

# Analisis Pengaruh Variasi Ketebalan Plat AH36 Terhadap Respon Deformasi Pada Struktur Double Bottom Kapal

Faris Fatih\*, Ebeng Sugondo, S.T., M.T. and Tiwi Gustria Ningsih, S.Pd., M.Han.

\* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: Faris.4412201051@students.polibatam.ac.id

## Abstrak

Struktur double bottom merupakan komponen vital dalam konstruksi lambung kapal yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan struktural dan keamanan operasional dari risiko kebocoran. Penggunaan material baja berkekuatan tinggi seperti AH36 menjadi standar untuk menjaga integritas struktur, namun penentuan ketebalan pelat yang optimal tetap menjadi tantangan dalam desain untuk menyeimbangkan antara kekuatan dan efisiensi berat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan pelat AH36 terhadap respon deformasi dan distribusi tegangan pada struktur double bottom kapal. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) dengan memvariasikan ketebalan pelat sebesar 9 mm, 14 mm, dan 20 mm.

**Kata kunci: Integrasi, margin**

## Abstract

The double bottom structure is a vital component in ship hull construction that serves to increase structural strength and operational safety from the risk of leakage. The use of high-strength steel materials such as AH36 is the standard to maintain structural integrity, but determining the optimal plate thickness remains a challenge in design to balance strength and weight efficiency. This study aims to analyze the effect of variations in AH36 plate thickness on the deformation response and stress distribution in the ship's double bottom structure. The research method used is numerical simulation based on the Finite Element Method by varying the plate thickness of 9 mm, 14 mm, and 20 mm.

**Keywords : Integrasi, margin**

## 1 Pendahuluan

Dalam era modern saat ini, transportasi maritim tetap menjadi tulang punggung utama bagi perdagangan internasional yang berperan penting pada sebagian besar aktivitas ekspor-impor di seluruh dunia [1]. Mengingat peran penting ini, perhatian teknis terhadap integritas struktur kapal sangat penting untuk menjamin keselamatan operasional di laut, salah satu bagian paling krusial dari struktur kapal adalah dasar ganda (*double bottom*), yang berfungsi menjaga kekuatan memanjang kapal serta berperan vital dalam mencegah pencemaran lingkungan apabila terjadi kebocoran pada lambung bawah [2], [3].

Konstruksi dasar kapal secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu dasar tunggal (*single bottom*) dan dasar ganda (*double bottom*). Struktur double bottom atau dasar ganda merupakan bagian penting pada konstruksi kapal yang berfungsi meningkatkan keamanan dan kekuatan struktural lambung bawah. Selain berfungsi sebagai ruang untuk menyimpan air ballast, minyak, maupun air tawar, struktur ini memiliki peran penting dalam melindungi kapal dari potensi kebocoran akibat kandas atau kerusakan pada pelat kulit bagian bawah [3].

Deformasi pada plat struktur kapal merupakan perubahan bentuk atau dimensi material akibat beban eksternal yang melampaui batas elastisitasnya. Fenomena ini menjadi parameter kritis dalam mengevaluasi kekuatan struktural, di mana nilai perpindahan (*displacement*) dan regangan (*strain*) yang muncul mencerminkan kemampuan material dalam menyerap energi beban. Dalam konteks struktur *double bottom*, respon deformasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik mekanis material dan geometri pelat, khususnya ketebalan pelat tersebut [4].

Pengurangan atau variasi ketebalan pelat secara signifikan akan menurunkan kekakuan struktur, yang berakibat pada peningkatan nilai deformasi dan tegangan Von Mises saat menerima beban operasional maupun beban ekstrem. Ketebalan pelat yang tidak memadai pada area kritis double bottom dapat memicu kegagalan struktural berupa tekuk (*buckling*) atau degradasi kekuatan yang membahayakan keselamatan pelayaran. Oleh karena itu, analisis mengenai pengaruh variasi ketebalan pelat baja AH36 menjadi sangat krusial untuk memprediksi sejauh mana deformasi terjadi agar tetap berada dalam batas izin yang ditetapkan oleh regulasi klasifikasi [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi performa dan karakteristik kekuatan struktur kapal dari berbagai bagian yang berhubungan dengan ketebalan material dan respon struktural. Penelitian yang dilakukan oleh [5] menginvestigasi degradasi kekuatan akibat pengurangan ketebalan pelat pada lambung kapal *Ferry Ro-Ro*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengurangan ketebalan pelat secara signifikan menurunkan kekuatan ultimat gelagar lambung (*hull girder ultimate strength*), yang menegaskan betapa krusialnya parameter ketebalan dalam menjaga kekuatan struktural.

