

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik, analisis tegangan, deformasi, serta evaluasi *safety factor* yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Misalignment double girder* berpengaruh terhadap distribusi tegangan dan deformasi pada area *corrugated bulkhead*. Hasil simulasi model tanpa *flat bar intercostal* menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan hidrostatik dari 25%, 50%, hingga 80% menyebabkan kenaikan tegangan *Von Mises* maksimum dari 51,69 MPa, 188,10 MPa, menjadi 299,00 MPa. Deformasi maksimum juga meningkat dari 14,99 mm, 18,72 mm, menjadi 24,42 mm. Konsentrasi tegangan terjadi pada area sambungan antara *double girder* dan *corrugated bulkhead*, yang menunjukkan bahwa kondisi *misalignment* mengganggu kontinuitas jalur distribusi beban (*load path*) sehingga meningkatkan respons tegangan dan deformasi pada daerah kritis struktur.
2. Penambahan *flat bar intercostal* terbukti mampu meningkatkan kinerja struktur yang mengalami *misalignment double girder*. Dibandingkan model tanpa penguat, tegangan maksimum berhasil diturunkan sebesar 81,13% pada pembebanan 25%, 34,32% pada pembebanan 50%, dan 20,07% pada pembebanan 80%. Selain itu, deformasi maksimum juga mengalami penurunan sebesar 93,22%, 80,06%, dan 71,27% pada masing-masing kondisi pembebanan. Penambahan *flat bar intercostal* meningkatkan kekakuan lokal pada area sambungan sehingga distribusi tegangan menjadi lebih merata, deformasi berkurang, dan kemampuan struktur dalam menahan beban menjadi lebih baik.
3. Penambahan *flat bar intercostal* memberikan peningkatan kinerja struktur, namun belum sepenuhnya memenuhi kriteria efektivitas berdasarkan nilai *safety factor*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan *flat bar intercostal* mampu menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata, menurunkan tegangan *Von Mises* maksimum hingga 20,07-81,13%, serta mengurangi deformasi sebesar 71,27-93,22% dibandingkan model tanpa penguat. Selain itu, nilai *safety factor* pada seluruh kondisi pembebanan mengalami peningkatan dibandingkan model tanpa penguat. Meskipun demikian, berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh RINA Class yang menetapkan bahwa struktur dinyatakan efektif apabila memiliki nilai *safety factor* > 1 pada seluruh variasi pembebanan, hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *safety factor* yang diperoleh masih berada di bawah batas tersebut. Oleh karena itu, hipotesis bahwa penambahan *flat bar intercostal* dapat meningkatkan performa struktur diterima secara parsial, karena penguat

terbukti mampu memperbaiki respons struktur melalui penurunan tegangan dan deformasi, tetapi belum mampu meningkatkan faktor keamanan hingga memenuhi kriteria desain yang ditetapkan. Dengan demikian, konfigurasi *flat bar intercostal* yang digunakan pada penelitian ini masih memerlukan optimalisasi lebih lanjut, baik dari aspek dimensi, ketebalan, maupun konfigurasi pemasangan, agar mampu menghasilkan safety factor > 1 pada seluruh kondisi pembebanan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku struktur *corrugated bulkhead* pada kapal *oil tanker*. Oleh karena itu, beberapa saran berikut diharapkan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya maupun sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan desain struktur kapal agar diperoleh hasil analisis yang lebih representatif dan mendekati kondisi operasional sebenarnya. Saran-saran berikut disusun berdasarkan keterbatasan penelitian serta hasil evaluasi yang diperoleh selama proses simulasi menggunakan Finite Element Method (FEM), yaitu:

1. Melakukan optimasi dimensi dan konfigurasi flat bar. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *flat bar intercostal* mampu menurunkan tegangan maksimum dan deformasi secara signifikan, namun nilai *safety factor* yang diperoleh masih berada di bawah kriteria desain ($SF > 1$). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan optimasi terhadap dimensi, ketebalan, maupun posisi pemasangan menggunakan metode optimasi numerik sehingga dapat diperoleh konfigurasi penguat yang lebih efektif.
2. Mengembangkan variasi jenis penguat struktur. Penelitian berikutnya dapat membandingkan efektivitas *flat bar* dengan jenis penguat lainnya, seperti *bracket* tambahan, *continuous stiffener*, atau kombinasi beberapa jenis penguat. Perbandingan tersebut diharapkan mampu menghasilkan alternatif desain yang memberikan distribusi tegangan lebih merata dan meningkatkan faktor keamanan struktur.
3. Menggunakan pembebanan yang lebih representatif terhadap kondisi operasi kapal. Penelitian ini hanya mempertimbangkan pembebanan hidrostatik secara bertahap (*quasi-static*). Untuk memperoleh gambaran perilaku struktur yang lebih realistis, penelitian selanjutnya disarankan memasukkan kombinasi beban global dan lokal, seperti momen lentur *hull girder* (*hogging sagging*), tekanan gelombang, *slamming*, maupun beban dinamis lainnya sesuai ketentuan klasifikasi kapal.
4. Melakukan analisis *nonlinier* dan evaluasi kegagalan struktur. Analisis pada penelitian ini difokuskan pada distribusi tegangan, deformasi, dan *safety factor*. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan analisis *nonlinier* material dan geometri, termasuk evaluasi *buckling*, *plastic*

collapse, *progressive collapse*, serta *ultimate strength* sehingga mekanisme kegagalan struktur dapat dipahami secara lebih komprehensif.

5. Melakukan validasi eksperimental. Hasil simulasi numerik menggunakan *Finite Element Method* sebaiknya divalidasi melalui pengujian laboratorium atau pengukuran pada struktur aktual sehingga tingkat akurasi model numerik dapat diketahui dan meningkatkan keandalan hasil penelitian.
6. Mengembangkan model struktur yang lebih menyeluruh. Penelitian ini hanya menggunakan model *midship section* pada area *corrugated bulkhead* yang mengalami *misalignment double girder*. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model struktur kapal yang lebih lengkap atau melakukan analisis *hull girder* secara global sehingga pengaruh penguatan lokal terhadap respons struktur kapal secara keseluruhan dapat dievaluasi dengan lebih akurat.
7. Sebagai pertimbangan dalam proses konstruksi dan perbaikan kapal. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi awal bagi galangan kapal dalam mengevaluasi penggunaan *flat bar intercostal* sebagai alternatif penguatan pada area yang mengalami *misalignment*. Namun demikian, penerapannya tetap perlu mempertimbangkan persyaratan badan klasifikasi, proses fabrikasi, kemudahan konstruksi, serta hasil analisis struktur yang sesuai dengan kondisi aktual kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan