

Optimasi Jumlah Marine Airbag Pada Proses Peluncuran Kapal Berdasarkan Jarak antar Airbag dan Faktor Keamanan

Ahmad Arief^{*1}, Meschac Timothee Silalahi., M.T.* and Andrew W.P. Mantik, S.T.*

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi

Perkapalan Jl. Ahmad Yani, Batam Centre,

Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: ahmadarief469@gmail.com

Abstrak

Peluncuran kapal menggunakan *marine airbag* merupakan metode yang fleksibel dan efisien, namun rentan terhadap kegagalan struktural seperti *tipping*, *dropping*, maupun *stern lift* apabila perhitungan teknis tidak tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi jumlah kebutuhan, menentukan jarak aman spasi longitudinal, memilih konfigurasi tata letak (*layout*), serta mengevaluasi faktor keamanan (*Safety Factor / SF*) pada peluncuran kapal *Container Barge Voyager* (berat 3.310 ton, LOA 110,49 m) menggunakan standar CB/T 3837-1998 dan ISO 14409:2011. Analisis dilakukan terhadap enam variasi jumlah *airbag* (14 hingga 24 unit, masing-masing dengan 4 unit cadangan). Hasil penelitian menunjukkan seluruh skenario memenuhi batas minimum $SF \geq 1,2$ ($SF = 1,50 - 3,06$), namun hanya skenario 18 unit (spasi 5,61 m) dan 20 unit (spasi 4,85 m) yang memenuhi rentang jarak aman standar (4,42 m – 6,00 m). Konfigurasi tata letak yang paling tepat adalah *Cross Over Arrangement* karena memberikan distribusi beban yang merata pada lunas kapal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa skenario 18 unit *airbag* (14 aktif + 4 cadangan) merupakan jumlah optimum terbaik dengan jarak spasi 5,61 m dan $SF = 2,12$. Meskipun skenario 20 unit juga memenuhi standar teknis (spasi 4,85 m dan $SF = 2,43$), skenario 18 unit direkomendasikan sebagai pilihan utama karena mampu menghemat pemakaian *airbag* hingga 25% dibandingkan praktik konservatif galangan (24 unit) tanpa mengorbankan keselamatan peluncuran.

Kata kunci: Peluncuran kapal, *marine airbag*, optimasi jumlah, jarak antar-*airbag*, *safety factor*, CB/T 3837-1998, ISO 14409:2011.

Abstract

Ship launching using marine airbags is a flexible and efficient method, yet it remains vulnerable to structural failures such as tipping, dropping, or stern lift if technical calculations are inaccurate. This study aims to optimize the required quantity, determine the safe longitudinal spacing, select the layout configuration, and evaluate the Safety Factor (SF) in the launching of the *Container Barge Voyager* (weight of 3,310 tons, LOA of 110.49 m) based on CB/T 3837-1998 and ISO 14409:2011 standards. The analysis was conducted on six variations of airbag quantities (14 to 24 units, each including 4 backup units). The results show that all scenarios satisfy the minimum limit of $SF \geq 1.2$ ($SF = 1.50 - 3.06$); however, only the 18-unit (5.61 m spacing) and 20-unit (4.85 m spacing) scenarios meet the standard safe spacing range (4.42 m – 6.00 m). The most appropriate layout configuration is the *Cross Over Arrangement* because it provides uniform load distribution along the vessel's keel. This study concludes that the 18-unit airbag scenario (14 active + 4 backup) is the optimum quantity with a spacing distance of 5.61 m and an SF of 2.12. Although the 20-unit scenario also complies with technical standards (4.85 m spacing and $SF = 2.43$), the 18-unit scenario is recommended as the primary choice because it can save airbag usage by up to 25% compared to the shipyard's conservative practice (24 units) without compromising launching safety..

Keywords : Ship launching, marine airbag, quantity optimization, airbag spacing, safety factor, CB/T 3837-1998, ISO 14409:2011.

1 Pendahuluan

Proses Peluncuran kapal merupakan tahap kritis dalam proses pembangunan kapal yang memindahkan badan kapal dari area konstruksi di daratan menuju perairan. Keberhasilan tahapan ini sangat bergantung pada perencanaan dan perhitungan teknis yang tepat, terutama dalam menentukan sistem peluncuran yang akan digunakan. Salah satu metode yang paling banyak diterapkan adalah metode marine airbag karena dinilai lebih efisien, fleksibel, dan memiliki tingkat keselamatan yang tinggi dibandingkan metode konvensional seperti slipway atau dok gravitasi. Kelebihan metode peluncuran dengan airbag antara lain menghemat waktu, mengurangi tenaga kerja, serta tidak memerlukan perawatan ekstensif yang memakan biaya besar [1][2].

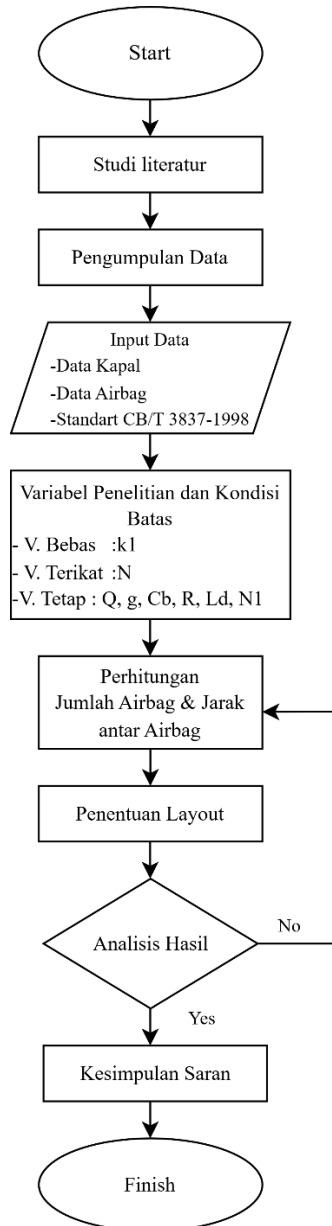
Menurut data Kementerian Perindustrian, saat ini Indonesia memiliki sekitar 250 perusahaan galangan kapal, dan teknologi airbag telah banyak digunakan baik untuk kebutuhan sipil maupun militer. Namun demikian, praktik di lapangan masih menyimpan sejumlah permasalahan serius. Bahkan hingga saat ini, belum ada badan asuransi yang berani menanggung risiko peluncuran menggunakan airbag. Kesalahan dalam perhitungan dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata, yang berpotensi memunculkan kondisi kritis seperti tipping, dropping, maupun stern lift yang membahayakan keselamatan kapal dan pekerja galangan [3][4]. Kondisi ini menunjukkan bahwa perhitungan jumlah, jarak, dan tata letak airbag bukan sekadar prosedur biasa, melainkan faktor penentu keselamatan keseluruhan proses peluncuran. Oleh karena itu, diperlukan acuan perhitungan yang terstandar dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, salah satunya melalui penerapan standar CB/T 3837-1998 dan ISO 14409:2011 yang telah diakui secara internasional dalam industri perkapalan [5][6]. Penelitian sebelumnya telah berupaya membahas topik serupa. Aberuba dkk. [1] menganalisis mode kegagalan marine airbag serta strategi mitigasinya melalui pendekatan numerik, namun belum membahas secara spesifik optimasi jumlah airbag berdasarkan distribusi beban. Alamsyah dkk. [4] melakukan investigasi numerik terhadap susunan airbag pada peluncuran tongkang dan menemukan bahwa konfigurasi two-row dan cross-over memberikan pengaruh signifikan terhadap tegangan yang terjadi pada konstruksi kapal, tetapi penelitian tersebut belum mengintegrasikan faktor keamanan secara eksplisit. Dzulfiqar dkk. [5] menghitung jumlah dan jarak antar airbag pada peluncuran tongkang 330 FT berdasarkan standar CB/T 3837-1998, namun objek kajiannya berbeda dari segi ukuran kapal dan belum mempertimbangkan variasi ketinggian kerja airbag. Sementara itu, Ningrum dkk. [7] menganalisis kegagalan operasional airbag pada proses docking dan menemukan bahwa ketidaksesuaian jumlah airbag (hanya 7 dari 21 yang dibutuhkan) menjadi penyebab utama kegagalan. Studi dari Romadhoni & Satria [8] menggunakan metode AHP untuk memilih metode peluncuran dan menyimpulkan bahwa airbag merupakan alternatif terbaik, namun tidak memberikan perhitungan teknis yang terperinci. Berdasarkan celah-celah tersebut, belum ada penelitian yang secara khusus mengkaji optimasi jumlah marine airbag dengan mempertimbangkan distribusi beban dan faktor keamanan secara simultan, terutama pada kapal dengan ukuran LOA 110,49 meter dan berat 3310 ton.