Sementara itu, penelitian [1] mengevaluasi performa struktur *double bottom* pada kondisi kecelakaan kebakaran menggunakan pendekatan elemen hingga nonlinear. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tegangan Von Mises, regangan (*strain*), dan perpindahan (*displacement*) atau deformasi sangat dipengaruhi oleh jenis material dan variasi ketebalan plat yang digunakan.

Penelitian [4] menyelidiki pengaruh ketebalan pelat terhadap perilaku mekanik plat lengkung. Hasilnya menunjukkan adanya hubungan signifikan antara ketebalan plat dengan sifat mekanisnya, dimana plat yang lebih tebal memiliki kapasitas menahan beban yang lebih tinggi dan menunjukkan pola deformasi yang berbeda dibandingkan plat yang lebih tipis.

Penelitian [6] tentang respon impak pada struktur *double bottom* memberikan gambaran bahwa konfigurasi komponen struktur (seperti *girder* dan *floor*) sangat menentukan bagaimana pola deformasi dan penyerapan energi terjadi saat struktur menerima beban dinamis.

Analisis yang dilakukan oleh [3] pada kekuatan konstruksi *double bottom* akibat perubahan ukuran *manhole*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa perubahan detail pada plat struktur dasar ganda akan secara langsung mempengaruhi distribusi tegangan dan faktor keamanan (*safety factor*) konstruksi tersebut.

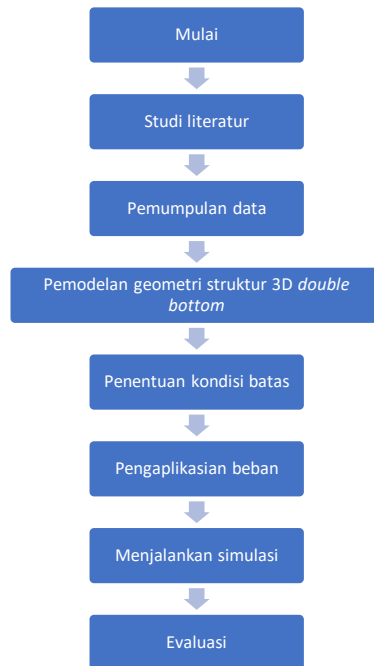
Analisis oleh [2] tentang penambahan konstruksi dasar ganda berdasarkan aturan BKI menegaskan pentingnya perhitungan dimensi plat yang akurat untuk memastikan kapal memenuhi standar kekuatan yang ditetapkan oleh biro klasifikasi demi keselamatan pelayaran.

penelitian ini membatasi fokus pembahasan pada struktur *double bottom* kapal *Supply Vessel*, dengan menganalisis komponen pelat alas dalam (*inner bottom plating*), penumpu (*girders*), dan wrang (*floors*). Variasi ketebalan plat baja AH36 yang digunakan dibatasi pada ukuran 9 mm sebagai batas minimum, 14 mm sebagai nilai menengah, dan 20 mm sebagai batas maksimum. Analisis respon kekuatan struktur yang meliputi parameter tegangan Von Mises, regangan (*strain*), dan nilai deformasi (*displacement*) dilakukan secara numerik berbasis Metode Elemen Hingga (FEM). Kondisi pembebanan yang diaplikasikan bersifat statis (*Static Study*) yang terdiri atas beban hidrostatik air laut (*bottom load*) serta beban kargo (*inner bottom load*) tanpa memperhitungkan beban dinamis seperti benturan kapal. Seluruh kriteria batas izin keamanan dan evaluasi desain dirujuk sepenuhnya pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

Dari studi terdahulu yang telah dibahas, jika penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada pengaruh korosi, kebakaran, atau bukaan (*manhole*), penelitian ini bertujuan pada pengamatan dan perbandingan dari ketebalan plat AH36 pada struktur *double bottom* terhadap respon deformasi (seperti *displacement* dan *strain*) dan menentukan ketebalan plat yang optimal dengan harapan bermanfaat untuk memberikan data yang lebih akurat dalam tahap perancangan konstruksi kapal sesuai aturan BKI.

