



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Struktur Deck Crane Kapal Tanker 6500 DWT Menggunakan Metode Elemen Hingga

Akbar Trihantoro¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

¹⁾Laboratorium Struktur Dan Konstruksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : akbartrihantoro@gmail.com

Abstrak

Kapal oil tanker merupakan kapal yang dirancang untuk mengangkut muatan minyak bumi cair dalam jumlah yang besar dan saat melaksanakan bongkar muat, biasanya kapal tanker memerlukan alat bantu pesawat peringan yaitu crane. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan dan keamanan suatu struktur. Keamanan dalam operasi bongkar muat menjadi penting sehingga perlu adanya Analisa kekuatan pada struktur deck crane. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode elemen hingga. Pembebanan yang diberikan yaitu beban SWL 15 ton dengan beberapa variasi sudut putar dan elevasi. Penelitian ini mendapatkan hasil nilai tegangan maksimum yang terjadi pada deck crane dengan sudut elevasi 0° dan sudut putar 90° sebesar 147,1 Mpa. Nilai tegangan minimum pada deck crane terjadi pada sudut elevasi 55° dan sudut putar 0° sebesar 31,8 Mpa. Area kritis pada penelitian ini terjadi pada struktur deck. Hasil penelitian ini kemudian dihitung menggunakan rumus safety factor, dapat disimpulkan bahwa instalasi dari konstruksi deck crane memenuhi standar aturan tegangan ijin BKI sebesar 190 Mpa. Sehingga struktur masih dalam kategori aman.

Kata Kunci : kekuatan struktur, deck crane, oil tanker, kritis

1. PENDAHULUAN

Kapal oil tanker merupakan kapal yang dirancang untuk memuat awak kapal dan digunakan untuk mengangkut minyak bumi cair dalam kapasitas yang besar. [1]

Proses bongkar muat kapal tanker memerlukan bantuan alat berat untuk membantu proses angkat mengangkat peralatan penunjang bongkar muat yang dinamakan dengan crane. Untuk meningkatkan efektifitas, biasanya kapal tanker dilengkapi dengan crane yang terdapat pada deck kapal dan memiliki kemampuan tertentu dalam beroperasi.

Konstruksi kapal sangat berperan penting dalam menjaga keamanan dari kapal, baik saat berlayar maupun dalam proses bongkar muatnya. Dalam perancangan konstruksi kapal, konstruksi diharuskan memiliki tegangan dibawah tegangan pada batas yang diijinkan untuk menghindari kerusakan pada konstruksi kapal. Hal tersebut mendasari pentingnya uji kekuatan pada struktur

deck crane untuk mengetahui ketahanan suatu struktur kapal.

Penelitian ini mengacu pada penelitian analisa buckling tiang mast crane akibat beban lentur yang mendapatkan kesimpulan bahwa dengan bertambahnya tinggi tiang dan besarnya L/D, momen buckling yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi seiring dengan besarnya deformasi yang terjadi seiring dengan bertambahnya tiang. [2]

Penelitian yang menjadi dasar lainnya adalah penelitian pada analisa kekuatan konstruksi internal ramp system steel wire rope pada kapal dharma kencana 8 dengan metode elemen hingga yang dapat disimpulkan bahwa area kritis terjadi pada node 2949 yang terletak pada penegar profil L bagian kiri dan penegar profil T nomor 5, akan tetapi konstruksi masih dalam kondisi aman karena nilai safety factor sebesar 7,22 setelah dibandingkan dengan tegangan ijin bahan sebesar 400 N/mm². [3]

Penelitian lain yang membahas permasalahan ini adalah penelitian yang dilakukan pada kapal

landing craft tank 1500 DWT. Didapatkan kesimpulan bahwa crane dioperasikan pada sudut elevasi 0° dan sudut putar 0°, 90°, 270°. Ketika pengoperasian crane dengan sudut 0°, maka tegangan terbesar terletak pada crane itu sendiri. Tapi, pada sudut operasi 90° dan 270° tegangan terbesar terletak pada void tank dan penambahan deck crane pada kapal LCT 1500 DWT sangat berpengaruh terhadap kekuatan deck namun masih dalam kategori aman. [4]

