2.7
330 ⁰ 90 ⁰	1.66	7.8	10.8	1.23	7.6	12.1	1.73	7.9	11.7	1.54	7.5	16.8	1.70	7.3	4.8

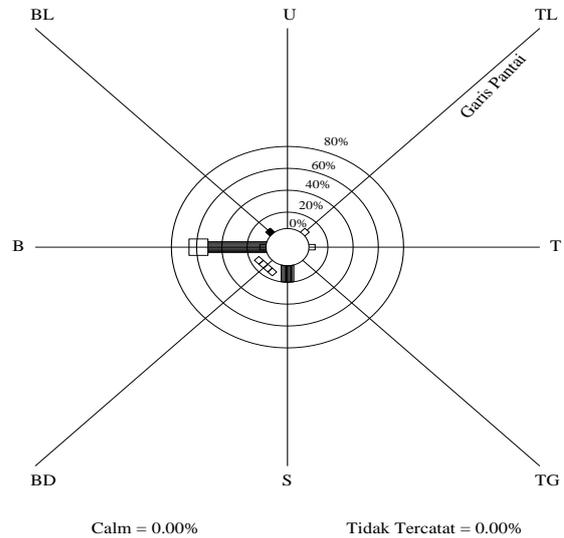
Sumber : Preliminary Report on Desk Studies, Chapter 3 : Long Shore Transport Calculation, Delft hydraulics Laboratory, Desember 1989

Tabel 5. Data kecepatan angin dari arah barat

Tahun	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
W	16	12.5	13.05	13.05	15	15	13.05	22.5	17.5	18.05	16.94

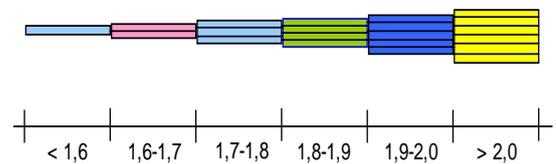
garis pantai dengan menggunakan perangkat lunak GENESIS karena sangat sedikit gelombang yang terjadi

Distribusi tinggi gelombang dan arah gelombang di lepas pantai pelabuhan Pulau Baai dengan data diperoleh dari laporan Netherlands Engineering Consultant (Nedeco,1984).



Gambar 5. Arah gelombang

Jenis tongkat menunjukkan tinggi gelombang dalam meter panjang tongkat menunjukkan persentase kejadian.



Gambar 6. Tongkat gelombang

Tabel 6. Tinggi dan periode gelombang

Tahun	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
H	3.0	2.4	2.4	2.4	2.8	2.8	2.4	4.4	3.7	3.4	4.2
T	7.5	6.8	6.9	6.9	7.2	7.2	6.9	8.6	8.0	7.8	8.5

Keterangan :

H : Tinggi gelombang

T : Periode gelombang

Analisis data

Analisis data angin

Kondisi angin yang diperlukan adalah kecepatan dan arah angin yang terjadi di laut dalam sebagai pembangkit dalam pembentukan gelombang dari laut. Dari data angin yang di dapat merupakan pengamatan angin yang terjadi di daratan. Dalam analisis ini urutannya adalah: menentukan arah angin dominan, menganalisis besarnya angin dari laut dalam, yaitu mengkonversikan dari kecepatan terjadi dari laut dalam yang berhadapan dengan garis pantai di Pelabuhan Pulau Baai.

1. Penentuan arah angin dominan

Untuk pantai di Pulau Baai, perkiraan arah angin sebagai penyeret gelombang menuju pantai Pelabuhan Pulau Baai yang memungkinkan terjadi berdasarkan 3 (tiga) kondisi, yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

a. Dari data prosentase kejadian angin terbesar Pelabuhan Pulau Baai adalah :

Selatan = 25,6%
Barat = 22,11%
Utara = 15,36%

b. Sebagai pesisir yang memiliki garis pantai menghadap arah barat, barat laut, gelombang didorong angin yang memungkinkan terjadi dari arah selatan, barat dan barat daya.

c. Namun berdasarkan observasi lapangan dengan melihat kondisi sedimentasi akibat arus sejajar pantai (*litoral drift*) yang disebabkan oleh gerakan gelombang yang arahnya relatif sama, kemungkinan besar angin mendorong gelombang dari arah barat dan barat daya.