## 2 Metodologi Penelitian

Prosedur Penelitian dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data, dilanjutkan dengan pemodelan geometri struktur 3D *double bottom*, proses meshing, penentuan kondisi batas (*fixed* dan *pinned*), pengaplikasian beban, menjalankan simulasi, hingga evaluasi hasil tegangan maksimum dan perpindahan (*displacement*).



Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan terstruktur untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan pelat terhadap respon deformasi struktur *double bottom*. Secara rinci, alur kerja penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### Studi Literatur

Tahap awal dilakukan untuk mengumpulkan landasan teori yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur mencakup pemahaman mengenai konstruksi dasar ganda (*double bottom*), karakteristik material baja AH36, metode elemen hingga (*Finite Element Method*), serta regulasi atau aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang berkaitan dengan kekuatan plat.

#### Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data sekunder yang dibutuhkan untuk mendukung pemodelan dan simulasi numerik. Data yang dikumpulkan meliputi gambar contoh dari struktur *double bottom* kapal dari Perusahaan X, spesifikasi material AH36, serta data operasional pembebanan kapal.

#### Pemodelan Geometri Struktur 3D Double Bottom

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh, dilakukan pembuatan model geometri tiga dimensi (3D) dari struktur *double bottom* menggunakan perangkat lunak AutoCAD, yang kemudian diimpor ke dalam modul simulasi numerik Solidworks. Komponen utama yang dimodelkan secara detail mencakup pelat alas dalam (*inner bottom plate*), penumpu tengah (*center girder*), penumpu samping (*side girder*), serta wrang (*floors*).

#### Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Conditions*)

Kondisi batas diterapkan pada model untuk merepresentasikan bagaimana struktur tersebut saat beroperasi di laut. Pada penelitian ini, digunakan kombinasi tumpuan *fixed* (jepit) dan *pinned* (sendi) pada ujung-ujung model struktur *double bottom* agar sesuai dengan kondisi aktual di kapal di mana bagian tersebut terikat pada sekat dan lambung kapal.

#### Pengaplikasian Beban

Pemberian beban numerik statis diaplikasikan pada model struktur sesuai dengan skenario pembebanan. Beban yang dimasukkan terdiri dari tekanan hidrostatis air laut dari arah bawah pelat kulit (*bottom load*) dan tekanan vertikal akibat muatan kargo atau ballast dari arah atas pelat alas dalam (*inner bottom load*) yang dihitung berdasarkan acuan regulasi BKI.

#### Menjalankan Simulasi

Setelah geometri, material, kondisi batas, dan beban terdefinisi dengan lengkap, simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (FEM) dijalankan. Sistem komputasi akan menyelesaikan persamaan kesetimbangan matriks untuk mendapatkan respon mekanis dari model struktur.

#### Evaluasi Hasil

Tahap akhir adalah mengevaluasi keluaran (*output*) simulasi yang berupa kontur visual dan nilai numerik. Parameter yang dievaluasi difokuskan pada nilai tegangan ekuivalen maksimum (Von Mises stress) dan perpindahan atau lendutan (*displacement*/deformasi). Nilai tegangan maksimum hasil variasi ketebalan pelat (9 mm, 14 mm, dan 20 mm) kemudian dibandingkan dengan batas tegangan izin yang ditetapkan oleh BKI untuk memastikan struktur aman dan tidak mengalami deformasi plastis.

Objek utama dalam penelitian ini adalah struktur *double bottom* (dasar ganda) pada kapal *supply vessel*. Fokus pengamatan berada pada respons deformasi dan tegangan yang terjadi pada plat dasar dalam (*inner bottom*), penumpu (*girder*), dan wrang (*floor*) akibat pembebanan. Data penelitian diperoleh melalui pengumpulan data yang mencakup gambar rancangan kapal (seperti *General Arrangement* dan *Midship Section*), spesifikasi material lambung kapal, dan data beban muatan dari perusahaan X. Struktur *double bottom* didesain menggunakan aplikasi AutoCad dengan variasi ketebalan plat masing-masing. Struktur ini memiliki panjang 10 m, lebar 16,1 m dan tinggi 1,65 m. Beban muatan dari kapal ini yaitu 4500 ton.

