

Analisis Perbandingan Sambungan Pengelasan dan *Knock Down* pada *Bulbous Bow* Kapal Ferry Ro-Ro 2000 GT Terhadap *Fatigue Life* Menggunakan Metode Elemen Hingga

David Al Hasan ^{1*}, Muhamad Ari ¹, Ruddianto ¹

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111^{1*}

Email: elhasan421@gmail.com¹; m.ari@ppns.ac.id²; ruddianto@ppns.ac.id³

Abstract – A shipyard company constructed a 2000GT Ro-ro ferry in 2021. The ship operates on the route from Tanjung Perak port to Lembar NTB port via the Flores Sea along the northern coast of Bali Island. During its sailing activities serving passengers, the owner intends to add a bulbous bow to the ship to reduce resistance and improve the efficiency of the ship's main engine. The installation plan includes insights for using a knock-down joint for the bulbous bow. Therefore, this research simulates the use of knock-down joint design and compares it with welded joints to estimate its fatigue life. The simulation process employs Ansys Workbench and includes variations of welded joints, bolted joints, and stud welding. The simulations are conducted by applying loading due to hydrostatic pressure and variations of stress caused by slamming loads. The research results estimate the fatigue life through calculations based on the ABS Guide for Fatigue Assessment of Offshore Structures (2020), with the longest estimated life being 28.9 years and the shortest being 3.67 years. So, the implementation of knockdown joints in the installation of the bulbous bow is less effective because, at high slamming intensity, the fatigue life value of the knockdown joints does not exceed the threshold set by ABS.

Keyword: Bulbous bow, Finite Element Method, Knock Down Joint, Fatigue Life

1. PENDAHULUAN

Sebuah perusahaan galangan kapal di Madura membangun sebuah kapal Ro-ro ferry 2000GT pada tahun 2021. Kapal tersebut memiliki rute pelabuhan Tanjung Perak menuju pelabuhan Lembar NTB melalui laut Flores di pesisir utara pulau Bali. Dalam pelayarannya, kapal harus dalam kondisi aman, baik dari segi konstruksi dan instalasi lainnya. Hal ini dikarenakan dalam konstruksi kapal memiliki tegangan izin yang boleh diterima dan tidak melebihi limitnya [5]. Selama satu tahun kapal berdinamis melayani penumpang terdapat beberapa *insight* dari perusahaan pemilik kapal, yaitu penambahan *bulbous bow* pada kapal. Tujuan utama dari penambahan *bulbous bow* sendiri adalah untuk meningkatkan efisiensi antara BHP mesin dengan kecepatan kapal, sehingga biaya operasional kapal dapat lebih optimal. Pihak perusahaan pemilik kapal menginginkan penambahan *bulbous bow* dipasang secara *knock-down* atau sambungan sementara. Namun dari pihak galangan menyarankan agar *bulbous bow* dipasang secara konvensional menggunakan sambungan pengelasan. Pihak galangan memperitimbangkan durabilitas serta kekuatan dari penggunaan sambungan *knock down* jika digunakan untuk memasang *bulbous bow*. Perubahan ataupun penambahan desain pada sebuah kapal tentunya akan berdampak pada penambahan penggunaan material serta

memerlukan analisis kekuatan dan durabilitas desain tersebut.

Kapal penumpang adalah salah satu kapal yang paling banyak digunakan di Indonesia. Selain melakukan perhitungan terhadap besar tegangan yang diterima perlu dilaksanakan perhitungan pada *fatigue life* dari penambahan *bulbous bow* tersebut untuk mengantisipasi terjadinya kecelakaan laut yang dapat menimbulkan korban jiwa [4]. Saat ini masih banyak kapal-kapal penumpang yang mengabaikan perhitungan *fatigue life* sehingga sering dijumpai kapal-kapal tua yang sebenarnya sudah melewati usia konstruksinya. Untuk mengetahui umur konstruksi kapal perlu dilaksanakan perhitungan *fatigue life*, agar kapal lebih aman saat beroperasi [2].

