

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga pada perangkat lunak ABAQUS terhadap balok laminasi berbahan kayu keruing dan meranti yang diperkuat dengan CFRP menggunakan metode *externally bonded* (EB), diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perilaku lentur hasil analisis elemen hingga menunjukkan bahwa penerapan perkuatan *externally bonded* CFRP memperbaiki kinerja struktural balok kayu laminasi keruing–meranti. Balok yang diperkuat CFRP memiliki kekakuan awal yang lebih tinggi, deformasi yang lebih terkendali, serta perilaku struktur yang lebih stabil dibandingkan balok tanpa perkuatan.
2. Kapasitas lentur balok kayu laminasi keruing–meranti meningkat secara signifikan berdasarkan hasil simulasi numerik. Peningkatan ini terlihat dari kurva beban–defleksi yang lebih tinggi pada balok yang diperkuat CFRP. Hal ini menunjukkan bahwa CFRP efektif memperkuat zona tarik kayu dan meningkatkan kemampuan struktur menahan gaya lentur sebelum mengalami keruntuhan.
3. Nilai beban maksimum, momen lentur, kuat lentur, dan kekakuan lentur meningkat seiring dengan luas bidang CFRP yang digunakan. Balok tanpa perkuatan menahan beban maksimum sebesar 20,8317 kN, sedangkan balok dengan perkuatan CFRP di sisi bawah mencapai 28,0500 kN (kenaikan 34,651%), konfigurasi *U-wrap* parsial sebesar 30,6233 kN (kenaikan 47,003%), dan konfigurasi *U-wrap* penuh sebesar 33,7092 kN (kenaikan 61,817%). Konfigurasi *U-wrap* penuh menghasilkan nilai momen lentur, kuat lentur, dan kekakuan lentur tertinggi serta perilaku struktur paling stabil terhadap deformasi.
4. Perilaku deformasi hasil simulasi menunjukkan bahwa kelengkungan (*curvature*) meningkat seiring dengan penambahan beban hingga mencapai kondisi ultimit. Balok yang diperkuat CFRP memiliki daktilitas dan disipasi energi yang lebih tinggi dibandingkan balok tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mampu menyerap energi lebih besar sebelum mengalami kerusakan.
5. Konfigurasi perkuatan yang paling efektif adalah *U-wrap* penuh, dengan peningkatan kekuatan lentur hingga 61,817% dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan. Pada

konfigurasi ini, kerusakan pada lapisan CFRP relatif minimal dan tidak terjadi *debonding* signifikan, sehingga menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan performa struktural paling optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian eksperimental langsung pada balok kayu laminasi keruing–meranti yang diperkuat CFRP untuk memverifikasi hasil simulasi numerik menggunakan ABAQUS, sehingga diperoleh validasi yang lebih komprehensif antara hasil numerik dan data uji nyata.
2. Mengingat adanya kesulitan dalam penentuan parameter material ortotropik kayu, disarankan melakukan pengujian mekanis kayu secara lebih lengkap di laboratorium serta melakukan kalibrasi alat secara menyeluruh apabila diperlukan, agar tidak ada lagi data yang bersumber dari pendekatan empiris pada literatur dan data *input* material semakin akurat.
3. Berdasarkan pengalaman selama proses pemodelan, kualitas adhesi kayu dan CFRP sangat memengaruhi hasil simulasi. Oleh karena itu, perlu dikaji variasi jenis perekat serta parameter adhesi yang merepresentasikan metode aplikasinya agar performa ikatan yang dihasilkan lebih optimal, baik dalam pengujian maupun simulasi.
4. Karena konfigurasi *U-wrap* penuh terbukti paling efektif meningkatkan kapasitas lentur, penelitian berikutnya dapat mengkaji variasi ketebalan, jumlah lapisan, dan metode pemasangan CFRP lainnya untuk mendapatkan kombinasi paling efisien dari segi kekuatan dan penggunaan material.
5. Disarankan membandingkan metode *externally bonded* (EB) dan *near-surface mounted* (NSM) untuk menentukan pendekatan paling efektif dalam meningkatkan kapasitas lentur balok kayu laminasi.
6. Untuk mengurangi risiko delaminasi pada area ujung perlekatan CFRP, dapat dipertimbangkan penggunaan sistem pengunci tambahan seperti *anchorage*, *fan*, atau teknik *stitching*.
7. Untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi simulasi numerik, disarankan menggunakan perangkat komputer dengan spesifikasi pemrosesan dan grafis yang memadai, mengingat keterbatasan perangkat menjadi salah satu hambatan utama selama penelitian ini.