



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Konstruksi pada Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) Menggunakan Metode Elemen Hingga

Muhammad Ilham Shidqi¹⁾, Good Rindo¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

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 : milhams@students.undip.ac.id

Abstrak

Penggunaan Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) sebagai alat operasi amfibi oleh TNI harus dilakukan kajian kekuatan pada konstruksi geladak akibat pembebanan muatan artileri. KAPA digunakan untuk mengangkut beberapa jenis artileri. Jenis muatan mempunyai karakteristik pembebanan yang merata keseluruh geladak kendaraan. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai tegangan dan defleksi maksimum pada kontruksi geladak Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA). Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan mengacu kepada aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Penulis melakukan penelitian dengan 4 kondisi pembebanan. Kondisi pertama 1 Meriam M1939 dengan total muatan 4500 kg, kondisi kedua 1 Meriam M1938 dengan total muatan 3100 kg, kondisi ketiga 1 Howitzer LG-1 MK II dengan total muatan 1500 kg, kondisi keempat 1 Meriam M119 Howitzer dengan total muatan 2100 kg. Validasi dilakukan pada model dengan cara membandingkan hasil perhitungan simulasi dengan perhitungan analitis menggunakan teori balok dan didapatkan nilai error sebesar 6,83 %. Bahan material yang digunakan KI-A36 dengan yield 250 MPa, hasil analisa FEM didapatkan tegangan maksimum 98,5 MPa dan defleksi 8,91 mm, hasil dari penelitian kekuatan konstruksi pada Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) telah memenuhi kriteria aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

Kata Kunci : Kekuatan Konstruksi, Tegangan, Defleksi, Metode Elemen Hingga

1. PENDAHULUAN

Dalam menjaga kedaulatan NKRI, terutama sebagai negara kepulauan dengan garis pantai panjang dan berbatasan dengan laut serta perairan pedalaman negara lain, penekanan pada penjagaan, pengamanan, dan pertahanan wilayah menjadi krusial. Oleh karena itu, penting bagi TNI untuk memiliki kemampuan operasi amfibi yang melibatkan tidak hanya keterampilan prajurit, tetapi juga pengembangan teknologi, prasarana, dan sarana pendukung [1].

Dalam menjalankan operasi tersebut, TNI akan memanfaatkan beragam peralatan untuk menjamin kesuksesan tugas, termasuk penggunaan kendaraan amfibi. Kendaraan amfibi merupakan jenis kendaraan serbaguna yang dapat dimanfaatkan baik untuk keperluan komersial, militer, maupun dalam misi penyelamatan bencana [2].

Ada berbagai teknologi dalam bidang pertahanan, salah satunya adalah Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA). Tentu saja, proses perancangan dan produksi KAPA melibatkan beberapa tahap serta perhatian mendalam terhadap berbagai aspek, termasuk material, konstruksi, dan biaya produksi. Oleh karena itu, perkembangan teknologi KAPA di sektor pertahanan menjadi aspek krusial yang perlu diperhatikan di era modern ini [3].

Sebuah kapal direncanakan dengan mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk tujuan awal dan fungsi penggunaannya, berdasarkan regulasi dan peraturan yang berlaku. Hal ini dilakukan untuk mencegah kegagalan struktural dalam konstruksi kapal. Sebuah kapal dianggap mematuhi regulasi dan standar jika konstruksinya mampu menahan semua beban yang bekerja padanya sesuai dengan peraturan klasifikasi [4].

Kekuatan konstruksi kapal dipengaruhi oleh beban yang diterapkannya. Sumber beban pada kapal berasal dari berbagai faktor, termasuk komponen statis yang terdiri dari berat daya apung kapal dalam kondisi air tenang. Selain itu, terdapat komponen dinamis yang timbul akibat gerakan air yang dihasilkan oleh gelombang di sekitar kapal dan pergerakan kapal itu sendiri, serta beban yang berasal dari muatan diatas kapal [5].

Pada penelitian ini Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) dipergunakan untuk membawa muatan yaitu, beberapa jenis artileri seperti artileri 122 mm M1938, meriam 85 mm M1939, Howitzer LG-1 MKII 105 mm. dan M119 Howitzer muatan artileri memiliki pembebanan merata keseluruhan geladak kendaraan.