Jenis material yang digunakan dalam penelitian ini berupa plat baja AH36 dengan properti material :

**Tabel 1**  
**Properti material plat baja AH36**

| Modulus elastisitas (GPa) | Kekuatan luluh (MPa) | Kepadatan (kg/m <sup>3</sup> ) | Kapasitas panas spesifik (J/kg K) | Konduktivitas termal (W/m K) | Koefisien ekspansi termal (10 <sup>-6</sup> ) |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
| 200                       | 355                  | 7,800                          | 470                               | 52                           | 12                                            |

Untuk melihat pengaruh variasi ketebalan pelat terhadap kekuatan struktur, simulasi dilakukan dengan mengontrol variabel-variabel berikut:

- Variabel Kontrol: Geometri dan dimensi utama struktur double bottom kapal, besaran beban alas (hidrostatik) dan beban muatan, material dasar yang digunakan (baja AH36), serta kondisi batas (*boundary conditions*).
- Variabel Bebas: Ketebalan pelat *double bottom* yang diaplikasikan pada model elemen hingga.
- Variabel Terikat: Respon kekuatan struktur berupa tegangan Von Mises , regangan, dan nilai deformasi (*displacement*) hasil simulasi numerik.

Pemodelan struktur akan divariasikan menggunakan tiga ukuran ketebalan pelat, yaitu 9 mm, 14 mm, dan 20 mm. 9 mm dipilih sebagai representasi batas minimum ketebalan yang diizinkan berdasarkan standar Perusahaan X untuk komponen struktur dasar ganda (*double bottom*) tipe kapal yang diteliti. Selanjutnya, ketebalan 14 mm digunakan sebagai nilai menengah. Sementara itu, ketebalan 20 mm ditetapkan sebagai batas maksimum oleh Perusahaan X. Variasi ketebalan plat ini dipilih berdasarkan aspek ekonomis dan ketersediaan material dari Perusahaan X.

Metode pemecahan masalah dalam penelitian ini menggunakan pendekatan numerik berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* / FEM). Metode FEM telah sangat umum dan secara luas menjadi standar di industri perkapalan dan rekayasa struktural untuk memecahkan masalah tegangan pada geometri yang kompleks. Penggunaan metode FEM dilakukan dengan menggunakan aplikasi Solidworks.

Kelebihan FEM yaitu memiliki fleksibilitas tinggi untuk menganalisis berbagai bentuk geometri, kondisi batas, dan pembebanan secara bersamaan. Metode ini sangat efektif dalam menghasilkan visualisasi kontur tegangan Von Mises dan deformasi material secara spesifik.

Kekurangan dari FEM yaitu hasil yang diperoleh merupakan sebuah estimasi atau solusi pendekatan numerik, bukan nilai analitis eksak. Selain itu, tingkat keakuratan sangat bergantung pada kualitas pembagian elemen (*meshing*) dan membutuhkan perangkat komputer berspesifikasi tinggi.

Untuk menjamin validitas hasil analisis numerik berbasis Metode Elemen Hingga (FEM) pada aplikasi SolidWorks, pembebanan yang diaplikasikan didasarkan pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Pt. 1 Vol. II Rules for Hull. Perhitungan matematis dibagi menjadi rumus beban input (manual) dan kriteria evaluasi dari simulasi.

#### **Rumus Input Pembebanan (Berdasarkan Regulasi BKI Pt. 1 Vol. II Rules for Hull) :**

Beban Alas Luar Kapal (*Bottom Load - P<sub>B</sub>*)

Beban ini merupakan tekanan hidrostatik dari air laut yang menekan pelat lambung bagian bawah (*bottom plating*) ke arah atas. Berdasarkan BKI, persamaannya dirumuskan sebagai berikut:

$$P_B = 10 \cdot T + P_0 \cdot C_f \quad (1)$$

Keterangan :

- $P_B$  = Beban tekan alas kapal ( $kN/m^2$  atau  $kPa$ ).
- $T$  = Sarat air desain kapal (*draught*) ( $m$ ).
- $P_0$  = Beban gelombang dasar (*basic wave load*).
- $C_f$  = Faktor distribusi lambung sepanjang kapal.