Penelitian yang digunakan menjadi acuan kembali yaitu tentang analisis struktur dari crane pedestal pada kapal dengan instalasi turbin angin jack-up. Pada penelitian tersebut, seiring dengan perubahan sudut tiap 45° menghasilkan bahwa tekanan maksimum terjadi pada sudut 135° dengan nilai sebesar 280 MPa pada sisi atas pondasi crane dan 318 MPa pada pertemuan antara pondasi crane dan deck kapal.[5]

Penelitian sejenis yang dijadikan acuan yaitu tentang studi analisa konstruksi deck kapal akibat penambahan crane Berbasis FEM. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa sudut elevasi ketika crane beroperasi juga memengaruhi tegangan yang terjadi. Tegangan maksimum yang terjadi pada deck saat crane beroperasi pada SWL 100 ton dengan panjang lengan crane 35,248 meter pada sudut 40° yaitu sebesar 69,9 MPa dan tegangan minimum terjadi pada SWL 20 ton dengan Panjang crane 17,41 meter yaitu sebesar 39 Mpa pada sudut 70°.[6]

berdasarkan acuan yang ada, maka akan dilakukan penelitian bagaimana kondisi struktur deck crane kapal tanker dengan jenis crane yang berbeda dengan banyaknya variasi sudut. Objek penelitian yang ditinjau dalam analisa ini adalah konstruksi deck crane dari frame 79 hingga 95.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kekuatan konstruksi deck crane akibat dari pembebanan, mengetahui letak area kritis akibat pembebanan dengan variasi sudut, dan mengetahui nilai safety factor dengan standar BKI serta memastikan deck crane masih dalam kondisi aman saat beroperasi.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

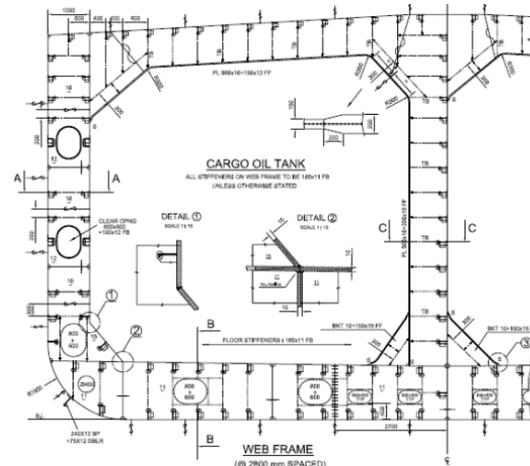
Penelitian ini dalam prosesnya membutuhkan data-data dari objek yang akan dianalisa. Data tersebut nantinya akan diolah sebelum dilakukan simulasi. Objek tersebut tersaji menjadi beberapa poin antara lain :

2.1.1 Kapal Tanker

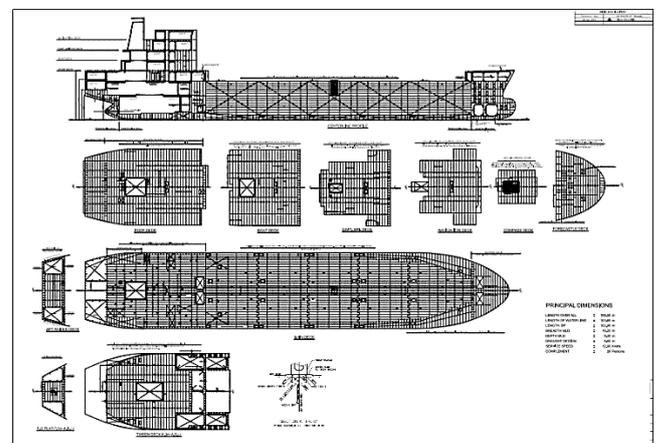
Kapal tanker merupakan jenis kapal yang mengangkut muatan cair. Kapal tanker ada banyak macamnya, seperti chemical tanker, oil tanker, dan sebagainya. Sifat dari muatannya membuat kapal tanker mendapatkan perhatian khusus dalam mengkonstruksikannya. Untuk menunjang bongkar muat, kapal tanker dilengkapi dengan peralatan pompa dan instalasi pipa untuk mempermudah saat melakukan bongkar muat. [7]