Oleh karena itu, untuk mengisi celah tersebut, penelitian ini mengacu pada standar CB/T 3837-1998 serta data spesifikasi airbag aktual di lapangan dengan memfokuskan tujuan pada dua aspek utama, yaitu (1) optimasi jumlah airbag dan (2) penentuan layout. Analisis dilakukan untuk menentukan kebutuhan jumlah airbag serta mengkaji jarak penempatan dan konfigurasi antar airbag sebagai bagian dari penentuan layout, sehingga distribusi beban kapal selama peluncuran tetap stabil dan risiko kegagalan dapat diminimalkan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk (1). Mengoptimasi jumlah kebutuhan marine airbag, menentukan jarak aman spasi longitudinal, dan mengevaluasi faktor keamanan (Safety Factor / SF) sesuai standar CB/T 3837-1998 dan ISO 14409:2011. (2). Menentukan konfigurasi tata letak (layout) marine airbag yang paling tepat berdasarkan dimensi kapal dan spesifikasi airbag. Agar pembahasan lebih terarah, diberikan beberapa batasan masalah. Penelitian ini difokuskan pada kapal dengan panjang keseluruhan (LOA) 110,49 meter dan berat peluncuran 3310 ton (berdasarkan data dari [9]). Metode peluncuran yang dianalisis terbatas pada penggunaan marine airbag tanpa membandingkan dengan metode lain. Perhitungan mengacu pada standar CB/T 3837. Penelitian ini hanya membahas aspek teknis kebutuhan airbag (jumlah, jarak, konfigurasi, dan faktor keamanan) serta tidak menganalisis biaya atau proses pembangunan kapal secara rinci.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Bagan Alir Penelitian

Secara umum, tahapan penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

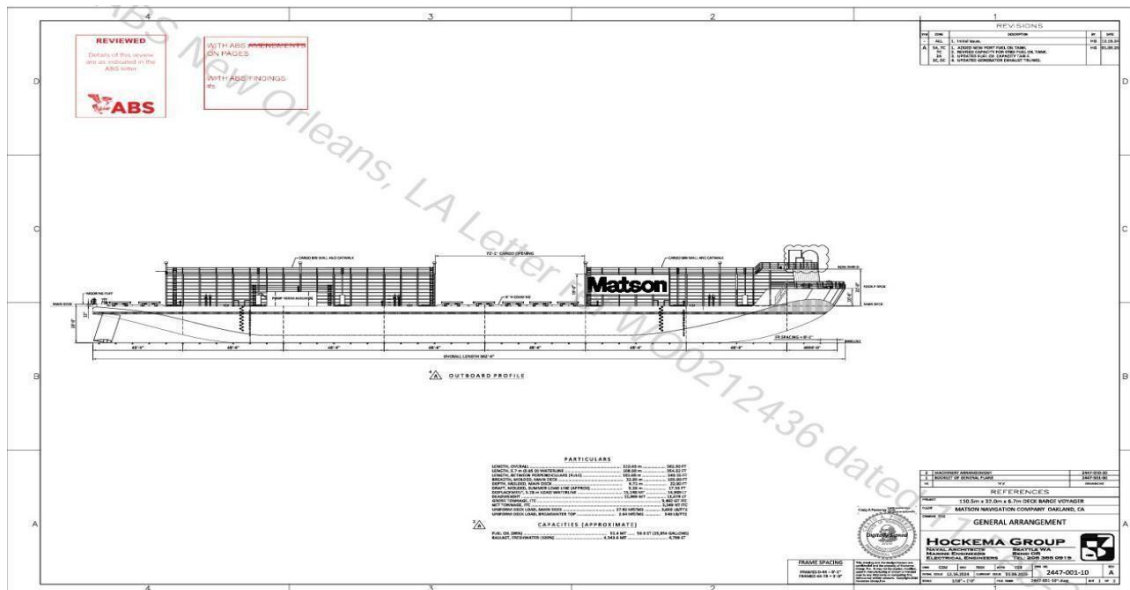
2.2 Jenis Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data utama kapal (principal dimensions) dan data spesifikasi teknis marine airbag. Data kapal diperoleh dari dokumen teknis galangan kapal tempat peluncuran dilaksanakan, sedangkan spesifikasi airbag mengacu pada standar ISO 14409:2011 dan data teknis dari pabrikan.

2.3 Data yang Digunakan

Data masukan untuk dikategorikan menjadi tiga kelompok: data utama kapal, data material, dan data peluncuran. Seluruh data diperoleh dari dokumentasi teknis galangan, spesifikasi pabrik, dan standar internasional yang relevan.

