

PENINGKATAN STABILITAS KAPAL ISAP TIMAH MODEL KATAMARAN (CATAMARAN) DENGAN METODE OPTIMASI

Firly Rosa* dan I Wayan Suweca**

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

**Kelompok Keahlian Perancangan Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Email : firly@ubb.ac.id, csuweca@edc.ms.itb.ac.id

ABSTRAK

Peraturan pemerintah daerah mengizinkan penambangan timah dilakukan oleh masyarakat umum di darat maupun di laut. Penambangan timah di laut memerlukan kapal isap timah yang sesuai dengan kondisi lingkungan, murah dan aman. Kapal isap timah pertama yang dibuat masih dalam tahap uji coba yang telah dibuat dengan rancangan sederhana yang terdiri dari dua buah silinder lambung kapal (model katamaran/*catamaran*). Tujuan penelitian ini adalah memperbaiki kekurangan unjuk kerja stabilitas dengan cara mengubah dimensi lambung tanpa mengubah lebar kapal dan menempatkan peralatan kapal isap timah untuk mendapatkan letak titik pusat massa dan letak titik pusat apung yang baik. Letak titik pusat massa didapatkan dengan cara menghitung optimasi berat minimum ponton dan *software maxsurf* digunakan untuk menghitung stabilitas arah melintang dan stabilitas arah memanjang kapal. Upaya peningkatan stabilitas dengan cara optimasi penempatan posisi bagian kapal isap timah pada arah melintang dan memanjang serta optimasi diameter dan tebal ponton kapal isap timah dapat meningkatkan stabilitas kapal dan memenuhi standar karakteristik IMO.

kata kunci: model katamaran, stabilitas IMO, optimasi.

ABSTRACT

Small tin mining activity both in land and on the sea have been operated by public for decades under permission of local government of Bangka Belitung Province. Especially on the sea, it needs appropriate the tin production suction dredger which environment-friendly, operated safely and economically. The existing tin production suction dredger, which is simply designed by two sided cylinders of catamaran model, is operated under evaluation. The aim of this research is to improve the existing tin production suction dredger stability and focused on improving dredger buoyance to get good dredger stability without changing its width dimension and reposition tin mining equipment to get appropriate centre of gravity and centre of buoyance of the dredger. Its centre of gravity is calculated by finding out the weight of minimum pontoon using optimization method. Transverse and longitudinal stability of the dredger is analyzed using maxsurf software. The IMO standard stability characteristics have been fulfilled by optimizing the tin production suction dredger components position at transverse and longitudinal direction and optimizing the pontoon diameter and thickness.

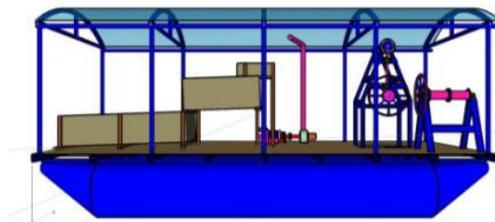
Keywords: catamaran model, IMO static stability, optimization.

1. Pendahuluan

Timah merupakan sumber daya alam yang penambangannya dapat dilakukan di daratan maupun di lautan. Untuk penambangan di laut, diperlukan kapal isap maupun kapal keruk untuk mengangkat material dari dasar laut.

Salah satu kapal isap timah dengan biaya operasi yang murah dengan perawatan yang mudah dan aman dalam pengoperasian adalah kapal isap timah dengan ukuran 3x10 meter dengan konstruksi pengelasan yang dilengkapi dengan alat penghisap, dengan mesin diesel berdaya 24 HP untuk menggerakkan 2 (dua) unit pompa isap dan jig dan steering winch (saringan) sebagai alat pemisah timah. Konstruksi dasar dari kapal isap timah ini terdiri dari 2 (dua) unit ponton baja (lambung katamaran) dengan ukuran (800x8000 mm seperti yang terdapat pada gambar 1.

Perancangan dan pembuatan kapal isap timah ini dilakukan secara ekperimental dimana dimensi dan hasil analisa kestabilan berdasarkan berat kapal isap timah secara keseluruhan dengan beban muatan yang bervariasi dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1 Rancangan Kapal Isap Timah

Tabel 1 Data Dimensi dan Analisa Kestabilan Kapal Isap Timah yang Ada

No	Kriteria	Data yang ada			Keterangan
		Muatan Kosong	Muatan Menengah	Muatan Penuh	
1	Titik Pusat Massa Sumbu X [mm]	4198.9	3962.9	3781.1	
2	Titik Pusat Massa Sumbu Y [mm]	-37.9	-33.0	-29.2	
3	Diameter Ponton, D [mm]	800.0	800.0	800.0	
4	Tebal Pelat Pelampung, t [mm]	3.0	3.0	3.0	
5	Sudut Kemiringan Kapal Akibat Berat Beban Arah Melintang [°]	-0.5	-0.5	-0.5	
6	Sudut Kemiringan Kapal Akibat Berat Beban Arah Memanjang [°]	0.1	0.1	0.1	
7	Tinggi sarat [mm]	320.0	362.1	407.3	
8	Tinggi GMt [mm]	3036.3	3567.2	4190.7	
9	Besar GZ ≥ 200 mm	528.80	528.80	528.80	Sesuai standar IMO
10	Sudut maksimum GZ $\geq 25^\circ$	20.00	20.00	20.00	Tidak sesuai standar IMO
11	Nilai $\overline{GMt} \geq 150$ mm	3037.70	3037.70	3037.70	Sesuai standar IMO
12	Tinggi GML [mm]	15178.1	17367.8	19852.2	

Hasil analisa terhadap kestabilan disesuaikan dengan standar karakteristik kestabilan IMO (International Maritime Organization). Namun dari hasil analisa, ada beberapa karakteristik yang tidak memenuhi standar tersebut, yaitu:

1. GMt dan besar lengan momen pengembali GZ telah memenuhi standar karakteristik IMO. Namun sudut minimum yang diperlukan $GZ \geq 25^\circ$ belum memenuhi standar karakteristik IMO di mana besar sudut GZ pada kapal isap timah pada berbagai variasi muatan sebesar 15° untuk muatan kosong dan menengah dan 20° untuk muatan penuh.
2. Berdasarkan analisa stabilitas memanjang, tinggi GML telah memenuhi standar yang telah ditentukan $\overline{GML} \geq 0$.