Kapal tanker yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah kapal jenis oil tanker yang datanya dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2. Kapal tanker tersebut mempunyai ukuran utama sebagai berikut :

- Length Over All : 108,00 Meter
- Length Water Line : 103,80 Meter
- Length Perpendicular : 102,00 Meter
- Breadth : 19,20 Meter
- Depth : 9,30 Meter
- Draft : 6,00 Meter
- Service Speed : 12,00 Knot



Gambar 1. Detail Web Frame



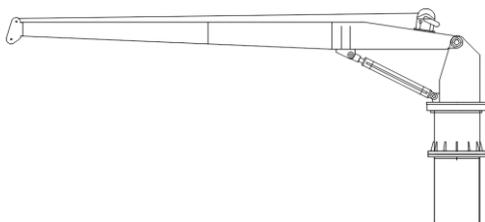
Gambar 2. Konstruksi Struktur

2.1.2 Deck Crane

Crane adalah alat yang berguna untuk memudahkan dalam mengangkat benda yang berat,

menaikkan dan menurunkan serta memindahkan benda berat tersebut ke satu tempat atau ke tempat yang lain. *deck crane* merupakan *crane* yang terletak diatas kapal, biasanya terletak pada garis tengah kapal untuk lebih mudah memberikan jangkauan pada bagian yang diinginkan. [8] *Deck crane* beroperasi secara berkala saat kapal melakukan proses bongkar muat, dan digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas. *Crane* memiliki batas beban maksimum yang biasa disebut dengan *safe working load (SWL)*. Penelitian ini menggunakan *crane* seperti pada gambar 3 dan mempunyai spesifikasi teknis *crane* sebagai berikut :

- Tipe : *hoist handling crane*
- SWL : sampai 15 M x 15 ton
- Sudut Putar : sampai 300°
- Sudut elevasi : sampai 55°



Gambar 3. Struktur *Crane*

2.2 Perlakuan Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan 2 variabel sebagai parameter penelitian. Variabel tersebut meliputi :

- a. Variabel tetap : Model struktur kapal dari *frame 79 – 95* termasuk profil, *crane*, serta beban maksimalnya.
- b. Variabel peubah :
 - Sudut elevasi *crane* : 0°, 15°, 30°, 45°, 55°.
 - Sudut putar *crane* : 0°, 45°, 90°.

2.3 Lokasi Penelitian

penelitian dilakukan di laboratorium struktur dan konstruksi kapal departemen teknik perkapalan, Universitas Dponegoro.

2.4 Metode Elemen Hingga

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga. Ide utama dari metode elemen hingga adalah menemukan solusi dengan mengganti masalah yang kompleks dengan masalah yang lebih sederhana. [9] Alat matematika yang ada tidak akan cukup untuk menemukan solusi yang tepat dari sebagian besar masalah praktis.

Pertimbangan yang ada membuat metode ini menjadi pilihan tepat untuk menemukan solusi perkiraan dari suatu masalah, sehingga harus memilih metode elemen hingga. Selain itu, dalam metode elemen hingga, akan memungkinkan untuk memperbaiki perkiraan solusi dengan menghabiskan lebih banyak usaha komputasi.

Pengolahan data menggunakan *Finite element Method (FEM)* software. Pertimbangannya adalah bahwa software tersebut baik untuk analisa struktur serta dalam percobaannya, hasil dari analisa Software berbasis elemen hingga ini hasilnya bisa dikatakan mendekati hasil numerik. Elemen hingga dapat berbentuk segitiga (*triangle*) dan kuadrilateral (*quadrilateral*) baik linear maupun kuadratik merupakan beberapa contoh tipe elemen hingga. Titik – titik hitam disebut titik nodal (*node*). Suatu jaring (*mesh*) adalah susunan yang terdiri dari titik nodal dan elemen. [10]

Objek penelitian tadi akan melalui proses *preprocessing*, *solution*, dan *postprocessing* dalam software FEM tersebut kemudian akan diolah datanya oleh peneliti.