2.3.1. Data Utama Kapal



Gambar 2. Data utama kapal

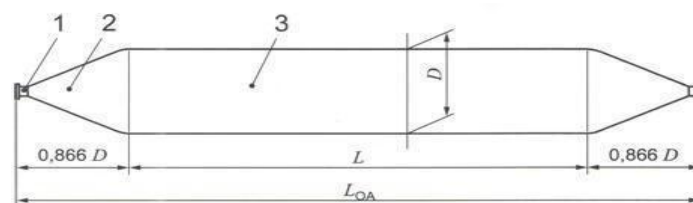
Model kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Container Barge Voyager* dengan berat *launching* sekitar 3310 ton sesuai dokumen perhitungan *launching* galangan. Pemodelan geometri kapal dibuat berdasarkan gambar *General Arrangement* (GA) dan data teknis kapal yang digunakan pada proses *launching* aktual. Parameter utama kapal yang digunakan dalam simulasi meliputi:

Tabel 1

Parameter	Nilai
LOA	110,49 m
LWL	108,00 m
Breadth (B)	32,00 m
Depth (D)	6,71 m
Draft (T)	5,28 m
Berat Launching	3310 Ton

2.3.2. Data Marine Airbag

Airbag yang digunakan pada proses peluncuran kapal ini adalah tipe QG6 (*high-bearing capacity airbag*) dengan 6 lapis kord sintetis, yang sesuai dengan klasifikasi dalam ISO 14409:2011. Spesifikasi teknis airbag diperoleh dari data operasional aktual di galangan kapal, yang meliputi diameter, panjang efektif, tekanan kerja, tinggi angkat, dan kapasitas bantalan.



Gambar 3. Struktur Airbag

Tabel 2

Parameter	Nilai	Referensi / Standar
Diameter (D)	2,5 m	Data operasional & ISO 14409:2011
Panjang Efektif (Ld)	22 - 18 m	Data operasional
Tinggi Angkat (Uplift Height)	1,4 - 1,7 m	Data operasional
Tekanan Kerja (Working Pressure)	0,12 MPa	Data operasional & ISO 14409:2011
Kapasitas Bantalan per Meter (R)	143 -179kN/m	Hasil uji pabrikan, $\geq$ standar ISO
Tekanan Burst Minimum	600 kPa	Hasil uji pabrikan (Faktor keamanan > 3)

Parameter kunci seperti tekanan kerja dan kapasitas bantalan (R) merupakan hasil pengujian yang mengacu pada prosedur dalam ISO 14409:2011, yang mensyaratkan pengujian kebocoran gas, kompresi hingga deformasi 70%, dan uji *burst* [9]. Data ini menjadi masukan utama dalam perhitungan kebutuhan jumlah airbag.

2.3.3. Data Spesifikasi Airbag Peluncuran

Data Proses launching menggunakan metode marine airbag dengan konfigurasi airbag berdasarkan perhitungan PT LA Engineering untuk kapal dengan berat launching 3310 ton. Spesifikasi airbag yang digunakan terdiri dari:

Tabel 3

Parameter	Nilai
Diameter airbag	2,5 m
Effective' Length	24 m
Uplift Pressure	0,07 Mpa / 70 Kpa
Uplift Height	1,7 m
Airbag Type	QG 7
Jumlah airbag saat moving	24 unit
Total lifting capacity	6558,17 ton

Jumlah dan jarak antar kantong udara dihitung dengan rumus standar CB/T 3837-1998 yang mempertimbangkan berat kapal, kapasitas dukung kantong per meter (R), dan panjang kontak efektif (Ld) [3][5][8].

2.4 Variabel Penelitian

- Variabel Tetap
 - Dimensi dan karakteristik kapal tongkang (panjang kapal L=110,49 m dan berat peluncuran/displacement)
 - Spesifikasi teknis *marine airbag* (diameter, panjang efektif, dan tekanan kerja) serta
 - Standar acuan perhitungan (CB/T 3837 – 1998 dan ISO 14409:2011).
- Variabel Bebas
 - Variasi *k1* jumlah airbag yang digunakan (skenario 14 hingga 24 unit)
 - Pemilihan konfigurasi tata letak (layout) airbag (*Crossover arrangement*)
- Variabel Terikat
 - Tingkat efisiensi penggunaan jumlah *airbag*
 - Jumlah *airbag*
 - Jarak spasi longitudinal antar *airbag*

Melalui hubungan antar variabel tersebut, diperoleh jumlah airbag dan tata letak yang paling optimal serta aman untuk proses peluncuran kapal tongkang 110.49 m. Perhitungan jumlah marine airbag mengacu pada standar CB/T 3837 – 1998.

2.5 Rumus Perhitungan Jumlah Airbag

Sebagai langkah awal sebelum dilakukan optimasi, jumlah minimum airbag dihitung menggunakan pendekatan standar yang mengasumsikan distribusi beban merata. Perhitungan ini mengacu pada standar industri CB/T 3837-1998 dan ISO 14409:2011. [3][5][9][10]. Rumus yang digunakan adalah:

$$N = K_1 \times \frac{Q \cdot g}{C_b \cdot R \cdot L_d} N_1$$

- N = Jumlah *airbag* yang dibutuhkan (unit)
- K_1 = faktor keamanan awal atau variasi (1,2 – 1,3)
- Q = berat luncur kapal (ton)
- G = percepatan gravitasi (9,8 m/s)
- CB = Koefisien blok kapal
- R = kapasitas bantalan *airbag* per satuan panjang (kN/m)
- L_d = panjang kontak efektif *airbag* dengan lambung kapal (m)
- N = jumlah *airbag* cadangan biasanya (2 – 4 unit)

2.6 Rumus Perhitungan Jarak Antar Airbag

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi x D}{2} + 0,5 \right)$$

- L = Panjang kapal yang diluncurkan, dalam satuan meter (m).
- N = Jumlah / kuantitas airbag peluncur (*rolling airbag*), dalam satuan buah / unit (*pieces*).
- D = Diameter nominal Airbag peluncur (*rolling airbag*), dalam satuan meter (m).

Berdasarkan data kapal Container Barge Voyager yang digunakan dalam penelitian ini, nilai parameter yang dimasukkan adalah sebagai berikut

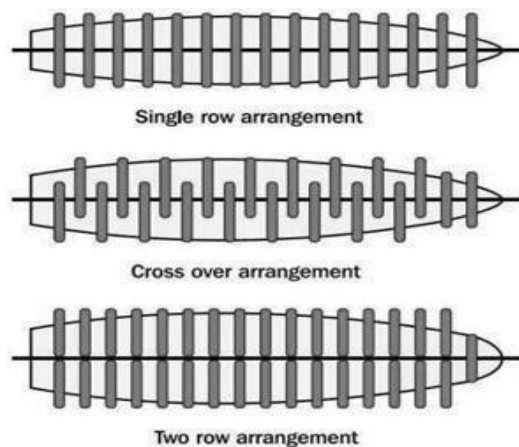
Tabel 4

Parameter	Nilai
Berat Luncur kapal (Q)	3310 ton
Koefisien blok (Cb)	0,892
Percepatan gravitasi (g)	9,8 m/s
Kapasitas bantalan airbag (R)	174,88 kN/m
Panjang kontak efektif (Ld)	32 m
Faktor K_1	1,2
Cadangan N_1	2 / 4 unit

2.6 Jenis Layout Airbag

Berdasarkan Standard CB/T 3837 - 1998 *Ship Building Standards* ada 3 Jenis Layout Airbag dalam proses Launching kapal diantaranya [5] :

- a) *Layout Single Row Arrangement* : diterapkan ketika Panjang *Airbag* lebih panjang dari lebar kapal
- b) *Cross Over Arrangement* : digunakan apabila panjang *Airbag* lebih pendek dari lebar kapal atau lebih dari setengah lebar kapal
- c) *Two Row Arrangement* : diterapkan ketika panjang *Airbag* lebih pendek dari setengah lebar kapal



Gambar 3. Tipe Layout Airbag

Menentukan faktor keamanan (safety factor).

