

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Berthing**

Berthing adalah proses kompleks yang melibatkan pengamanan dan penambatan kapal secara aman dan efisien (Bui et al., 2009). Berthing mengacu pada proses menambatkan dan memasang kapal dengan aman ke pelabuhan atau struktur pelabuhan atau yang biasa disebut dermaga. Ini melibatkan berbagai faktor seperti karakteristik kapal, tanah/batuan yang tertanam, dan kecepatan berlabuh, yang bergantung pada lokasi dan kondisi berlabuh (Han, 2019). Ini menunjukkan bahwa kapal akan mempengaruhi dermaga dengan menghantarkan energi kinetik. Kondisi cuaca dan gelombang juga dapat mempengaruhi dampak tersebut saat kapal ditambatkan. Jika tidak dilindungi dengan benar, efek tersebut dapat menyebabkan kerusakan permanen pada pondasi tempat berlabuh. Ada cara untuk melindungi badan kapal dan dermaga dari tubrukan dan energi kinetic, yaitu dengan menggunakan fender.

#### **2.2 Fender**

Fender merupakan komponen penting kapal yang melindungi lambung dari benturan saat sandar. Fender berfungsi untuk meredam energi tumbukan yang timbul saat kapal bersandar, sehingga mencegah kerusakan pada lambung kapal dan struktur dermaga (Konversi Energi dan Manufaktur et al., 2023). Fender dirancang untuk menyerap energi benturan dan mengurangi gaya reaksi, sering menggunakan bahan seperti karet, busa elastomerik, atau plastic (Djamaluddin et al., 2021).

Sejarah fender pada kapal telah mengalami pergeseran dari sistem fender kayu tradisional ke penggunaan bahan dan teknologi baru, seperti karet, beton, baja, plastik, dan fiberglass (Spencer, 2004). Ini dikarenakan fender kayu tidak memiliki kapasitas untuk melakukan penyerapan energi pada saat tubrukan. Karena itu, karet dipilih menjadi pengganti kayu yang merupakan bahan utama fender.

##### **2.2.1. Karet Fender D**

Karet fender D adalah fender yang memiliki bentuk seperti huruf D. Fender ini merupakan salah satu jenis fender yang biasa digunakan oleh kapal maupun dermaga, karena mampu melindungi kapal pada saat proses tambat maupun saat sedang beroperasi.

### 2.2.2. Karet Fender Tipe *Square*

Karet fender tipe *square* banyak dijumpai di dermaga dan kapal. Cara penggunaannya mirip dengan karet fender tipe D, tetapi dikarenakan bentuknya yang kotak memiliki keunggulan menahan beban yang lebih besar.

### 2.2.3. Karet Fender Tipe *Cone*

Karet fender tipe *cone* adalah fender yang memiliki bentuk mengkerucut. Karet fender tipe *cone* merupakan jenis fender yang digunakan dalam desain dermaga, terutama untuk sandaran sisi *angular*. Mereka dirancang untuk menyerap tingkat energi yang tinggi selama dampak sandar (Eskenazi & Wang, 2015).

## 2.3 *Berthing Energy (En)*

*Berthing energy* mengacu pada energi kinetik yang dihasilkan selama proses kapal berlabuh di dermaga atau tempat berlabuh. Ketika sebuah kapal melakukan kontak dengan dermaga, idealnya harus memiliki kecepatan nol, tetapi dalam praktiknya, masih memiliki beberapa kecepatan, menghasilkan benturan antara kapal dan dermaga. Dampak ini dapat menyebabkan kerusakan pada lambung kapal atau struktur pelabuhan. Untuk mengurangi hal ini, karet fender digunakan untuk menyerap sebagian energi kinetik kapal. Pemilihan parameter fender yang tepat sangat penting untuk memastikan penyerapan energi yang efektif selama operasi bersandar (Cajiao & Phelan, 2022).

Energi kinetik yang digunakan pada waktu proses tubrukan ditunjukkan pada persamaan (1):

$$E_k = \frac{1}{2} \times M \times V^2 \quad (1)$$

Perhitungan energi bertambat atau berlabuhnya kapal ini didasarkan pada perhitungan energi kinetik, yang dipengaruhi oleh koefisien-koefisien. Perhitungan dapat menggunakan rumus *OCDI* dan *PIANC*, berikut rumusnya:

$$E_N = \frac{M \times V_b^2}{2} \times C_M \times C_M \times C_C \times C_S \quad (OCDI) \quad (2)$$

$$E_N = 0,5 \times M \times V_B^2 \times C_M \times C_E \times C_C \times C_S \quad (PIANC) \quad (3)$$

Dimana:

M adalah massa kapal atau displacement kapal (ton)

VB adalah kecepatan kapal pada saat berlabuh (m/s)

CM adalah koefisien added mass

CE adalah koefisien eksentrisitas (Bentuk Fender)

CC adalah koefisien konfigurasi berthing

CS adalah koefisien softness

\*Untuk kebanyakan kasus, nilai *confidence limit* yang disarankan oleh PIANC adalah sebesar 50% atau 70% (M50 atau M75). Secara umum,  $V_B$  didasarkan pada *displacement* sebesar 50% dari *confidence limit* (PIANC, 2002).

