

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri perkapalan menghadapi tantangan besar dalam memenuhi permintaan terhadap material konstruksi yang lebih ringan, kuat, dan tahan terhadap beban dinamis. Data Kementerian Perhubungan pada tahun 2024 mencatat bahwa terdapat 103.064 unit kapal beroperasi di jalur pelayaran nasional, dengan 44,41% di antaranya merupakan kapal kayu dan *fiberglass* yang rentan terhadap beban impact (Kementerian Perhubungan, 2025). Data dari *website* KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) pada tahun 2025, terjadi 5 kecelakaan kapal akibat tenggelam dan tubrukan (KNKT, 2025). Kapal sebagai moda transportasi laut dituntut memiliki struktur kulit lambung yang mampu menahan berbagai jenis pembebanan seperti beban impact akibat gelombang, tabrakan dengan benda lain, dan tekanan hidrodinamis yang terjadi berulang selama masa operasional kapal (Rinanggara et al., 2024). Material konvensional seperti kayu dan *fiberglass* sudah umum digunakan dalam konstruksi kapal, namun seiring perkembangan teknologi, material komposit dengan serat sintetis mulai diminati sebagai salah satu alternatif karena memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan logam (Natarajan et al., 2023). Pada material baja densitas yang dimiliki sebesar  $7,8 \text{ g/cm}^3$ , material aluminium memiliki densitas sebesar  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , dan material serat aramid memiliki densitas sebesar  $1,44 \text{ g/cm}^3$  (Navangul et al., 2025). Maka dari itu, perkembangan material ini tidak hanya berdampak pada efisiensi bahan bakar akibat pengurangan bobot struktur, tetapi juga berpotensi meningkatkan ketahanan struktural kapal secara keseluruhan, terutama pada bagian kulit kapal yang paling sering terdampak beban impact eksternal (Wijewickrama et al., 2025). (Junaidy et al., 2023) melaporkan pada komposit *fiberglass* memiliki kekuatan tahanan impact terbaik sebesar  $224,1 \text{ J/m}^2$ . Sementara itu, material komposit yang umum digunakan pada aplikasi industri perkapalan seperti GFRP (*E-Glass/Epoxy*) memiliki kekuatan impact sebesar  $0,045 \text{ J/mm}^2$  menurut penelitian (Noviyanto Firmansyah et al., 2024), penelitian lain menyebutkan pada material komposit CFRP (*Carbon/Epoxy*) memiliki kekuatan  $0,035 \text{ J/mm}^2$  (Samito et al., 2025). Selain itu, pada penelitian (Kamid et al., 2019), menghasilkan data kekuatan impact antara *basalt/epoxy* sebesar  $0,042 \text{ J/mm}^2$ . Akan tetapi belum ada data impact untuk material komposit serat aramid bermatriks

resin epoksi dengan metode fabrikasi *hand lay-up* dan variasi lapisan untuk aplikasi material kapal.

Serat aramid juga dikenal dengan serat kevlar merupakan serat sintetis yang memiliki sifat mekanis baik. Hal tersebut didukung oleh penelitian dari (He et al., 2024) menunjukkan bahwa serat aramid memiliki kekuatan tarik spesifik sekitar 2,5-3,6 GPa dengan densitas sekitar 1,44 g/cm<sup>3</sup>, berdasarkan data tersebut material aramid adalah salah satu material efisien untuk aplikasi struktural yang ringan. Dalam aplikasi industri material serat aramid sering digunakan untuk keperluan militer seperti rompi anti-peluru, helm militer, baju tahan api, dan lain sebagainya (Miwazuki et al., 2024). Matriks resin epoksi dipilih karena memiliki adhesi terhadap serat yang kuat, viskositas yang dapat disesuaikan untuk proses fabrikasi manual, serta ketahanan kimia yang baik terhadap lingkungan laut (Taufana, 2020). Meskipun sudah ada penelitian mengenai serat aramid, namun belum ada penelitian secara spesifik yang mengkaji mengenai pengaruh variasi lapisan material komposit serat aramid terhadap kekuatan dampak dalam aplikasi lambung kapal masih terbatas. Sebagian besar studi terdahulu lebih berfokus pada pengujian kekuatan tarik dan kekuatan lentur, sementara pengujian dampak merepresentasikan kondisi beban nyata pada lambung kapal belum banyak mendapat perhatian yang mendalam. Pada penelitian (Arl et al., 2023) misalnya mengkaji kekuatan tarik komposit aramid dengan variasi fraksi volume dan memperoleh kekuatan tarik tertinggi sebesar 175 MPa, namun tidak mengukur respons material terhadap beban dampak. Demikian pula (Soureh et al., 2025) yang meneliti mengenai komposit aramid untuk aplikasi balistik, tidak mengaitkan temuannya pada konteks kulit kapal. Selain itu, metode fabrikasi yang digunakan pada penelitian terdahulu umumnya menggunakan *vacuum infusion* atau *resin transfer molding* yang memerlukan peralatan mahal (Shen et al., 2024). Sehingga, digunakannya metode *hand lay-up* yang lebih sederhana dan ekonomis untuk dapat menghasilkan data kekuatan dampak dari proses fabrikasi *hand lay-up* dengan variasi jumlah lapisan sebagai referensi material komposit sintetis (Rayal & Basak, 2026). Kekosongan data inilah sehingga mendorong perlunya penelitian eksperimental yang lebih terfokus pada aspek kekuatan dampak komposit serat aramid dengan variasi lapisan menggunakan metode fabrikasi *hand lay-up*.