2.5 Media Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dari membuat model 2 dimensi, 3 dimensi, hingga pada proses simulasi menggunakan bantuan *software* berbasis metode elemen hingga. Material yang digunakan dalam simulasi struktur yaitu menggunakan baja KI A-36 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- *Elastic Modulus* : 200 Gpa
- *Poisson's Ratio* : 0,3 N/A
- *Shear Modulus* : 80 Gpa
- *Mass Density* : 7850 Kg/m³
- *Tensile strength* : 400 Mpa
- *Yield strength* : 235 Mpa

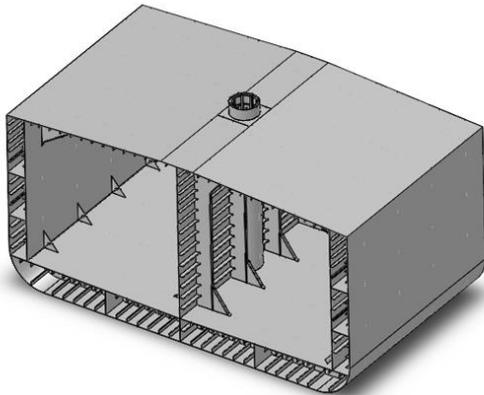
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Permodelan Struktur

Pembuatan model struktur 3D dilakukan dengan bantuan *software* berbasis elemen hingga. Model yang dibuat berdasarkan dengan data yang diperoleh dari galangan kapal berupa ukuran utama, spesifikasi dan gambar 2D. Komponen model terdiri dari struktur pondasi *crane* dan kapal yang digabungkan menjadi satu *part*.

Model tersebut kemudian di analisa dengan beberapa variasi sudut putar dan sudut elevasi. Pemilihan variasi sudut tersebut diasumsikan

sebagai operasional *crane* yang biasanya bekerja saat bongkar muat. Model 3D yang akan di analisa dapat dilihat pada gambar 4.



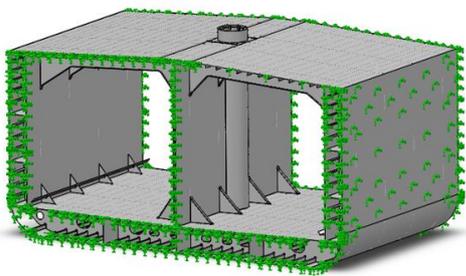
Gambar 4. Model Struktur

3.1.1 Pendefinisian Material

Langkah awal simulasi kekuatan struktur *deck crane* ini diawali dengan menentukan jenis material yang digunakan. Material yang dimasukkan dalam *software* berbasis elemen hingga adalah jenis baja *grade A* dengan nilai *yield strength* sebesar 235 Mpa.

3.1.2 boundary condition

Batasan struktur yang akan dianalisa harus dipastikan letak area *fix geometrinya*. Tumpuan yang digunakan ketika analisa yaitu *fixture*. Kondisi batas jepit ini diletakkan pada bawah dan ujung struktur sebagai tumpuan.[11] Batasan ini diberikan dengan tujuan untuk membatasi area yang akan dianalisa. Penempatan *boundary condition* dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Boundary Condition

3.1.3 Pemberian Beban

Pemberian beban SWL 15 ton dilakukan dengan cara menginput nilai *force* sebesar 302.000 N dan nilai momen seperti yang tertera pada tabel 1 menggunakan *rigid connection* pada *remote load*. Posisi pemberian beban diletakkan pada titik arca atau ujung dari *crane seating*. [12] Perhitungan

nilai momen dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$M = \text{Cos}(\theta) \times L \times F \text{ [N.m]}$$

