

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Peluncuran Kapal

Peluncuran kapal merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pembangunan kapal, yang menandai peralihan kapal dari fase konstruksi di atas landasan ke lingkungan operasionalnya di perairan. Secara umum, peluncuran kapal didefinisikan sebagai proses pemindahan kapal dari posisi di atas landasan atau building berth ke dalam air untuk pertama kalinya. Pelaksanaan peluncuran harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian karena melibatkan perpindahan massa yang besar serta adanya risiko terhadap stabilitas dan integritas struktur kapal.

Tujuan utama dari peluncuran kapal adalah untuk memindahkan kapal ke dalam air secara aman, terkendali, dan efisien tanpa menimbulkan kerusakan pada struktur lambung maupun komponen lainnya yang telah terpasang. Oleh karena itu, pemilihan metode peluncuran harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis seperti ukuran dan bobot kapal, jenis konstruksi, kondisi geografis galangan, serta aspek ekonomis dan keselamatan.

Terdapat beberapa metode peluncuran kapal yang umum digunakan di industri perkapalan, antara lain:

1. *End launching*

Metode ini merupakan salah satu metode peluncuran tradisional, di mana kapal diluncurkan ke arah memanjang (longitudinal), baik ke arah haluan (bow-first) maupun buritan (stern-first), tergantung pada konfigurasi galangan. Kapal ditempatkan di atas landasan miring (*slipway*) yang dilapisi pelumas atau rel peluncur untuk mengurangi gesekan saat bergerak ke air.

2. *Side launching*

Pada metode ini, kapal diluncurkan secara menyamping (lateral) dari sisi lambung ke perairan. Metode ini umum digunakan di daerah dengan keterbatasan ruang sepanjang sungai atau galangan yang sempit. Meskipun memungkinkan peluncuran kapal besar, metode ini memiliki tantangan dalam pengendalian kestabilan awal saat kapal menyentuh air.

3. *Graving dock flooding*

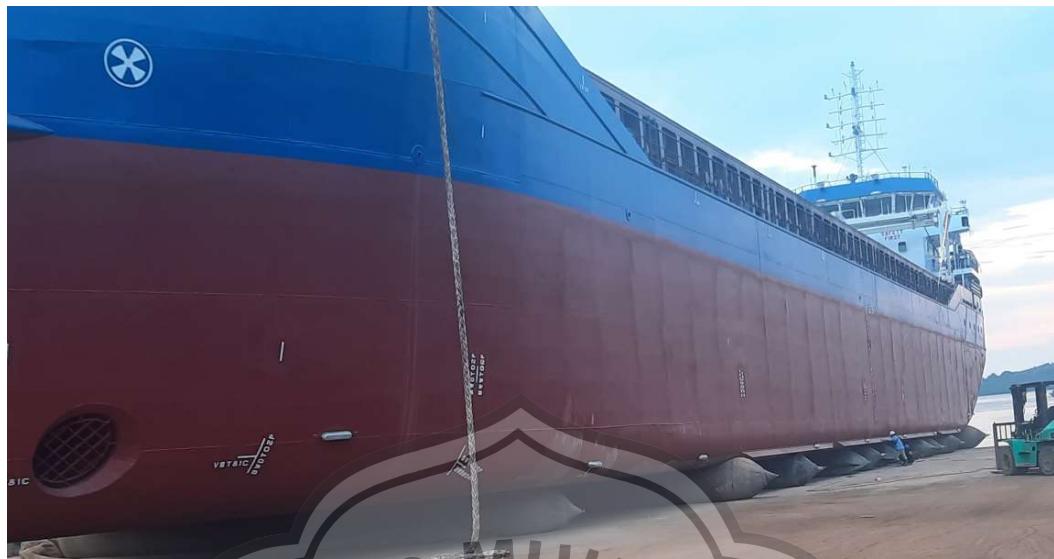
Peluncuran ini dilakukan di dalam *graving dock*, yaitu dok kering yang akan diisi air setelah proses konstruksi selesai. Setelah dok terisi, kapal secara perlahan akan mengapung. Metode ini memberikan tingkat kontrol yang tinggi dan sangat aman, tetapi memerlukan infrastruktur yang mahal dan ruang dok yang terbatas.

4. *Airbag launching*

Metode peluncuran dengan menggunakan airbag merupakan inovasi modern yang semakin populer, terutama di galangan kecil dan menengah. Teknik ini melibatkan penggunaan sejumlah airbag silindris yang ditempatkan di bawah lambung kapal. Setelah persiapan selesai, kapal didorong atau ditarik perlahan untuk meluncur ke perairan dengan bantuan gaya dorong dan gulungan dari airbag.

