

Analisis Kekuatan dan Umur Kelelahan (*Fatigue Life*) Terhadap Pondasi Crane SWL 3,6 Ton pada Kapal LCT 31 Meter dengan Metode FEM (*Finite Element Method*)

Achmad Masykurozi^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Benedicta Dian Alfanda¹

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D4 Teknik Perpipa-an Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Email: achmadmasykurozi@student.ppns.ac.id^{1*}; adi_wirawan@ppns.ac.id; benedictadian@ppns.ac.id

Abstract – LCT is are transport vessels that can approach platforms and jetties. LCT vessels are equipped with cranes to facilitate the delivery and transfer of accommodation needs on the ship. Therefore, it is necessary to plan a crane foundation that can withstand the weight of the crane itself and the load lifted by the crane. The 31-meter LCT ship suffered damage to the crane foundation due to static loads, so it is necessary to replace the new crane foundation. In this Final Project, we will analyze the strength and fatigue life of the 3.6 ton SWL crane foundation on a 31-meter LCT ship in order to minimize the risk of work accidents and estimate the fatigue life of the new crane foundation. To complete this Final Project, the method used is the finite element method by creating a model in AutoCAD 2016 software and analyzing it in the finite element method software. The results of the analysis show that the von mises stress that occurs is 124.53 MPa, while the maximum deflection that occurs is 1.54 mm and the safety factor value is 1.525. These stresses and deflections are in accordance with BKI rules because they do not exceed the allowable stress of 190 MPa and the allowable deflection of 2.75 mm. And for the estimated fatigue life of the crane foundation of 28.62 years.

Keyword : LCT Ship, Crane Foundation, Fatigue, Finite Element Method.

Nomenclature

σ	= Tegangan
δ	= Defleksi
k	= Faktor material
l	= Panjang yang tidak ditumpu
L	= Panjang pondasi crane
SF	= Safety factor
DM	= Cumulative fatigue damage
NL	= Total jumlah asumsi siklus 25 tahun
Ni	= Jumlah siklus hasil analisis
TL	= $7,884 \times 10^9$
ReH	= Yield stress

1. PENDAHULUAN

Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) merupakan kapal pengangkut dengan kemampuan untuk melakukan *approach* ke *platform* dan *jetty*, sehingga dapat memudahkan dalam melakukan pengiriman atau pemindahan kebutuhan akomodasi untuk kegiatan operasi. Pondasi crane merupakan bagian penting dari kapal yang bertugas untuk menopang dan menahan berat dari crane (alat angkat) pada saat melakukan operasi. Besarnya sebuah crane yang dipasang di kapal tergantung seberapa kuat pondasi dari crane itu sendiri. Pondasi crane harus memiliki kekuatan dan daya tahan yang baik sehingga mampu mengangkat crane dan beban yang diangkat crane dengan baik dan juga untuk memastikan kinerja yang optimal dan meminimalkan risiko kerusakan.

Penelitian yang pernah dilakukan tentang analisis kekuatan struktur *deck* akibat

penambahan pondasi crane pada kapal bantu rumah sakit [1]. Pada penelitian ini, membandingkan 4 variasi ukuran pondasi crane meninjau hasil analisis berupa tegangan dan deformasi maksimal saja. Kemudian penelitian yang pernah dilakukan mengenai kekuatan pondasi *turntable* akibat adanya beban operasional menggunakan metode elemen hingga [2]. Dan metode yang digunakan adalah metode elemen hingga dapat diketahui karakteristik dan letak tegangan terbesar dari struktur berdasarkan pembebanan. Dengan metode elemen hingga, penelitian terdahulu melakukan analisis tentang kekuatan dan perhitungan *fatigue life* pondasi boat crane aluminium pada kapal Patroli Kelas III [3]. Dengan fokus permasalahan pada beban yang akan diterima, dapat diketahui hasil tegangan tersebut masih memenuhi syarat dari *class* dan berapa estimasi umur dari pondasi atau tidak.

Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan membahas tentang analisis kekuatan dan umur kelelahan (*fatigue life*) terhadap pondasi crane SWL 3,6 ton pada kapal LCT 31 meter ini menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*). Sehingga dapat mengetahui batas maksimal beban yakni deformasi maksimal dan tegangan maksimal yang mampu ditahan oleh pondasi crane. Dan juga didapatkan umur kelelahan (*fatigue life*) dari pondasi crane tersebut.

2. METODOLOGI .

2.1 Simulasi dengan Software FEM

Pada tahap ini dilakukan penginputan data berupa proses pemilihan material pada menu *engineering data*. Kemudian input file geometri dari model 3D pondasi *crane*. Sebelumnya akan dilakukan pemodelan 3D *crane* menggunakan *software* 3D terlebih dahulu dengan berdasarkan data spesifikasi *floating pedestal crane*. Langkah selanjutnya dilakukan proses *meshing* dengan cara membagi setiap struktur menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen. Kemudian menentukan letak *fix support* atau *boundary condition* serta arah pembebanan pada model yang telah dibuat. Beban yang digunakan diambil beban statis yaitu beban bobot mati *crane* ditambah beban SWL *crane*. Setelah itu hasil simulasi yang akan diperoleh yaitu nilai tegangan maksimum, deformasi maksimum, *safety factor*, dan juga *fatigue life*.

2.2 Perhitungan Tegangan Ijin

Tegangan adalah suatu ukuran insentitas pembebanan yang dinyatakan oleh gaya dibagi oleh luas di tempat gaya tersebut bekerja [4]. Tegangan ijin adalah tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang berlangsung tak terbatas lamanya pada suatu elemen, tanpa mengakibatkan terjadinya kepatahan maupun perubahan bentuk yang menuju ke kerusakan [5]. Maka persamaan syarat aman yang menyatakan bahwa tegangan yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan ijin (*allowable stress*) [6]. Berdasarkan Rules BKI Volume II Section 5, untuk menghitung tegangan ijin digunakan Persamaan 1.

$$\sigma_v = \frac{190}{k} \quad (1)$$

Tegangan ijin ini berbeda di tiap material yang digunakan, karena tiap material memiliki nilai faktor tersendiri Berdasarkan Rules BKI Volume II Section 2, nilai faktor material (k) adalah faktor nilai material berdasarkan nilai *yield stress*. Baja struktur lambung kekuatan normal dikelompokkan dalam tingkat mutu material KI-A, KI-B, KI-D, KI-E, yang berbeda satu dengan lainnya pada sifat ketangguhannya. Normalnya material struktur lambung memiliki faktor k senilai 1 (k=1) dengan kata lain material tersebut memiliki minimal *titik yield* sebesar 235 MPa dan kekuatan tensile 400 – 520 MPa. Jika sebuah struktur memiliki *titik yield stress* kurang dari 235 MPa dapat menggunakan Persamaan 2.

$$k = \frac{235}{ReH} \quad (2)$$

2.3 Perhitungan Defleksi Ijin

Defleksi yang terjadi pada suatu material juga harus menghasilkan defleksi (lendutan) yang berada dalam batas-batas tertentu. Lendutan ini tidak boleh terlalu besar sampai melebihi batas defleksi yang diijinkan [7]. Berdasarkan BKI Volume II Section 21 mengenai nilai defleksi ijin

penumpu akibat beban bisa dilihat pada Persamaan 3.

$$\delta_{Izin} = \frac{l}{200} \quad (3)$$

2.4 Faktor Keamanan

Faktor keamanan atau *safety factor* adalah faktor yang digunakan untuk mengetahui aman tidaknya suatu material untuk digunakan setelah material tersebut mendapat gaya ataupun beban [8]. Nilai *safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

$$SF = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{actual}} \quad (4)$$

2.5 Kelelahan (Fatigue)

Kelelahan atau *fatigue* merupakan fenomena akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklik atau berulang [9]. Banyak bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menyimpannya selama masa operasinya. Biasanya amplitudo beban pada tiap *cycle* tidak cukup besar untuk membuat sebuah struktur mengalami kegagalan. Namun kegagalan dapat terjadi ketika akumulasi kerusakan yang dialami oleh struktur mencapai suatu level yang kritis. Perhitungan menggunakan teori Palmgren Miner untuk menghitung *cumulative fatigue damage*. Ketika *cumulative fatigue damage ratio* (DM) nilainya lebih dari 1, artinya struktur tersebut tidak dapat digunakan. Nilai DM dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$DM = \frac{NL}{N_i} \quad (5)$$