Faktor keamanan dihitung sebagai rasio antara tegangan luluh material terhadap tegangan maksimum yang terjadi. Kondisi aman jika *safety factor* $\geq 1,2$ (atau batas tertentu sesuai kriteria desain). Sebagai contoh, pada simulasi kantong udara dengan tekanan 0,07 MPa, *safety factor* tercatat 3,06 (aman) dengan menggunakan 24 Airbag, [1]

3. Analisa Data dan Pembahasan

Pada tahap analisis ini, dilakukan perhitungan kebutuhan jumlah *marine airbag* berdasarkan data utama kapal dan spesifikasi teknis airbag yang digunakan. Proses perhitungan mengacu pada standar CB/T 3837-1998 dan standar internasional ISO 14409:2011. tentang metodologi peluncuran kapal menggunakan airbag. Parameter utama yang dihitung kapasitas bantalan airbag per satuan panjang (R), yang selanjutnya digunakan untuk menentukan jumlah airbag minimum yang dibutuhkan. Perhitungaa nilai R dengan persamaan :

$$R = \frac{F \cdot g}{Lc}$$

- R = Bearing Capacity (kN/m)
- F = Force (Ton)
- g = percepatan gravitasi (9,8 m/s)
- Lc = panjang kontak efektif airbag dengan lambung kapal (m)

Dimana :

$$174,881 = \frac{428,28 \times 9,8}{24}$$

Didapatkan hasilnya, nilai R adalah 174,881 kN/m.

3.1 Perhitungan Jumlah Airbag

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan *airbag* berdasarkan daya dukung (*bearing capacity* / nilai R) yang telah diperoleh. Perhitungan ini mengacu pada standar CB/T 3837-1998 sebagai dasar perhitungan teknis, serta didukung oleh standar ISO 14409:2011 sebagai pedoman umum. Dalam proses analisis dan perhitungan ini, parameter yang digunakan dikelompokkan ke dalam beberapa variabel penelitian sebagai berikut:

Melalui hubungan antar variabel tersebut, diperoleh jumlah airbag dan tata letak yang paling optimal serta aman untuk proses peluncuran kapal tongkang 110.49 m. Perhitungan jumlah *marine airbag* mengacu pada standar CB/T 3837 – 1998 dengan persamaan:

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 1,5
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88 kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 1,5 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 1,5 \times \frac{32,438}{4,991,775} + 4 \\ &= 9,747 \text{ (dibulatkan 10) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 9.747 (dibulatkan menjadi 10)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 14 unit *airbag*.

Perhitungan jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 1,8
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88 kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 1,8 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 1,8 \times \frac{32,438}{4,991,775} + 4 \\ &= 11,697 \text{ (dibulatkan 12) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 11.697 (dibulatkan menjadi 12)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 16 unit *airbag*.

Perhitungan jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 2,12
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88 kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 2,12 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 2,12 \times \frac{32,468}{4,991,775} + 4 \\ &= 13.776 \text{ (dibulatkan 14) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 13.776 (dibulatkan menjadi 14)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 18 unit *airbag*.

Perhitungan jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 2,43
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 2,43 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 2,43 \times \frac{32,438}{4,991,775} + 4 \\ &= 15.791 \text{ (dibulatkan 16) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 15.791 (dibulatkan menjadi 16)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 20 unit *airbag*

Perhitungan jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 2,75
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88 kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 2,75 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 2,75 \times \frac{32,438}{4,991,775} + 4 \\ &= 17.870 \text{ (dibulatkan 18) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 17.870 (dibulatkan menjadi 18)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 22 unit *airbag*.

Perhitungan jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$N = K1 \times \frac{Q \cdot g}{Cb \cdot R \cdot Ld} N1$$

- N = (unit)
- $K1$ = 3,06
- Q = 3310 ton
- G = 9,8 m/s
- CB = 0,892
- R = 174,88 kN/m
- Ld = 32 m
- $N1$ = 4 unit

$$\begin{aligned} N &= 3,06 \times \frac{3310 \cdot 9,8}{0,892 \cdot 174,88 \cdot 32} + 4 \\ &= 3,06 \times \frac{32,438}{4,991,775} + 4 \\ &= 19,885 \text{ (dibulatkan 20) unit} \end{aligned}$$

Didapatkan hasilnya, nilai N adalah 19,885 (dibulatkan menjadi 20)

Jadi, untuk jumlah *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 dengan menambahkan $N1$ adalah 24 unit *airbag*.

Berdasarkan parameter R yang telah diperoleh, perhitungan kebutuhan jumlah *airbag* dilakukan secara bertahap menggunakan standar CB/T 3837-1998. Analisis ini memvariasikan nilai faktor keamanan awal (K_1) dan panjang kontak efektif (L_d) untuk mendapatkan beberapa skenario kebutuhan di lapangan.

Hasil perhitungan untuk masing-masing variasi parameter dijabarkan sebagai berikut:

1. Skenario 1 (Faktor $K_1 = 1,5$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 9,747$ (dibulatkan menjadi 10 unit).
 - Ditambah *airbag* cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 14 unit.

2. Skenario 2 (Faktor $K_1 = 1,8$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 11,697$ (dibulatkan menjadi 12 unit).
 - Ditambah airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 16 unit.
3. Skenario 3 (Faktor $K_1 = 2,12$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 13,776$ (dibulatkan menjadi 14 unit).
 - Ditambah airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 18 unit airbag.
4. Skenario 4 (Faktor $K_1 = 2,43$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 15,791$ (dibulatkan menjadi 16 unit).
 - Ditambah airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 20 unit airbag.
5. Skenario 5 (Faktor $K_1 = 2,75$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 17,870$ (dibulatkan menjadi 18 unit).
 - Ditambah airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 22 unit airbag.
6. Skenario 6 (Faktor $K_1 = 3,06$ dan $L_d = 32$ m)
 - Didapatkan nilai teoritis $N = 19,885$ (dibulatkan menjadi 20 unit).
 - Ditambah airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit), sehingga total kebutuhan adalah 24 unit airbag (jumlah aktual konservatif di lapangan).

Rentang hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa semakin besar faktor keamanan (K_1) yang diterapkan dan semakin pendek panjang kontak efektif (L_d) yang diasumsikan, maka jumlah kebutuhan airbag akan semakin meningkat (dari 14 unit hingga maksimal 24 unit).