Keunggulan utama dari metode airbag launching terletak pada fleksibilitas lokasi peluncuran, waktu persiapan yang relatif singkat, serta biaya yang lebih rendah dibandingkan metode peluncuran konvensional. Airbag juga memungkinkan peluncuran di lokasi tanpa infrastruktur permanen seperti slipway atau dok kering, sehingga sangat cocok untuk galangan yang memiliki keterbatasan fasilitas. Selain itu, metode ini mampu mengurangi risiko kerusakan struktur karena memberikan bantalan yang lunak dan merata pada lambung kapal selama peluncuran.

Namun demikian, peluncuran menggunakan airbag juga memerlukan perencanaan teknis yang cermat, terutama terkait dengan jumlah, ukuran, tekanan, dan distribusi airbag, serta pengaturan urutan dan kecepatan peluncuran. Kegagalan dalam merancang sistem airbag dengan tepat dapat mengakibatkan ketidakseimbangan, deformasi struktur lokal, atau bahkan kecelakaan saat peluncuran.



Gambar 2. 1 Persiapan Peluncuran dengan Air bag
Sumber: Dokumen pribadi

2.2 Airbag Untuk Peluncuran Kapal

Metode peluncuran kapal menggunakan airbag merupakan salah satu teknik inovatif yang telah banyak diterapkan dalam industri perkapalan, khususnya pada galangan berskala kecil hingga menengah. Teknik ini melibatkan penggunaan kantong udara bertekanan tinggi (high-pressure airbags) yang ditempatkan di bawah lambung kapal sebagai media penyangga sekaligus penggerak untuk memindahkan kapal dari landasan ke perairan. Airbag bekerja dengan prinsip gaya angkat dan gaya gulir yang dihasilkan oleh tekanan udara di dalamnya serta deformasi elastis yang memungkinkan pergerakan kapal secara bertahap dan terkendali.

Airbag peluncuran biasanya dibuat dari bahan karet bertulang (*reinforced rubber*), yaitu kombinasi antara lapisan karet elastis dan anyaman serat penguat, seperti kawat baja atau serat sintetis berkekuatan tinggi. Struktur komposit ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas yang cukup untuk deformasi selama peluncuran, namun tetap memiliki kekuatan internal yang tinggi untuk menahan beban besar dari lambung kapal. Dalam kondisi kerja normal, tekanan internal airbag dapat mencapai kisaran 0,15 hingga 0,25 MPa, tergantung pada ukuran, ketebalan, dan jumlah lapisan penguat yang digunakan.

Keandalan sistem airbag sangat bergantung pada pemilihan dan perancangan parameter teknis yang tepat. Beberapa parameter utama yang harus diperhatikan dalam perancangan dan pemilihan airbag peluncuran antara lain:

- Diameter dan panjang *airbag*

Ukuran airbag sangat memengaruhi kapasitas dukung dan ketabilan selama peluncuran. Diameter menentukan tinggi angkat maksimal yang dapat dicapai, sedangkan panjang airbag memengaruhi luas kontak antara airbag dan lambung kapal, yang berdampak pada distribusi tekanan.

- Jumlah lapisan penguat (*reinforcement layers*)

Lapisan penguat berfungsi meningkatkan kekuatan struktural airbag terhadap tekanan internal. Semakin banyak lapisan penguat, maka semakin tinggi pula daya tahan airbag terhadap tekanan dan deformasi. Umumnya, airbag peluncuran memiliki antara 4 hingga 10 lapisan tergantung pada spesifikasi beban kerja.

- Tekanan internal maksimum

Tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh airbag harus sesuai dengan perhitungan beban kapal selama proses peluncuran. Tekanan ini menjadi salah satu acuan utama dalam memastikan bahwa airbag tidak mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi saat menerima beban.

- Kapasitas daya dukung

Merupakan kemampuan maksimum airbag dalam menahan beban vertikal dari kapal. Kapasitas ini sangat bergantung pada tekanan internal, diameter, dan elastisitas material airbag. Perhitungan kapasitas daya dukung harus mempertimbangkan beban kapal secara keseluruhan dan distribusinya sepanjang lambung.

- Elastisitas material

Material yang digunakan dalam pembuatan airbag harus memiliki elastisitas yang baik agar mampu mengalami deformasi selama proses peluncuran tanpa mengalami kerusakan permanen. Elastisitas

juga memengaruhi kemampuan airbag dalam menyerap energi kejut dan menjaga kenyamanan serta keamanan peluncuran.