Jadi berdasarkan ketiga kondisi dalam penentuan arah angin dominan adalah angin yang berasal dari arah barat dan barat daya dengan sudut datang sebesar $22,50^{\circ}$ terhadap garis sejajar pantai Pulau Baai.

Analisis data angin dominan

Peramalan gelombang dari hasil analisis berdasarkan kecepatan angin yang tertinggi, untuk mengetahui periode ulang dari gelombang

hasil analisis tersebut dilakukan evaluasi dan analisis kala ulang gelombang berdasarkan arah dominan secara faktual (lokasi sedimentasi di sekitar struktur) yaitu berada di sebelah kanan angin arah barat dari tahun 1992-2002.

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} = 0,92$$

Maka kecepatan angin di laut:

$$U_w = R_L * U_L = 0,92 * 22,5 = 20,7 \text{ m/detik}$$

Faktor tegangan angin dihitung:

$$U_A = 0,71 * (U_w)^{1,23} = 0,71 * (20,7)^{1,23} = 2,90 \text{ m/dtk}$$

Dengan menggunakan grafik peramalan gelombang untuk nilai $U_A = 29,0 \text{ m/dtk}$ dan fetch $537,205 \text{ km}$ didapat:

$$H = 10,8 \text{ m}$$

$$T = 15,4 \text{ dtk}$$

Selain berdasarkan U_A dan F dapat dihitung pula tinggi dan periode gelombang berdasarkan U_A dan durasi angin dengan menggunakan grafik yang sama didapat:

$$H = 3,3 \text{ m}$$

$$T = 7,1 \text{ dtk}$$

Besarnya angkutan sedimen total di Pelabuhan Pulau Baai

Seperti telah dilakukan analisis angkutan sedimen di atas, maka di dapat besarnya jumlah angkutan sedimen berdasarkan arah datang gelombang antara lain arah barat, selatan, barat daya dan utara sebagai berikut:

Angkutan sedimen total (Q_s) yang terjadi pada pantai Pelabuhan Pulau Baai adalah $601.576,20 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Adapun angkutan sedimen yang memberikan kontribusi yang paling besar terhadap alur Pelabuhan P. Baai adalah :

$$\begin{aligned} Q_{s\text{-net}} &= Q_s (\text{arah barat}) \text{ arah dominan} \\ &= 573.916,72 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan garis pantai di updrift

Perhitungan ini dimaksudkan untuk menentukan majunya pantai di *updrift* dari krib yang merupakan fungsi dari waktu (t), besarnya sudut datang gelombang pecah (α_b) dan besarnya angkutan pasir menyusur pantai per tahun (S_0 /tahun).

Perhitungan ini dikenalkan oleh PELNARD CONSIDERS. (Peerbolte, 1981).

- α_b = Sudut datang gelombang pecah dalam rad
- t = Waktu peninjauan
- a = $S_0/(\alpha_b \cdot h)$
- h = Tebal lapisan pasir yang bergerak (m)
- A = $[\exp(-\pi^2) - \pi \sqrt{x} \cdot \text{erfc}(\pi)]$
- P_0 = Pantai/berm saat t = 0
- P1 = Garis pantai/berm saat t tahun
- K_0 = Kaki pantai saat t tahun
- K_1 = Kaki pantai saat t tahun
- N = Kemiringan muka pantai