Dari ketidakpuasan terhadap standar karakteristik IMO, maka perlu dilakukan peningkatan kestabilan kapal dengan melakukan perbaikan dimensi kapal isap timah dengan melakukan optimasi penempatan posisi bagian kapal isap timah pada arah melintang dan memanjang serta optimasi diameter dan tebal ponton kapal isap timah dapat meningkatkan stabilitas kapal sehingga dapat memenuhi standar karakteristik IMO

Beberapa parameter perancangan yang sudah diformulasikan dalam persamaan matematis berdasarkan berat beban dan posisi titik pusat massa digunakan untuk proses optimasi. Optimasi dilakukan dengan 2 (dua) proses, yaitu:

1. Modifikasi posisi arah sumbu x dan sumbu y dengan menggunakan metoda linear
2. Modifikasi posisi arah sumbu z

2. Tinjauan Pustaka

Optimasi adalah proses mencari nilai minimum atau maksimum suatu fungsi objektif $F(\mathbf{X})$ sebagai fungsi dari vektor variabel perancangan \mathbf{X} . Jika tidak ada kendala maka disebut dengan optimasi tak berkendala dan sebaliknya disebut dengan optimasi berkendala. (Yang, 2005). Konsep optimasi banyak ditemui di kehidupan sehari-hari dan diperlukan dalam aktivitas perancangan untuk berbagai disiplin ilmu. Dalam dunia pemesinan, diharapkan menghasilkan sesuatu yang baik kualitasnya dengan sumber daya alam yang ada di mana optimasi sebagai alatnya.

Formulasi persoalan optimasi dalam perancangan didiskripsikan dalam model matematis. Bentuk matematis yang dimaksud adalah (Venkataraman, 2001).

1. Variabel perancangan (*design variable*)

Variabel perancangan merupakan parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi rancangan utama. Variabel perancangan diidentifikasi sebagai vektor perancangan (Vanderplaats), (Venkataraman, 2001), yaitu:

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{Bmatrix}$$

2. Parameter perancangan (*design parameters*)

Parameter perancangan merupakan konstanta pembanding yang tidak akan mengalami perubahan.

3. Fungsi perancangan (*design function*)

Fungsi perancangan berisikan informasi rancangan yang dihitung berdasarkan variabel perancangan dan parameter perancangan yang berbentuk model matematika. Fungsi perancangan dapat berbentuk objektif perancangan/fungsi objektif (*design objective/objective function*) dan atau fungsi kendala (*constraints*).

a. Fungsi objektif

Format pernyataan untuk fungsi objektif umumnya memaksimalkan atau meminimumkan beberapa kuantitas yang berisikan beberapa fungsi perancangan. Bentuk fungsi objektif adalah:

Minimumkan : $F(\mathbf{X})$

b. Fungsi kendala (*constraint functions*)

Seperti halnya dengan fungsi objektif, fungsi kendala akan dipengaruhi oleh variabel perancangan. Format fungsi ini diperlukan sebagai pembanding beberapa parameter yang dibatasi berdasarkan keinginan perancangan atau keinginan seorang perancang. Fungsi kendala ada 3 (tiga) jenis, yaitu:

- Fungsi kendala kesamaan (*equality constraints*), yang disimbolkan dengan huruf h. Bentuk fungsi kendala kesamaan sebagai berikut:

$$h_k(\mathbf{X}) = 0, k=1, l$$

- Fungsi kendala ketidaksamaan (*inequality constraints*), yang disimbolkan dengan huruf g. Bentuk fungsi kendala ketidaksamaan sebagai berikut:

$$g_j(\mathbf{X}) \leq 0, j=1, m$$

- Fungsi kendala tepi/batas (*side constraints*) sebagai berikut:

$$X_i^L \leq X_i \leq X_i^U, i=1, n, \text{ dengan } X_i^L \text{ dan } X_i^U \text{ adalah jumlah variabel perancangan}$$

4. Format standar formulasi persoalan optimasi

Format standar dari proses optimasi sebagai berikut:

Minimumkan : $F(\mathbf{X})$

Kendala:

$$h_k(\mathbf{X}) = 0 \quad k=1, l \text{ (} l = \text{jumlah kendala kesamaan)}$$

$$g_j(\mathbf{X}) \leq 0 \quad j=1, m \text{ (} m = \text{jumlah kendala ketidaksamaan)}$$

$$X_i^L \leq X_i \leq X_i^U \quad i=1, n \text{ (} n = \text{jumlah variabel perancangan)}$$

dengan $\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{Bmatrix}$

5. Ruang perancangan (*design space*)

6. Algoritma iterasi dan konvergensi (*convergence*)

Teori algoritma dapat dibagi dalam 3 (tiga) aspek. Pertama difokuskan pada pembuatan algoritma berdasarkan penyelesaian yang kreatif dalam bahasa pemrograman. Aspek kedua adalah memverifikasi algoritma yang dibuat yang digenerasikan secara sekuensial sehingga didapatkan solusi yang konvergen. Aspek ketiga adalah mengacu kepada analisa konvergensi yang difokuskan dalam menggenerasikan nilai

konvergensi secara sekuensial.