Pada penelitian tentang *Strength Analysis of Peti kemas Geladak Construction MV. Sinar Demak Effect of Charges Peti kemas Using Finite Element Method* didapatkan tegangan maksimum geladak MV. Sinar Demak dalam kondisi air tenang sebesar 184 N/ 2 MPa pada node 37145 [6].

Selain itu pada penelitian sebelumnya tentang *Kekuatan Deck akibat Perubahan Muatan Pada Tongkang TK. Nelly-34* pada menunjukkan nilai tegangan maksimum pada geladak tongkang Nelly-34 dalam kondisi air tenang sebesar 57,968 MPa pada node 37145 [7].

Berdasarkan uraian penlitian-peneitian diatas, penulis sangat perlu melakukan penelitian dan kajian lebih lanjut mengenai kekuatan geladak dan menggunakan metode elemen hingga. metode elemen hingga bekerja dengan menganalisis struktur dalam bentuk element-element lebih kecil dan sederhana (*mesh*) dengan jumlah yang berhingga dan pemberian nilai kondisi batas pada struktur yang disimulasikan [8], sehingga diketahui hasil analisis kekuatan konstruksi geladak akibat perubahan muatan.

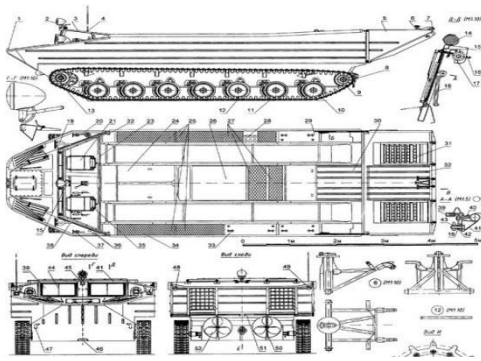
Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) dan membandingkan hasil tegangan ketika membawa muatan tersebut.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian dalam tulisan ini adalah Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA). Dengan jenis muatan yaitu, beberapa jenis artileri seperti artileri 122 mm M1938, meriam 85 mm M1939, Howitzer LG-1 MKII 105 mm dan M119 Howitzer. Adapun ukuran utama pada Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri yaitu: *length* (L) 9,15 meter, *Breadth* (B) 3,15 meter, *Height* (H) 2,15 meter.

Jenis konstruksi yang digunakan pada KAPA ini merupakan konstruksi memanjang. Pada penggunaannya, KAPA digunakan untuk mengangkut muatan artileri.



Gambar 1. KAPA

2.2. Variasi Pembebanan

Pada penelitian ini, konstruksi geladak mendapat pembebanan secara vertikal, searah dengan y -axis yaitu pembebanan dari muatan. Pembebanan didefinisikan *linear static*, dengan sumbu ordinat yang tetap pada perhitungan numerik [9].

Dikarenakan yang menjadi perhatian bagi penulis adalah variasi pembebanan, maka dalam penelitian kali ini terdapat 5 kondisi muatan, yang ditunjukkan pada tabel 1 :

Tabel 1. *Loading Condition*

Susunan muatan	Jumlah muatan	Berat (ton)
Kondisi 1	1 Meriam M1939	4500
Kondisi 2	1 Meriam M1938	3100
Kondisi 3	1 Howitzer LG-1 MK II	1520
Kondisi 4	1 M119 Howitzer	2100

2.3. Pendefinisian Material

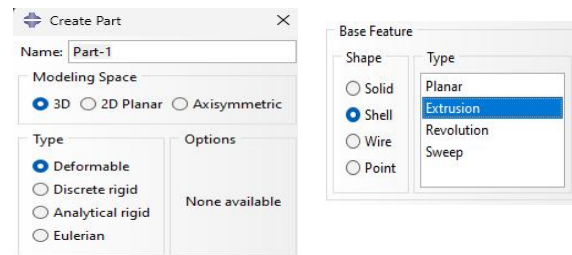
Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah material baja standar BKI dengan notasi KI-A36 [10], dengan nilai *Modulus Elasticity* 200 GPa, *Poisson Ratio* 0,26, *Density* 7850 kg/m³, *Yield* 250Mpa, *Ultimate Stress* 400 Mpa.