Dimana,

M = Momen

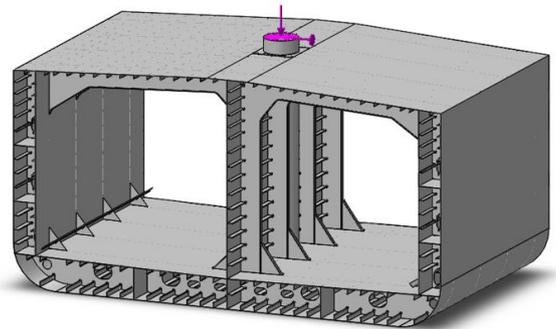
L = Panjang Lengan Crane

F = Gaya

Tabel 1. Data besar nilai momen

No	Sudut Elevasi	Momen
1	0°	2.207.250 N.m
2	15°	2.132.040 N.m
3	30°	1.911.535 N.m
4	45°	1.560.761 N.m
5	55°	1.266.027 N.m

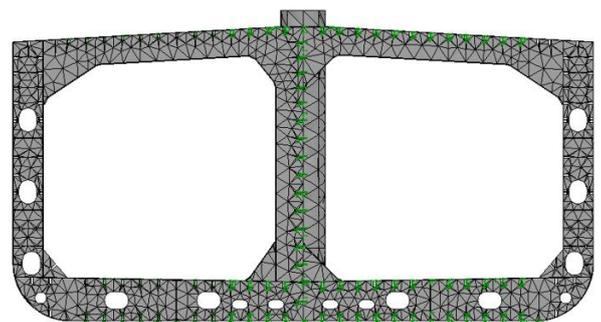
Arah momen yang diinputkan terpusat oleh axis dan disesuaikan dengan posisi dari variasi sudut putar *crane*. Contoh pemberian beban pada struktur model dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pemberian beban pada struktur

3.1.4 Meshing

Proses ini menerapkan pembagian elemen menjadi kecil dengan jumlah tak berhingga. *Meshing* model yang digunakan dalam analisa struktur menggunakan kualitas *fine* pada gambar 7. Menggunakan parameter *blended curvature based mesh* karena kompleksnya variasi bentuk dari model 3D.



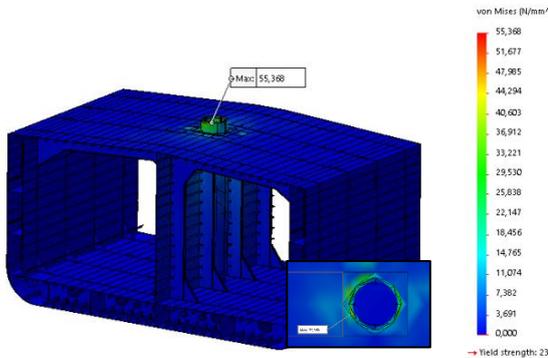
Gambar 7. Meshing Model

3.2 Hasil Analisa Kekuatan

Penelitian yang telah dilakukan pada *deck crane* dengan beberapa variasi sudut putar dan sudut elevasi didapatkan hasil yang sudah di cantumkan sebagai berikut :

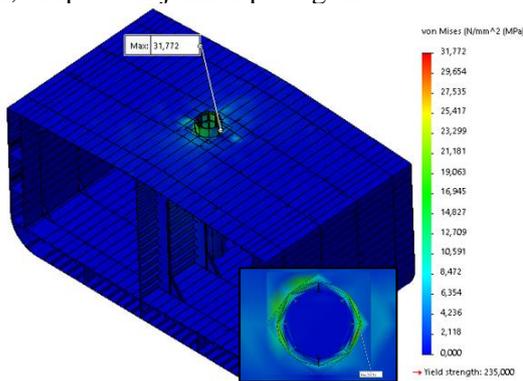
3.2.1 Analisa Crane Pada Sudut Putar 0°

- 1) Tegangan terbesar *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 0° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 55,4 Mpa ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 0° Dan Elevasi 0°

- 2) Tegangan terkecil *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 55° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 31,8 Mpa ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 0° Dan Elevasi 55°

Hasil tegangan maksimal dari operasional crane pada berbagai sudut elevasi dengan sudut putar 0° direkapitulasi seperti dalam Tabel 1.