Standar CB/T 3837-1998 menerapkan aturan penambahan airbag cadangan ($N_1 = 4$ unit) secara konsisten pada setiap skenario di luar faktor keamanan utama. Pendekatan ini sangat krusial dalam perencanaan peluncuran kapal barge, karena airbag cadangan tersebut berfungsi sebagai unit pengganti instan apabila terdapat airbag aktif yang mengalami kebocoran atau penurunan performa di tengah proses peluncuran berlangsung.

3.2 Perhitungan Jarak Antar *Airbag*

Setelah didapatkan jumlah *airbag* dari masing-masing standar, kemudian melanjutkan perhitungan jarak antar *airbag* untuk kebutuhan peluncuran kapal tongkang 110.49 m.

perhitungan jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998, dengan persamaan :

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi x D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

$L = 110.49$ m

$N = 9,747$ (10 unit)

$D = 2,5$ m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 8,20 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 8,20$

Artinya: Jarak antar airbag 8.20 m melebihi batas maksimum 6 m, sehingga tidak memenuhi standar CB/T 3837-1998.

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi x D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

$L = 110.49$ m

$N = 11,697$ (12 unit)

$D = 2,5$ m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 6,71 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 6,71$

Artinya: Jarak antar airbag 6,71 m melebihi batas maksimum 6 m, sehingga tidak memenuhi standar CB/T 3837-1998.

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi x D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

L = 110.49 m

N = 13,776 (14 unit)

D = 2,5 m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 5,61 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 5,61$

Artinya: Jarak antar airbag sebesar 5,61 m memenuhi syarat standar CB/T 3837-1998, karena nilai tersebut berada dalam rentang yang diizinkan yaitu antara 4,42 m hingga 6 m. Sehingga penggunaan 14 unit airbag dinyatakan memenuhi syarat.

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi \times D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

L = 110.49 m

N = 15,791 (16 unit)

D = 2,5 m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 4,85 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 4,85$

Artinya: Jarak antar airbag sebesar 4,85 m memenuhi syarat standar CB/T 3837-1998, karena nilai tersebut berada dalam rentang yang diizinkan yaitu antara 4,42 m hingga 6 m. Sehingga penggunaan 16 unit airbag dinyatakan memenuhi syarat.

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi \times D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

L = 110.49 m

N = 17,870 (18 unit)

D = 2,5 m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 4,25 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 4,25$

Artinya: Jarak antar airbag sebesar 4,25 m tidak memenuhi syarat standar CB/T 3837-1998, karena nilai tersebut berada dalam rentang yang tidak diizinkan yaitu antara $< 4,42$ m (terlalu rapat). Sehingga penggunaan 18 unit airbag dinyatakan tidak memenuhi syarat.

$$6 \geq \frac{L}{N-1} \geq \left(\frac{\pi \times D}{2} + 0,5 \right) \dots\dots\dots$$

Dimana :

L = 110.49 m

N = 19,885 (20 unit)

D = 2,5 m

Didapatkan hasilnya yaitu, antara $6 \geq 3,80 \geq 4,42$

Jadi, hasil jarak antar *airbag* pada standard CB/T 3837-1998 antara $4,42 \geq 3,80$

Artinya: Jarak antar airbag sebesar 3,80 m tidak memenuhi syarat standar CB/T 3837-1998, karena nilai tersebut berada dalam rentang yang tidak diizinkan yaitu antara $< 4,42$ m (terlalu rapat). Sehingga penggunaan 20 unit airbag dinyatakan tidak memenuhi syarat.

N AIRBAG	JARAK	STATUS
10	8,20 m	Gagal ≥ 6
12	6,71 m	Gagal ≥ 6
14	5,61 m	Pass
16	4,85 m	Pass
18	4,25 m	Pass
20	3,80 m	Pass

Berdasarkan perhitungan menggunakan standar CB/T 3837-1998 dengan diameter airbag $D = 2,5$ m, rentang jarak aman yang diizinkan berada di antara 4,42 m hingga 6,00 m. Batas minimum 4,42 m didapatkan dari rumus $\left(\frac{\pi \times D}{2} + 0,5 \right)$ dengan menggunakan konstanta keamanan 0,5 m.

Makna dari rentang jarak ini adalah bahwa penempatan airbag di lapangan harus selalu berada dalam

batas aman tersebut agar distribusi beban kapal terbagi secara merata sepanjang lunas. Apabila jarak antar airbag diletakkan terlalu rapat (kurang dari 4,42 m), airbag berpotensi besar untuk saling bergesekan dan bertabrakan saat kapal bergerak maju yang dapat mengakibatkan airbag pecah. Sebaliknya, apabila jarak terlalu renggang melebihi batas maksimum 6,00 m (seperti pada penggunaan 10 dan 12 unit), akan ada area panjang di bawah lambung kapal yang tidak tertopang secara memadai. Hal ini menyebabkan konsentrasi beban terpusat pada beberapa titik saja, yang berisiko tinggi memicu deformasi struktur pelat lambung kapal.

Berdasarkan standar tersebut, ketentuan slipway yang digunakan untuk peluncuran kapal harus memiliki daya dukung minimal dua kali lipat dari tekanan kerja airbag. Dengan demikian, untuk memastikan proses peluncuran kapal Container Barge Voyager dengan LOA 110,49 m dan berat 3310 ton dapat berjalan dengan aman, opsi jumlah airbag yang direkomendasikan adalah mulai dari 14 unit (jarak 5,61 m) hingga 20 unit (jarak 4,85 m) karena telah memenuhi seluruh kriteria teknis jarak aman.

3.3 Penentuan Layout

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan standard CB/T 3837-1998, penentuan tipe *layout* dilakukan dengan membandingkan panjang kerja *airbag* terhadap lebar kapal. Karena panjang kerja *airbag* 24 meter lebih besar dari setengah lebar kapal 16 meter namun lebih kecil dari lebar penuh kapal 32 meter, maka tipe *layout* yang digunakan adalah *Cross over arrangement*.

Cross over arrangement memiliki beberapa kelebihan dibandingkan tipe *layout* lainnya, antara lain :

- a) Distribusi beban lebih merata

Dengan susunan *zig-zag* kiri dan kanan, beban kapal terdistribusi secara lebih merata pada kedua sisi lambung kapal sehingga risiko ketidakseimbangan dapat diminimalkan.

- b) Efisien penggunaan *airbag*

Panjang *airbag* yang lebih dari setengah lebar kapal memungkinkan satu *airbag* menjangkau area yang lebih luas pada alas kapal, sehingga lebih efisien dibandingkan tipe *two row* yang membutuhkan dua baris *airbag* terpisah.