Nilai NL diperoleh dari Persamaan 6.

$$NL = \frac{0,85 TL}{4 \log L} \quad (6)$$

Setelah nilai *fatigue damage* diketahui, maka umur dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM} \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

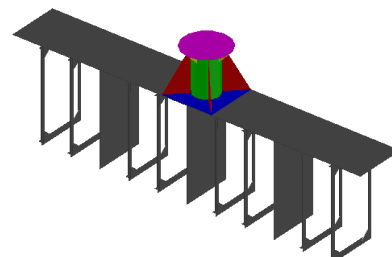
3.1 Spesifikasi Crane

Pada penelitian ini *crane* yang digunakan pada kapal LCT yaitu menggunakan *floating pedestal crane*. Berikut adalah data utama dari *floating pedestal crane*, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Floating Pedestal Crane

Tipe	Floating Pedestal Crane
Manufacture	Credence Offshore
SWL	3,6 ton
Weight	3000 kg
Horizontal Outreach	9,89 m

3.2 Pemodelan 3D Pondasi Crane



Gambar 1. Pondasi Crane

Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan *software AutoCAD 2016* berdasarkan dari data lampiran gambar *crane foundation*. Desain 3 dimensi pondasi *crane* dimodelkan pada *floating pedestal crane* dan konstruksi frame nomor 24-25 yang merupakan daerah disekitar *floating pedestal crane*. Pemodelan 3D pondasi *crane* dapat dilihat pada Gambar 1.

3.3 Perhitungan Beban

Perhitungan untuk mencari beban dengan massa *crane* dan beban maksimum yang dapat diangkat oleh *crane* (3600 kg) adalah :

$$W = m \times g$$

$$W = 3600 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 35316 \text{ N}$$

Untuk mencari momen beban dengan panjang lengan *boom* maksimum *crane* sebesar 9.89 m adalah :

$$M = W \times l$$

$$M = 35316 \text{ N} \times 9.89 \text{ m}$$

$$M = 349275.24 \text{ N.m}$$

3.4 Hasil Simulasi dengan Software FEM

A. Nilai Tegangan Ijin

Perhitungan nilai tegangan ijin untuk struktur pondasi *crane* berdasarkan Rules BKI 2022 volume II section 2, nilai faktor k untuk nilai ReH (*yield strength*) material. Nilai tersebut bisa didapatkan dari Persamaan 2.

Dimana :

$$k = \frac{235}{ReH}$$

$$k = \frac{235}{235}$$

$$k = 1$$

Dari ketentuan diatas menurut Biro Klasifikasi Indonesia 2022 Volume II Rules for Hull Section 5, bahwa tegangan ekuivalen yang terjadi pada struktur kapal tidak boleh melebihi σ_v yang dapat dilihat pada Persamaan 1.