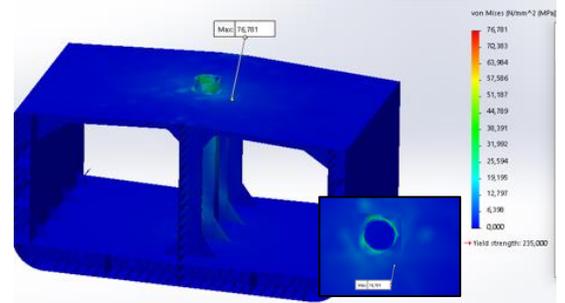
Tabel 2. Rekapitulasi Tegangan Maksimum Dengan Sudut Putar 0°

No	Sudut Elevasi	Tegangan Maksimal
1	0°	55,37 Mpa
2	15°	53,41 Mpa

3	30°	47,50 Mpa
4	45°	38,67 Mpa
5	55°	31,77 Mpa

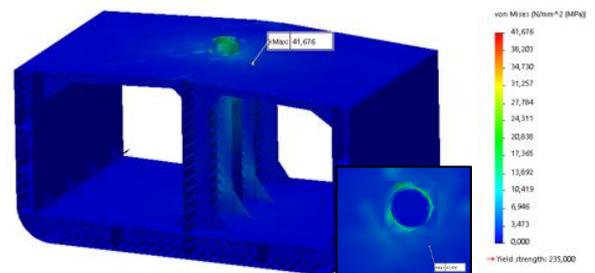
3.2.2 Analisa Crane Pada Sudut Putar 45°

- 1) Tegangan terbesar *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 0° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 76,8 Mpa ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 45° Dan Elevasi 0°

- 2) Tegangan terkecil *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 55° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 41,7 Mpa ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 45° Dan Elevasi 55°

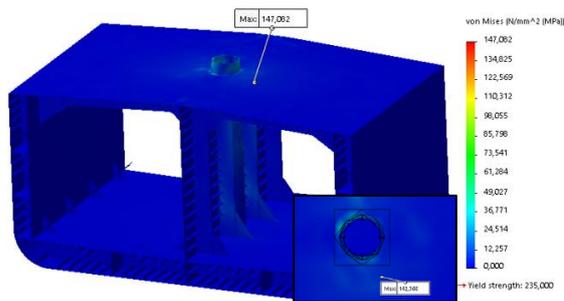
Hasil tegangan maksimal dari operasional crane pada berbagai sudut elevasi dengan sudut putar 45° direkapitulasi seperti dalam Tabel 2.

Tabel 3. Rekapitulasi Tegangan Maksimum Dengan Sudut Putar 45°

No	Sudut Elevasi	Tegangan Maksimal
1	0°	76,78 Mpa
2	15°	74,68 Mpa
3	30°	66,12 Mpa
4	45°	53,32 Mpa
5	55°	41,68 Mpa

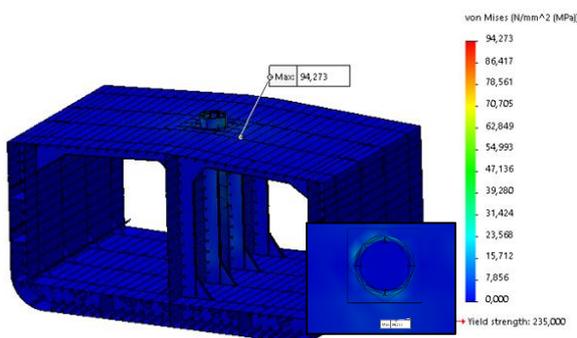
3.2.3 Analisa Crane Pada Sudut Putar 90°

- 1) Tegangan terbesar *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 0° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 147,08 Mpa ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 90° Dan Elevasi 0°

- 2) Tegangan terkecil *deck crane* terjadi pada sudut elevasi 55° dengan beban SWL 15 ton didapat tegangan maksimal sebesar 94,27 Mpa ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Letak Area Kritis Pada Sudut Putar 90° Dan Elevasi 55°

Hasil tegangan maksimal dari operasional crane pada berbagai sudut elevasi dengan sudut putar 90° direkapitulasi seperti dalam Tabel 3.

Tabel 4. Rekapitulasi Tegangan Maksimum Dengan Sudut Putar 90°

No	Sudut Elevasi	Tegangan Maksimal
1	0°	147,08 Mpa
2	15°	142,37 Mpa
3	30°	126,08 Mpa
4	45°	101,72 Mpa
5	55°	94,273 Mpa

3.3 Safety Factor

Safety factor adalah faktor yang digunakan untuk mengetahui kesanggupan material dalam menerima beban luar.