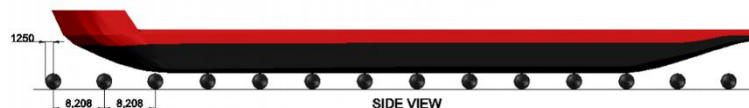
- c) Stabilitas lebih baik

Karena *airbag* dipasang secara bersilang, stabilitas kapal selama proses peluncuran lebih terjaga karena tidak ada sisi yang kosong tanpa penopang.

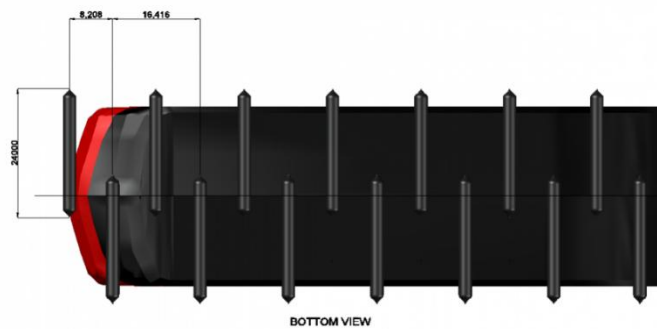
- d) Lebih mudah diimplementasikan

Cross over arrangement lebih mudah dilaksanakan di lapangan dibandingkan tipe *two row* karena tidak memerlukan penyesuaian posisi yang terlalu presisi antara baris kiri dan kanan.

Berdasarkan tipe *cross over arrangement* tersebut, penambahan jumlah *airbag* disusun secara bersilang sepanjang lunas kapal 110,49 meter dengan variasi jarak antar airbag sebesar 8,20 m (untuk 14 airbag), 6,71 m (16 airbag), 5,61 m (18 airbag), 4,85 m (20 airbag), 4,25 m (22 airbag), dan 3,80 m (24 airbag). Konfigurasi dengan spasi di bawah batas maksimum 6 meter (yaitu pada pilihan 18 hingga 20 unit airbag) menghasilkan jarak yang aman, sehingga lebih sesuai untuk dijadikan rekomendasi dalam perencanaan proses peluncuran

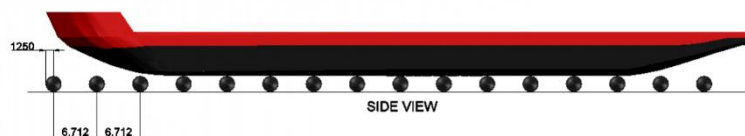


Gambar 4 Layout Barge Container (14 Airbag)

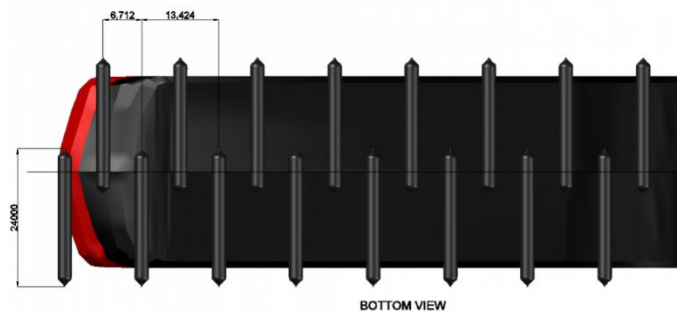


Gambar 5 Layout *Barge Container* (14 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 10 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 4 & 5) dipasang 14 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) lebih kecil dari lebar kapal ($B = 32$ m). Meskipun jumlah airbag ditambah menjadi 14 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 8,208 meter. Jarak ini melebihi batas maksimum 6 meter yang disyaratkan oleh standar (rentang aman spasi adalah 4,43 m hingga 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 14 airbag ini belum memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998 dan disarankan untuk merapatkan jarak spasi dengan menambah jumlah unit airbag.

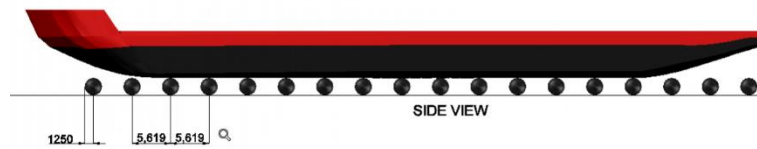


Gambar 7 Layout *Barge Container* (16 Airbag)

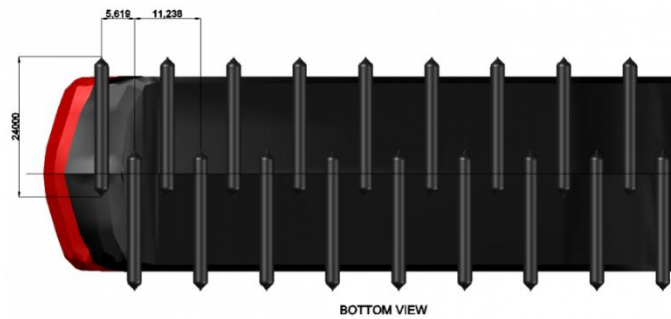


Gambar 8 Layout *Barge Container* (16 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 12 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 7 & 8) dipasang 16 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena lebar kapal yang besar ($B = 24$ m). Meskipun jumlah airbag ditambah menjadi 16 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 6,712 meter. Jarak ini melebihi batas maksimum 6 meter yang disyaratkan oleh standar (rentang aman spasi adalah 4,43 m hingga 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 16 airbag ini belum memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998 dan disarankan untuk merapatkan jarak spasi dengan menambah jumlah unit airbag.

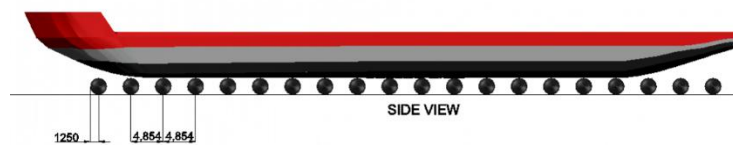


Gambar 9 Layout *Barge Container* (18 Airbag)

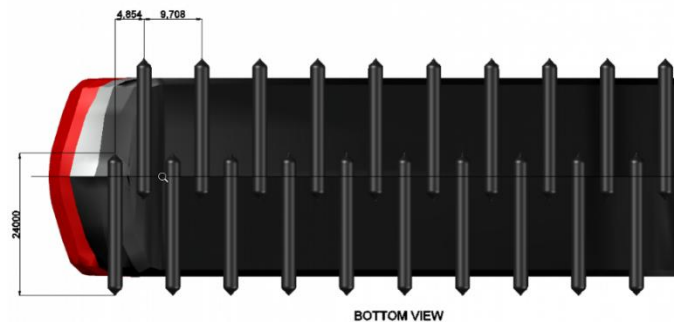


Gambar 10 Layout *Barge Container* (18 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 14 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 9 & 10) dipasang 18 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) lebih kecil dari lebar kapal ($B = 32$ m). Dengan jumlah airbag 18 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 5,619 meter. Jarak ini memenuhi syarat standar karena berada dalam batas yang diizinkan (rentang aman spasi adalah 4,43 m hingga 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 18 airbag ini telah memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998.

