Analisis Kekuatan Struktur Deck Akibat Penambahan Boat Crane Pada Kapal Fast Utility Vessel 40 M Dengan Metode Fem Analysis

M. Fendy Firmansyah. 1[1,*)], Erifive Pranatal[1)]
[1)]Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
[*)]email: fendyfirmansyah17@gmail.com

ABSTRACT
This study aimed to analyse the strength of the deck structure on a 40-meter Fast Utility Vessel caused by the addition of a boat crane on the ship. The researcher used the Finite Element Method (FEM) analysis method. This research method allowed the researcher to identify and evaluate the stress distribution and deformation of the ship's deck structure. There were several scopes in this study, such as three-dimensional finite element modelling of the deck structure and boat crane and determination of boundary conditions and relevant working loads. The analysis results showed that the addition of the boat crane has a significant effect on the strength and stability of the deck structure. The researcher also identified critical areas and recommendations for strengthening the structure to ensure the overall safety and performance of the ship.
Keywords*: Fast Utility Vessel, Finite Element Method (FEM), Stress Distribution, Deformation, Structure Stability*

ABSTRAK
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur dek pada kapal *Fast Utility Vessel* sepanjang 40 meter akibat penambahan *boat crane.* Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah *Finite Element Method* (FEM) yang memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi distribusi tegangan serta deformasi pada struktur dek kapal. Studi ini mencakup pemodelan elemen hingga tiga dimensi dari struktur dek dan *boat crane*, serta penentuan kondisi batas dan beban kerja yang relevan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan *boat crane* memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan dan stabilitas struktur dek. Identifikasi area kritis dan rekomendasi perkuatan struktur juga disertakan untuk memastikan keselamatan dan kinerja kapal secara keseluruhan.
Kata kunci: *Fast Utility Vessel, Finite Element Method (FEM), Distribusi Tegangan, Deformasi, Stabilitas Struktur*

LATAR BELAKANG

Struktur bangunan kapal harus dirancang untuk menahan beban dari segi keamanan, kenyamanan, kemudahan, dan keselamatan manusia serta barang yang dimuatnya (Eyres & Bruce, 2012). Penentuan jenis profil penegar pada pelat berdasarkan peraturan klasifikasi tidak ditentukan secara pasti, selama perhitungan beban dan modulusnya memenuhi batas yang diijinkan (Bruce, 2020). Kekuatan struktur konstruksi sangat mempengaruhi tingkat keamanan kapal, baik di kondisi laut tenang maupun bergelombang (Astuti, 2012). Dalam sebuah sistem konstruksi, kekuatan merupakan struktur terpenting dalam sebuah kapal sebab fungsi struktur tersebut adalah untuk menjamin keselamatan daripada awak kapal, penumpang, dan muatannya. Konstruksi geladak tank menerima beban statis dan dinamis yang dipengaruhi oleh percepatan akibat dinamika kapal (Brennan, 2007).

Konstruksi kapal tidak hanya dirancang untuk menahan gaya-gaya eksternal, tetapi juga untuk memenuhi tujuan keselamatan, termasuk muatan dan keselamatan orang di kapal (Misra, 2015). Proses konstruksi kapal di galangan kapal diawali dengan desain, peletakan lunas, konstruksi rangka, geladak, anjungan, dan kulit kapal, dilanjutkan dengan peluncuran dan *finishing* (Storch et al., 1995). Teknik pengelasan yang tepat sangat penting dalam pembuatan struktur kapal yang kuat dan tahan lama, karena kegagalan pengelasan dapat menyebabkan kegagalan struktural pada kapal (Wiryosumarto & Okumura, 2000). Pemilihan material yang tepat dan desain konstruksi yang efisien sangat penting dalam pembuatan kapal yang kuat dan tahan lama (Kalpakijan & Schmid, 1985).

Memeriksa analisis kekuatan struktur dek crane berkapasitas besar menggunakan metode elemen hingga. Studi ini menunjukkan pentingnya analisis FEM untuk memahami distribusi tegangan pada berbagai beban struktural yang kompleks dalam rangkaian struktur kelautan (Abdullah et al., 2023).

Mengevaluasi efek beban dinamis pada kapal kargo menggunakan metode elemen hingga untuk mengoptimalkan desain struktur yang mampu menahan beban berlebih, yang relevan dalam konteks beban crane dek pada kapal kargo atau crew boat (Ertas, Alkan, dan Yilmaz, 2014)
Dalam software FEM *analysis*, pengguna dapat menggunakan modul Analisis dan Simulasi untuk melakukan analisis FEM pada model 3D yang telah dibuat. Modul ini memiliki beberapa fitur yang memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi termal, dinamis, kelelahan, dan analisis tegangan. Dalam melakukan analisis FEM, pengguna dapat memilih jenis elemen, jenis beban, dan batasannya, serta menghitung tegangan, deformasi, dan lain-lain. Berdasarkan uraian diatas penulis akan melakukan analisis kekuatan struktur dek dibawah *crane* pada kapal Fast Utility Vessel 40M. Kapal tersebut menggunakan sistem konstruksi memanjang.