Safety Factor menggunakan rumus sesuai dengan ketentuan dari BKI 2021 Vol. II Bab V.D.1.2 dengan nilai 190/k. [13] dimana k adalah faktor material sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 5. Faktor Material

Minimum Yield Stress ReH in N/mm ²	K
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,68

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material baja Grade A yang mempunyai nilai yield (ReH) sebesar 235 N/mm². Oleh karena itu nilai dari tegangan ijinnya adalah 190 MPa. Formula untuk mendapatkan *safety factor* adalah,

$$Sf = \frac{\text{Tegangan Ijin}}{\text{Tegangan Maksimal}} \quad (1)$$

material dikatakan aman apabila nilai Safety Factor ≥ 1 .

Tabel 6. Pengecekan Keamanan Dari Sudut Putar 0°

No	Sudut Elevasi	Sf	Keterangan
1	0°	3,43	AMAN
2	15°	3,56	AMAN
3	30°	4,00	AMAN
4	45°	4,91	AMAN
5	55°	5,98	AMAN

Tabel 7. Pengecekan Keamanan Dari Sudut Putar 45°

No	Sudut Elevasi	Sf	Keterangan
1	0°	2,47	AMAN
2	15°	2,54	AMAN
3	30°	2,87	AMAN
4	45°	3,56	AMAN
5	55°	4,56	AMAN

Tabel 8. Pengecekan Keamanan Dari Sudut Putar 90°

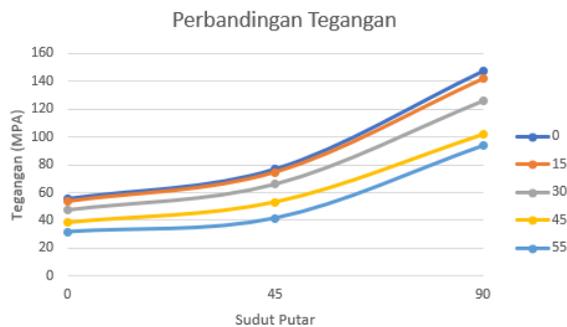
No	Sudut Elevasi	Sf	Keterangan
1	0°	1,29	AMAN
2	15°	1,33	AMAN
3	30°	1,51	AMAN
4	45°	1,87	AMAN
5	55°	2,02	AMAN

berdasarkan Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 tentang pengecekan dari keamanan tegangan ketika *crane* sedang beroperasi pada berbagai sudut

elevasi dan sudut putar, maka dapat disimpulkan bahwa *safety factor* memenuhi persyaratan. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa konstruksi *deck crane* masih dalam batas aman.

3.4 Dampak Perubahan Variabel

Berdasarkan penelitian di atas perubahan variabel sudut putar dan sudut elevasi dalam pengoperasian *crane* saat bongkar muat tetap berpengaruh terhadap tegangan maksimumnya seperti pada gambar 14. Dapat dinyatakan bahwa pada sudut elevasi 0° - 55° serta dari sudut putar antara 0° - 90°, semakin besar sudut elevasi maka semakin kecil tegangan maksimumnya. Dan, semakin besar sudut putar, maka semakin besar tegangan maksimumnya.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Tegangan Dengan Sudut Putar Tiap Sudut Elevasi

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan maka hasil yang didapatkan sejalan dengan teori momen (M) yang dipengaruhi oleh gaya (F) dan Panjang lengan (R) [14] seperti rumus berikut :

$$M = F \times R \text{ [N.m]}$$

Nilai momen semakin besar jika nilai gaya dan Panjang lengan semakin besar. Sebaliknya, nilai momen akan kecil jika nilai gaya dan Panjang lengan semakin kecil.

Penelitian sejenis tentang analisa struktur pondasi *crane* pada kapal container 100 teus juga memperkuat teori bahwa momen berbanding lurus dengan gaya dan Panjang lengan. [15] Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 15. Grafik data hasil perbandingan analisa kekuatan struktur *crane* dengan peneliti lain.