Pemahaman mendalam mengenai kekuatan dampak material komposit serat aramid menjadi krusial karena lambung kapal merupakan komponen pertama yang

menerima beban impact dari lingkungan luar. Kegagalan pada lambung kapal akibat beban impact dapat berakibat fatal, mulai dari kebocoran lokal hingga kegagalan struktural yang mengancam keselamatan awak dan muatan. Dengan mengetahui pengaruh jumlah lapisan terhadap kekuatan impact, perancang kapal dapat menentukan komposisi laminasi yang optimal sesuai dengan kebutuhan kekuatan dan batasan berat struktur. Di sisi lain, pengembangan material komposit serat aramid pada kapal kecil hingga menengah sejalan dengan program nasional tentang pengembangan industri maritim dan peningkatan daya saing galangan kapal lokal. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya bernilai secara akademis, namun juga memiliki nilai praktis yang dapat diaplikasikan mengikuti perkembangan teknologi industri perkapalan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bermaksud untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh jumlah variasi lapisan serat aramid terhadap kekuatan impact material komposit serat aramid dengan resin epoksi yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay-up*, serta pengujian impact yang dilakukan pada spesimen material komposit serat aramid menggunakan metode *charpy* sesuai standar ASTM D6110 dengan penyesuaian dimensi spesimen untuk menghasilkan data yang sistematis dan terukur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai konfigurasi jumlah lapisan yang paling efektif dalam menyerap energi impact, sekaligus menjadi data dasar bagi penelitian lanjutan maupun aplikasi pada kulit kapal berbahan komposit serat aramid di Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah lapisan (4 (K-1), 5 (K-2), dan 6 (K-3) *layer*) serat aramid terhadap nilai kekuatan impact spesifik ( $J/mm^2$ ) pada komposit aramid epoksi yang difabrikasi dengan metode *hand lay-up* sesuai standar ASTM D6110?
2. Bagaimana pengaruh penambahan jumlah lapisan serat aramid (4 (K-1), 5 (K-2), dan 6 (K-3) *layer*) terhadap nilai kekuatan impact spesifik per satuan luas penampang ( $J/mm^2$ ), dan bagaimana material komposit serat aramid dibandingkan dengan material komposit lain yang umum digunakan pada aplikasi lambung kapal?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Untuk mengetahui nilai kekuatan impak ( $J/mm^2$ ), energi serap (J), dan pola kegagalan pada material komposit serat aramid (4, 5, dan 6 *layer*).
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi lapisan material komposit serat aramid terhadap kekuatan impak yang dihasilkan, serta memberikan komparasi dengan material komposit lain yang umum digunakan pada aplikasi lambung kapal.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan digunakan sebagai fokus utama dalam penelitian ini mencakup:

1. Pengujian yang digunakan hanya sebatas pengujian mekanik dengan mengkaji aspek kekuatan impak;
2. Bahan komposit yang digunakan serat aramid (kevlar plain 1000D 200GSM Yarn Teijin Japan), matriks resin epoksi (Yukalac 157), katalis (Kawaguchi), dan anti void (BYK-094);
3. Peneliti hanya mengkaji tentang variasi lapisan material, sebagai berikut:
  - Serat aramid 4 *layer*.
  - Serat aramid 5 *layer*.
  - Serat aramid 6 *layer*.
4. Spesimen uji yang akan dibuat adalah 9 buah;
5. Pengujian impak dilakukan dengan standar laboratorium ASTM D6110 metode *charpy*;
6. Hasil pengujian impak material komposit serat aramid variasi lapisan akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya mengenai material komposit yang umum digunakan industri perkapalan berdasarkan data literatur (GFRP (*E-Glass/Epoxy*), CFRP (*Carbon/Epoxy*), dan *Basalt/Epoxy*);
7. Fabrikasi material komposit serat aramid menggunakan metode *hand lay-up*;
8. Spesifikasi spesimen material uji mengikuti standar ASTM D6110 dengan ukuran 55 x 10 x 10 mm;
9. Matriks yang digunakan berjenis resin epoksi;
10. Pengujian dilakukan pada temperatur ruangan (25°-32°C);

11. Proses fabrikasi dilakukan secara manual menggunakan alat pengaduk, gelas takar, gunting, spidol, penggaris, *molding* silicon, dan gerinda potong tangan.

## 1.5 Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan kajian teori yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hipotesis dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan nilai kekuatan impact yang signifikan antara material komposit serat aramid dengan variasi jumlah lapisan (4 (K-1), 5 (K-2), dan 6 (K-3) *layer*) yang menggunakan fabrikasi metode *hand lay-up*.
2. Peningkatan jumlah lapisan serat aramid dari 4 hingga 6 *layer* akan meningkatkan nilai energi impact yang terserap secara proporsional pada komposit serat aramid dengan resin epoksi yang difabrikasi menggunakan metode *hand lay-up*.
3. Material komposit serat aramid yang diuji akan menunjukkan mekanisme kegagalan progresif berupa kombinasi delaminasi, *fiber pull-out*, dan *fiber fracture*, bukan *clean break*, yang mengindikasikan sifat *semi-ductile* sesuai dengan karakteristik serat aramid.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharap menjadi referensi bagi arsitek kapal, insinyur material, dan industri maritim antara lain:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharap memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan kajian mengenai karakteristik dan perilaku mekanis material komposit serat aramid, khususnya pada penerapan struktur lambung kapal ikan. Selain itu, juga menjadi referensi tambahan bagi penelitian berikutnya yang berkaitan dengan analisis kekuatan mekanis material komposit di bawah beban dinamis menggunakan pengujian secara eksperimental dengan *impact test* (uji impact).

2. Manfaat Praktis

Sebagai informasi tambahan mengenai kelayakan penggunaan material komposit serat aramid sebagai alternatif material kapal berdasar hasil eksperimental pengujian impact (*impact test*). Dengan demikian, juga menjadi acuan arsitek kapal, insinyur material, dan industri material dalam memilih material yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat tinggi untuk meningkatkan kekuatan struktural kapal.

### 3. Manfaat Industri

Memberikan alternatif solusi terhadap kebutuhan material industri maritim dengan massa ringan, kuat, dan tahan terhadap lingkungan laut yang ekstrem, serta mendukung inovasi pengembangan material komposit berkelanjutan dalam industri maritim dalam meningkatkan daya saing dan efisiensi produksi kapal untuk kebutuhan di masa depan.

## 1.7 Luaran Penelitian

Penelitian ini diharapkan menghasilkan beberapa luaran yang ditargetkan meliputi:

1. Publikasi Ilmiah Internasional, hasil penelitian ini ditargetkan untuk publikasi pada jurnal ilmiah bertaraf internasional yang relevan terindeks (MDPI *material sciences*);
2. Modul, penelitian ini akan menghasilkan modul yang akan membahas proses fabrikasi dan metode pengujian material komposit, serta akan diajukan untuk memperoleh Hak Kekayaan Intelektual (HKI);
3. Poster ilmiah, yang memuat ringkasan hasil penelitian secara visual dan informatif, serta juga diajukan untuk mendapat Hak Kekayaan Intelektual (HKI).