Dengan keunggulan fleksibilitas dan kemudahan operasionalnya, airbag peluncuran telah menjadi alternatif yang layak dibandingkan metode konvensional, terutama pada daerah-daerah yang tidak memiliki infrastruktur peluncuran permanen seperti slipway atau dok kering.



*Gambar 2. 2 Air Bag untuk Peluncuran Kapal
Sumber: <https://nhmaritime.com>*

2.3 Gaya-Gaya yang Bekerja Saat Peluncuran

Peluncuran kapal merupakan proses dinamis yang melibatkan perpindahan massa besar dari posisi diam menuju pergerakan terkontrol ke arah perairan. Selama proses ini, kapal mengalami berbagai gaya yang saling berinteraksi dan harus dianalisis secara menyeluruh untuk memastikan kelancaran dan keamanan peluncuran. Setiap gaya memiliki pengaruh tersendiri terhadap kestabilan gerak kapal di atas landasan peluncuran, khususnya saat menggunakan metode airbag launching, yang bergantung pada interaksi langsung antara lambung kapal, airbag, dan permukaan dasar peluncuran.

Gaya-gaya utama yang bekerja selama proses peluncuran antara lain:

1. Gaya berat (W)

Gaya berat merupakan gaya utama yang berasal dari massa total kapal, termasuk struktur, peralatan, dan perlengkapan yang telah terpasang. Gaya ini bekerja secara vertikal ke bawah melalui pusat massa kapal (*center of gravity*) dan dihitung sebagai hasil kali antara massa total kapal dengan percepatan gravitasi ($W = m \times g$). Besarnya gaya berat sangat menentukan beban yang harus ditanggung oleh sistem airbag serta mempengaruhi tekanan kontak antara kapal dan media pendukung.

2. Gaya reaksi dari airbag (R)

Gaya reaksi merupakan gaya normal yang ditimbulkan oleh airbag sebagai respons terhadap gaya berat kapal yang menekannya dari atas. Gaya ini bekerja secara vertikal ke atas dan distribusinya bergantung pada jumlah, diameter, tekanan internal, dan posisi airbag di bawah lambung kapal. Reaksi dari airbag harus cukup besar dan merata untuk menyeimbangkan gaya berat, sekaligus mempertahankan stabilitas kapal agar tidak miring atau terguling selama peluncuran. Ketidakseimbangan distribusi gaya reaksi dapat mengakibatkan konsentrasi tekanan lokal pada struktur lambung yang berpotensi menimbulkan kerusakan.

3. Gaya gesek (f)

Gaya gesek muncul sebagai resistensi antara permukaan bawah airbag dengan permukaan dasar peluncuran (umumnya berupa beton, tanah padat, atau plat baja). Gaya ini bekerja dalam arah horizontal dan berlawanan dengan arah gerak kapal, sehingga harus diatasi oleh gaya dorong agar kapal dapat meluncur. Besarnya gaya gesek tergantung pada koefisien gesekan antara material airbag dengan landasan, serta besar gaya normal yang bekerja pada kontak tersebut. Dalam beberapa kasus, penggunaan pelumas atau penghalusan permukaan digunakan untuk mengurangi gaya gesek agar peluncuran lebih efisien.

4. Gaya dorong (F)

Gaya dorong merupakan gaya eksternal yang diberikan untuk menggerakkan kapal dari posisi diam ke arah perairan. Gaya ini dapat diberikan melalui alat bantu seperti *winch*, sistem hidrolik, atau gaya gravitasi pada peluncuran dengan kemiringan landasan. Gaya dorong harus cukup besar untuk mengatasi gaya gesek dan inersia kapal, namun tetap dikendalikan agar tidak menyebabkan percepatan berlebih yang dapat membahayakan struktur atau keseimbangan kapal.

Interaksi antara gaya-gaya tersebut membentuk sistem gaya yang kompleks yang harus dianalisis secara menyeluruh untuk memastikan keberhasilan peluncuran. Gaya berat dan reaksi airbag harus berada dalam keseimbangan vertikal untuk mencegah kapal miring atau menekan salah satu sisi airbag secara berlebihan. Sementara itu, gaya dorong harus melebihi gaya gesek agar kapal dapat mulai bergerak, tetapi dalam batas yang masih aman agar tidak menyebabkan lonjakan kecepatan atau kehilangan kontrol arah.