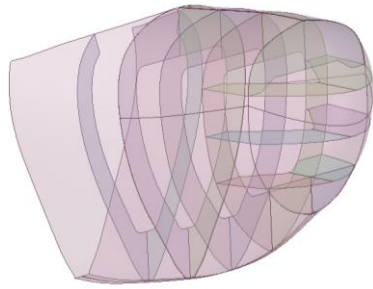
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan apakah pemasangan *bulbous bow* dapat dilaksanakan dengan metode *knock down*. Dengan menghitung tegangan maksimal yang diterima oleh masing-masing variasi sambungan serta perkiraan *fatigue life* nya menggunakan metode elemen hingga dengan mengacu peraturan ABS *Guide for Fatigue Assessment on of Offshore structure* 2020.

2. METODOLOGI .

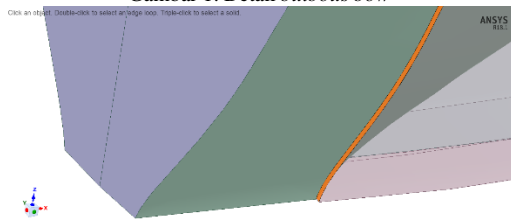
2.1 Perencanaan Model

Pembuatan model pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* AutoCAD. Dalam penelitian ini, terdapat tiga variasi dari model *bulbous bow* yang akan diterapkan.

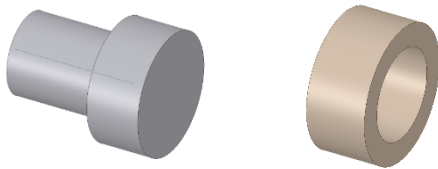
Pertama yaitu dengan sambungan pengelasan, sambungan mur-baut, dan sambungan *stud welding*.



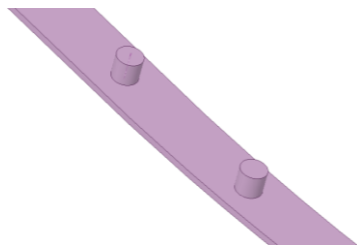
Gambar 1. Detail *bulbous bow*



Gambar 2. Sambungan Pengelasan



Gambar 3. Detail mur-baut sesuai ASME B18.2.1



Gambar 4. Detail *stud bolt* dan penampangnya

2.2 Perhitungan Beban Simulasi

Beban yang bekerja pada model saat disimulasikan meliputi tekanan hidrostatik air laut dan beban *slamming*. Besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat adanya *slamming* dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relative vertikal haluan ekstrim V_{br} , [1] yaitu,

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2 \quad (1)$$

Lalu dari formula tersebut diberikan variasi nilai V_{br} sebesar 1, 1.5, dan 2 sehingga didapatkan variasi beban *slamming* sebesar 4.6 MPa, 10.8 MPa, dan 18.4 MPa.

2.3 Perhitungan *Fatigue Life*

Sebuah kapal didesain untuk dapat dipakai selama mungkin. ABS adalah klas kapal yang menetapkan syarat minimum usia pakai

sebuah kapal sebesar 20 tahun. Sehingga desain kapal dinyatakan laik apabila perhitungan *fatigue lifenya* melebihi 20 tahun [1]. Dasar-dasar prosedur kelelahan yang disederhanakan untuk penilaian detail struktur kapal ditujukan untuk menemukan perkiraan distribusi jangka panjang dengan beban yang telah ditentukan. Perkiraan ini menggunakan dasar hukum Palmgren-Milner [3], nilai DM yang dinyatakan sebagai berikut :

$$DM = \frac{N_L}{N_i} \quad (2)$$

Nilai N_L didapatkan dari persamaan sebagai berikut.

$$N_L = \frac{0.85 \times T_L}{4 \log L} \quad (3)$$

Setelah nilai *fatigue damage* diketahui maka umur pakai dapat diprediksi dengan persamaan [1] sebagai berikut.