TINJAUAN PUSTAKA

FUV (Fast Utility Vessel)

Kapal Fast Utility Vessel (FUV) adalah jenis kapal yang dirancang khusus untuk memberikan dukungan logistik dan transportasi cepat dalam operasi maritim. FUV biasanya memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal-kapal perang besar, tetapi tetap mampu mengangkut kargo dan personel dengan efisiensi tinggi.
Fungsi utama dari kapal Fast Utility Vessel adalah sebagai berikut:

1. Transportasi personel: FUV dapat mengangkut personel militer atau sipil dengan cepat dan efisien dari satu tempat ke tempat lain. Kapal ini dilengkapi dengan area kabin yang dapat menampung penumpang dengan nyaman, serta fasilitas keselamatan yang memadai.
2. Angkutan kargo: FUV mampu mengangkut berbagai jenis kargo seperti persediaan logistik, peralatan militer, bahan bakar, air, atau peralatan lainnya. Mereka dilengkapi dengan ruang kargo yang fleksibel dan sistem pemindahan kargo yang efisien.
3. Dukungan operasi: FUV sering digunakan untuk memberikan dukungan operasional di daerah yang sulit dijangkau oleh kapal-kapal besar. Mereka dapat menyediakan pasokan logistik, bantuan medis, pemulihan personel, dan peralatan di zona konflik, misi kemanusiaan, atau operasi penyelamatan.
4. Patroli dan pengawasan: FUV juga dapat digunakan untuk tugas patroli dan pengawasan di perairan teritorial atau zona ekonomi eksklusif. Mereka dapat dilengkapi dengan sistem radar, sensor, dan senjata ringan untuk mendukung misi pengawasan dan penegakan hukum maritim.
5. Penyelamatan dan evakuasi: Dalam situasi darurat, FUV dapat digunakan untuk operasi penyelamatan dan evakuasi cepat. Mereka dapat mencapai lokasi yang terisolasi dengan cepat dan membantu dalam menyelamatkan orang-orang yang terjebak di laut atau daerah bencana.

Pembebanan Pada Konstruksi Kapal

Secara umum, beban yang diterima kapal dapat kita golongkan menjadi beban statis (tetap), beban statis semu (quasi statis), beban dinamis.

Beban Statis

Beban statis adalah beban yang tidak berubah besarnya maupun arahnya atau beban yang perubahannya sedikit sekali. Yang termasuk dalam jenis beban ini adalah :

a) Beban akibat perubahan tekanan air keatas pada air yang bergelombang. jika kecepatan maju kapal searah dan hampir sama besarnya dengan kecepatan maju gelombang.
b) Beban yang dialami pada saat kapal diluncurkan.
c) Beban akibat dorongan baling-baling dan porosnya pada beban kapal sewaktu kapal berlayar.
d) Beban tarik pada waktu kapal ditunda dan lain-lain.

Beban Dinamis

Beban Dinamis dalam hal ini perubahan terjadi dengan cepat, beban yang berubah dengan cepat ini disebut beban dinamis. Dalam hal ini, beban yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh akibat gaya tarik bumi saja, tetapi juga beban inersia.

Beban inersia adalah beban yang timbul akibat massa kapal dan muatannya mendapatkan percepatan yang bukan percepatan gaya tarik bumi (Spyrou & Papanikolaou, 1999). Pada umumnya beban dinamis menimbulkan getaran, baik pada badan kapal secara menyeluruh maupun pada bagian seperti sekat, pelat sisi dan sebagainya. Yang termasuk beban jenis ini adalah:

a) Beban damparan damparan ombak pada anak kapal bergerak maju dengan cepat melawan arah gelombang.
b) Beban yang terjadi waktu tubrukan.
c) Beban yang terjadi pada saat benturan dengan kapal lain atau dermaga.
d) Beban dinamis ini lebih berbahaya daripada beban statis maupun beban statis semu, sebab dapat menimbulkan retak atau patah akibat kelelahan materialnya.

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode numerik yang menggunakan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Pemecahan masalah metode elemen hingga yaitu membagi system besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang disebut elemen hingga (Logan, 2007). Obyek baik berupa luasan (2D) maupun volume (3D) dipecah menjadi elemen kecil-kecil kemudian dengan memasukan nilai batasan (secara umum pada permukaan) dan nilai awal (sebagai trial and error) pada rumus-rumus yang ada (misalnya persamaan diferensial). Perhitungan seperti itu dilakukan berulang-ulang (iterasi) sehingga diperoleh hasil yang tepat (masuk toleransi) (Gopalakrishnan et al., 2008).

RINA Classification

Pada tahun 1861 di Genoa awal mula didirikan sebuah rules classification yang disebut dengan nama RINA (Registro Italiano Navale), oleh "della Associazione Mutua Assicurazione Marittima" (Mutual Marine Asosiasi Asuransi) oleh para manager kapal dan pemilik kapal (Pemegang saham kapal) dengan tujuan sebagai perlindungan terhadap risiko kerugian dan atau kerusakan pada kapal dalam proses pembuatan hingga berlayarnya kapal, sebagai bentuk pemenuhan kebutuhan operator maritim italia, seperti yang sudah terjadi pada negara Inggris dan Perancis.

Sejak berdirinya Registro Italiano Navale yang menjadi dukungan terhadap pembangunan ekonomi di daerah operasional khususnya pada bidang kemaritiman dan sudah lebih dari 140 tahun kemudian, pengaruh serta peranan RINA tidak berubah, akan tetapi telah dikembangkan dan diperluas guna memenuhi kebutuhan ekonomi internasional yang terus berkembang. Sebagai salah satu anggota pendiri IACS (International Association of Classification Societies) RINA secara aktif berpartisipasi dalam hal penelitian, teknis dan pembuatan aturan kelompok dalam konteks kelembagaan baik secara nasional maupun internasional. RINA menyediakan dan menawarkan pengendalian (Survey maintenance), penilaian, sertifikasi dan jasa penelitian sesuai dengan aturan nasional dan internasional yang berkaitan dengan komponen – komponen sebagai berikut: bahan material pembuatan, teknologi, desain serta melakukan kegiatan maupun tugas yang diberikan oleh pemerintah maupun otoritas lainnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi masalah bertujuan untuk memaparkan latar belakang masalah yang diangkat dalam penelitian, rumusan masalah sebagai bahan penelitian, menetapkan tujuan yang hendak dicapai, menjelaskan manfaat dari penelitian bagi beberapa pihak, dan menentukan asumsi serta batasan masalah dari masalah yang diteliti.

