

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian eksperimental yang telah dilaksanakan, mulai dari fabrikasi material komposit serat aramid dengan resin epoksi menggunakan metode hand lay-up, pengukuran dimensi spesimen, pengujian impak Charpy sesuai standar ASTM D6110 hingga analisis data secara kuantitatif dan kualitatif terhadap 9 spesimen uji dengan variasi 4 layer (K-1), 5 layer (K-2), dan 6 layer (K-3), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

#### **5.1 Kekuatan Impak Material Komposit Serat Aramid**

Material komposit serat aramid dengan matriks resin epoksi yang difabrikasi menggunakan metode hand lay-up terbukti memiliki kemampuan menyerap energi impak yang terukur dan konsisten. Mean impact strength keseluruhan dari seluruh 9 spesimen uji adalah sebesar 0,01 J/mm<sup>2</sup> dengan mean energi impak rata-rata sebesar 5,40 Joule. Hasil ini menunjukkan bahwa material komposit serat aramid memiliki karakteristik penyerapan energi yang stabil pada setiap variasi lapisan yang diuji. Mekanisme kegagalan yang teramati secara visual pada seluruh spesimen mencakup delaminasi antar lapisan, fiber pull-out, dan fiber fracture, yang kesemuanya merupakan mekanisme progresif dan tidak bersifat getas (brittle). Seluruh spesimen menunjukkan pola patahan berupa hinge break atau partial break, yang mengonfirmasi bahwa material ini memiliki sifat ulet (semi-ductile hingga tough) sehingga sesuai dipertimbangkan sebagai material alternatif yang aman secara struktural.

Nilai kekuatan impak yang diperoleh pada penelitian ini, meskipun lebih rendah dibandingkan material komposit sintetis komersial seperti GFRP (0,045 J/mm<sup>2</sup>) dan CFRP (0,038 J/mm<sup>2</sup>), menunjukkan potensi yang signifikan apabila dikembangkan lebih lanjut melalui optimalisasi rasio serat-matriks, peningkatan teknik fabrikasi, atau pendekatan hibrid dengan serat sintetis lainnya. Komposit serat aramid dengan metode hand lay-up merupakan alternatif yang ekonomis dan dapat diakses oleh kalangan kapal skala kecil hingga menengah di Indonesia.

#### **5.2 Pengaruh Variasi Jumlah *Layer* terhadap Kekuatan Impak**

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan dari 4 layer menjadi 5 dan 6 layer tidak memberikan peningkatan yang proporsional terhadap kekuatan impak material komposit serat aramid. Sebaliknya, terjadi penurunan efisiensi

kekuatan impact seiring bertambahnya jumlah lapisan. Spesimen K-1 (4 layer) mencatat kinerja terbaik dengan mean energi impact sebesar 5,577 Joule, mean harga impact 0,26 J/mm<sup>2</sup>, dan mean kekuatan impact 0,0098 J/mm<sup>2</sup>. Kelompok K-2 (5 layer) dan K-3 (6 layer) masing-masing mengalami penurunan harga impact sebesar 5,92% dan 4,46% terhadap baseline K-1.

Fenomena penurunan efisiensi ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme yang saling berkaitan. Pertama, pada metode hand lay-up, resin epoksi memiliki keterbatasan dalam menembus dan membasahi serat pada lapisan tengah secara merata ketika jumlah lapisan bertambah, sehingga berpotensi membentuk micro voids (gelembung udara mikro) di dalam struktur laminat. Kedua, peningkatan luas penampang akibat bertambahnya ketebalan tidak diimbangi dengan peningkatan total energi impact yang terserap secara signifikan, sehingga nilai kekuatan impact yang merupakan normalisasi energi terhadap luas penampang justru menurun. Ketiga, spesimen yang lebih tebal cenderung mengalami delaminasi lebih awal ketika terkena benturan, yang menyerap energi lebih sedikit dibandingkan mekanisme fiber breakage yang sempurna pada spesimen yang lebih tipis.

Analisis tren kuantitatif menunjukkan bahwa penurunan dari K-1 ke K-2 adalah sebesar 4,72% untuk energi impact dan 5,92% untuk kekuatan impact, sedangkan dari K-1 ke K-3 penurunan energi impact sama sebesar 4,72% namun kekuatan impact sedikit lebih baik yakni 4,46%. Konsistensi nilai kekuatan impact pada angka 0,01 J/mm<sup>2</sup> di seluruh kelompok variasi mengindikasikan bahwa proses fabrikasi manual dengan metode hand lay-up yang dilakukan dalam penelitian ini menghasilkan distribusi resin dan serat yang cukup homogen di antara ketiga variasi lapisan.

### **5.3 Komparasi dengan Material Komposit Lambung Kapal**

Berdasarkan hasil komparasi dengan material komposit yang umum diaplikasikan pada konstruksi lambung kapal, dapat disimpulkan bahwa komposit serat aramid dengan resin epoksi hasil penelitian ini memiliki kekuatan impact yang lebih rendah dibandingkan material komposit sintesis komersial, namun masih berada di atas hemp/polyester (0,012 J/mm<sup>2</sup>) yang juga merupakan material berbasis serat. Material GFRP (E-Glass/Epoxy) dengan kekuatan impact 0,045 J/mm<sup>2</sup> dan Basalt/Epoxy sebesar 0,042 J/mm<sup>2</sup> masih menjadi material unggulan untuk aplikasi lambung kapal secara umum. Namun, mengingat karakteristik ulet (non-getas) yang dimiliki komposit serat

aramid serta potensi penghematan bobot struktur yang signifikan, material ini layak dipertimbangkan untuk aplikasi pada komponen sekunder lambung kapal, dek, atau elemen struktural yang membutuhkan kombinasi antara ketangguhan dan bobot ringan.

#### **5.4 Rekomendasi dan Saran**

Berdasarkan temuan penelitian, spesimen 4 layer (K-1) direkomendasikan sebagai konfigurasi paling optimal untuk aplikasi komposit serat aramid dengan metode hand lay-up yang ditinjau dari efisiensi penyerapan energi impact per satuan luas penampang. Konfigurasi ini memberikan nilai harga impact tertinggi dengan penggunaan material yang lebih sedikit, menjadikannya pilihan yang paling efisien dari aspek kekuatan per unit massa material.

Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk mengeksplorasi pendekatan fabrikasi yang lebih terkontrol seperti vacuum infusion atau resin transfer molding (RTM) guna meminimalisir potensi micro voids pada variasi lapisan yang lebih banyak. Selain itu, studi mengenai komposit hibrid yang menggabungkan serat aramid dengan serat karbon atau serat kaca dapat membuka peluang peningkatan kekuatan impact yang lebih signifikan. Pengujian pada kondisi lingkungan laut seperti paparan air laut, variasi suhu, dan siklus pembebanan berulang juga sangat direkomendasikan untuk memperkuat argumen kelayakan penggunaan material komposit serat aramid sebagai material alternatif lambung kapal yang sesungguhnya dalam konteks operasional di perairan Indonesia.