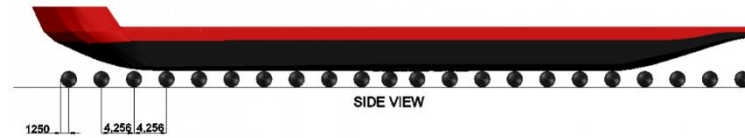


Gambar 11 Layout *Barge Container* (20 Airbag)

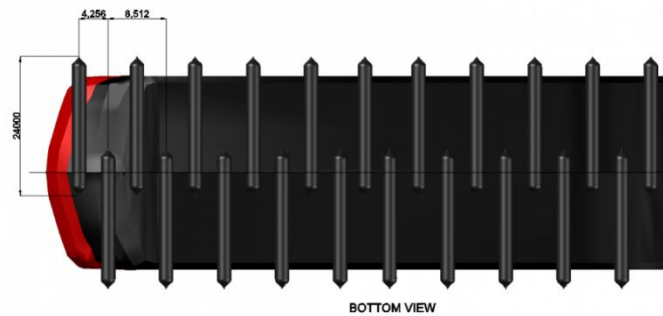


Gambar 12 Layout *Barge Container* (20 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 16 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 11 & 12) dipasang 20 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) lebih kecil dari lebar kapal ($B = 32$ m). Dengan jumlah airbag 20 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 4,854 meter. Jarak ini memenuhi syarat standar karena berada dalam batas yang diizinkan (rentang aman spasi adalah 4,43 m hingga 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 20 airbag ini telah memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998.

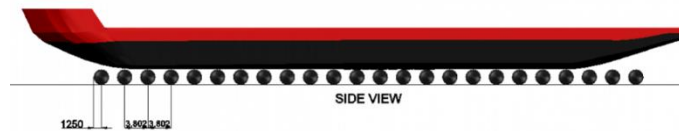


Gambar 13 Layout *Barge Container* (22 Airbag)

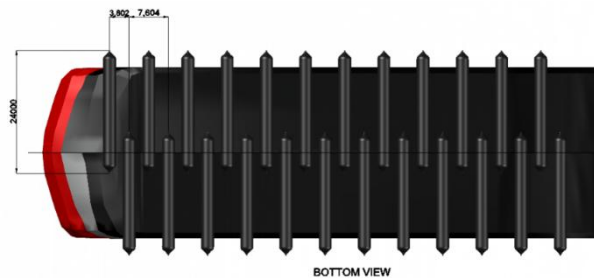


Gambar 14 Layout *Barge Container* (22 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 18 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 13 & 14) dipasang 22 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) lebih kecil dari lebar kapal ($B = 32$ m). Dengan jumlah airbag 22 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 4,256 meter. Jarak ini memenuhi syarat standar karena berada di bawah batas maksimum yang diizinkan (yaitu di bawah 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 22 airbag ini telah memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998.



Gambar 15 Layout *Barge Container* (24 Airbag)



Gambar 16 Layout *Barge Container* (24 Airbag)

Berdasarkan perhitungan standar CB/T 3837-1998, kebutuhan minimum kapal ($Q = 3310$ ton) adalah 20 unit airbag, namun pada desain aktual (Gambar 15 & 16) dipasang 24 unit dengan metode Cross Over (selang-seling) karena panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) lebih kecil dari lebar kapal ($B = 32$ m). Dengan jumlah airbag 24 unit, jarak longitudinal aktual antar airbag pada gambar adalah 3,802 meter. Jarak ini memenuhi syarat standar karena berada di bawah batas maksimum yang diizinkan (yaitu di bawah 6,0 m). Dengan demikian, desain tata letak 24 airbag ini telah memenuhi standar keselamatan CB/T 3837-1998.

3.4 Hasil Perbandingan Standar

Berdasarkan hasil analisis perhitungan menggunakan standar CB/T 3837-1998, diperoleh perbedaan pada jumlah airbag serta rentang jarak antar airbag yang dihasilkan pada setiap skenario faktor keamanan (K_1). Hasil perhitungan teoritis menunjukkan kebutuhan minimum adalah sebanyak 14 unit airbag dengan jarak antar airbag sebesar 5,61 m (memenuhi syarat). Dan pada penggunaan 16 unit airbag dengan jarak antar airbag sebesar 4,85 m (memenuhi syarat). Sementara itu, skenario batas atas dengan faktor keamanan terbesar ($K_1 = 3,06$) menghasilkan kebutuhan sebanyak 24 unit airbag dengan jarak antar airbag sebesar 3,80 m (memenuhi syarat).

Perbedaan jumlah unit dan jarak pada setiap skenario ini dipengaruhi langsung oleh pemilihan koefisien faktor keamanan awal (K_1) serta variasi panjang kontak efektif (L_d). Rentang jarak antar airbag yang diperoleh pada skenario aman (14 unit hingga 20 unit) secara konsisten berada dalam rentang yang disyaratkan oleh standar CB/T 3837-1998, yaitu antara 4,42 m hingga 6,00 m. Hal ini disebabkan oleh penggunaan konstanta keamanan 0,5m dalam rumus jarak minimum standar CB/T 3837-1998 yang memberikan batasan jarak aman yang lebih ketat guna mencegah terjadinya gesekan antar airbag selama peluncuran.

Jika dibandingkan dengan data aktual di lapangan yang menggunakan 24 unit airbag, hasil analisis optimasi ini menunjukkan bahwa penggunaan jumlah airbag dalam rentang 14 hingga 20 unit sebenarnya sudah sangat memadai dan aman untuk digunakan. Standar CB/T 3837-1998 tetap direkomendasikan sebagai acuan utama perencanaan karena secara eksplisit memperhitungkan 4 unit airbag cadangan secara terpisah di luar perhitungan faktor keamanan utama. Pendekatan ini dinilai jauh lebih aman dan responsif terhadap kondisi darurat, karena menyediakan unit pengganti siap pakai apabila terdapat airbag aktif yang mengalami kerusakan atau kebocoran di tengah proses peluncuran berlangsung.