Studi Literatur

Literatur yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa sumber referensi seperti: Rule and regulation klasifikasi kapal, jurnal, artikel, majalah, artikel, dan sumber-sumber lainnya yang dapat dijadikan sebagai acuan.

Pengumpulan Data

Data yang didapat secara langsung maupun tidak langsung dengan melakukan pengamatan melalui berbagai sumber informasi. Data dijadikan sebagai acuan sebagai tahap perumusan dan perancangan. Data yang dibutuhkan adalah gambar General Arrangement kapal, gambar Construction Profile & Deck, spesifikasi crane, dan RINA rules.

Perancangan *Reinforment Crane*

Tahap ini adalah melakukan penambahan konstruksi untuk memperkuat konstruksi existing dibawah crane, yang kemudian akan dilakukan permodelan 3D serta dianalisa kekuatan strukturnya.

Permodelan 3D dan Analisis Menggunakan *Software*

Pada tahap ini merupakan tahap analisis teknis simulasi dari Model reinforcement dibawah *deck area crane*. Langkah - langkah permodelan 3D model hingga analisis FEM nya sebagai berikut.

a. Pembuatan model
b. Persiapan Model untuk Analisis FEM
c. Proses analisis FEM
d. Evaluasi dan interpretasi hasil

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Masalah

FUV 40 m (X) pada awalnya merupakan kapal FUV seperti pada umumnya yang memiliki fungsi untuk memberikan dukungan logistik dan transportasi cepat dalam operasi maritim dan tidak memiliki wewenang dalam hal penyelamatan di atas laut, karena kapal tersebut umumnya tidak di bekali dengan rescue boat. Namun tingginya aktivitas dan juga permintaan akan kebutuhan mengakibatkan kapal ini harus dapat beroperasi dengan fungsi yang lain. Berikut adalah main dimension dari kapal FUV 40 m.

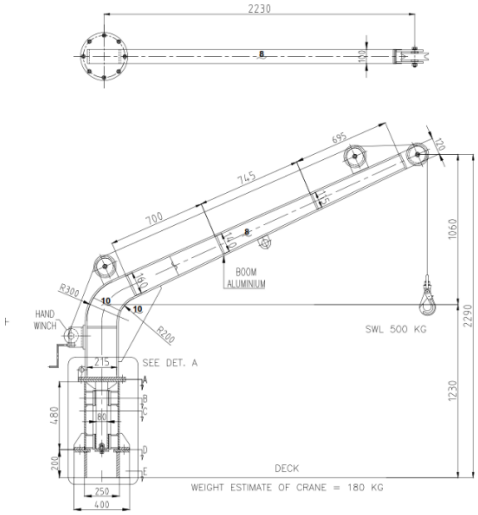
Tabel 4.1 Main Dimension Kapal FUV (X)

Main Dimension			
LOA	:	40,7	m
LPP	:	39,98	m
B	:	7,6	m
H	:	3,65	m
T	:	1,9	m
V	:	25	kn

Kapal FUV 40m (X) akhirnya mengalami penambahan rescue boat pada accommodation deck dan otomatis disertai dengan boat crane untuk aksesibilitas rescue boat itu sendiri.

Boat Crane

Sebuah boat crane pada kapal crew boat adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memindahkan rescue boat dari atas kapal turun ke lautan atau sebaliknya. Boat crane pada kapal crew boat memiliki ukuran lebih kecil dan dirancang khusus untuk kebutuhan kapal jenis ini. Spesifikasi dari boat crane pada laporan ini memiliki SWL sebesar 500 kg dengan bobot crane 180 kg menggunakan material aluminium jenis Aluminium A5083 H321. Berikut adalah gambar boat crane yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Boat crane

Checking Criteria

Proses analisis yang dilakukan terhadap tegangan maksimum pada crane, tegangan tidak boleh melebihi tegangan ijin yang telah diatur oleh klasifikasi RINA (RINA Rules, 2022). Kriteria dari RINA memiliki rumus perhitungan yang dapat dilihat pada Persamaan 4.1. berikut.

$$\sigma_{eq,am} = \frac{190}{K.f_m.f_s} \quad (4.1)$$

Dimana:

K : faktor material, $K = \frac{100}{125}$

f'_m : Koefisien, diasumsikan:

- 1,00 untuk material logam
- 2,15 untuk material aluminium alloy

f_s : koefisien safety, diasumsikan:

- 1,00 untuk kondisi pembebanan gabungan
- 1,25 untuk kondisi pemuatan di air tenang

Berdasarkan persamaan 4.1 yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil maximum stress (von mises) dari analisis tidak boleh melebihi dari nilai berikut :

$$\sigma_{eq,am} = \frac{190}{0{,}8\ .\ 2{,}15\ .\ 1{,}25} = 88{,}37\ N/mm^2 \quad (4.2)$$