2.4. Pembuatan Model

Salah satu cara menyelesaikan permasalahan *engineering* dengan menggunakan perhitungan numerik adalah dengan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan suatu cara numerik untuk mendapatkan solusi pendekatan dari masalah-masalah fisik dimana solusi analitiknya sulit atau tidak dapat diselesaikan [11].

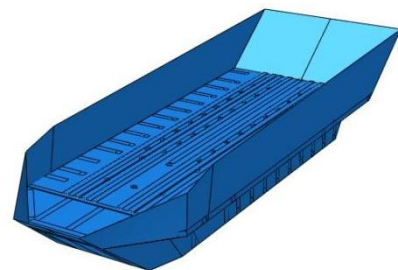
Langkah awal dalam pembuatan model geladak kapal berupa pembuatan geometri sesuai dengan gambar konstruksi kapal yang ada. dengan menggunakan fitur *create part* dengan jenis model

3D shell extrusion



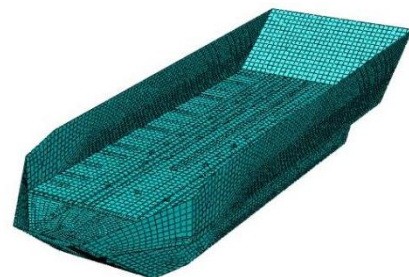
Gambar 2. Pembuatan Geometri

Setelah membuat geometri, langkah selanjutnya yakni menggunakan fitur *assembly* pada *software*, sehingga geometri yang sudah terbentuk akan berubah menjadi suatu kesatuan.



Gambar 3. Hasil *assembly*

Tahap selanjutnya melakukan proses *meshing* dengan menggunakan jenis element *Quad Structured* dengan Ukuran 0.5



Gambar 4. Geometri KAPA Setelah Proses *Meshing*

Setelah pembuatan model geladak selesai, model di validasi untuk mendapatkan model geladak yang akurat dan benar, selanjutnya diberikan pembebanan pada model sesuai dengan kondisi yang digunakan pada penelitian ini. Jenis beban yang diaplikasikan adalah beban Pressure kemudian dilakukan *running software* dan didapatkan besaran nilai tegangan dan defleksi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan *Boundary Condition*

Kondisi batas(*Boundary Condition*) merupakan struktur pendukung sangat dibutuhkan di FEM.

Model *finite element* yang sudah dibentuk diberi *boundary condition* yang akan digunakan sebagai tumpuan *fix* (tranlasidan rotasisumbu x,y,z *fix*).

Tabel 2. Kondisi Batas (Translasi)

Lokasi	Sumbu	Sumbu	Sumbu
	X	Y	Z
Ujung model depan	Fix	Fix	Fix
Ujung model balakang	Fix	Fix	Fix

Table 3. Kondisi Batas (Rotasi)

Lokasi	Sumbu	Sumbu	Sumbu
	X	Y	Z
Ujung model depan	-	-	Fix
Ujung model belakang	-	-	Fix

Pada tabel 2 dan 3 merupakan *boundary condition* yang digunakan berdasarkan aturan dari *Korean Rules for Shipping : Rules for the Classification of Steel Ships* [12]. Penentuan *boundary condition* sangat berpengaruh dalam proses *finite element*. Penentuan peletakan *boundary* akan mempengaruhi hasil Analisa. *Boundary condition* didefinisikan pada kedua ujung model, yaitu bagian depan dan belakang [13]. Keterangan ‘fix’ pada tabel 2 mempunyai arti bahwa sumbu tersebut terkunci.