### 2.3.1. *Abnormal Berthing Energy* ( $E_A$ )

*Abnormal berthing energy* mengacu pada jumlah energi kinetik yang berlebihan yang dihasilkan selama proses kapal melakukan kontak dengan dermaga atau struktur pelabuhan, yang dapat menyebabkan kerusakan (Cajiao & Phelan, 2022). Berbeda dengan *normal berthing energy*, yaitu kemampuan fender dalam menampung energi sewaktu operasi kapal secara reguler atau selama kapal bertambat.

Untuk menghitung jumlah *abnormal berthing energy* yang diserap fender, rumus yang dapat digunakan:

$$E_A = F_S \times E_N \quad (4)$$

Dimana:

$E_A$  = Energi sandar kapal abnormal yang diserap kapal (kNm)

$F_S$  = *Safety factor* untuk *abnormal berthing energy*

Beberapa faktor yang menjadi penentuan dalam *safety factor* diantaranya :

- Konsekuensi potensi kegagalan fender saat kapal bersandar
- Seberapa banyak intensitas dermaga digunakan
- Nilai kecepatan bertambat yang sangat rendah
- Riskannya kerusakan pada struktur pendukung fender
- Tipe serta ukuran kapal yang bertambat

Tabel 2. 1 *Safety factor* pada setiap jenis kapal ( $F_S$ )

Jenis Kapal	Ukuran	FS
Tanker, Bulk, Cargo	terbesar	1,25
	terkecil	1,75
Container	terbesar	1,5

	terkecil	2,0
General Cargo		1,75
Roro, Ferries		$\geq 2,0$
Tugs, Worksboat, dll		2,0

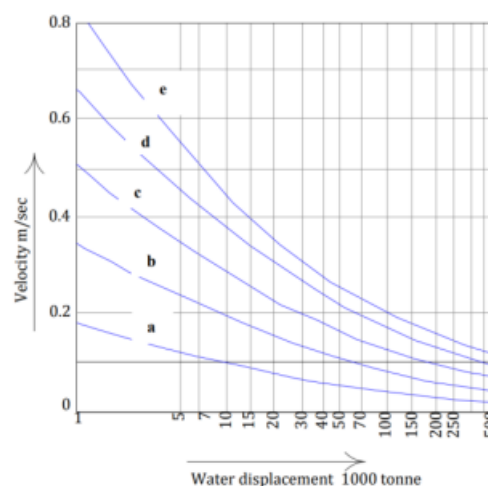
Pada tabel 2.1 menunjukkan jenis kapal yang dapat digunakan untuk menentukan faktor keamanan. PIANC merekomendasikan faktor dampak abnormal diturunkan dengan minimal 1,1 atau  $> 2,0$  dengan pengecualian masih dalam masa operasi (PIANC, 2002).

### 2.3.2. Approach Velocity ( $V_B$ )

Kecepatan saat sandar kapal dipengaruhi oleh seberapa sulit atau mudahnya proses sandar, berbagai tipe sandaran di dermaga, dan ukuran kapal. Kondisi kecepatan ini dikelompokkan ke dalam lima jenis, yang ditentukan oleh lokasi tempat kapal bersandar. Kondisi navigasinya:

1. Tempat berlabuh yang baik, terlindung
  - a) Tempat berlabuh yang sulit, terlindung
  - b) Tempat berlabuh yang mudah diekspos
  - c) Tempat berlabuh yang baik, terbuka
  - d) Kondisi navigasi sulit, terbuka

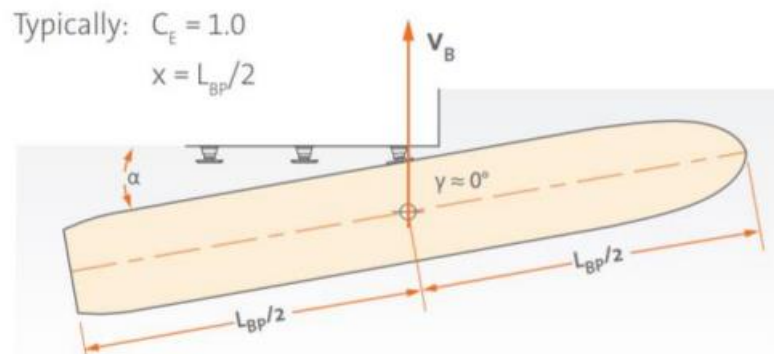
Setiap kurva menunjukkan keadaan navigasi yang berbeda, sehingga nilai interpolasi diperoleh untuk ukuran kapal menengah dengan kondisi navigasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Grafik Approach Velocity ( $V_B$ )