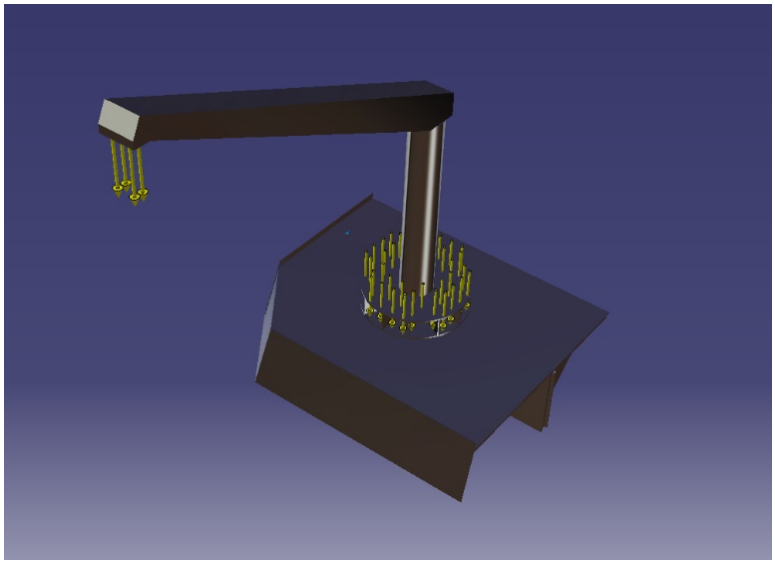
Checking Criteria

Software FEM analysis digunakan penulis untuk mengetahui nilai stress pada analisis ini. Langkah untuk sampai mendapatkan nilai stressnya sebagai berikut:

1. **Membuat 3D konstruksi**
   Konstruksi yang akan di jadikan 3D model adalah area konstruksi yang terdampak pada saat analisa dan sesuai dengan gambar *keyplan* yang digunakan sebagai acuan pembangunan kapal tersebut.
2. **Penentuan material 3D**
   Material struktur yang akan dianalisa harus dimasukkan elemen material yang akan digunakan, dimana material main structure maupun material dari crane yang digunakan adalah aluminium alloy.
3. ***Meshing***
   Tahap ini adalah untuk menentukan ukuran meshing pada struktur yang berfungsi agar 3D model yang sudah dibuat dapat di analisa oleh *software.*

4. Lokasi *Boundary Condition* dan Penerapan Beban

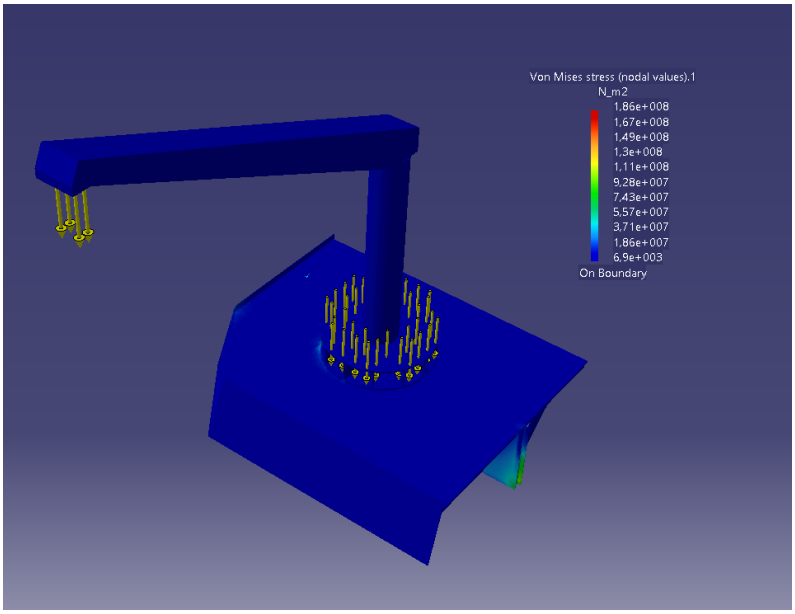
Lokasi *boundary condition* dan penerapan beban pada *boat crane* pada dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Lokasi *boundary condition* (1) dan beban (2)

5. *General Post Processing*

Dalam tahap postprocessing akan dapat diketahui hasil dari running perhitungan software sesuai dengan masing-masing kejadian variasi. Berikut adalah contoh hasil analisis yang telah dilakukan dan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Letak titik *von mises stress* dan hasil analisis

Safety Factor

Faktor keamanan atau safety factor sama dengan rasio antara kekuatan putus (lentur atau geser) dan tegangan yang diijinkan untuk suatu bahan (Law, 2015). Safety factor yang digunakan sesuai dengan Rina rules ditampilkan dalam bentuk tabel seperti berikut.