Harga A tergantung dari harga U, dimana:

$$U = \frac{x}{\sqrt{4 \alpha t}} \dots\dots\dots (4)$$

Pada x = 0 (pada lokasi krib), u=0, A=1

$$\gamma(0, t) = \alpha_b \sqrt{\frac{4 \alpha t}{\pi}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\alpha = \frac{S_0}{a b h} \dots\dots\dots (6)$$

$$\gamma(0, t) = \sqrt{\frac{ab^2 4 \alpha t}{ab \pi h}} \dots\dots\dots (7)$$

Saat krib dengan panjang tertentu penuh dengan endapan disebut t_L . Mulai saat itu sedimen/pasir melimpas melalui ujung krib. volume angkutan sedimen/pasir yang melimpas ujung krib setiap tahun disebut S_m . Hubungan antara t/t_L dan S_m/S_0 disajikan pada Gambar 7. Untuk t^*L 1,5 harga S_m/S_0 dapat dihitung dengan rumus:

$$S_m = S \left[1 - \frac{2}{\pi \sqrt{t/t_L - 0,33}} \right] \dots\dots\dots (8)$$

Waktu penuh

$$t = 0,785 \frac{L^2 h}{Q \tan \alpha} \Rightarrow t = 0,785 \frac{(595)^2 10}{601.576,2(1)} = 5 \text{ tahun } (1984 \frac{S}{d} 1989) \dots\dots\dots (9)$$

h adalah kedalaman perairan diujung break water – 10 m

Pada daerah Utara :

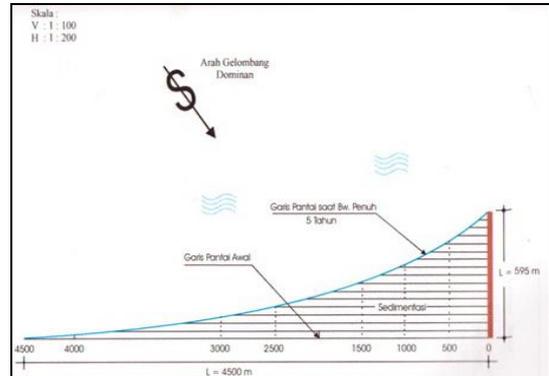
$$H_0 = 1,13 \text{ m}$$

$$L_0 = 27,78 \text{ m} \Rightarrow 1,56 \times (4,22)^2$$

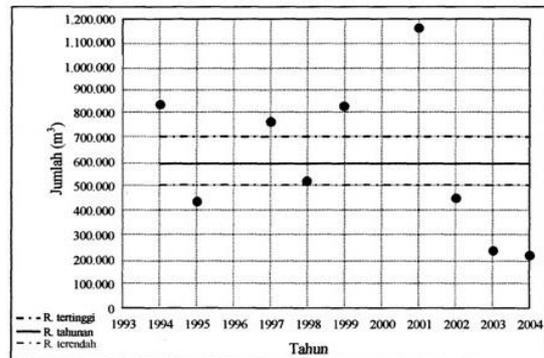
$$m = 1 : 50 \Rightarrow 0,002$$

$$d50 = 0,1800 \Rightarrow 0,0018 \text{ M}$$

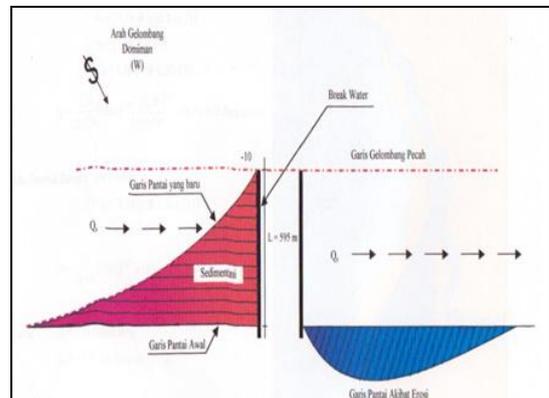
$$G_0 = \frac{1,13}{27,78} (0,002)^{0,27} \left[\frac{27,28}{0,0018} \right]^{0,67} = 8,7 < 9 \Rightarrow \text{se dim entasi} \dots\dots\dots (10)$$



a.



b.



c.