7. Penyelesaian permasalahan optimasi

Ada banyak cara dalam menyelesaikan permasalahan secara optimasi, namun dalam tesis ini, hanya menggunakan 2 (dua) metode, yaitu:

- a. Metode program linear (*Linear Programming Method*^[5]) untuk memecahkan permasalahan dimana fungsi perancangannya berbentuk fungsi linear.
- b. Metode bukan program linear (*Nonlinear Programming Method*) untuk memecahkan permasalahan dimana fungsi perancangannya berbentuk fungsi bukan linear.

3. Metodologi

Metoda penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut:

A. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri dalam penelitian ini berdasarkan kapal isap timah dengan menghitung berat berdasarkan dimensi masing-masing bagian dan posisi titik pusat massa masing-masing bagian diukur dari titik 0,0,0, dengan variabel diameter ponton (D) dan tebal pelat ponton (t) kapal isap timah yang dilakukan pada kondisi muatan menengah dan dapat dimodelkan berdasarkan:

- Berat total kapal isap timah

$$(W_G = (0.000368 * D^2) + (0.39 * D * t) + (0.1638 * D) - (0.39 * t^2) + 2058.0487 \tag{1}$$
- Titik pusat massa arah sumbu x kapal isap timah muatan menengah
- Titik pusat massa arah sumbu y kapal isap timah muatan menengah
- Titik pusat massa arah sumbu z kapal isap timah muatan menengah

B. Relokasi peralatan pada arah sumbu x dan sumbu y

Modifikasi yang dilakukan adalah merelokasi posisi saat kapal isap timah pada muatan menengah, dengan memposisikan kembali struktur winch bandul dan posisi mesin-mesin pendukung baik pada arah sumbu x dan sumbu y. Untuk modifikasi posisi pada arah sumbu x dan sumbu y maka diperlukan parameter titik pusat massa yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Titik Pusat Massa Kapal Isap Timah Modifikasi Posisi

No	Nama Bagian	Berat (w) (kg)	Jarak Titik Pusat Massa Per Bagian ke Titik Pusat Massa Acuan x	Jarak Titik Pusat Massa Per Bagian ke Titik Pusat Massa Acuan y
1	Ponton	1169.2	4000.0	0.0
2	Rangka, Deck, Pagar dan Atap	1308.3	4009.5	0.0
3	Saringan	233.9	2378.7	0.0
4	Struktur Winch Gerakan Samping	134.5	7314.8	-947.0
5	Struktur Winch Bandul	152.3	x1	0.0
6	Dudukan dan Mesin-mesing Pendukung	359.4	x2	y
7	Berat material di atas saringan	500.0	2378.7	0.0
Total		3858.3	$(12654565.9+152.3x_1 + 359.4x_2) / (3858.3)$	$(-127380.2+359.49y) / (3858.3)$

- Optimasi pada Sumbu X

Untuk mendapatkan optimum posisi masing-masing bagian tersebut pada arah sumbu x menggunakan metode program linear (*linear programming*)

- Menentukan fungsi objektif

Fungsi objektif yang harus dipenuhi berdasarkan hukum Archimedes berdasarkan persamaan:

$$x'_G - \frac{L}{2} = 0 \tag{2}$$

di mana x'_G berdasarkan tabel 2 maka persamaan 2 menjadi:

$$\frac{(12654565.9+152.3x_1 + 359.4x_2)}{3858.3} - 4000 = 0 \tag{3}$$

$$152.3x_1 + 359.4x_2 - 2778415.5 = 0 \tag{4}$$

Sehingga fungsi objektif:

$$\text{Minimumkan: } F(\mathbf{X}) = |152.29x_1 + 359.39x_2 - 2778415.45| \tag{5}$$

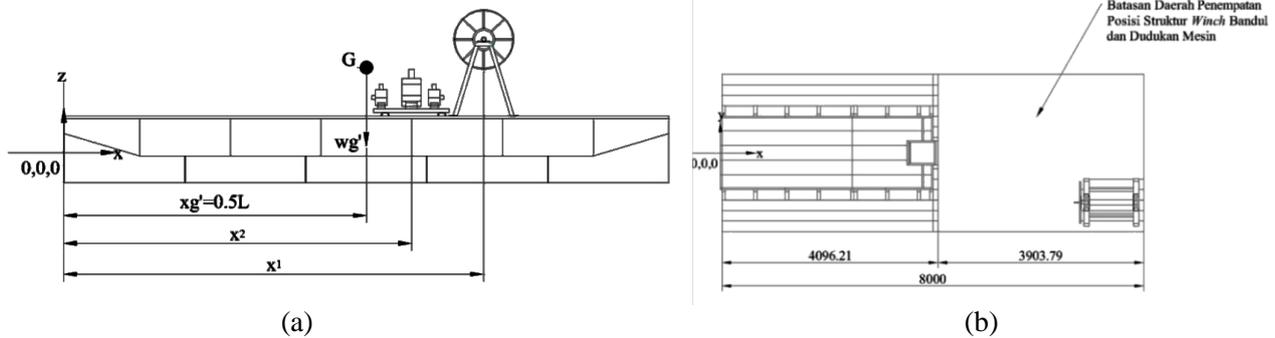
$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}$$