3.2. Pendefinisian Beban

Pada penelitian ini terdapat 4 macam beban yang diinputkan, yakni beban dari muatan 4 jenis pembebanan artileri, adapun perhitungan tiap beban yang ada yaitu sebagai berikut.

a. Beban kondisi 1

$$\begin{aligned} \text{Gaya berat} &= 4500 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 44100 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada saat penginputan beban muatan pada software CAE menggunakan fitur *pressure* dengan menginput beban pada seluruh luasan geladak kapal dengan membagi *pressure* dengan luasan geladak tersebut agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan geladak. Dengan luasan geladak yaitu $25,2^2$, maka *input pressure* adalah sebesar 1750 N/^2 .

b. Beban kondisi 2

$$\begin{aligned} \text{Gaya berat} &= 3100 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 30380 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada saat penginputan beban fitur *pressure*

dengan menginput beban pada seluruh luasan geladak kapal dengan membagi *pressure* dengan luasan geladak tersebut agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan geladak. Dengan luasan geladak yaitu $25,2^2$, maka *input pressure* adalah sebesar $1205,555 \text{ N/}^2$.

c. Beban kondisi 3

$$\begin{aligned} \text{Gaya berat} &= 1520 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 14896 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada saat penginputan beban menggunakan fitur *pressure* dengan menginput beban pada seluruh luasan geladak kapal dengan membagi *pressure* dengan luasan geladak tersebut agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan geladak. Dengan luasan geladak yaitu $25,2^2$, maka *input pressure* adalah sebesar $591,111 \text{ N/}^2$.

d. Beban kondisi 4

$$\begin{aligned} \text{Gaya berat} &= 33200 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 325360 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada saat penginputan beban menggunakan fitur *pressure* dengan menginput beban pada seluruh luasan geladak kapal dengan membagi *pressure* dengan luasan geladak tersebut agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan geladak. Dengan luasan geladak yaitu $25,2^2$, maka *input pressure* adalah sebesar $816,666 \text{ N/}^2$.

3.3. Validasi Model

Validasi model diperlukan agar tingkat keakuratan dari sebuah geometri *finite element* yang telah dibuat sebelumnya dapat diketahui. Salah satu metode yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil dari perhitungan analitik dan numerik.

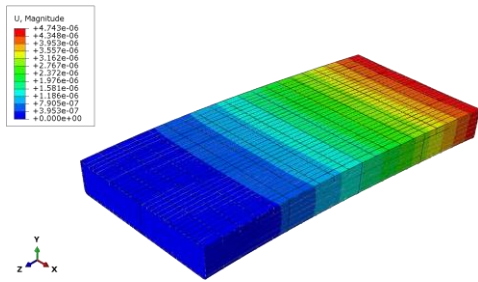
a. Perhitungan Analitik

Validasi model secara analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan rumus defleksi mekanika teknik, adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut. [14]

$$\begin{aligned} &= \frac{1000 \times 9150^3}{3 \times 200000 \times 26088234375} \\ &= 2,569 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Software FEM

Pada gambar 3 merupakan perhitungan *software* dilakukan dengan *software Simulia Abaqus*, sesuai dengan model yang telah dibuat. Dan hasil defleksinya yaitu $2,812 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$.



Gambar 5. Perhitungan Software

Tabel 4. Hasil Validasi.

Hasil Analitik	Hasil FEM	Error
$2,569 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$	$2,812 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$	6,83 %

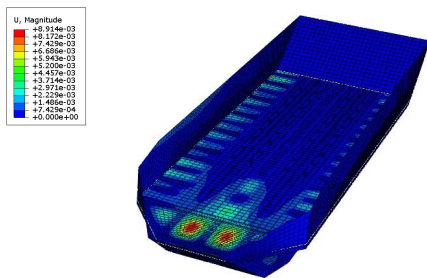
Tabel 4 merupakan hasil perbandingan antara model perhitungan analitik dengan numerik, didapatkan persentase *error* sebesar 6,83 %. Validasi model dikatakan sudah benar, karena persentase *error* masih dibawah 10 %.