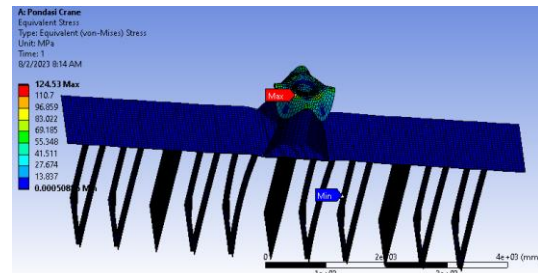
$$\sigma_v = \frac{190}{k}$$

$$\sigma_v = \frac{190}{1}$$

$$\sigma_v = 190 \text{ MPa}$$

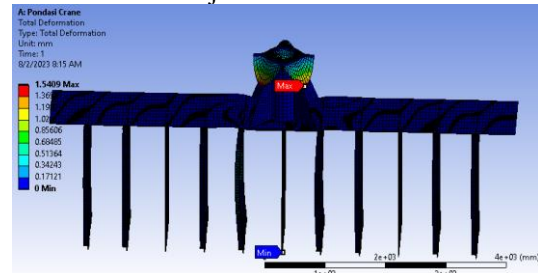
Berdasarkan hasil perhitungan di atas, bahwa ditetapkan nilai tegangan ijin (*Allowable Stress*) sebesar 190 MPa. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai acuan dasar kriteria penerimaan bahwa nilai tegangan maksimum tidak boleh lebih besar dari nilai tegangan ijin.

Hasil simulasi menggunakan *software finite element method* didapatkan nilai berupa tegangan maksimum sebesar 124.53 MPa dan tegangan minimum sebesar 0.000508 MPa. Maka dapat dikatakan tegangan *von mises* yang terjadi pada pondasi masih di bawah dari tegangan ijin dan memenuhi kriteria dari BKI. Berikut merupakan hasil analisis *software* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Simulasi Tegangan Maksimum

B. Nilai Defleksi Ijin



Gambar 3. Hasil Simulasi Defleksi Maksimum

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2022) Volume II Section 21 mengenai nilai defleksi ijin penumpu akibat beban bisa dilihat pada Persamaan 3.

$$\delta_{Izin} = \frac{l}{200}$$

$$\delta_{Izin} = \frac{550}{200}$$

$$\delta_{Izin} = 2.75 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, bahwa ditetapkan nilai defleksi ijin sebesar 2.75 mm. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai acuan dasar kriteria penerimaan bahwa nilai defleksi maksimum tidak boleh lebih besar dari nilai defleksi ijin.

Hasil simulasi menggunakan *software finite element method* didapatkan nilai berupa defleksi maksimum sebesar 1.53 mm dan defleksi minimum sebesar 0.17 mm. Maka dapat dikatakan defleksi maksimum yang terjadi pada pondasi masih di bawah dari defleksi ijin dan memenuhi kriteria dari *class* BKI. Berikut merupakan hasil analisis *software* ditunjukkan pada Gambar 3.

3.5 Perhitungan Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan atau biasa disebut *safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

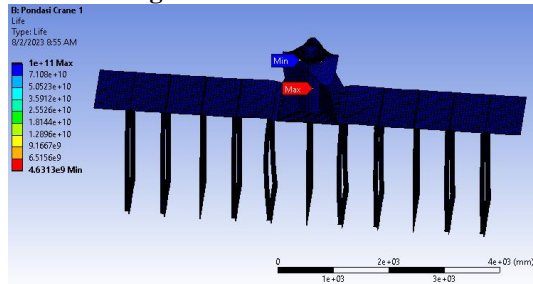
$$SF = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{actual}}$$

$$SF = \frac{190}{124.53}$$

$$SF = 1.525$$

Berdasarkan rumus perhitungan faktor keamanan di atas, didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.525. Hasil faktor keamanan tersebut masih memenuhi nilai faktor keamanan berdasarkan *rules* yaitu lebih besar dari 1.

3.6 Perhitungan Umur Kelelahan



Gambar 4. Hasil Analisis *Fatigue Life*

Untuk memperoleh nilai *cumulative damage* (DM) pada analisis diperlukan jumlah kejadian (*cycle*) yang didapatkan dari hasil analisis pada *software*. Hasil dari perhitungan ini kemudian akan digunakan untuk menghitung perkiraan (*fatigue life*) yang terjadi pada pondasi *crane*. Berikut merupakan hasil analisis *cumulative damage* pada pondasi *crane* dengan material *Mild Steel* KI-A36 dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil analisis pada pondasi *crane* dengan material *Mild Steel* KI-A36 memiliki jumlah Maximum life cycle yaitu $1E+11$ dan Minimum life cycle sebesar $4.6313E+9$. Data nilai cycle tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung *cumulative damage* dengan Persamaan 5, sebelum itu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai NL dengan Persamaan 6.