Tabel 4.2 Nilai *safety factor* berdasarkan klasifikasi RINA

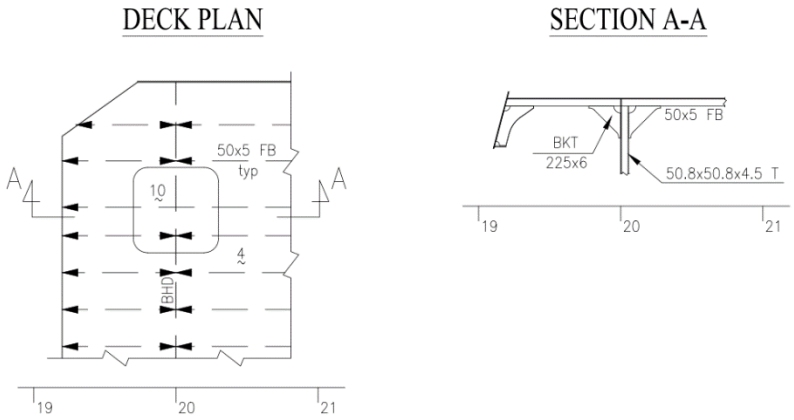
	Safety Factor
General	6
Member subject to impact load	4,5
Watertight transverse bulkheads	5
Sides and ends of superstructures and deckhouses	4
Member subjected to the testing pressure	4

Hasil Analisis *Finite Element Method*

Hasil analisis yang dilakukan berdasarkan load case yang diasumikan dengan kondisi nyata. Berikut adalah uraian hasil analisis pada boat crane yang telah dilakukan.

Load Case 1

Load case 1 adalah kondisi yang disesuaikan berdasarkan desain konstruksi awal (sebelum diperhitungkan keberadaan boat crane) dan diletakkan crane dengan beban SWLnya.



Gambar 4.4 Desain konstruksi sebelum diperhitungkan keberadaan *boat crane*

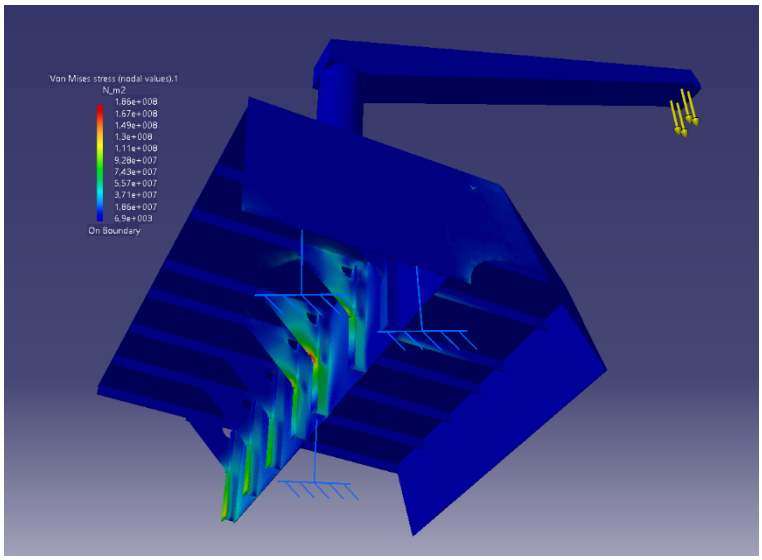
Berikut adalah hasil dari load case 1 yang ditampilkan Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil *von mises stress load case* 1

No	**Sudut Lengan *Crane***	***Von Mises Stress***	**Status**
	(°)	(N/mm²)	
1	0	186	*Fail*
2	90	29,2	*Passed*
3	-90	26,6	*Passed*

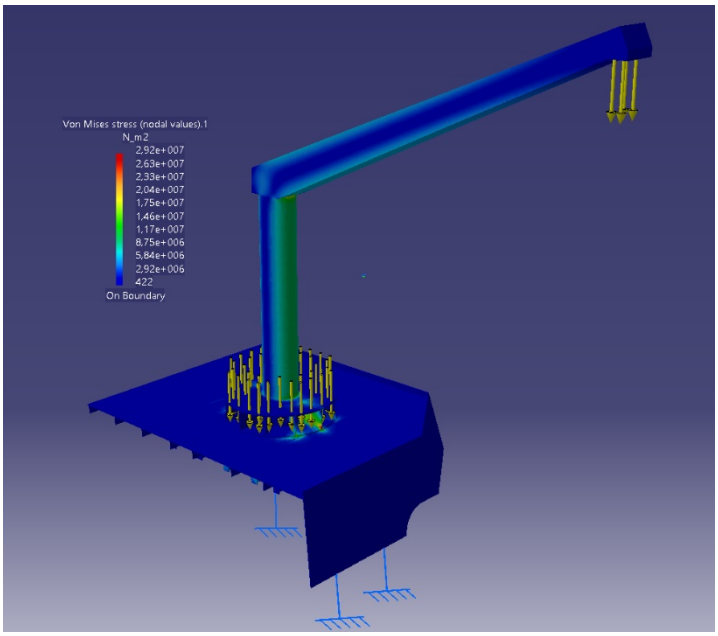
Berdasarkan hasil analisis simulasi yang telah dilakukan, hasil dari Tabel 4.3. dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Hasil analisis pada posisi lengan crane 0° didapat von mises stress sebesar 186 N/mm², maka hasilnya dianggap gagal atau fail untuk kondisi tersebut. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan 0°.