3.4. Hasil Kondisi I

Kondisi I disimulasikan ketika KAPA sedang memuat meriam M1939 dengan berat muatan keseluruhan 4500 kg. Beban yang ada hanya dari beban muatan artileri dengan jenis pembebanan merata. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

a. Defleksi

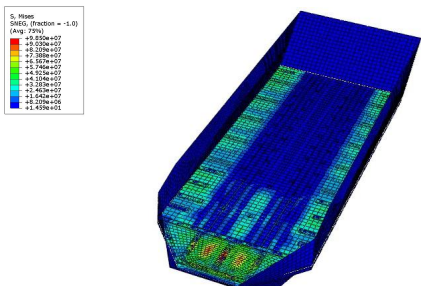
Pada gambar 6 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *node* 5628 dengan nilai 8,91 mm.



Gambar 6. Defleksi Kondisi I

b. Distribusi Tegangan

Pada gambar 7 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *Plat Deck* tepatnya pada *node* 7283 dengan nilai 98.5 MPa.



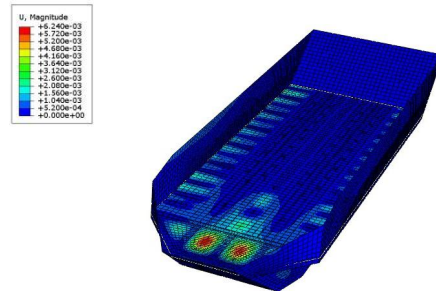
Gambar 7. Distribusi Tegangan Kondisi I.

3.5. Hasil Kondisi II

Kondisi II disimulasikan ketika KAPA sedang memuat meriam M1938 dengan berat muatan keseluruhan 3100 kg. Beban yang ada hanya dari beban muatan artileri dengan jenis pembebanan merata. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

a. Defleksi

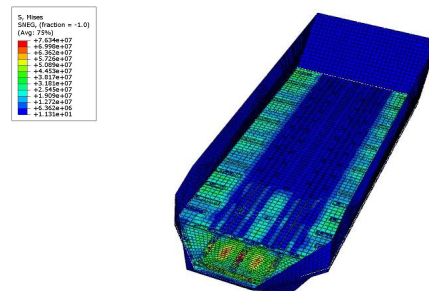
Pada gambar 8 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *node* 5628 dengan nilai 6,24 mm.



Gambar 8. Defleksi Kondisi II.

b. Distribusi Tegangan

Pada gambar 9 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *Plat Deck* tepatnya di *node* 7283 dengan angka 76,34 MPa.



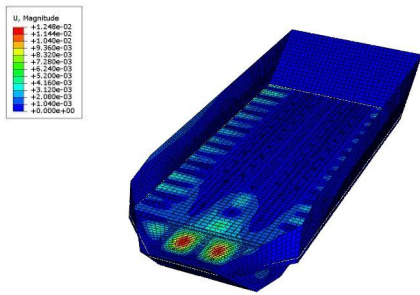
Gambar 9. Distribusi Tegangan Kondisi II.

3.6. Hasil Kondisi III

Kondisi III disimulasikan ketika KAPA sedang memuat meriam Howitzer LG-1 MK II dengan berat muatan keseluruhan 1520 kg. Beban yang ada hanya dari beban muatan artileri dengan jenis pembebanan merata. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

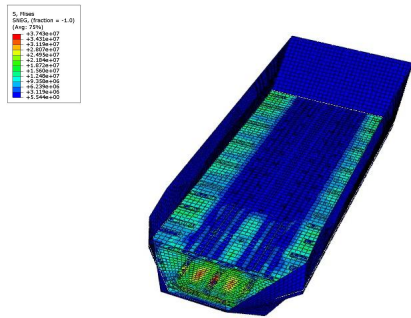
a. Defleksi

Pada gambar 10 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *node* 5628 dengan nilai 1,24 mm.



Gambar 10. Defleksi Kondisi III.

- b. Distribusi Tegangan
 Pada gambar 11 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *Plat Deck* tepatnya yaitu pada *node 7283* dengan nilai 37,43 MPa.

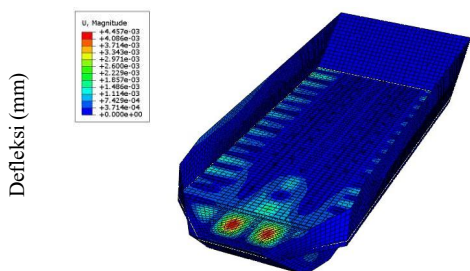


Gambar 11. Distribusi Tegangan Kondisi III.