$$NL = \frac{0,85 TL}{4 \log L}$$

$$NL = \frac{0,85 \times 7,884 \times 10^8}{4 \log 1.1}$$

$$NL = 4045400760$$

Maka nilai DM :

$$DM = \frac{NL}{N_i}$$

$$DM = \frac{4045400760}{4.6313E+9}$$

$$DM = 0.87349$$

Setelah nilai DM diketahui, maka umur kelelahan pondasi crane dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 7, dengan desain umur 25 tahun sesuai dengan Common Structural Rules (CSR, 2012).

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM}$$

$$Fatigue\ Life = \frac{25}{0.87349}$$

$$Fatigue\ Life = 28.62\ tahun$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh perkiraan *fatigue life* sebesar 28.62 tahun. Jadi dapat disimpulkan bahwa *fatigue life* pondasi *crane* dengan material *Mild Steel* KI-A36 memenuhi persyaratan CSR 2012 dengan minimal umur 25 tahun.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian kekuatan dan kelelahan terhadap pondasi crane SWL 3.6 ton pada kapal LCT 31 meter dengan *Finite Element Method* dengan input 3D modeling pondasi crane beserta pembebanan statis ditambah beban SWL

crane. Hasil penelitian dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 124.53 MPa dengan nilai tegangan ijin sebesar 190 MPa, sedangkan deformasi maksimum yang terjadi adalah 1.54 mm dengan nilai defleksi ijin sebesar 2.75 mm. Dan untuk perkiraan umur kelelahan pondasi mesin induk sebesar 28.62 tahun

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas atas bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, serta do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan penelitian.
3. Ibu Benedicta Dian Alfanda, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan penelitian.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
5. Teman – teman seperjuangan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal angkatan 2019 atas kerjasama dan kekompakan selama menempuh studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. PUSTAKA

- [1] W. A. Zahiroh, "ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR DECK AKIBAT PENAMBAHAN PONDASI CRANE PADA KAPAL BANTU RUMAH SAKIT," Undergraduate Thesis of PPNS, 2020.
- [2] A. A. Rizkia, "ANALISIS KEKUATAN PONDASI TURNTABLE AKIBAT ADANYA BEBAN OPERASIONAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," Undergraduate Thesis of PPNS, 2019.
- [3] S. Sulton, "ANALISIS KEKUATAN DAN PERHITUNGAN FATIGUE LIFE PONDASI BOAT CRANE ALUMINIUM PADA KAPAL PATROLI KELAS III," Undergraduate Thesis of PPNS, 2021.
- [4] M. Iremonger, In Dasar Analisa Tegangan, Jakarta: UI-Press, 1990.
- [5] G. F. Riyantika, "ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI GELADAK TERHADAP PENAMBAHAN PONDASI CRANE PADA KAPAL AKIBAT ADANYA BEBAN OPERASIONAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," Undergraduate Thesis of PPNS, 2020.

- [6] Biro Klasifikasi Indonesia, Volume II Rules for Hull, Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2021.
- [7] B. S. Suharwanto, “ANALISIS DEFLEKSI BATANG LENTUR MENGGUNAKAN TUMPUAN JEPIT DAN ROLPADA MATERIAL ALUMINIUM 6063 PROFIL U DENGAN BEBAN TERDISTRIBUSI,” *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, pp. 50-58, 2015.
- [8] N. F. H. I. P. M. Hartono Yudo, “Analisa Kekuatan Struktur Stern Ramp Door KM.Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vols. Vol 5, No. 1, pp. 181 - 188, 2017.
- [9] Sumardiono, “PERKIRAAN UMUR KELELAHAN (Fatigue Life) KONSTRUKSI FSO (Floating Storage and Offloading) DENGAN METODE SPECTRAL-BASED FATIGUE ANALYSIS,” Undergraduate Thesis of ITS, 2015.