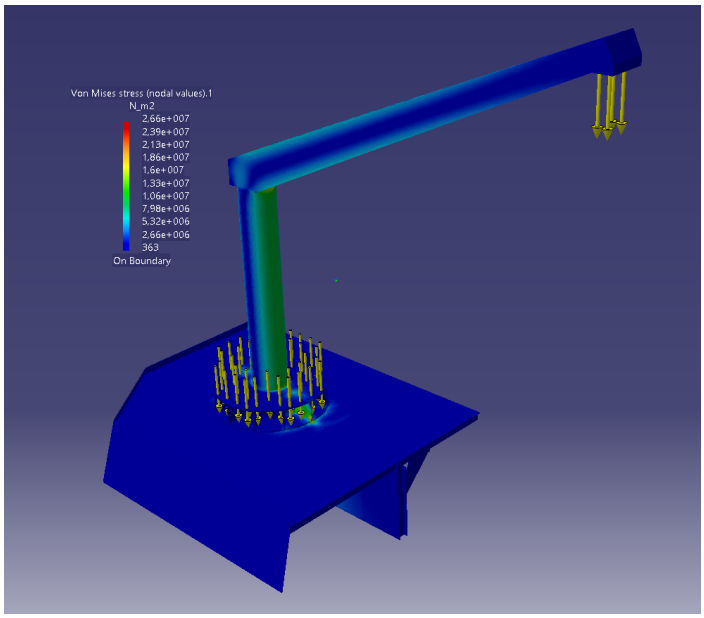
Gambar 4.5 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* 0° *load case* 1

2. Hasil analisis pada posisi lengan *crane* 90° didapat *von mises stress* sebesar 29,2 N/mm², maka hasilnya dianggap masuk dalam kriteria yang telah diatur oleh klasifikasi RINA. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan 90°.



Gambar 4.6 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* 90° *load case* 1

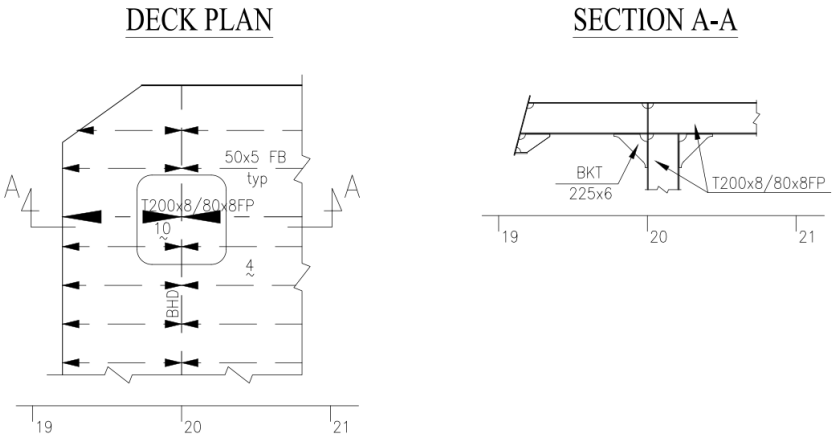
3. Hasil analisis pada posisi lengan crane -90° di dapat *von mises stress* sebesar 26,6 N/mm², maka hasilnya dianggap masuk dalam kriteria yang telah diatur oleh klasifikasi RINA. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan -90°.



Gambar 4.7 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* -90° *load case* 1

Load Case 2

Load case 2 merupakan hasil perubahan struktur yang dilakukan, karena pada kondisi *load case* 1 saat kondisi lengan berada di 0° mendapatkan *von mises stress* yang melebihi kriteria.



Gambar 4.8 Desain konstruksi setelah di berikan *reinforcement* pada struktur dibawah *boat crane*

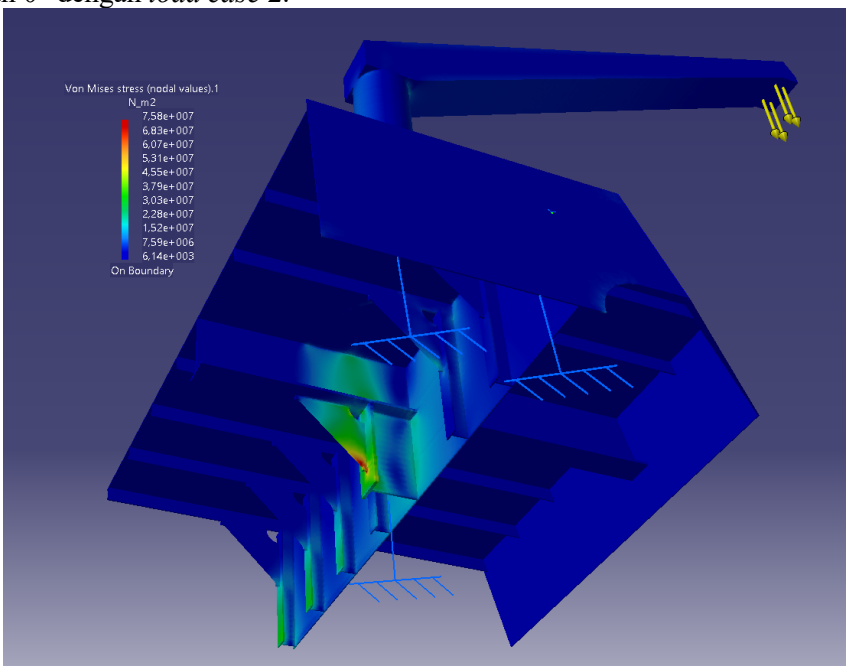
Maka dari itu, perlu dilakukan simulasi ulang dan hasil akan ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil *von mises stress load case* 2

No	**Sudut Lengan *Crane***	***Von Mises Stress***	**Status**
	(°)	(N/mm²)	
1	0	75,8	*Passed*
2	90	28,5	*Passed*
3	-90	25,5	*Passed*