Beban Alas Dalam (*Inner Bottom Load / Cargo Load -  $P_i$* )

Karena objek studi adalah *supply vessel* yang membawa muatan berat di atas geladak dalam, tekanan vertikal muatan yang menekan plat *inner bottom* dihitung dengan memperhitungkan faktor beban dinamis ( $a_v$ ) akibat gerakan kapal di laut lepas:

$$P_i = 9,8 \cdot \left(\frac{G}{V}\right) \cdot h \cdot (1 + a_v) \quad (2)$$

Keterangan :

- $P_i$  = Tekanan desain alas dalam ( $kN/m^2$ ).
- $G$  = Berat total kargo di dalam ruang muat/tangki tersebut ( $Ton$ ).
- $V$  = Volume total ruang muat/tangki ( $m^3$ )
- $h$  = Tinggi ruang muat atau jarak vertikal dari plat alas dalam ke titik tertinggi muatan ( $m$ ).
- $a_v$  = Faktor percepatan vertikal dinamis (berkisar antara 0,1 - 0,3 tergantung pada nilai panjang kapal  $L$  dan kecepatan kapal menurut formula standar klasifikasi BKI).

**Rumus Analisis Internal Software (Dihitung Otomatis oleh SolidWorks) :**

Rumus Tegangan Ekuivalen Von Mises

Untuk mengevaluasi tegangan kombinasi multi-aksial (normal dan geser) yang terjadi pada plat *double bottom* akibat variasi ketebalan plat AH36, kriteria runtuh Von Mises digunakan:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (3)$$

Keterangan :

- $\sigma_v$  = Tegangan ekuivalen Von Mises ( $N/mm^2$  atau  $MPa$ ).
- $\sigma_x, \sigma_y$  = Tegangan normal pada sumbu x dan y ( $N/mm^2$ ).
- $\tau_{xy}$  = Tegangan geser pada bidang xy ( $N/mm^2$ ).

### 3 Analisa Data dan Pembahasan

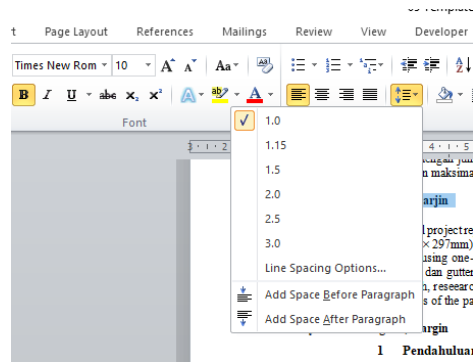
Bagian analisa data dan pembahasan berisi tentang data-data yang diambil dalam penelitian, cara menganalisa data dan pembahasan hasil analisa yang didapat. Bagian data data dan pembahasan terdiri dari tiga bagian.

Pertama, berisi tentang data-data yang telah diambil. Data-data tersebut dapat ditulis secara lengkap maupun hanya rangkuman data, disesuaikan dengan kebutuhan penelitian.

Kedua, berisi tentang analisa data seperti hasil perhitungan, analisa hasil perhitungan, hasil percobaan maupun analisa hasil percobaan.

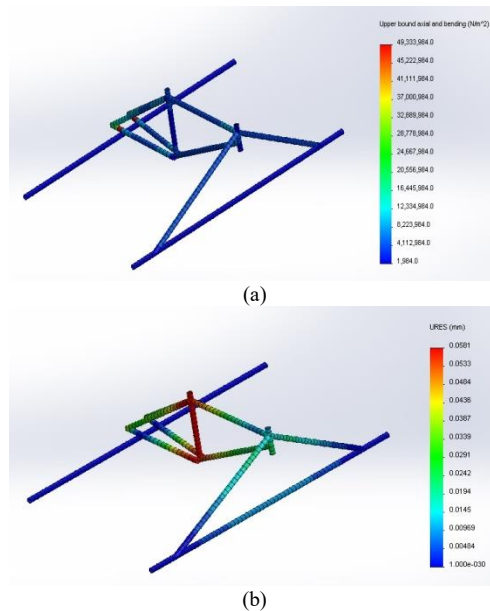
Ketiga, berisi tentang pembahasan baik pembahasan data penelitian maupun pembahasan hasil analisa data dan perhitungan.

Bagian isi laporan tugas akhir ditulis menggunakan format dua kolom, satu (1) spasi, jenis font adalah *Times New Roman* dan ukuran font adalah 10.