$x_1 =$ Jarak titik pusat massa struktur winch bandul ke titik acuan 0,0,0

$x_2 =$ Jarak titik pusat massa dudukan dan mesin-operasi ke titik acuan 0,0,0

- Menentukan fungsi kendala

Fungsi kendala yang terjadi adalah batasan ruang penempatan struktur *winch* bandul dan dudukan mesin dapat dilihat pada gambar 2, yaitu:



Gambar 2 (a) Jarak Maksimum dan Minimum Antara x_1 dan x_2 (b) Batasan Daerah Penempatan Posisi Struktur *Winch* Bandul dan Dudukan Mesin

- Jarak minimum antara x_1 dan x_2 :

$$x_1 - x_2 = 953 \quad (6)$$

- Jarak maksimum dan minimum x_1 dari titik acuan 0,0,0 :

$$5552,2 \leq x_1 \leq 7547 \quad (7)$$

- Jarak maksimum x_2 dari titik acuan 0,0,0:

$$4596,2 \leq x_2 \leq 6591 \quad (8)$$

Sehingga fungsi kendala yang terjadi adalah:

$$h(\mathbf{X}): x_1 - x_2 = 953 \quad (9)$$

$$5552,2 \leq x_1 \leq 7547 \quad (10)$$

$$4596,2 \leq x_2 \leq 6591 \quad (11)$$

$$x_i \geq 0, i=1,2$$

- Proses optimasi

Dari fungsi objektif dan fungsi kendala, maka didapatkan formulasi optimasi sebagai berikut:

$$\text{Minimumkan: } F(\mathbf{X}) = |152.29x_1 + 359.39x_2 - 2778415.45| \quad (12)$$

Fungsi Kendala:

$$h(\mathbf{X}): x_1 - x_2 = 953 \quad (13)$$

$$g_2(\mathbf{X}): x_1 - x_3 = 5552,2 \quad (14)$$

$$g_3(\mathbf{X}): x_1 + x_4 = 7547 \quad (15)$$

$$g_4(\mathbf{X}): x_2 - x_5 = 4596,2 \quad (16)$$

$$g_5(\mathbf{X}): x_2 + x_6 = 6591 \quad (17)$$

$$x_i \geq 0, i=1,2 \dots 6$$

- Ruang perancangan (*design space*)

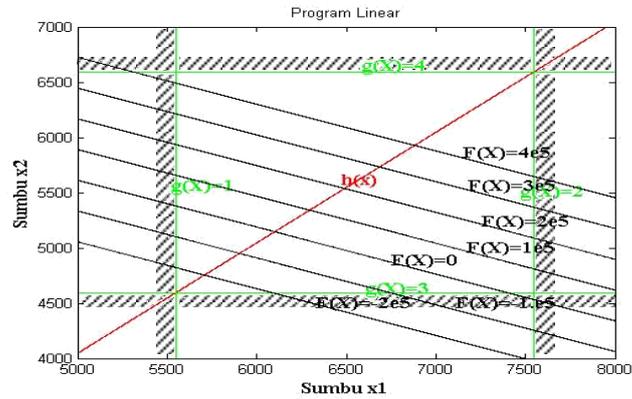
Proses optimasi menggunakan *software matlab* dengan solusi yang dihasilkan merupakan solusi *feasible (feasible solution)* yang dapat dilihat pada gambar 3. Untuk menyelesaikan masalah optimasi menggunakan metode program linear dan algoritma iterasi. Solusi optimasi yang dilakukan dengan 2 (dua) metoda, yaitu:

1. Metode *graphical solution*
2. Metode *solver* pada *Microsoft Excel*

C. Modifikasi Perubahan Dimensi Ponton

Ada beberapa asumsi yang digunakan untuk optimasi dimensi ponton, yaitu:

1. Kapal isap timah yang dianalisis berdasarkan data-data pada kapal isap timah modifikasi posisi pada arah sumbu x dan sumbu y.
2. Perubahan dimensi terjadi pada ponton dan bagian-bagian yang menyesuaikan dengan adanya perubahan dimensi ponton (dinotasikan dengan D) dan tebal pelat ponton (t).
3. Perubahan dimensi ponton akan mempengaruhi perubahan posisi bagian-bagian kapal isap timah pada sumbu z.



Gambar 3 Ruang Perancangan Penempatan Posisi Arah Sumbu X

Adapun langkah-langkah modifikasi perubahan dimensi sebagai berikut:

a. Menentukan Fungsi Objektif

Fungsi objektif dari modifikasi kapal isap ini adalah merupakan berat minimum kapal isap timah dengan meminimumkan diameter ponton (D) dan tebal ponton (t) yang dapat dilihat pada gambar 6 dengan parameter awal dapat dilihat pada tabel 2 adalah

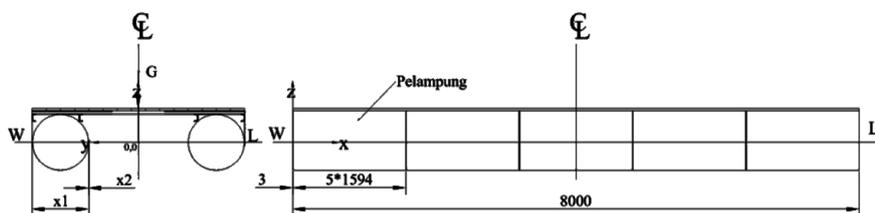
$$W_{\min} = 10 * \rho_{\text{material}} * L_{\text{pelampung}} * \pi * (4 * D * t + 4 * t^2) + 20 * \rho_{\text{material}} * t_{\text{tutup}} * \frac{1}{4} * \pi * D^2 \quad (18)$$

dimana

D = diameter luar ponton dengan variabel perancangan x_1

t = tebal ponton dengan variabel perancangan x_2

dengan parameter pada tabel 3 dan diagram benda bebas pada gambar 4.