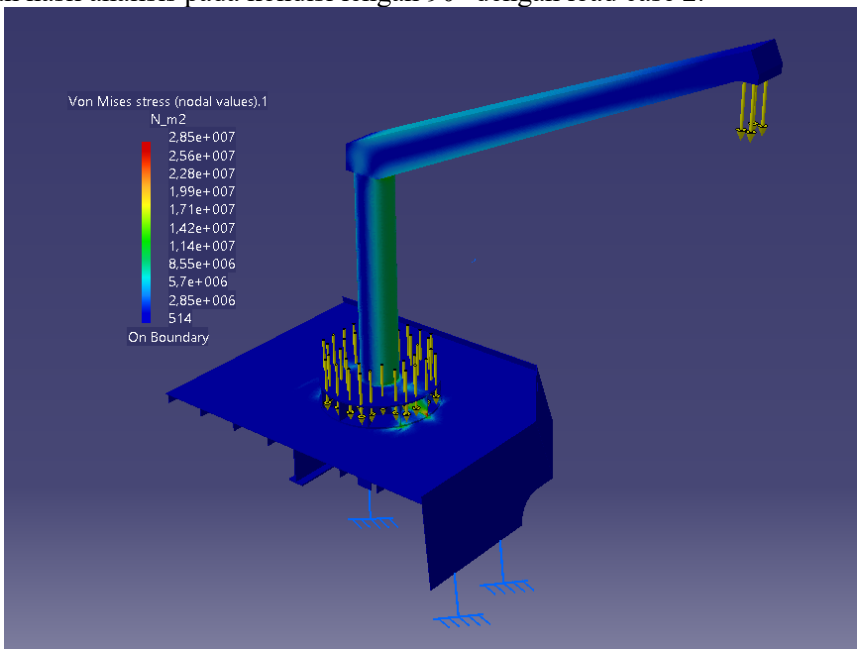
Berdasarkan hasil analisis simulasi yang telah dilakukan, hasil dari Tabel 4.4. dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Hasil analisis pada posisi lengan *crane* 0° didapat *von mises stress* sebesar 75,8 N/mm², maka hasilnya dianggap passed untuk kondisi tersebut. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan 0° dengan *load case* 2.



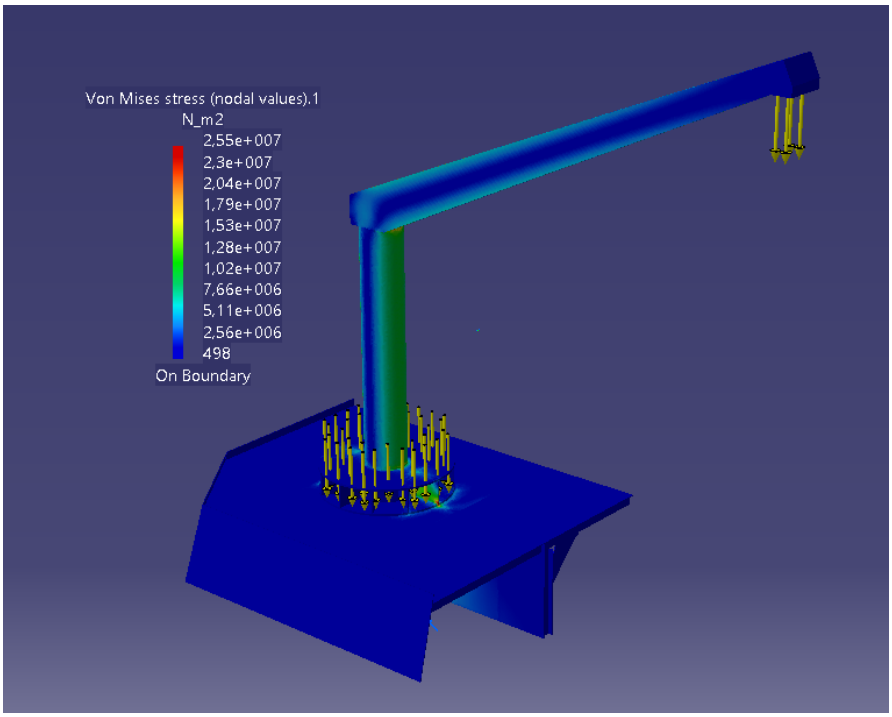
Gambar 4.9 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* 0° *load case* 2

2. Hasil analisis pada posisi lengan crane 90° didapat von mises stress sebesar 28,5 N/mm², maka hasilnya dianggap masuk dalam kriteria yang telah diatur oleh klasifikasi RINA. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan 90° dengan load case 2.



Gambar 4.10 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* 90° *load case* 2

3. Hasil analisis pada posisi lengan crane -90° didapat von mises stress sebesar 25,5 N/mm², maka hasilnya dianggap masuk dalam kriteria yang telah diatur oleh klasifikasi RINA. Berikut adalah hasil analisis pada kondisi lengan -90°.