### 2.3.3. Midship Contact

Ketika bagian kapal yang pertama kali menyentuh fender adalah bagian tengah kapal, itu disebut tambatan tengah kapal.



Gambar 2. 2 Kondisi tambatan Tengah kapal

## 2.4 Pemilihan Fender

Sebelum memilih fender, perancang harus memeriksa semua dokumen dan persyaratan proyek, termasuk kode dan pedoman desain referensi. Daftar di bawah ini berfungsi sebagai daftar periksa yang berguna untuk menemukan informasi mana yang diketahui dari spesifikasi dan mana yang hilang, yang membutuhkan asumsi atau penelitian lebih lanjut. Beberapa data desain berasal dari perhitungan, jadi penting untuk menunjukkan apakah perhitungan tersebut didasarkan pada informasi yang diketahui atau diasumsikan.

Setiap ukuran dan jenis fender memiliki tingkat kinerja dan kapasitas penyerapan energi yang berbeda. Untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan di kapal dan dermaga, semua jenis fender harus memenuhi standar yang sudah ditetapkan.

## 2.5 Jarak Fender

Jarak pemasangan fender pada lambung kapal merupakan aspek penting dalam desain kapal dan perencanaan keselamatan. Penelitian oleh Molloy menyoroti pentingnya memilih jenis fender yang sesuai dan jarak pemasangan berdasarkan kapasitas kapal dan energi berlabuh (Molloy, 2023). Pemasangan berjarak pada fender berfungsi agar fender dapat bertumpu pada gading yang besar, yang menyebabkan tidak terjadi deformasi.

## **2.6 Tensile Strength**

Kekuatan tarik adalah sifat mekanik penting untuk kapal. Ini mengacu pada jumlah maksimum tegangan tarik yang dapat ditahan material sebelum pecah di bawah tegangan. Kekuatan tarik sangat penting untuk desain dan konstruksi kapal, karena menentukan integritas struktural dan kemampuan kapal untuk menahan kekuatan eksternal (Chen et al., 2020).

## **2.7 Finite Element Method**

Metode Elemen Hingga (FEM) adalah teknik numerik yang serbaguna yang digunakan untuk mensimulasikan fenomena fisik yang kompleks di berbagai bidang. Teknik ini memungkinkan pemecahan masalah multi-fisik, termasuk simulasi termo-mekanis dari komponen dan proses industry (De Bona et al., 2019). FEM sangat berguna untuk pemodelan benda padat yang dapat berubah bentuk dalam 3D, dengan aplikasi dalam grafik komputer, efek khusus film, dan operasi virtual (Sifakis, n.d.).

## **2.8 Software**

*Software* atau perangkat lunak dalam menganalisis FEM harus memiliki kemampuan untuk menyelesaikan simulasi fenomena fisik kompleks dalam suatu bidang.

### **2.8.1. Onshape**

Sebelum melakukan analisis FEM, benda yang perlu dianalisis perlu di modelkan terlebih dahulu. Perangkat lunak computer yang dikenal sebagai *Computer Aided Design* atau CAD dapat digunakan untuk melakukan permodelan yang akurat.

Onshape adalah platform pengembangan produk yang terintegrasi dengan komputasi cloud yang menggabungkan desain 3D CAD, manajemen data produk (PDM), kolaborasi, dan analitik dalam satu platform. Software ini dapat diakses melalui perangkat web terhubung apa pun, seperti komputer Mac, PC, Chromebook, atau Linux.



Sumber : [www.onshape.com](http://www.onshape.com)

Gambar 2. 3 Logo Onshape

### 1.8.2 Simscale

Simscale adalah platform simulasi yang berbasis cloud yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi rekayasa, termasuk simulasi FEA (Finite Element Analysis) dan CFD (Computational Fluid Dynamic). Platform ini dimaksudkan untuk meningkatkan kerja sama dalam rekayasa dan mempercepat proses simulasi. Kemampuan berbasis cloud adalah salah satu fitur di Simscale. Logo dapat dilihat pada gambar 2.4



Sumber : [www.simscale.com](http://www.simscale.com)

Gambar 2. 4 Logo Simscale