Gambar 4 Diagram Benda Bebas Kapal Isap Timah Modifikasi Dimensi Ponton

Tabel 3 Parameter Perancangan Kapal Isap Timah Modifikasi Dimensi Ponton

No	Parameter Perancangan	Nilai
1	Panjang pelampung, $L_{\text{pelampung}}$, [mm]	1594
2	Tutup pelampung, t_{tutup} [mm]	3
2	Total lebar kapal, B_0 [mm]	2900
3	Massa jenis air laut, ρ [kg/mm ³]	1.025E-06
4	Sarat, T, [mm]	0.5D
5	Panjang ponton, $L=L_{\text{pp}}$, [mm]	8000
6	Lebar air, B, [mm]	2*D
7	Koefisien block, C_b	0.67
8	Berat total muatan menengah, Wg'' , [kg]	persamaan 1
9	Berat jenis material, ρ_{material} [kg/mm ³]	7.8E-6

b. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas ini berdasarkan beberapa asumsi, yaitu:

1. Tinggi sarat yang digunakan adalah tinggi sarat tepat berada pada garis tengah ponton, yaitu $T=0.5*D$
2. Panjang Ponton (L) tidak mengalami perubahan
3. Lebar bidang air (B) adalah 2 kali diameter ponton ($2*D$)
4. C_b diasumsikan sama dengan C_b pada kapal isap timah yang ada, yaitu 0.67.

Dengan kondisi batas sebagai berikut:

1. Kondisi batas pertama berdasarkan persamaan hukum archimedes, yaitu:

$$W_G'' - \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B = 0 \quad (19)$$

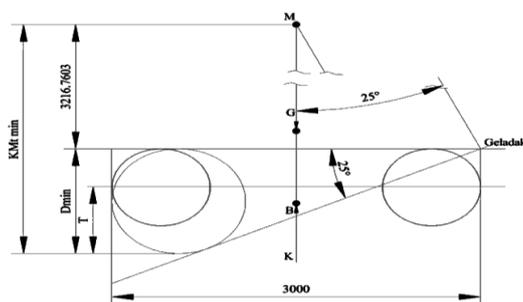
$$W_G'' - \rho \cdot L \cdot D \cdot C_B = 0 \quad (20)$$

2. Untuk kondisi batas kedua berdasarkan persamaan stabilitas awal dan diasumsikan salah satu geladak akan terbenam pada sudut 25° yang dapat dilihat pada gambar 5. Kondisi batas \overline{KMt} yang terjadi adalah:

$$\overline{KMt} \geq 3216.7603 + D_{\min} \quad (21)$$

$$\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{5 \cdot T}{2} - \frac{\nabla}{A_w} \right) + \frac{I_x + A h^2}{\nabla} \geq 3216.7603 + D_{\min} \quad (22)$$

$$\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{5 \cdot D}{4} - \frac{w_g''}{\rho \cdot B \cdot L} \right) + \frac{2 \cdot \rho \cdot \left(\frac{B^3 L}{12} + B \cdot L \cdot \left(\frac{3000 - D}{2} \right)^2 \right)}{w_g''} \geq 3216.7603 + D_{\min} \quad (23)$$



Gambar 5 Kondisi Batas Modifikasi Dimensi Posisi

c. Proses Optimasi

Dengan menggunakan software matlab, maka proses optimasi dapat didefinisikan sebagai berikut:

Minimumkan:

$$F(\mathbf{X}) = 10 * \rho_{\text{material}} * L_{\text{pelampung}} * \pi * (4 * x_1 * x_2 + 4 * x_2^2) + 20 * \rho_{\text{material}} * t_{\text{tutup}} * \frac{1}{4} * \pi * x_1^2 \quad (24)$$

Fungsi kendala:

Kendala Kesamaan

$$h(\mathbf{X}): W_g'' - \rho \cdot L \cdot x_1 \cdot C_B = 0 \quad (25)$$

Kendala Ketidaksamaan

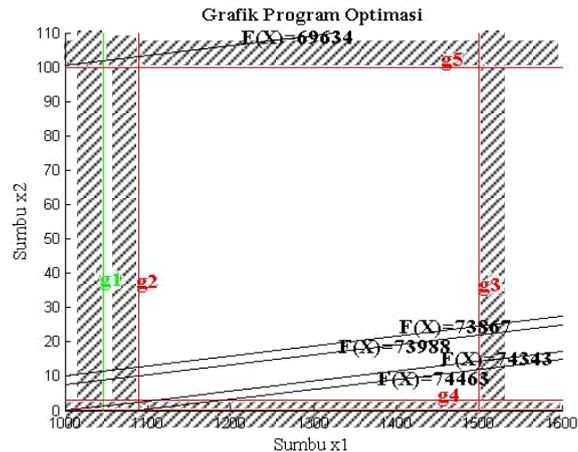
$$g(\mathbf{X}): - \left(\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{5 \cdot x_1}{4} - \frac{w_g''}{\rho \cdot B \cdot L} \right) + \frac{2 \cdot \rho \cdot \left(\frac{B^3 L}{12} + B \cdot L \cdot \left(\frac{3000 - x_1}{2} \right)^2 \right)}{w_g''} - 3216.7603 - x_1 \right) \leq 0 \quad (26)$$

$$800 \leq x_1 \leq 1500, 3 \leq x_2 \leq 100$$

d. Ruang perancangan

Dari formulasi persoalan optimasi di atas, maka didapatkan ruang perancangan (design space) untuk proses optimasi dengan menggunakan software matlab dapat dilihat pada gambar 6.

