

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada komposit hibrida *fiberglass–fibercarbon* dengan matriks *epoxy*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kedua konfigurasi menunjukkan mekanisme kegagalan yang berbeda. Pada komposit *fiberglass woven + carbon fiber*, kegagalan didominasi oleh *fiber breakdown* (patahnya serat), dengan indikasi delaminasi dan *debonding* dalam jumlah terbatas. Pola ini mencerminkan bahwa beban mampu ditransfer secara merata hingga serat mencapai batas kekuatannya. Pada komposit *fiberglass acak + carbon fiber*, kegagalan didominasi oleh *fiber pull-out*, *matrix cracking*, dan delaminasi yang lebih luas, akibat ikatan antara serat dan matriks yang relatif lebih lemah serta distribusi tegangan yang tidak merata. Meskipun demikian, komposit acak menunjukkan nilai *max. strain* yang lebih tinggi (22,5% vs 18,5%), yang mengindikasikan sifat material yang lebih ulet sebelum mengalami kegagalan total.
2. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa orientasi serat berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik komposit hibrida. Komposit *fiberglass woven + fibercarbon* menghasilkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) yang lebih tinggi yaitu sebesar 143,5 MPa, dengan *Young's Modulus* sebesar 1,1 GPa dan *yield strength* 100,875 MPa. Sementara itu, komposit *fiberglass acak + fibercarbon* menghasilkan UTS sebesar 130,4 MPa, dengan *Young's Modulus* 0,9 GPa dan *yield strength* 79,3 MPa. Struktur *woven* yang teratur memungkinkan transfer beban yang lebih efisien antara serat dan matriks, sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi acak.
3. Hasil pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan perbedaan morfologi yang signifikan antara kedua konfigurasi. Komposit *fiberglass woven + carbon fiber* memperlihatkan susunan serat yang rapat dan teratur, dengan matriks yang tidak terlalu

dominan di permukaan patahan. Struktur *woven* menciptakan ikatan antar-serat yang lebih kuat melalui mekanisme *interlocking*, sehingga menghasilkan distribusi resin yang lebih terkendali. Sebaliknya, komposit *fiberglass* acak + *carbon fiber* menampilkan distribusi serat yang tidak beraturan dengan jarak antar serat yang lebih renggang, namun penyebaran resin terlihat lebih merata di antara serat-seratnya.

4. Kedua konfigurasi menunjukkan mekanisme kegagalan yang berbeda. Pada komposit *fiberglass woven* + *carbon fiber*, kegagalan didominasi oleh *fiber breakdown* (patahnya serat), dengan indikasi delaminasi dan *debonding* dalam jumlah terbatas. Pola ini mencerminkan bahwa beban mampu ditransfer secara merata hingga serat mencapai batas kekuatannya. Pada komposit *fiberglass* acak + *carbon fiber*, kegagalan didominasi oleh *fiber pull-out*, *matrix cracking*, dan delaminasi yang lebih luas, akibat ikatan antara serat dan matriks yang relatif lebih lemah serta distribusi tegangan yang tidak merata. Meskipun demikian, komposit acak menunjukkan nilai *max. strain* yang lebih tinggi (22,5% vs 18,5%), yang mengindikasikan sifat material yang lebih ulet sebelum mengalami kegagalan total.

Berdasarkan hasil simulasi, *mesh* $0,7 \times 0,5$ mm dinyatakan konvergen dengan error 1%. Pada analisis Secara keseluruhan, *fiberglass woven* + *fibercarbon* lebih unggul dalam kekuatan tarik, kekakuan struktural, dan transfer beban, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan kemampuan menahan tegangan tinggi. Sementara itu, *fiberglass* acak + *fibercarbon* lebih unggul dalam kemampuan deformasi, penyerapan energi, dan ketahanan terhadap propagasi retak, sehingga menunjukkan waktu patah yang lebih lama dan perilaku kegagalan yang lebih bertahap. Selain itu, kedua material menunjukkan nilai error simulasi yang relatif kecil (*woven*: 2.2% *stress* dan 1.6% *strain*; acak: 8.4% *stress* dan 0.3% *strain*), sehingga hasil simulasi dapat dianggap cukup representatif terhadap hasil eksperimen.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi orientasi sudut serat seperti 0° , 45° , dan 90° guna mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh orientasi terhadap sifat mekanik komposit hibrida.
2. Pengujian mekanik sebaiknya diperluas dengan menambahkan uji kekerasan *Vickers*, uji *bending*, dan uji impak agar karakterisasi material lebih menyeluruh.
3. Proses fabrikasi perlu ditingkatkan menggunakan metode *vacuum infusion* atau *autoclave* guna meminimalkan cacat *void* dan delaminasi yang teridentifikasi pada hasil SEM.
4. Menggunakan model material yang lebih kompleks (misalnya *progressive damage* atau *failure criteria* khusus komposit) agar prediksi kerusakan lebih akurat.