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ Life}{DM} \text{ years} \quad (4)$$

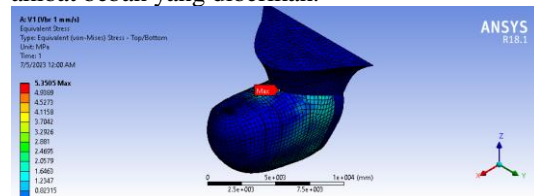
Nomenclature

- P_s beban *slamming* (MPa)
- ρ massa jenis fluida
- k koefisien *slamming* (9,0 rata-rata)
- V_{br}^2 kecepatan relatif vertical Haluan ekstrim
- DM *cumulative fatigue damage*
- NL total asumsi jumlah siklus untuk 20 tahun
- Ni jumlah siklus hasil analisis
- TL rencana jumlah siklus untuk 20 tahun (1.0×10^8)
- L panjang struktur yang dianalisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai *Stress* Maksimum

Setelah simulasi dilaksanakan dengan *software* Ansys, berikut diperoleh data nilai *stress* maksimum yang diterima oleh model struktur akibat beban yang diberikan.



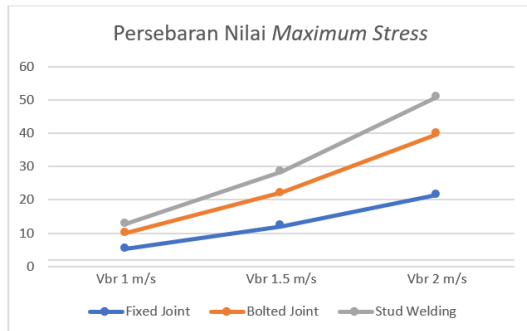
Gambar 5. Nilai *maximum stress* pada simulasi

Tabel 1: Nilai *stress* maksimum pada masing-masing pembebanan

Variasi Sambungan	Variasi V_{br} <i>Slamming</i> (M/s)	Nilai <i>Stress</i> Maksimum (MPa)
<i>Fixed Joint</i>	1	5,35
	1.5	11,98

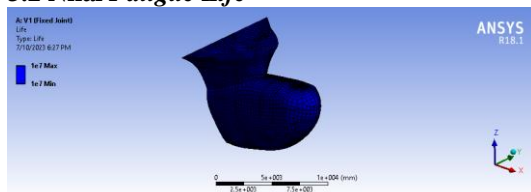
(sambungan pengelasan)	2	21,4
Sambungan mur-baut	1	9,94
	1.5	22,27
	2	39,79
Sambungan Stud Welding	1	12,75
	1.5	28,56
	2	51,03

Dari nilai tegangan maksimum tersebut kemudian dapat dibuat grafik nilai persebarannya sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik persebaran nilai maksimum stress pada setiap variasi

3.2 Nilai Fatigue Life



Gambar 7. Jumlah siklus struktur hasil simulasi

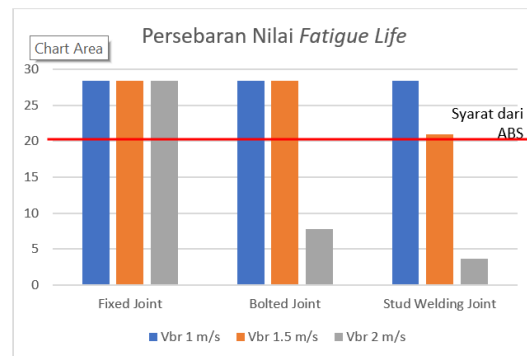
Setelah kita ketahui bahwa umur konstruksi bagian struktur kapal berbanding terbalik dengan nilai DM (*cumulative damage*) yang telah diketahui, semakin tinggi nilai DM maka semakin rendah umur konstruksi tersebut. Sesuai *ABS Guide for Fatigue Assessment of Offshore Structures (2020)* dengan *design life* sebesar 20 tahun, untuk memenuhi kriteria tersebut maka nilai DM tidak boleh lebih dari sama dengan 1. Ketika suatu konstruksi memiliki nilai DM lebih dari sama dengan 1 maka konstruksi tersebut tidak dapat dikatakan memenuhi kriteria umur 20 tahun.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variasi yang digunakan untuk menentukan nilai *fatigue life bulbous bow* kapal, yakni besaran kecepatan relative vertikal haluan ekstrim. Dengan besaran nilai 1 mm/s, 1.5 mm/s, dan 2 mm/s kemudian dapat dianalisis nilai *fatigue life* dengan menggunakan nilai *cumulative damage (DM)* serta formula *fatigue life* yang telah diketahui.