Dari hasil optimasi dengan menggunakan *solver* pada *microsoft excel* maupun *optimization toolbox fmincom* (Hunt, Lipsman, & Jonathan M. Rosenberg With Kevin R. Coombes, 2001) pada *software matlab* didapatkan minimum $D = 1088.79$ mm dan $t = 10.14$ mm dan berat minimum ponton = 4706.21 kg.



Gambar 6 Ruang Perancangan Modifikasi Ponton

D. Analisa Stabilitas Kapal Isap Timah Modifikasi Posisi dan Modifikasi Dimensi Ponton

a. Perhitungan Berat dan Titik Pusat Massa Kapal Isap Timah

Dengan modifikasi posisi dan modifikasi dimensi ponton maka dapat ditentukan berat dan titik pusat massa dari berbagai kondisi yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Berat dan Titik Pusat Massa Kapal Isap Timah Modifikasi

Nama Bagian	Berat (w) (kg)	Jarak Titik Pusat Massa Per Bagian ke Titik Pusat Massa Acuan		
		x	y	z
Muatan Kosong	6942.6	4116.8	0.0	274.1
Muatan Menengah	7442.6	4000.0	0.0	330.2
Muatan Penuh	7942.6	3897.9	0.0	379.2

b. Perhitungan *Draft*, Hidrostatik dan Koefisien Bentuk Kapal

Dengan analisa geometrik kapal maka didapatkan tinggi dari titik pusat massa dari dasar kapal (KG) dan tinggi sarat untuk variasi muatan yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Parameter Awal Kapal Isap Timah Modifikasi

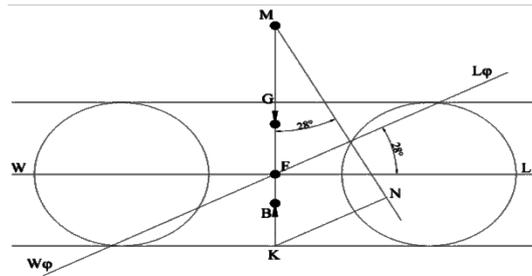
Nama Bagian	Variasi Muatan [kg]		
	0	500	1000
Tinggi sarat, T [mm]	677.3	701.9	727.3
Jarak dasar kapal ke titik pusat massa, KG [mm]	898.6	939.2	977.0

c. Perhitungan Stabilitas Awal (Initial Stability)

Berdasarkan diagram benda bebas pada gambar 7 dan berdasarkan hasil perhitungan stabilitas awal yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Analisa Stabilitas Awal Kapal Isap Timah Modifikasi

Kriteria	Variasi Muatan (Kg)		
	0	500	1000
Tinggi sarat, T [mm]	479.4	511.2	544.5
Jarak KB [mm]	277.5	295.1	323.6
Jarak KMt [mm]	3107.5	2900.6	2592.3
Jarak Gmt [mm]	2183.9	1976.9	1668.7



Gambar 7 Diagram Benda Bebas Arah Melintang Kapal Isap Timah Modifikasi

d. Stabilitas Lanjut

Dengan menggunakan *software Hidromax Windows*, maka didapatkan hasil analisa stabilitas lanjut pada variasi muatan yang dapat dilihat pada tabel 7 dan kurva stabilitas *cross curve* yang dapat dilihat pada gambar 8(a). Dengan menggunakan *software*, maka didapatkan kurva stabilitas statis (GZ) yang dapat dilihat pada gambar 8(b). Dari kurva stabilitas statis didapatkan bahwa sudut kemiringan kapal isap timah modifikasi maksimum sebesar 28° dimana sudut tersebut menyebabkan ujung dek menyentuh permukaan air atau salah satu lambung terangkat dari permukaan air. Hasil stabilitas statis kemudian dibandingkan dengan kriteria stabilitas melintang dari standar IMO seperti yang dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 7 Hasil Analisa Stabilitas Lanjut terhadap Besar KN dan GZ pada Kapal Isap Timah Modifikasi

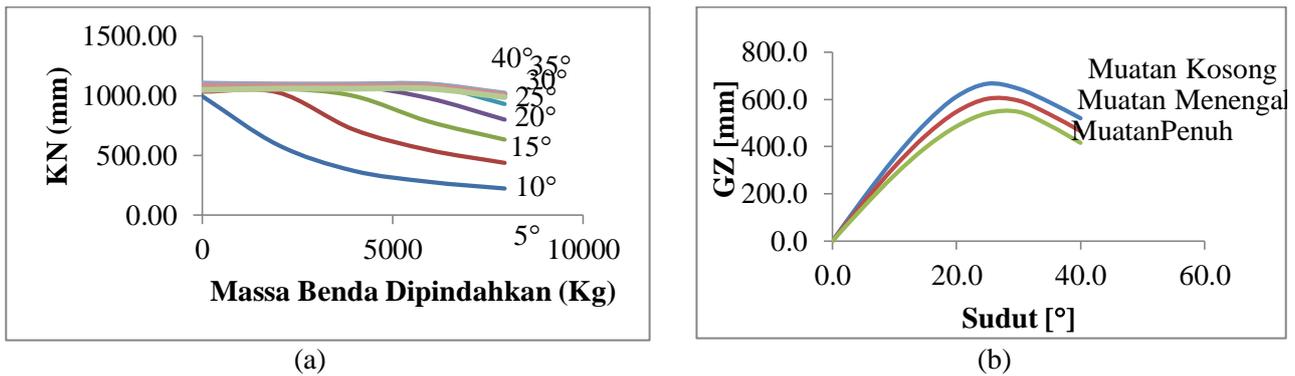
Sudut ($^\circ$)	Besar KN [mm] dan GZ [mm] pada Variasi Muatan					
	0 kg		500 kg		1000 kg	
	KN	GZ	KN	GZ	KN	GZ
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	252.5	181.2	238.5	162.3	224.5	144.0
10	493.1	350.9	466.1	314.2	439.1	278.7
15	710.1	498.2	672.2	445.8	634.3	395.3
20	891.5	611.6	846.3	547.3	801.4	485.5
25	1012.3	666.4	972.2	602.6	932.1	541.8
30	1054.7	645.2	1031.9	594.6	1009.1	547.3
35	1057.6	588.1	1038.6	536.9	1019.6	489.8
40	1046.0	519.9	1027.8	465.6	1009.6	415.9