3.7. Hasil Kondisi IV

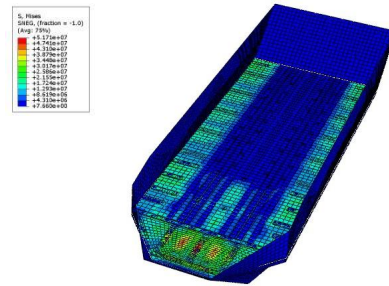
Kondisi IV disimulasikan ketika KAPA sedang memuat meriam M119 Howitzer dengan berat muatan keseluruhan 2100 kg. Beban yang ada hanya dari beban muatan artileri dengan jenis pembebanan merata. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

- a. Defleksi
 Pada gambar 12 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *node 7283* dengan nilai 4,45 mm.



Gambar 12. Defleksi Kondisi IV.

- b. Distribusi Tegangan
 Pada gambar 13 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *node 7283* dengan nilai 51,71 MPa.



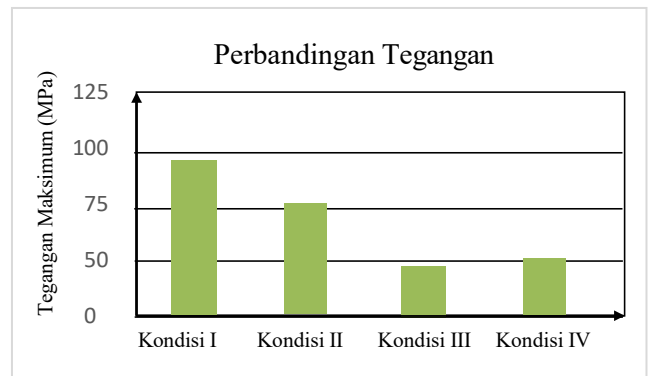
Gambar 13. Distribusi Tegangan Kondisi IV.

3.8. Hasil Analisis Struktur

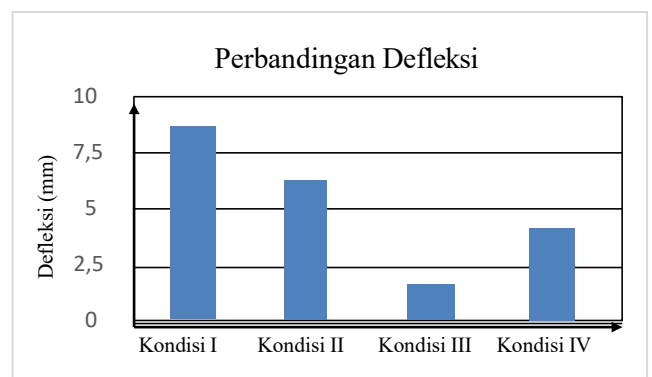
Dari penelitian yang telah dilakukan hasil analisis struktur telah dirangkum dalam tabel 5.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Analisis

No	Jenis Kondisi	σ maks (MPa)	δ maks (mm)
1	Kondisi I	98,5	8,91
2	Kondisi II	76,34	6,24
3	Kondisi III	37,43	1,24
4	Kondisi IV	51,71	4,45



Gambar 16. Grafik Perbandingan Tegangan



Gambar 17. Grafik Perbandingan Defleksi

Pada tabel 5 adalah rangkuman hasil analisis struktur dan didapatkan tegangan terbesar terjadi pada kondisi I, yaitu saat Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) sedang memuat muatan Meriam 1939, dengan nilai 98,5 MPa. Sedangkan defleksi paling besar terjadi pada kondisi 1, saat kapal memuat meriam 1939, dengan nilai 8,91 mm.

3.9. Pengecekan Kekuatan Material

Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan kekuatan maksimal dengan tegangan ijin material sesuai aturan BKI. Dalam tabel 6 telah dirangkum perbandingan kekuatan material dan regulasi BKI yang berlaku dibawah ini.