2.4 Keseimbangan Gaya Vertikal dan Momen Memanjang Kapal

Dalam proses peluncuran kapal, khususnya yang menggunakan metode *airbag launching*, analisis keseimbangan momen memanjang atau *longitudinal moment balance* memegang peranan yang sangat penting untuk menjaga stabilitas kapal sepanjang proses perpindahan dari landasan ke perairan. Keseimbangan ini berkaitan erat dengan bagaimana distribusi gaya vertikal dan titik aplikasinya memengaruhi kecenderungan kapal untuk berputar atau mengalami rotasi terhadap sumbu melintang (*transverse axis*), yang dapat menyebabkan kemiringan longitudinal atau bahkan kerusakan struktural apabila tidak dikendalikan dengan baik.

Momen memanjang dihitung sebagai hasil dari gaya-gaya vertikal yang bekerja terhadap posisi pusat gravitasi kapal (*center of gravity*), yaitu meliputi gaya reaksi vertikal dari masing-masing airbag yang menopang lambung kapal serta gaya apung (*buoyancy*) yang mulai bekerja saat sebagian badan kapal mulai memasuki air. Setiap gaya yang tidak tepat letaknya atau tidak seimbang besarnya dapat

menimbulkan momen memanjang yang menyebabkan kapal miring ke depan atau ke belakang selama peluncuran.

Dalam kondisi ideal, keseimbangan kapal selama peluncuran dicapai ketika jumlah seluruh gaya vertikal yang bekerja berada dalam kondisi setimbang (tidak menghasilkan percepatan vertikal), dan total momen memanjang terhadap pusat gravitasi kapal bernilai nol atau mendekati nol. Hal ini dinyatakan secara matematis dengan dua kondisi berikut:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma M_x = 0$$

Kondisi $\Sigma F_x = 0$ menunjukkan bahwa total gaya ke atas, yang terdiri dari reaksi airbag dan gaya apung, harus mampu menyeimbangkan gaya berat kapal yang bekerja ke bawah. Sementara itu, kondisi $\Sigma M_x = 0$ mengindikasikan bahwa tidak boleh ada kelebihan momen rotasi ke depan maupun ke belakang yang dapat menyebabkan buritan (stern) atau haluan (bow) mengalami tekanan berlebih, terangkat terlalu awal, atau bahkan mengalami kerusakan struktur akibat pembebanan yang tidak merata.

Jika keseimbangan ini tidak tercapai, maka dapat timbul beberapa konsekuensi teknis, seperti:

- Terjadinya rotasi kapal ke depan atau ke belakang selama peluncuran, yang dapat mengganggu arah gerak kapal.
- Beban berlebih pada salah satu airbag yang berpotensi menyebabkan kerusakan lokal pada lambung.
- Ketidakteraturan dalam pengangkatan lambung saat memasuki air, yang bisa menyebabkan ketidakseimbangan apung (*buoyancy imbalance*).

Meningkatnya risiko kegagalan peluncuran, seperti terguling atau berhentinya kapal secara tiba-tiba karena distribusi momen yang tidak proporsional.

2.5 Tekanan Internal *Airbag*

Tekanan internal yang terdapat di dalam airbag merupakan salah satu faktor paling krusial dalam menentukan kemampuan airbag untuk menopang beban kapal selama proses peluncuran. Airbag yang berfungsi sebagai media pendukung utama harus mampu menahan gaya vertikal dari berat kapal secara aman dan merata, tanpa mengalami kerusakan struktural atau deformasi yang berlebihan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap perilaku tekanan internal dan hubungannya dengan bentuk deformasi airbag menjadi aspek yang sangat penting dalam perencanaan teknis peluncuran kapal dengan metode *airbag launching*.

Tekanan internal pada airbag tidak bersifat tetap, tetapi akan berubah sesuai dengan besarnya beban vertikal yang diterima oleh airbag. Tekanan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu:

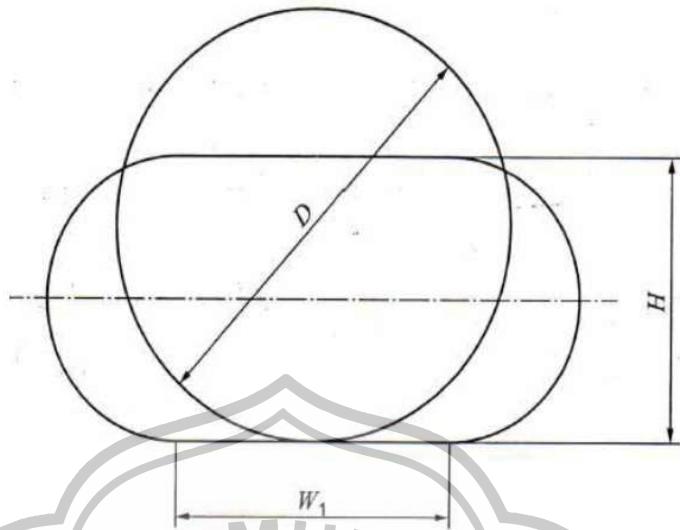
- Besarnya berat kapal yang bekerja di atas airbag.
- Jumlah airbag yang digunakan dan distribusinya di sepanjang lambung kapal.
- Jarak atau posisi masing-masing airbag terhadap titik berat kapal (*center of gravity*).
- Bentuk deformasi airbag yang terjadi akibat beban, yang mengubah volume internal airbag.