Tabel 8 Hasil Stabilitas Melintang Kapal Isap Timah Modifikasi Dibandingkan dengan Standar IMO

Kode IMO	Kriteria	Units	Variasi Muatan					
			0 kg		500 kg		1000 kg	
			Actual	Status	Actual	Status	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.2	Besar $GZ \geq 200$ mm	mm	682.3	Sesuai	638.5	Sesuai	547.5	Sesuai
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.3	Sudut maksimum $GZ \geq 25^\circ$	deg	28	Sesuai	29	Sesuai	28	Sesuai
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.4	Nilai $\overline{GMt} \geq 150$ mm	mm	2064.2	Sesuai	1858.4	Sesuai	1668.6	Sesuai

e. Stabilitas Memanjang

Berdasarkan diagram benda bebas pada gambar 16 dan dengan menggunakan *software maxsurf* maka didapatkan hasil analisa stabilitas memanjang untuk beberapa variasi muatan yang dapat dilihat pada tabel 9.



Gambar 8 (a) *Cross Curve* Kapal Isap Timah Modifikasi (b) Stabilitas Statis Kapal Isap Timah Modifikasi

Tabel 9 Hasil Analisa Stabilitas Memanjang Kapal Isap Timah Modifikasi

Kriteria	Variasi Muatan (Kg)		
	0	500	1000
Tinggi sarat, T [mm]	479.4	511.2	544.5
Jarak KB [mm]	277.5	295.1	313.5
Jarak KML [mm]	15244.3	14053.1	12807.4
Jarak GML [mm]	14320.7	13129.5	11883.8

Dari tabel 9 didapatkan bahwa tinggi \overline{GML} pada variasi muatan mempunyai nilai lebih besar dari 0 sesuai dengan persyaratan yang diinginkan ($\overline{GML} \geq 0$).

4. Pembahasan

1. Dari hasil optimasi kapal isap timah dapat dibandingkan dengan kapal isap timah yang ada yang dapat dilihat pada tabel 10 bahwa perbedaan antara titik pusat arah sumbu x dengan garis tengah kapal yang dapat dilihat pada tabel 11, dapat diambil kesimpulan bahwa hasil optimasi dapat memperkecil jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat apung yang menyebabkan kemiringan kapal akibat berat beban dapat dikurangi.

Tabel 10 Perbandingan Kapal Isap Timah yang Ada dengan Hasil Optimasi

Kriteria	Data yang ada	Hasil optimasi
Titik Pusat Massa Sumbu X Muatan Menengah dari Titik Acuan 0,0,0, x_G [mm]	3962.9	4000.0
Titik Pusat Massa Sumbu Y Muatan Menengah dari Titik Acuan 0,0,0, y_G [mm]	-33.0	0.0
Diameter Ponton, D [mm]	800.0	1088.8
Tebal Pelat Pelampung, t [mm]	3.0	10.1

Tabel 11 Perbandingan Jarak Titik Pusat Massa dengan Garis Tengah Kapal Arah Sumbu X dan Sumbu Y

No	Nama	Kapal isap timah yang ada	Kapal isap timah modifikasi dimensi ponton	Selisih
Jarak massa total terhadap sumbu x dari titik acuan 0,0,0, x_G [mm]				
1	Muatan Kosong	4198.9	4116.7	-82.1
2	Muatan Menengah	3962.9	4000.0	37.1
3	Muatan Penuh	3781.1	3897.9	116.8
Jarak massa total terhadap sumbu y dari titik acuan 0,0,0, y_G [mm]				
1	Muatan Kosong	-37.9	0.0	37.9

No	Nama	Kapal isap timah yang ada	Kapal isap timah modifikasi dimensi ponton	Selisih
2	Muatan Menengah	-33.0	0.0	33.0
3	Muatan Penuh	-29.2	0.0	29.2

- Sudut kemiringan kapal hasil optimasi dapat diminimalkan dibandingkan dengan kapal isap yang ada. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 12.
- Untuk analisa tinggi sarat didapatkan bahwa kapal isap hasil optimasi mendapatkan tinggi sarat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi sarat pada kapal isap yang ada. Titik sarat yang rendah akan menyebabkan titik apung semakin rendah yang mengakibatkan kestabilan kapal semakin rendah. Perbandingan tinggi sarat tersebut dapat dilihat pada tabel 13. Namun, tinggi sarat baik kapal isap yang ada maupun kapal isap modifikasi telah memenuhi standar yang telah dipersyaratkan.

Tabel 12 Perbandingan Kemiringan Kapal Akibat Berat Beban Kapal Isap Timah pada Kapasitas Menengah

Kriteria	Kapal Isap Timah yang Ada	Kapal Isap Timah Modifikasi Dimensi Posisi	Standar
Sudut Kemiringan Kapal Akibat Berat Beban Arah Melintang [°]	-0.5	0.0	0.0
Sudut Kemiringan Kapal Akibat Berat Beban Arah Memanjang [°]	0.1	0.0	0.0

Tabel 13 Perbandingan Tinggi *Draft Midship*

Kondisi	Kapal isap timah yang ada [mm]	Kapal isap timah modifikasi dimensi ponton [mm]
Muatan Kosong	320.0	479.3
Muatan Menengah	362.1	511.2
Muatan Penuh	407.3	544.5
Standar	320 s.d 888.88	435.52 s.d 1209.77

- Berdasarkan perhitungan tinggi \overline{GMt} , baik muatan kosong maupun muatan penuh pada kapal isap timah yang ada maupun kapal isap modifikasi mempunyai nilai \overline{GMt} lebih besar dari 0 dan melebihi rekomendasi IMO ($\overline{GMt} \geq 150$ mm). Semakin tinggi nilai \overline{GMt} menunjukkan kapal dalam kondisi stabilitas yang cukup, namun mengakibatkan *rolling period* menjadi tinggi yang dapat menyebabkan kapal isap timah bergerak kaku dan kurang nyaman. Namun, dengan adanya modifikasi dari hasil optimasi kapal isap timah mempunyai *rolling period* yang rendah. Untuk nilai \overline{GMt} tersebut dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14 Perbandingan Tinggi \overline{GMt}

Kondisi	\overline{GMt} Kapal Isap Mini yang Ada [mm]	\overline{GMt} Kapal Isap Mini Modifikasi Dimensi Posisi [mm]
Muatan kosong	3036.3	1668.7
Muatan menengah	3567.2	1858.4
Muatan penuh	4190.7	2064.2

- Berdasarkan perhitungan tinggi \overline{GML} , baik muatan kosong maupun muatan penuh pada kapal isap timah yang ada dan kapal isap modifikasi mempunyai nilai \overline{GML} lebih besar dari 0. Perbandingan nilai \overline{GML} tersebut dapat dilihat pada tabel 15. Dari tabel 15 dapat diambil kesimpulan bahwa dengan modifikasi menyebabkan penurunan tinggi \overline{GML} , namun nilai \overline{GML} masih berada di atas persyaratan yang diinginkan.

Tabel 15 Perbandingan \overline{GML}

Kondisi	\overline{GML} Kapal Isap Mini yang Ada [mm]	\overline{GML} Kapal Isap Mini Modifikasi Dimensi Posisi [mm]
Muatan kosong	15178.1	11356.5
Muatan menengah	17367.8	12216.6
Muatan penuh	19852.2	13133.1

6. Untuk analisa stabilitas lanjut perbandingan antara kapal isap yang ada dengan kapal isap hasil modifikasi dapat dilihat pada tabel 16. Dari tabel 16 didapatkan bahwa dengan adanya modifikasi, sudut kemiringan melintang (*heel*) kapal isap timah dapat diperbesar dan sesuai dengan standar karakteristik IMO.

Tabel 16 Perbandingan Stabilitas Lanjut

Kode IMO	Kriteria	Units	Kapal Isap Timah Yang Ada		Kapal Isap Timah Modifikasi Dimensi Ponton	
			Actual	Status	Actual	Status
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.2	Besar $GZ \geq 200$ mm	mm	528.80	Sesuai	547.50	Sesuai
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.3	Sudut maksimum $GZ \geq 25^\circ$	deg	20.00	Tidak Sesuai	28.00	Sesuai
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships section 3.1.2.4	Nilai $\overline{GMt} \geq 150$ mm	mm	3037.70	Sesuai	1668.60	Sesuai

5. Kesimpulan

- Rancangan awal kapal isap timah belum memenuhi syarat standar stabilitas yang dikeluarkan IMO (*International Maritime Organization*), khususnya sudut minimum GZ yang diperlukan.
- Upaya perubahan letak titik pusat massa, letak titik apung juga belum dapat memenuhi standar IMO.
- Optimasi diameter silinder pada masing-masing ponton dan letak titik pusat massa kapal pada lebar kapal yang tetap dapat meningkatkan stabilitas kapal isap timah dan memenuhi standar IMO.

6. Reference

- Hidromax Windows Version 11.1 User Manual. (2005). Formation Design Systems.
- CircularSegment.html#eqn18. (n.d.). Retrieved Februari 4, 2010, from <http://mathworld.wolfram.com/www.mathworld.wolfram.com>
- Hunt, B. R., Lipsman, R. L., & Jonathan M. Rosenberg With Kevin R. Coombes, J. E. (2001). **A Guide to Matlab For Beginners and Experienced Users**. New York: Cambridge University Press.
- International Maritime Organization, I. L. (n.d.). Lloyd's Register.
- Luenberger, D. G., & Ye, Y. (2008). *Linear and Nonlinear Programming*, Third Edition. Stanford: Springer.
- Prayitnadi R.P., R. P. (2009, Juni 23). **Mini Production Suction Dredge for Small Scale Tin Mining in Bangka Belitung Island Indonesia**. Retrieved Agustus 18, 2009, from <http://www.ubb.ac.id/www.ubb.ac.id>
- Vanderplaats, G. N. (n.d.). **Numerical Optimization Techniques For Engineering Design With Application**. McGraw-Hill Book Company.
- Venkataraman, P. (2001). **Applied Optimization With Matlab Programming**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Yang, W. Y.-S. (2005). **Applied Numerical Methods Using Matlab**. New Jersey: A John Willey & Sons, Inc., Publication.