Tabel 6. Tegangan ijin

susunan	Tegangan max (MPa)	Tegangan ijin (MPa)	status
Kondisi I	98,5	235	memenuhi
Kondisi II	76,34	235	memenuhi
Kondisi III	37,43	235	memenuhi
Kondisi IV	51,71	235	memenuhi

Tabel 6 merupakan tegangan ijin material, menurut aturan Biro Klasifikasi Indonesia 2021 Volume II Section 8. B. 8. 2. Tegangan ijin material KI -A36 adalah 235 MPa [10] dan hasil penelitian yang telah dilakukan pada tabel diatas, semua kondisi memenuhi kriteria BKI.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan kekuatan konstruksi yang telah dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga pada Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) didapatkan hasil yaitu:

Tegangan maksimum terjadi pada kondisi Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) sedang membawa meriam M1939 4500 kg. Tegangan maksimum ditunjukkan pada *Plat Deck* tepatnya pada *node* 7283 dengan nilai 98,5 MPa dan defleksi maksimal terjadi tepatnya pada *node* 5628 dengan nilai 8,91 mm.

Tegangan minimum terjadi pada saat kondisi Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) sedang membawa 1 Howitzer LG-1 MK II. Tegangan maksimum ditunjukkan di deck tepatnya pada *node* 5628 dengan nilai 37,43 MPa. dan defleksi terjadi pada deck, tepatnya pada *node* 5628 dengan nilai 1,24 mm.

Dari hasil analisis tersebut disimpulkan bahwa kriteria kekuatan konstruksi Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri (KAPA) sudah memenuhi kriteria kekuatan BKI. [10]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Marpaung, "Pengaruh Perilaku Rintangan Kerja Hidromekanik Ranpur Amfibi Beroda Ban Di Darat Dan Air Dengan Pendekatan Numerik," Jurnal Teknologi Daya Gerak, vol. 4, no. 2, 2021.
- [2] A. Suwandi, S. A. Purwantoro, G. Amperiawan, dan S. Aritonang, "Kajian Teramekanika Pendaratan Kendaraan Amphibious Rig m3 Pada Tepian Sungai Terjal Dan Jenis Lempung Melalui Studi Kasus Latihan Di Gedebage Bandung," Jurnal Teknologi Daya Gerak, vol. 5, no. 1, 2022.
- [3] O. N. C. Satrya, "Desain Structure Chassis Kapal di Aplikasian Pada Chassis KAPA (Kendaraan Amfibi Pengangkut Artileri)." Surabaya, 2015.
- [4] D. D. Sanjaya, " Analisa Kekuatan Konstruksi Wing Tank Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga," Teknik Perkapalan, Jul. 2017.
- [5] A. Mansour, D. Liu " Strength of Ships and Ocean Structures," The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue, Jersey City, 2017.
- [6] I.P. Mulyatno, B.A. Aditya, dan R A. Mulana, "Strength Analysis of Peti kemas Geladak Construction MV. Sinar Demak Effect of Charges Peti kemas Using Finite Element Method" Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, vol 9. no. 1, pp 24-29, Jan. 2013.
- [7] N.S. Riyanto, H. Yudo, dan A. Trimulyono, "Analisa Kekuatan Deck Akibat Perubahan Muatan Pada Tongkang TK.Nelly-34," Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 8, no. 3, pp. 454-460, Jul. 2020.
- [8] I.P. Mulyatno and A. Pratama, "Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal KM. Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga," Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan, vol. 8, no. 2, pp. 53-61, Feb. 2012.
- [9] D.M. Rosyid, D. Setyawan, Kekuatan Struktur Kapal, Jakarta, Pradnya Paramita, 2000.
- [10] Biro Klasifikasi Indonesia Rules For Hull. Vol. II. Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia 2021.
- [11] Logan, L. Daryl . A First Course in the Finite Element Methode, Canada. Chris Carson. 2007.
- [12] Korean Register of Shipping. "Rules for the Classification of Steel Ships". 2021.

- [13] S. Haris, J. Amdahl, "Analysis of ship-ship collision damage accounting for bow and side deformation interaction", *Marine Structures*, Vol. 32, pp 18-28, July, 2013.
- [14] E.P. Popov, *Mekanika Teknik*, Erlangga, Indonesia, 1996.