Gambar 7. Hubungan antara t/t_L dan S_m/S_0

Pada daerah Barat :

$$H_0 = 3,3 \text{ m}$$

$$L_0 = 78,64 \text{ m} \Rightarrow 1,56 \times (7,1)^2$$

$$m = 0,002 \Rightarrow 1 : 50$$

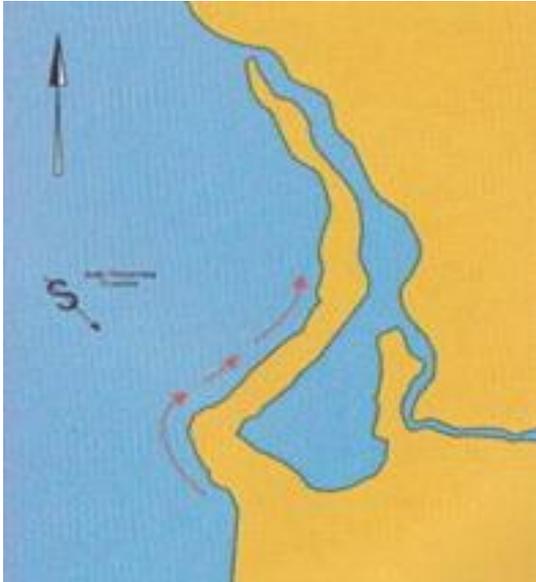
$$G_0 = \frac{3,3}{78,64} (0,002)^{0,27} = 18,8 > 18 \text{ erosi}$$

Syarat:

$G_0 = > 18$ terjadi erosi

$G_0 = < 9$ terjadi sediment

Pada kondisi pantai sebelum ada breakwater pelabuhan atau kondisi normal seperti terlihat pada Gambar 8



Gambar 8. Pelabuhan pada kondisi normal

Penggunaan Metode Tower Crane Struktur pada penanggulangan sedimentasi

Tower crane umumnya digunakan pada bangunan bertingkat yang tinggi, jalan tol dan industri perkayuan. Pada sand by passing jarang yang menggunakan tower crane, maka dalam kajian ini, akan mempertimbangkan pemakaian tower crane pada teknologi sand by passing, yang mana untuk mendapatkan "Hasil produksi yang baik" dari penggunaan tower crane ini diperlukan keahlian yang mantap dari operator dalam operasinya.

Prinsip kerja dan tower crane adalah sebagai berikut :

1. Mengisi bucket dengan cara mengendorkan kabel tetapi senantiasa tegang pada posisi dimana material yang akan dipindahkan.
2. Setelah bucket terisi kemudian diangkat dan kabel di tarik, langit berputar ke arah tempat pembuangan.
3. Setelah bucket kosong kabel ditarik lagi, agar bucket naik kemudian langit berputar lagi ke arah tempat pengambilan material untuk di isi kembali.
4. Posisi letak tower crane harus dipasang pada posisi tegak lurus.
5. Ketinggian tower crane dan panjang langit dapat diatur sesuai dengan kebutuhan pemakaian.
6. Putaran swing dan langit dapat diatur sesuai kebutuhan pemakaian (dapat berputar 360°).

Waktu siklus dan kerja tower crane dengan ukuran bucket 4 m³ dan ukuran langit 150 m.

- Mengisi bucket	8 dtk
- Mengangkat muatan dengan ketinggian 40m	10dtk
- Swing 1800,4 rpm	10dtk
- Bongkar muatan	10dtk
- Swing kembali	8dtk
- Menurunkan bucket 40 m	4dtk
- Waktu tetap	10dtk
- Total waktu siklus	60dtk

Produksi nominal : $60 \times 4 = 240 \text{ m}^3/\text{jam}$

Faktor koreksi :

- Efisiensi Kerja	0,83
- Kondisi kerja dan tata laksana.	0,85
- Faktor muat	0,95

Total faktor koreksi : $0,83 \times 0,85 \times 0,95 = 0,67,$

Total produksi taksiran : $0,67 \times 240 = 160 \text{ m}^3/\text{jam}$

Pada kondisi pengerukan di dalam air faktor koreksi di ambil antara 43% -55%, jadi produksi taksiran: $0,5 \times 240 \text{ m}^3/\text{jam} = 120 \text{ m}^3/\text{jam}.$

Perhitungan rencana anggaran biaya pengerukan dengan tower crane (Engineer Estimate) di alur masuk Pelabuhan Pulau Baai.

Urutan cara perhitungan biaya pengerukan dengan memakai tower crane disini adalah dalam pekeadaan penanganan sedimentasi dan erosi di Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu.

Pekerjaan ini meliputi pekerjaan :

- Pemandangan pamir / sand work.
- Pengerukan alur / dredging.

Volume atau berapa besarnya tiap-tiap pekerjaan tersebut (bill of quantities) dengan sendirinya, di peroleh dari perhitungan-perhitungan rencana dan gambar-gambar, setelah di adakan survey dan design yang matang sebelumnya.

1. Harga – harga satuan.

Harga – harga satuan bahan – bahan juga tenaga manusia untuk suatu perhitungan anggaran biaya pekerjaan haruslah dikumpulkan dan dipilih yang paling rendah yang dapat di pertanggung jawabkan.

2. Dasar perhitungan.

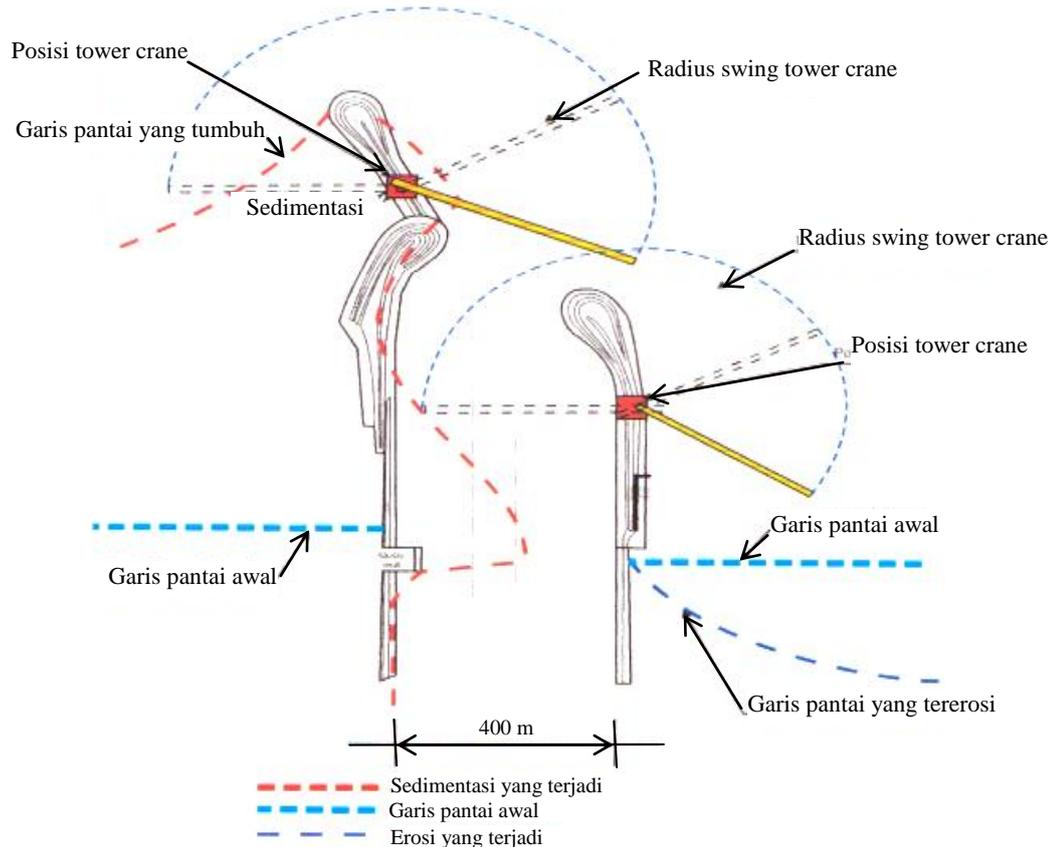
Perhitungan perkiraan biaya pekeadaan di dalam pembahasan ini didasarkan pada kombinasi perhitungan:

- Biaya utama (prime cost)
- Biaya tambahan (mark up) yang harus di keluarkan dalam pelaksanaan pekeadaan.

- Biaya persiapan (*cost for establishment*)
- Biaya untuk pajak-pajak. Biaya ini berubah-ubah menurut peraturan yang berlaku untuk semua pajak-pajak yang di kenakan pada pekerjaan.

Hasil analisis di peroleh harga satuan pengerukan sedimen atau pemindahan pasir dengan menggunakan metode *tower crane* yang kapasitasnya adalah $120\text{m}^3/\text{jam}$ atau $1200\text{m}^3/\text{hari}$

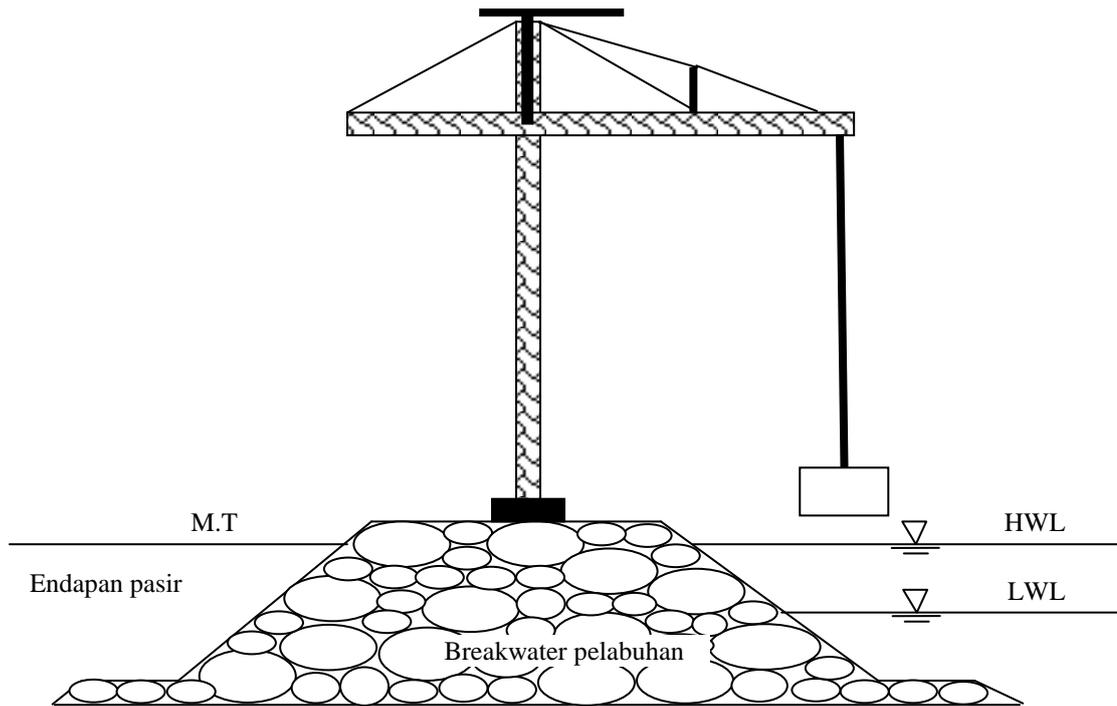
untuk satu (1) unit *tower crane* adalah Rp. $3000/\text{m}^3$. Untuk mengimbangi lajunya sedimentasi di pantai pelabuhan Pulau Baai di perlukan 2 unit *tower crane* dengan harga di perkirakan USD 300.000/unit atau dengan sistem penyewaan berkisar Rp 70.000.000/unit/bulan di tambah biaya operasional yaitu Rp 34.000.000 /unit/bulan, termasuk biaya instalasi dan mobilisasi.