Gambar 1: X-Y plane

Format gambar tidak melebihi batas halaman, keterangan gambar diletakkan dibawah gambar, format text keterangan gambar menggunakan Font Times New Roman, besar text 8 dan dicetak tebal, perhatikan contoh diatas dan dibawah ini.



Gambar 2: Simulasi pada beban 60kg dengan material Alloy Steel (a)Tegangan dan (b)Displacement/Deformasi

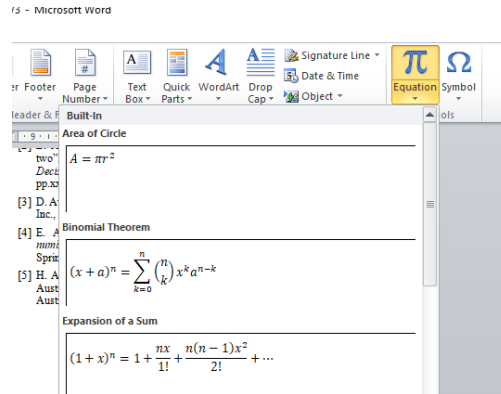
Setiap referensi yang ditulis pada bagian referensi dan harus ada didalam isi paper. Contoh format penulisan referensi didalam halaman isi [1], [1,2] atau [1-5].

Format penulisan rumus menggunakan urutan nomor rumus seperti contoh dibawah ini:

$$x(i + 1) = f(x(i) + G(x(i), u(i)\theta(i)) \quad (1)$$

$$y(i) = \sum_{j=0}^i C_j h(x(j)) \quad (2)$$

Format penulisan rumus menggunakan perintah *equation* pada word. Pilih *Insert*, kemudian klik *equation* dan pilih format rumus yang akan digunakan. Contoh



**Gambar 3: Cara memasukkan format rumus**

Format penulisan tabel seperti contoh berikut: setiap tabel diberikan nomor urut tabel dan diberi keterangan tabel yang berada di atas tabel

**Tabel 1**

**Samples of Times Roman Type Sizes and Styles Used for Formatting a PES Technical Work**

| Point Size | Purpose in Paper         | Special mark |
|------------|--------------------------|--------------|
| 18         | Title Paper              |              |
| 8          | Name of Figure and table |              |

## 4 Kesimpulan

Bagian kesimpulan berisi satu paragraf atau lebih yang menjelaskan kesimpulan hasil penelitian. Kesimpulan harus mampu menjawab semua tujuan penelitian yang ditulis pada bagian pendahuluan.

Selain itu, kesimpulan juga dapat berisi fakta-fakta temuan hasil penelitian diluar dari tujuan penelitian.

## 5 Daftar Pustaka

- [1] M. A. Satriatama, A. A. Pratama, T. Muttaqie, A. R. Prabowo, B. Kusharjanta, and H. Firdaus, "Evaluation of double-bottom structure performance under fire accident using nonlinear finite element approach," *Curved and Layered Structures*, vol. 11, no. 1, p. 20240018, Nov. 2024, doi: 10.1515/cls-2024-0018.
- [2] P. Widodo, "Analisa Perhitungan Penambahan Konstruksi Sekat Dan Dasar Ganda SPOB 3500 DWT Berdasarkan Aturan BKI 2019," 2021.
- [3] R. J. Ikhwan, A. M. Syadzali, and H. Syahab, "ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI DOUBLE BOTTOM KAPAL AKIBAT PERUBAHAN UKURAN MANHOLE SEBAGAI UPAYA UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN PELAYARAN DI ALKI II," vol. 7, 2025.
- [4] R. S. Yadav *et al.*, "Influence of Plate Thickness on the Mechanical Behaviour of Mild Steel Curved Plates: An Experimental Study," *jmmf*, pp. 1319–1327, Dec. 2024, doi: 10.18311/jmmf/2024/46253.
- [5] A. M. Nugraha A, M. U. Pawara, A. Ardianti, and F. Mahmuddin, "An investigation of strength degradation due to thickness plate reduction on Ferry Ro-Ro Ship's Hull," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 921, no. 1, p. 012053, Nov. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/921/1/012053.
- [6] B. Liu, L. Zhang, and J. Deng, "Impact Response of a Double-Bottom Structure with High and Penetrated Girders and Floors," *JMSE*, vol. 12, no. 2, p. 211, Jan. 2024, doi: 10.3390/jmse12020211.