Gambar 4.11 Hasil *von mises stress* pada kondisi lengan *crane* -90° *load case* 2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dalam penelitian ini yang berjudul "Analisis Kekuatan Struktur Deck Akibat Penambahan Boat Crane Pada Kapal Fast Utility Vessel 40 M Dengan Metode FEM Analysis" telah dilakukan uji simulasi dengan 2 kondisi load case. Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil Analisa yang telah dilakukan mendapatkan hasil *fail* pada *load case* 1 dengan kondisi lengan berada di titik 0°. Hal tersebut dipengaruhi oleh struktur konstruksi *boat crane* yang dinilai kurang kuat karena belum ada nya penambahan struktur seperti *bracket* atau *girder* yang dapat menahan tegangan yang cukup tinggi.
2. Solusi yang tepat dalam kasus ini adalah perlu adanya penambahan struktur seperti *bracket* atau *girder* di bagian bawah *deck boat crane.* Tujuan dari ini solusi ini adalah masuk dalam kriteria yang telah diberikan oleh pihak klasifikasi RINA.
3. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada *Load Case* 1 dan *Load Case* 2, dapat disimpulkan bahwa posisi lengan *crane* 0° pada *Load Case* 1 menghasilkan tegangan *von Mises* sebesar 186 N/mm², yang dianggap gagal atau tidak memenuhi syarat yang telah ditentukan. Namun, pada *Load Case* 2, tegangan *von Mises* pada posisi yang sama sebesar 75,8 N/mm², sehingga dianggap lolos atau memenuhi syarat. Posisi lengan *crane* 90° dan -90°, hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan *von Mises* yang dihasilkan pada kedua *load case* selalu berada dalam kriteria yang telah diatur oleh klasifikasi RINA, yaitu sebesar 29,2 N/mm² dan 26,6 N/mm² pada *Load Case* 1, serta 28,5 N/mm² dan 25,5 N/mm² pada Load Case 2. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa posisi lengan *crane* 90° dan -90° selalu memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, sementara posisi 0° memerlukan perhatian lebih lanjut untuk memastikan keamanan dan kepatuhan terhadap standar.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran dapat diajukan untuk penelitian mendatang:

1. Dalam menganalisa suatu struktur sebaiknya menggunakan ukuran *mesh* yang lebih kecil dan lebih banyak, karena hasil yang di dapat akan mendekati kondisi aktual.
2. Ada baiknya saat menganalisa struktur dan hasilnya *fail*, ketika melakukan *reinforcement* agar membuat beberapa opsi guna mencari hasil yang ideal dan minim penambahan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Astuti, K. P. (2012). Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan dan Regangan Beton. *Foreign Affairs*, *91*(5), 1689–1699.
[2] Brennan, M. (2007). *Mobility And Impedance Methods*.
[3] Bruce, G. (2020). Shipbuilding Management. In *Shipbuilding Management*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8975-1
[4] Eyres, D. J., & Bruce, G. J. (2012). Ship Construction. In *Ship Construction*. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-097239-8.00001-5
[5] Fish, J., & Belytschko, T. (2007). A First Course In Finite Elements. In *Choice Reviews Online* (Vol. 45, Issue 06). https://doi.org/10.5860/choice.45-3218
[6] Gopalakrishnan, Srinivasan, Chakraborty, & Abir, Roy Mahapatra, D. (2008). *Application of SFEM to SHM : Efficient*.
[7] Gourlay, T., & Lilienthal, T. (2002). Dynamic Stability of Ships in Waves. *Pacific International Maritime Conference*. http://cmst.curtin.edu.au/local/docs/pubs/gourlay_dynamic_stability_of_ships_in_waves.pdf
[8] Gregoire, A., & Craig, A. (2007). *Numerical Analysis and Optimization An Introduction to Mathematical Modelling and Numerical Simulation (Numerical Mathematics and Scientific Computation)*. Oxford University Press Inc., New York.
[9] Kalpakijan, S., & Schmid, S. R. (1985). Manufacturing processes for engineering materials. In *International Journal of Machine Tool Design and Research* (Vol. 25, Issue 1). https://doi.org/10.1016/0020-7357(85)90061-7
[10] Kaw, K. A. (2013). Mechanics of composite materials. In *The International Handbook of FRP Composites in Civil Engineering*. https://doi.org/10.1115/1.3423688
[11] Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis, FIFTH EDITION*. www.averill-law.com
[12] Logan, D. (2007). A First Course In The Finite Element Method. In *Nelson, adivision of Thomson Canada Limited.* (Vol. 4). https://doi.org/10.1016/0168-874x(87)90008-4
[13] Misra, S. C. (2015). Design principles of ships and marine structures. In *Design Principles of Ships and Marine Structures*. https://doi.org/10.1201/b19041
[14] Nagaraja, S., Elhaddad, M., Ambati, M., Kollmannsberger, S., De Lorenzis, L., & Rank, E. (2019). Phase-field modeling of brittle fracture with multi-level hp-FEM and the finite cell method. *Computational Mechanics*, *63*(6), 1283–1300. https://doi.org/10.1007/s00466-018-1649-7
[15] Popov, E. ., & Astamar, Z. (1984). *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials)* (Edisi Kedu). Penerbit Erlangga.
[16] RINA Rules. (2022). *Rules for the Classification of High-Speed Craft* (Vol. 4, Issue July).
[17] Semyonov. (1966). *Statics and dynamics of the ship*.
[18] Spyrou, K. J., & Papanikolaou, A. (1999). *Ship Design for Dynamic Stability*. *749*(18), 167–178.
[19] Storch, R. L., Hammon, C. P., Howard, M. B., & Richard, C. M. (1995). Ship Production. In *Cornel Maritime Press*. https://doi.org/10.1007/978-3-322-82967-2_32
[20] Sukumar, N., Dolbow, J. E., & Moës, N. (2015). Extended finite element method in computational fracture mechanics: a retrospective examination. *International Journal of Fracture*, *196*(1–2), 189–206. https://doi.org/10.1007/s10704-015-0064-8
[21] Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam* (8th ed., Vol. 8). PT. Pradnya Paramita.
[22] Zander, N., Bog, T., Kollmannsberger, S., Schillinger, D., & Rank, E. (2015). Multi-level

hp-adaptivity: high-order mesh adaptivity without the difficulties of constraining hanging nodes. *Computational Mechanics*, *55*(3), 499–517. https://doi.org/10.1007/s00466-014-1118-x