Parameter	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5	Skenario 6
Rumus Jumlah Airbag	-	-	-	-	-	-
Faktor Keamanan Awal (K_1)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Panjang Kontak (L_d)	32 m	32 m	32 m	32 m	32 m	32 m
Jumlah Airbag (N)	14 unit	16 unit	18 unit	20 unit	22 unit	24 unit
Kapasitas Angkat	6.768 Ton	5.640 Ton	4.788 Ton	4.177 Ton	3.691 Ton	3.317 Ton
Safety Factor (SF)	1,5	1,8	2,12	2,43	2,75	3,06
Status ($SF \geq 1,2$)	sesuai	sesuai	sesuai	sesuai	sesuai	sesuai

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai optimasi jumlah *marine airbag* pada proses peluncuran kapal *Container Barge Voyager* dengan (berat luncur 3.310 ton, LOA 110,49 m, dan lebar 32 m), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Optimasi Jumlah Airbag dan Faktor Keamanan (Safety Factor):
Berdasarkan perhitungan menggunakan standar CB/T 3837-1998, diperoleh enam skenario kebutuhan airbag yaitu 14, 16, 18, 20, 22, dan 24 unit (masing-masing sudah termasuk 4 unit cadangan N1). Secara teoritis, seluruh skenario telah memenuhi kriteria faktor keamanan minimum yang disyaratkan ($SF \geq 1,2$). Skenario 14 unit memiliki SF sebesar 1,5 skenario 16 unit memiliki SF sebesar 1,8 sedangkan skenario lainnya 18 unit memiliki SF 2,12 skenario 20 unit memiliki SF sebesar 2,43 skenario 22 unit memiliki SF sebesar 2,75 skenario 24 unit memiliki SF berkisar 3,06.
2. Jarak Antar Airbag (Spacing): Berdasarkan standar CB/T 3837-1998 dengan diameter airbag $D = 2,5$ m, rentang jarak penempatan aman yang diizinkan sepanjang lunas rata kapal adalah antara 4,42 m hingga 6,00 m. Hasil pengujian jarak menunjukkan:
 - Skenario 14 unit (10 aktif) dengan jarak 8,20 m dan Skenario 16 unit (12 aktif) dengan jarak 6,71 m dinyatakan gagal/tidak memenuhi syarat karena melebihi batas maksimum 6,00 m (berisiko menimbulkan lendutan berlebih pada lambung kapal).
 - Skenario 18 unit (14 aktif) dengan jarak 5,61 m dan Skenario 20 unit (16 aktif) dengan jarak 4,85 m dinyatakan memenuhi syarat karena berada dalam rentang aman 4,42 m - 6,00 m.
 - Skenario 22 unit (18 aktif) dengan jarak 4,25 m dan Skenario 24 unit (20 aktif) dengan jarak 3,80 m dinyatakan gagal/tidak memenuhi syarat karena kurang dari batas minimum 4,42 m (berisiko memicu gesekan antarkulit airbag yang dapat menyebabkan robek/pecah).
3. Rekomendasi Optimasi Terbaik: Rekomendasi konfigurasi terbaik dan paling efisien yang memenuhi seluruh parameter uji teknis ($SF \geq 1,2$ dan jarak penempatan aman 4,42 – 6,00 m) terdapat pada 2 skenario, yaitu:
 - Skenario 3 — penggunaan 18 unit airbag (14 unit aktif + 4 unit cadangan) dengan Faktor Keamanan (SF) = 2,12 dan Jarak Spasi = 5,61 m
 - Skenario 4 — penggunaan 20 unit airbag (16 unit aktif + 4 unit cadangan) dengan Faktor Keamanan (SF) = 2,43 dan Jarak Spasi = 4,85 mBerdasarkan hasil penelitian, jumlah optimum *marine airbag* yang direkomendasikan adalah 18 unit, dengan jarak spasi longitudinal sebesar 5,61 m dan faktor keamanan (Safety Factor) sebesar 2,12. Meskipun penggunaan 20 unit juga memenuhi standar teknis (jarak spasi 4,85 m dan SF 2,43), skenario 18 unit tetap dipilih sebagai rekomendasi utama guna menghemat penggunaan airbag hingga 25% tanpa mengurangi batas keselamatan peluncuran kapal.
4. Tipe Tata Letak (Layout): Berdasarkan perbandingan panjang kerja airbag ($L_d = 24$ m) terhadap lebar kapal ($B = 32$ m), panjang kerja airbag lebih besar dari setengah lebar kapal (16 m) namun lebih kecil dari lebar penuh kapal (32 m). Oleh karena itu, tipe tata letak yang direkomendasikan adalah *Cross Over Arrangement* (susunan bersilang/zig-zag).. Konfigurasi ini terbukti memberikan distribusi beban yang simetris, stabilitas melintang kapal yang lebih stabil, serta kemudahan dalam proses penggantian airbag cadangan saat keadaan darurat.
5. Validasi Standar: Penerapan standar CB/T 3837-1998 terbukti lebih ketat dan aman karena secara eksplisit memisahkan perhitungan beban faktor keamanan utama ($K1$) dengan penyediaan 4 unit airbag cadangan ($N1 = 4$). Pendekatan ini dinilai lebih responsif terhadap kondisi darurat di lapangan, seperti terjadinya kebocoran atau kerusakan airbag di tengah-tengah proses peluncuran kapal.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. Satria, "ANALISA PENGAMBILAN KEPUTUSAN METODE ANALITYCAL HIERARCHY PROCESS DALAM PELUNCURAN KAPAL TUG BOAT DI PT. BENGKALIS DOCKINDO PERKASA," vol. 10, no. 1, 2020.
- [2] K. Abdullah and S. T. Sarena, "Design of a Passenger Ship Launch Using an Air Bag System," *J. Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 17, Jan. 2024, doi: 10.24853/jurtek.16.1.17-26.
- [3] A. Timothy, M. A. Akintunde, and A. R. K. Inkum, "Enhancing Safety and Reliability of Marine Airbags for Ship Launching:," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 12, no. 09.
- [4] A. Bin Muhammad Saleh, C. H. Gonawan, R. J. Ikhwan, T. Hidayat, H. Habibi, and W. Suwedy, "Numerical Investigation of the Laying of Airbag Arrangements on Launching Barges," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, no. 2, Jun. 2023, doi: 10.12962/j25481479.v8i2.16737.
- [5] M. A. Dzulfiqar, N. F. Pujo, N. Pamungkas, Husen, M. F. Mufariz, and N. Fadhilah, "STUDI PERHITUNGAN DAN IMPLEMENTASI AIRBAG PADA PELUNCURAN KAPAL TONGKANG 330 FEET BERDASARKAN STANDAR CB/T 3837-1998," *J-ENSITEC*, vol. 11, no. 01, pp. 10131–10136, Dec. 2024, doi: 10.31949/jensitec.v11i01.11541.
- [6] A. C. P. Ningrum, M. Y. Syam, H. Maulidah, and C. J. V. Sitorus, "Technical and Operational Analysis of Marine Airbag-Assisted Ship Docking," vol. 3, no. 2, 2025.
- [7] Technical document for barge launching (3310 tons): Properties of uplift airbag and pressure during moving. (n.d.). (pp. 8-10).
- [8] Henger Group, "Marine Boat Launching Rubber Airbags Ukuran dan Lapisan yang Dapat Disesuaikan," *Pneumatic Rubber Fenders*
- [9] International Organization for Standardization. (2011). *Ships and marine technology — Ship launching air bags* (ISO Standard No. 14409:2011).
- [10] China State Shipbuilding Corporation, *CB/T 3837-1998: Technological Requirements for Ship Upgrading or Launching Relying on Air-Bags*, Shipbuilding Industry Standard of the People's Republic of China, 1998.