Untuk menganalisis perubahan tekanan ini, digunakan prinsip dasar dari hukum kekekalan massa dan hukum Boyle mengenai gas ideal, yang menyatakan bahwa jumlah udara dalam sistem tertutup akan tetap konstan jika tidak terjadi kebocoran. Dalam konteks airbag, hal ini dapat dinyatakan sebagai:

$$V_0 \times P_0 = V_1 \times P_1$$

Dimana:

- V_0 adalah volume awal airbag ketika belum menerima beban (bentuk penampang bulat),
- P_0 adalah tekanan awal airbag tanpa beban,
- V_1 adalah volume airbag setelah menerima beban (bentuk penampang lonjong),
- P_1 adalah tekanan internal airbag saat berada di bawah beban.



Gambar 2. 3 Penampang melintang airbag dalam kondisi tanpa beban (lingkaran penuh) dan saat menerima beban (bentuk terdeformasi oval)

Sumber: <https://nhmaritime.com>

Gambar 2.5 menunjukkan perubahan bentuk penampang airbag peluncuran kapal akibat beban vertikal dari berat kapal. Saat belum menerima beban, airbag berbentuk silinder dengan diameter penuh (D). Namun ketika menahan beban, bentuknya mengalami deformasi menjadi oval dengan tinggi tertekan (H) dan lebar proyeksi kontak horizontal (W₁). Perubahan bentuk ini memengaruhi volume internal airbag dan tekanan di dalamnya. Volume airbag sebelum menerima beban (bentuk mendekati silinder penuh) dihitung menggunakan rumus:

$$V_0 = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L$$

Sedangkan volume airbag saat menerima beban dan mengalami deformasi (bentuk mendekati oval atau pipih) dihitung dengan pendekatan sebagai berikut:

$$V_1 = \left(\frac{\pi \times H^2}{4} + H \times W_1 \right) \times L$$

Dimana:

- D = diameter awal airbag (m),
- H = tinggi airbag setelah tertekan (m),
- W₁ = lebar proyeksi deformasi horizontal (m),
- L = panjang efektif airbag (m).

Selain volume dan tekanan, penting pula untuk mengetahui gaya angkat atau daya dukung vertikal (supporting force) yang dapat diberikan oleh airbag. Gaya ini dapat dihitung dengan:

$$F = L \times W_1 \times P_1$$

Dimana F merupakan gaya vertikal total yang diberikan oleh airbag $L \times W_1$ adalah luas area kontak atau proyeksi horizontal dari permukaan airbag yang tertekan terhadap dasar kapal. Persamaan ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan internal akan meningkatkan gaya angkat, namun juga meningkatkan tegangan pada material airbag. Oleh karena itu, tekanan kerja maksimum harus disesuaikan dengan kapasitas material airbag serta batas keamanan yang ditentukan oleh pabrikan.

2.6 Metode Numerik

Metode numerik merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik yang kompleks, terutama yang tidak dapat diselesaikan secara analitik karena melibatkan banyak variabel atau kondisi yang berubah-ubah secara dinamis. Dalam konteks peluncuran kapal, metode numerik sangat diperlukan untuk melakukan analisis terhadap berbagai parameter teknis yang memengaruhi kestabilan dan keamanan proses peluncuran. Beberapa aspek yang dapat dianalisis melalui pendekatan numerik antara lain:

- Distribusi gaya yang bekerja pada masing-masing airbag
- momen memanjang (longitudinal moment) yang terjadi sepanjang badan kapal
- Variasi tekanan internal pada airbag terhadap posisi relatifnya terhadap bagian bawah (bottom) kapal.

Pendekatan numerik tersebut dapat difasilitasi melalui penggunaan perangkat lunak spreadsheet seperti Microsoft Excel, yang memungkinkan penggabungan perhitungan keseimbangan gaya, perhitungan momen memanjang kapal, dan distribusi tekanan pada airbag secara sistematis. Dengan menggunakan Excel, perhitungan-perhitungan tersebut dapat diotomatisasi dan divisualisasikan untuk mempermudah proses analisis serta pengambilan keputusan teknik dalam perencanaan peluncuran kapal yang aman dan efisien.