Tabel 1: Nilai *fatigue life* pada masing-masing pembebanan

Variasi Sambungan	Variasi V_{br} Slamming (M/s)	Fatigue Life (Tahun)
Fixed Joint (sambungan pengelasan)	1	28.382
	1.5	28.382
	2	28.382
Sambungan mur-baut	1	28.382
	1.5	28.382

	2	7.746
Sambungan Stud Welding	1	28.382
	1.5	20.936
	2	3.672



Gambar 8. Nilai rata-rata kekerasan (HVN)

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai tegangan tertinggi pada konstruksi *bulbous bow* terjadi pada variasi sambungan *stud welding* dengan V_{br} 2 m/s sebesar 51,035 MPa. Nilai tersebut terjadi pada bagian penampang *stud bolt*.
2. Perkiraan *fatigue life* dari penelitian ini memiliki nilai terendah sebesar 3.67265967 tahun pada struktur *bulbous bow* variasi sambungan *stud welding* dengan V_{br} 2 m/s dan 7.74 tahun pada variasi sambungan mur-baut dengan V_{br} 2 m/s. Hal tersebut sangat jauh di bawah nilai yang ditetapkan oleh *ABS Guide for Fatigue Assessment of Offshore Structures (2020)* yaitu sebesar 20 tahun. Sedangkan untuk variasi sambungan dan pembebanan selain yang disebutkan di atas memiliki prediksi *fatigue life* di atas 20 tahun sesuai dengan syarat minimum dari ABS.
3. Penerapan sambungan *knock down* kurang tepat untuk diterapkan pada pemasangan struktur *bulbous bow* pada *existing ship* dibuktikan dengan variasi sambungan mur-baut dengan V_{br} 2 m/s serta sambungan *stud welding* dengan V_{br} 2 m/s yang memiliki perkiraan *fatigue life* kurang dari 20 tahun. Hal ini belum memenuhi syarat minimum yang ditetapkan oleh *ABS Guide for Fatigue Assessment of Offshore Structures (2020)* yaitu sebesar 20 tahun.

5. SARAN

Saran-saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang serupa adalah sebagai berikut:

1. Untuk dapat mendekati kondisi asli di lapangan, penelitian dapat dikembangkan dengan permodelan dibuat secara utuh.

2. Menggunakan *software* Solidworks untuk pembuatan model dan proses analisisnya.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam jurnal ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sangat besar kepada:

1. Kedua orang tua saya, serta seluruh keluarga.
2. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Ruddianto, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal dan Dosen Pembimbing 2 yang selalu meluangkan waktu dan memberikan saran dan ilmu kepada penulis.
4. Bapak M. Syaiful Amri, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pengelasan.
5. Bapak Mukhlis, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengelasan.
6. Bapak Muhammad Ari, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu memberikan masukan dan memudahkan jalannya penulis dalam melakukan penelitian.
7. Seluruh pihak PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia dalam menyelesaikan penelitian ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Pengelasan Angkatan 2019.
9. Seluruh pihak yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung selama pengerjaan jurnal.

7. PUSTAKA

- [1] Bureau of Shipping, A. (2020). *Guide for Fatigue Assessment Of Offshore Structures 2020*. www.eagle.org
- [2] Muzdalifah, L., Chrismianto, D., & Hadi, S. (2016). ANALISIS KESELAMATAN KAPAL FERRY RO-RO DITINJAU DARI DAMAGE STABILITY PROBABILISTIK. In *Jurnal Teknik Perkapalan* (Vol. 4, Issue 2).
- [3] Puspitorini, A. (2017). *Analysis of Residual Fatigue Life on UW-Pro Platform Using Cummulative Damage and Fracture Mechanics Methods*.
- [4] Santosa, B. (2013). Kekuatan Memanjang Kapal. In B. Santosa (Ed.), *Kekuatan Memanjang Kapal*. Fakultas Teknologi Kelautan.
- [5] Sofi', M., & Djaja, I. K. (2008). *TEKNIK KONSTRUKSI KAPAL BAJA JILID 1: Vol. Jilid 1*. Departemen Pendidikan Nasional.