Gambar 11. Sedimentasi di Pelabuhan Pulau Baai

Tabel 7. Keuntungan dan kerugian masing-masing metode

Metode Kapal Keruk		Metode Tower Crane	
Keuntungan	Kerugian	Keuntungan	Kerugian
1. Kapasitasnya besar	1. Biaya operasional yang tinggi	1. Dapat dioperasikan kapan saja	1. Kapasitas pengambilan kecil
2. Waktu pengerjaan lebih cepat	2. Memerlukan tenaga kerja yang banyak	2. Pada saat beroperasi tidak mengganggu kegiatan pelabuhan	2. Memerlukan tenaga ahli/operator tower crane
3. Dapat mengeruk lebih dalam sesuai dengan instruksi	3. Pada waktu operasional mengganggu kegiatan pelabuhan	3. Biaya operasional lebih murah	3. Waktu pengerjaan lebih lama
	4. Tidak dijamin dapat mengatasi sedimentasi pantai, karena pembuangannya tidak dapat diatur pada waktu gelombang datang	4. Tidak butuh banyak tenaga kerja	
	5. Pada saat musim badai kapal keruk tidak dapat beroperasi	5. Lebih mudah dalam perawatan	
	6. Harus didatangkan dari luar setiap kali pengerukan	6. Dapat mengatasi sedimentasi dan erosi pantai karena waktu pembuangan dan pengambilan dapat diatur	
	7. Biaya sewa tiap tahun meningkat	7. Dalam pengoperasian tidak terpengaruh cuaca maupun ombak besar	
		8. Pengadaan bisa dilakukan sendiri	



Gambar 12. Tower crane

Tabel 8. Perhitungan biaya antara metode kapal keruk dan metode tower crane

Uraian	Satuan	Metode Kapal Keruk	Metode Tower Crane (2 unit)	Selisih	Keterangan
Kapasitas	m ³ /jam	624	240	384	Biaya sewa TC/bln (2 unit) Rp.140.000.000
Waktu operasi	Jam/hari	10	10	-	Biaya Operasional/bln (2 unit) Rp.68.000000 (Biaya operator, BBM, Pemeliharaan,dll)
Kapasitas/bulan	m ³ /bulan	187.200	72000	115.200	Faktor koreksi pada kondisi pengerukan dalam air untuk TC adalah 0,43-0,55 diambil 0,50.
Volume yang dipindahkan	m ³ /tahun	601.576,20	601.576,20	-	Maka taksiran produksi TC 0,50x240m ³ /jam = 120m ³ /jam/unit
Lama waktu kerja	Bulan	3	8,4	5,4	
Biaya total	Rp	13.200.000.000	1.750.000.000	11.450.000.000	
Biaya/m ³	Rp	22.000	3.000	19.000	

Kesimpulan

1. Berdasarkan data angin yang terjadi pada lokasi kajian, bahwa angin yang paling dominan adalah dari arah barat dan selatan dimana presentase kejadiannya adalah 25,6% dan 22,11%.
2. Secara hidroceanografi karakteristik perairan pantai Pulau Baai yakni angin yang mempunyai frekuensi yang dominan adalah barat dengan kecepatan terbesar 22,5 m/detik dari data angin terbesar selama 10 tahun.
3. Faktor yang paling dominan yang menyebabkan terjadinya sedimentasi dan pengendapan pada alur pelabuhan Pulau Baai adalah disebabkan sedimen litoral, dimana debit litoral sedimen yang terjadi sebesar 601.579,20 m³/tahun yang datang dari arah barat, barat daya dan selatan.

4. Kesimpulan dari kajian teknologi sand by passing terdiri dari 4 alternatif tata rekayasa yang dianggap pantas untuk dikaji dalam masalah angkutan pasir pantai, pengikisan pantai dan pengendapan alur pelayaran di pelabuhan Pulau Baai.

Saran

1. Mengingat pentingnya Pelabuhan Pulau Baai sebagai pelabuhan yang baru berkembang dan berperan dalam menghidupkan serta mengembangkan kegiatan perekonomian di Propinsi Bengkulu, maka permasalahan sedimentasi dan pendangkalan alur pelabuhan harus dapat diusahakan penanggulangannya dengan segera.
2. Pengaruh dari pembangunan breakwater di pelabuhan Pulau Baai adalah terjadinya erosi

pantai dibagian *down drift* dan berubahnya fenomena garis pantai di bagian utara pelabuhan.

3. Harus diadakan penelitian dan kajian yang lebih matang tentang penggunaan Metode Toer Crane Struktur pada penanganan sedimentasi pada alur pelabuhan Pulau Baai Bengkulu mengingat adanya angkutan sedimen yang terjadi dan sangat besar setiap tahunnya dan masuk kategori 'mengkawatirkan' terhadap aktifitas bongkar muat di pelabuhan yang cenderung mengalami mati suri.

Daftar Pustaka

Badan Meteorologi dan Geofisika, 2002. *Stasiun Klimatologi Pulau Baal. Kecepatan Angin Rata-rata, Kecepatan Angin Terbesar, Arah Angin Terbanyak*. Bengkulu.

Delft Hydraulics Laboratory. 1978. *Preliminary Report on Desk Studies*, Chapter I Wave Climate Study.

Departemen Pekerjaan Umum, 1982. *Alat-Alat Baret dan Penggunaannya*.

FTSP-ITB.: Perencanaan untuk Penanggulangan Masalah Sedimentasi Erosi di Sekitar Alur Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu. *Final Report*.

Hang Tuah, Coastal Hydraulics, *Diktat Kuliah, Rekayasa Pantai*, Bahan Kuliah

JOHN HUSTON. PE. *Hydraulic Dredging*.

Kramadibrata, Soedjono, 1985. *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung, Ganeca Exact.

Kerjasama Departemen Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Perikanan dengan Lembaga. Afiliasi Penelitian dan Industri (LAPI) Institut Teknologi Bandung (ITB), Agustus, 2000. *Pelatihan Perakayasa Teknik Pembangunan Pelabuhan Perikanan Untuk Persiapan Otonomi*,

Nedeco, 1981. *Layout of the Breakwaters and Harbour Entrance*.

PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia H, 2002. *Perhitungan Volume Lumpur yang akan Direkrut di Alur Pelayaran Pelabuhan Pulau Baai Bengkulu*. Jakarta.

R.J. de Heer and Rachmanhad, 1982. *Dredging and Dredging Equipment*.

Syamsuddin, 2003. *Rekayasa Pantai, Bahan Kuliah Jurusan Pantai Magister Profesional PSDA ITB*.

Triajmojo, Bambang, 1996. *Teknik Pelabuhan*, Penerbit Beta Offset.

_____, 1996. *Teknik Pantai*, Penerbit Beta Offset,

US Army Coastal Engineering Research Center, 1994. *Shore Protection Manual-Volume I. Washinton D.C, U.S Govrenment Printing Office*,

U.S Army Coastal Engineering Research Center., 1994. *Shore Protection Manual-Volume H. Washinton D.C, US Govrenment Printing Office*.

Yuwono, Nur, 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai. Volume III*