Gambar 15. Grafik Data Perbandingan Sudut Elevasi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa kekuatan struktur *deck crane* pada kapal tanker 6500 DWT dengan berbagai variasi diperoleh kesimpulan bahwa tegangan maksimum yang di dapatkan dari analisa adalah pada saat *crane* beroperasi pada sudut putar 90° dan sudut elevasi 0° dengan beban SWL 15 ton yaitu sebesar 147,08 Mpa. Sedangkan tegangan minimum terjadi saat *crane* beroperasi pada sudut putar 0° dan sudut elevasi 55° yaitu sebesar 31,8 Mpa. Area kritis yang terjadi pada masing-masing variasi sudut terjadi pada *deck crane*. Berdasarkan hasil analisa yang telah didapatkan dari masing – masing variasi sudut dimasukkan ke dalam perhitungan *safety factor* dengan tegangan yang diijinkan oleh BKI sebesar 190 Mpa, maka dapat disimpulkan bahwa konstruksi *deck crane* masih dalam kategori aman (*safety*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. chamber of Shipping, *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*, Fifth edit. London: Whiterby, 2006. [Online]. Available: www.witherbys.com
- [2] B. Soraya, T., Yudo, H., Arswendo, "Analisa Buckling Tiang Mast Crane Akibat Beban Lentur Menggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 2, pp. 485–490, 2016.
- [3] S. Steel *et al.*, "Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope Pada Km. Dharma Kencana Viii Dengan Metode Elemen Hingga," *Kapal*, vol. 2, no. 3, pp. 85–92, 2014.
- [4] R. M. Gea, A. F. Zakki, and M. Iqbal, "Analisa Struktur Kontruksi Geladak Akibat Penambahan Deck Crane Pada Landing Craft Tank 1500Dwt Berbasis Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 1, 2015.

- [5] X. Zhu, Y. S. Tang, F. X. Li, and Y. Zhao, "Structural strength analysis of main crane pedestal of the jack-up wind turbine installation vessel," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 351–352, pp. 7–12, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.351-352.7.
- [6] F. T. Pujikuncoro, A. F. Zakki, H. Yudo, D. T. Perkapalan, F. Teknik, and U. Diponegoro, "Studi Analisa Kontruksi Deck Kapal Accommodation Work Barge Pada Fr 0-12 Akibat Penambahan Crane Berbasis Fem," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 0–7, 2016.
- [7] M. Sofi'i and I. K. Djaya, *Teknik Konstruksi Kapal Baja*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [8] D. J. Eyres, "Ship Construction," *Sh. Constr.*, 2007, doi: 10.1016/B978-0-7506-8070-7.X5000-2.
- [9] H. Isworo and P. R. Ansyah, *Buku Ajar Metode Elemen Hingga*. Universitas Lambung Mangkurat, 2018.
- [10] Y. A. Pranata, *Diktat Mata Kuliah Elemen Metode Hingga*. Universitas Kristen Maranatha, 2019.
- [11] A. . Siagian, Andreas R. H., Mulyanto, I.P., Belian, "Analisa Shear Stress Pada Struktur Cincin Kapal Crude Oil Tanker 6500 Dwt Berbasis Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 2, pp. 309–318, 2015.
- [12] N. Salimah, S. W. Satoto, and N. Yuniarsih, "Analisa Kekuatan Stuktur Deck Crane 15 Ton Pada Accomodation Barge Menggunakan Software Solidwork," *J. Tek. Mesin*, 2016, [Online]. Available: <https://103.209.1.145/uploads/207029-20171106071110.pdf>
- [13] Biro Klasifikasi Indonesia, *Rules for the classification and construction*, vol. II. 2021.
- [14] E. P. Popov, "Mekanika Teknik," 2nd ed., Z. Astamar, Ed. Erlangga, 1984, p. 668.
- [15] S. A. Wardana, H. Yudo, and I. P. Mulyatno, "Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Crane pada Kapal Kontainer 100 TEUS dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 4, Oct. 2018, Accessed: Mar. 04, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/21768>